



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

GILSON BARBOSA SÃO TEAGO

**QUALIDADE DAS MADEIRAS DE ACÁCIA E EUCALIPTO PROVENIENTES
DE CULTIVO MISTO VISANDO A PRODUÇÃO DE CELULOSE**

JERÔNIMO MONTEIRO – ES
AGOSTO - 2012

GILSON BARBOSA SÃO TEAGO

**QUALIDADE DAS MADEIRAS DE ACÁCIA E EUCALIPTO PROVENIENTES
DE CULTIVO MISTO VISANDO A 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 em Ciências Florestais.

Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio Da Silva Oliveira
Coorientadora: Profa. Dra. Graziela Baptista Vidaurre

JERÔNIMO MONTEIRO – ES

AGOSTO - 2012

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

S239q São Teago, Gilson Barbosa, 1983-
Qualidade das madeiras de acácia e eucalipto provenientes de cultivo misto visando a produção de celulose / Gilson Barbosa São Teago. – 2012. 111 f. : il.

Orientador: José Tarcísio da Silva Oliveira.

Coorientadora: Graziela Baptista Vidaurre.

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

1. Propriedade - Madeira. 2. Acácia. 3. Eucalipto. 4. Celulose. I. Oliveira, José Tarcísio da Silva. II. Vidaurre, Graziela Baptista. III. Universidade Federal do Espírito Santo. Centro de Ciências Agrárias. IV. Título.

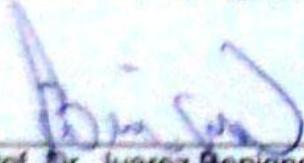
CDU: 630

**QUALIDADE DAS MADEIRAS DE ACÁCIA E EUCALIPTO PROVENIENTES
DE CULTIVO MISTO VISANDO A PRODUÇÃO DE CELULOSE**

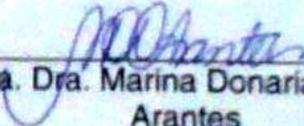
Gilson Barbosa São Teago

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.

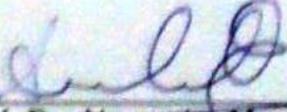
Aprovada em 31 de Agosto de 2012.



Prof. Dr. Juarez Benigno Paes
UFES
Membro Interno



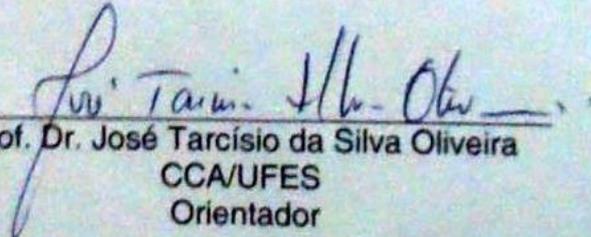
Profa. Dra. Marina Donária Chaves
Arantes
UFES
Membro Interno



Prof. Dr. Alexandre Monteiro de
Carvalho
UFRRJ
Membro Externo



Profa. Dra. Graziela Baptista Vidaurre
UFES
Coorientadora



Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira
CCA/UFES
Orientador

A “Deus” e seus anjos por sua
proteção.

A meus amigos e familiares, em
especial aos meus filhos Pedro e
Henrique.

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a “Deus” e seus anjos por sua proteção e por permitir a realização de mais esta importante etapa.

A Universidade Federal do Espírito Santo (UFES), ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais (PPGCF), ao Departamento de Ciências Florestais e da Madeira (DCFM), ao Laboratório de Ciência da Madeira (LCM).

A Empresa Celulose Nipo Brasileira S/A (CENIBRA), por ceder o material para estudo, assim como todas as informações necessárias para a realização deste trabalho, especialmente, aos funcionários Dra. Elizabete Keiko Takahashi, Everton Souza e Gilson Santos Gaudereto.

Ao Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira, por ser mais que orientador, um amigo e exemplo a ser seguido. Sua disponibilidade, empenho e dedicação foram fundamentais e a ele deixo o meu profundo agradecimento.

A Profa. Dra. Graziela Baptista Vidaurre por sua colaboração na pesquisa, disponibilidade e coorientação neste trabalho.

Ao Prof. Dr. Juarez Benigno Paes pela amizade, disponibilidade, orientação e grande auxílio nas análises estatísticas.

Ao Dr. Antonio Marcos Rosado, pelo auxílio e disponibilidade.

Ao Técnico Calebe Izidoro Pereira, ao Marceneiro Elecy Constantino, ao Laboratorista José Geraldo Lima de Oliveira e ao Chefe do Departamento Professor Dr. Nilton Cesar Fiedler.

A todos que direta ou indiretamente colaboraram para realização deste trabalho.

Aos meus amigos e família, em especial a minha esposa Lubia, pela compreensão e apoio.

“As ciências têm as raízes amargas, porém, os frutos são doces.”
(Aristóteles).

BIOGRAFIA

Gilson Barbosa São Teago, filho de Araciaba São Teago e Sandra Maria Whith Barbosa, nasceu em Cachoeiro de Itapemirim - ES em 09 de abril de 1983.

Cursou o Segundo Grau na Escola Agrotécnica Federal de Alegre, atual Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, em Alegre – ES, concluindo o ensino médio juntamente com o Curso Técnico em Agropecuária no ano de 2000.

Em 2002, ingressou no Curso de Engenharia Agrônômica da Universidade Federal do Espírito Santo, graduando-se em agosto de 2006.

Em julho de 2008, ingressou como Técnico em Laboratório na Universidade Federal do Espírito Santo, sendo lotado no Laboratório de Ciência da Madeira.

Em agosto de 2010, ingressou no curso de Pós-graduação em Ciências Florestais, em nível de Mestrado, Área de Concentração em Ciências Florestais e linha de pesquisa Tecnologia de Produtos Florestais, concluindo os requisitos necessários à obtenção do título de “Magister Scientiae” em Ciências Florestais em agosto de 2012.

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	1
1.1.	OBJETIVO GERAL.....	2
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1.	QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE.....	3
2.1.1.	Teores de casca, alburno e cerne	4
2.1.2.	Massa específica básica da madeira	6
2.1.3.	Composição química da madeira.....	9
2.1.4.	Anatomia da madeira	11
2.1.4.1.	Anatomia dos vasos	11
2.1.4.2.	Anatomia das fibras	12
2.2.	O EUCALIPTO NA PRODUÇÃO DE CELULOSE	14
2.2.1.	O híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i> (<i>E. urograndis</i>).....	16
2.3.	A <i>Acácia mangium</i>	18
2.4.	PLANTIO MISTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS	21
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	25
3.1.	PROCEDÊNCIA DO MATERIAL	25
3.2.	AMOSTRAGEM	28
3.3.	DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CASCA, CERNE E ALBURNO.....	29
3.4.	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA	30
3.5.	ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA.....	32
3.6.	DESCRIÇÃO ANATÔMICA QUANTITATIVA	33
3.7.	ANÁLISE DOS DADOS.....	34
4.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1.	TEORES DE CASCA, ALBURNO E CERNE:.....	35
4.1.1.	<i>Acacia mangium</i>	35
4.1.2.	Híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	39
4.2.	MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA	43
4.2.1.	<i>Acacia mangium</i>	43
4.2.2.	Híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	47
4.3.	ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA	53
4.3.1.	<i>Acacia mangium</i>	53
4.3.2.	Híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	56
4.4.	ANATOMIA QUANTITATIVA DAS MADEIRAS.....	60
4.4.1.	Elementos de vaso de <i>Acacia mangium</i>	60
4.4.2.	Elementos de vaso do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	63
4.4.3.	Elementos fibrosos de <i>Acacia mangium</i>	68
4.4.4.	Elementos fibrosos do híbrido <i>E. grandis</i> x <i>E. urophylla</i>	74
5.	CONCLUSÕES.....	82
6.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	85
	APÊNDICES.....	96

RESUMO

SÃO TEAGO, Gilson Barbosa. **Qualidade das madeiras de acácia e eucalipto provenientes de cultivo misto visando a produção de celulose.** 2012. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal do Espírito Santo, Jerônimo Monteiro - ES. Orientador: Prof. Dr. José Tarcísio da Silva Oliveira. Coorientadora: Prof^a. Dra. Graziela Baptista Vidaurre.

O setor de papel e celulose possui grande importância no cenário brasileiro e suas principais fontes de matéria prima são as florestas de eucalipto e pinus. Portanto, é estratégico a investigação de matérias-primas alternativas que possam no futuro compor misturas com o eucalipto ou até mesmo substituí-lo. A *Acacia mangium* vem sendo utilizada com bom rendimento e qualidade de polpa e poderá ser alternativa em plantios simples ou mistos. Contudo, a literatura carece de estudos sobre a influência dos cultivos mistos nas propriedades das madeiras. Desta forma, o presente estudo teve como objetivo avaliar as propriedades das madeiras de *A. mangium* e de um híbrido de eucalipto, com seis anos de idade, plantados em monocultivo, com e sem fertilização nitrogenada, e em diferentes proporções de cultivo misto na região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais. Avaliou-se a variabilidade longitudinal da massa específica básica e dos teores de casca, cerne e alburno, a variabilidade radial de vasos e fibras em três posições no DAP e composição química no DAP. Para a madeira de *A. mangium* os resultados indicaram tendência de elevação no teor de alburno com o aumento da proporção de *A. mangium* no plantio misto; maiores teores de casca na base e no topo; maiores valores de massa específica básica na base do tronco, diminuindo até 25% da altura comercial e permanecendo constantes até o topo; massa específica básica da árvore não sendo influenciada pelos tratamentos; para as propriedades químicas, apenas a lignina solúvel foi influenciada pelos tratamentos; vasos de tamanho médio, pouco numerosos e com diâmetro aumentando no sentido medula-casca; fibras com paredes delgadas e comprimento variando de muito curto a curto, o comprimento e espessura da parede aumentaram no sentido medula-casca, ao contrário da largura e do diâmetro do lume; menores comprimentos de fibra e maior heterogeneidade das dimensões perpendiculares foram observados no monocultivo. Para a madeira do híbrido de eucalipto os resultados indicam teores de casca decrescendo da base até a metade do fuste e voltando a crescer até o topo; maiores valores de massa específica básica por árvore nos tratamentos em plantio simples e variação longitudinal desta propriedade sem padrão definido; tendência de ocorrerem maiores teores de lignina e menores de extrativos nos tratamentos em cultivo simples; vasos pequenos e pouco numerosos com menores diâmetros de vaso nos tratamentos em monocultivo e aumento do diâmetro dos vasos no sentido medula-casca; fibras com paredes espessas e comprimentos variando de muito curto a curto, o comprimento, a largura e a espessura da parede das fibras aumentaram no sentido medula-casca.

Palavras-chave: propriedades, madeira, *Acacia mangium*, híbrido de eucalipto, celulose.

ABSTRACT

SÃO TEAGO, Gilson Barbosa. **Quality of acacia and eucalyptus wood from mixed culture aiming the production of cellulose**. 2012. 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 pulp and paper sector have great importance in Brazilian economy and their main sources of fiber are the forests of eucalypt and pine. Thus, it is strategic to research alternative fiber sources that might in the future make mixtures with eucalypt or even replace it. *Acacia mangium* has been used with good yield and quality of pulp and might be used an alternative source of fiber in simple or mixed stands. However, the literature lacks studies about the influence of mixed cultures on the properties of wood. In this way, this study aimed to evaluate the properties of wood of *A. mangium* and an eucalypt hybrid, both six years old, planted in monoculture and mixed stands in different proportions of the Rio Doce Valley, Minas Gerais state, Brazil. Were evaluated the specific gravity and content of bark, heartwood and sapwood, both along the stem, the radial variability of the vessels and fibers in three positions of DBH and chemical properties in DBH. For the acacia timber the results show a tendency to increase the content of sapwood with increasing proportion of *A. mangium* in the mixed stand; higher levels of bark at the base and top of the stem, higher specific gravity values at the base of the trunk, decreasing to 25% of commercial height and remaining constant up to the top; basic density of the tree is not influenced by treatments, for chemical properties, only the soluble lignin was influenced by the treatments; medium size vessels, few in number and with increasing diameter from pith to bark, fibers with thin walls and length ranging from very short to short in length and wall thickness increasing and the width and thickness of the heat decreasing from pith to bark. For the wood of the hybrid, results indicated decreasing levels of bark from the base to half the trunk and returning to climb to the top, higher specific gravity values for tree planting in treatments simple and longitudinal variation of this property with no defined pattern; tendency to occur higher lignin content and lower extractives content in the treatments in monoculture, small vessels and few in number with smaller vessel sizes in the treatments in monoculture and increase in vessel diameter from pith to bark, fibers with thick walls and lengths ranging from very short to short, the length, width and wall thickness of the fibers increased from pith to bark.

Keywords: properties, wood, *Acacia mangium*, hybrid eucalypt, cellulose pulp.

1. INTRODUÇÃO

O setor de celulose e papel é de grande importância no cenário econômico brasileiro, possuindo uma cadeia de produção complexa que abrange as etapas de reflorestamento, produção de madeira, celulose e papel, conversão do papel em artefatos e reciclagem. Cada uma destas etapas contém subdivisões, geram receitas, impostos e necessitam de mão de obra.

De acordo com a Associação Brasileira de Celulose e Papel - BRACELPA (2011), há no Brasil 2,2 milhões de hectares de florestas plantadas para fins industriais, 2,0 milhões de hectares de área florestal certificada econômica, social e ambientalmente. O setor investiu US\$ 12 bilhões nos últimos 10 anos e para o ano de 2010 os números corresponderam a US\$ 6,8 bilhões em exportações, US\$ 4,9 bilhões de saldo comercial, R\$ 2,2 bilhões em impostos, 115 mil empregos diretos (indústria 68 mil, florestas 47 mil) e 575 mil empregos indiretos.

As duas principais fontes de matéria-prima utilizadas pelo setor são as florestas plantadas de eucalipto e pinus, responsáveis por 81,6% e 17,2% da área plantada, respectivamente (BRACELPA, 2009). Desta forma, é estratégico para as empresas de celulose a investigação de outras fontes de matérias-primas, que possam vir no futuro compor misturas com o gênero eucalipto ou até mesmo substituí-lo no abastecimento das fábricas.

Nesse sentido, a espécie *Acacia mangium*, vem sendo utilizada como matéria-prima para produção de celulose em algumas regiões do mundo, principalmente na Ásia, podendo ser considerada uma espécie promissora para o setor no Brasil, pois tem demonstrado capacidade de competir com a celulose de eucalipto, destacando a boa qualidade da polpa, notadamente para características como opacidade, maciez e formação do papel, além de um bom rendimento em celulose, sendo também uma possibilidade o seu uso em misturas com madeira de eucalipto (PAPER INDUSTRY TECHNICAL ASSOCIATION - PITA, 2005).

Além do potencial já mencionado referente à qualidade da matéria-prima para ser introduzida na composição do suprimento lenhoso na fábrica de celulose, *A. mangium* poderá ser uma alternativa aos programas de fomento,

principalmente para os pequenos produtores, uma vez que, em plantios simples ou mistos juntamente com eucalipto, poderá constituir em fonte de renda, inclusive com a comercialização de “subprodutos” como tanino e produtos apícolas. Tal diversificação é recomendável sob o aspecto ambiental, principalmente quanto à conservação dos solos e econômico pela diversificação de produtos e até mesmo aumento da produtividade (SILVA, 2008).

Apesar do eucalipto já ter sua aptidão para produção de celulose comprovada e a *A. mangium* ser uma espécie promissora, segundo Revista da Madeira - REMADE - (2003a), as árvores são organismos vivos e sensíveis a mudanças no ambiente, ou seja, as características do sítio e adoção de diferentes práticas de manejo podem influenciar nas propriedades da madeira. Contudo, a literatura carece de estudos sobre a influência dos cultivos mistos sobre as propriedades das madeiras de ambas as espécies. O cultivo misto ou plantio misto, segundo Foelkel (2008), são duas culturas florestais mescladas na mesma área.

1.1. OBJETIVO GERAL

O presente estudo teve como objetivo principal avaliar as propriedades das madeiras de *A. mangium* e de um híbrido clonal *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, sob diferentes níveis de cultivo misto, cultivadas na região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais, para produção de celulose e estudar a influência dos diferentes níveis de cultivo misto nas propriedades de ambas as madeiras.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Estudar a variabilidade longitudinal da massa específica básica e dos componentes do tronco (casca, cerne e alborno) nas madeiras de acácia e eucalipto; estudar a variabilidade radial dos elementos anatômicos das madeiras de acácia e eucalipto no diâmetro à altura do peito (DAP), 1,30m do solo, e estudar a composição química das madeiras de acácia e eucalipto na altura do DAP.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. QUALIDADE DA MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE CELULOSE

A qualidade da madeira pode ser definida como a combinação de características físicas, químicas, anatômicas e estruturais da árvore ou de suas partes que levam a um máximo de aproveitamento e uma melhor utilização para determinado fim (ANTUNES, 2009). Contudo, é importante o entendimento da amplitude das variações das propriedades e, portanto da qualidade da madeira entre e dentro dos diferentes gêneros, espécies e até mesmo dentro de uma mesma árvore. Essas variações estão relacionadas, além do material genético, com as diferenças no manejo, idade de corte e porção da árvore a ser utilizada.

De acordo com Thomaz (1995), a madeira é um material heterogêneo, com grandes variações nas propriedades químicas, físicas e anatômicas entre espécies e dentro da mesma espécie, principalmente, em função da idade, genética e ambiente. Dentro de uma mesma árvore ocorrem variações significativas no sentido base-topo e medula-casca. Além disto, existem diferenças entre o cerne e o alburno, madeira de início e fim de estação de crescimento e, em escala microscópica, entre células individuais.

A produção de celulose baseia-se em uma matéria-prima desuniforme em massa específica básica, porosidade, composição química, dimensões dos elementos anatômicos, entre outros parâmetros. Mesmo celuloses obtidas a partir de florestas de clones são produzidas com madeiras de propriedades que possuem significativa variabilidade e precisam ser bem conhecidas, entendidas, compensadas e absorvidas para a otimização do processo produtivo (FOELKEL, 2009a).

A massa específica básica é considerada uma das principais características de avaliação de qualidade, possui relação com outras propriedades e facilidade de amostragem e mensuração. Contudo, além da massa específica básica, outros parâmetros devem ser considerados para a caracterização da qualidade da madeira, como as características das fibras e vasos, bem como a composição química (BARRICHELO; BRITO; COUTO, 1983).

A avaliação da madeira para produção de celulose deve levar em conta o número e o arranjo dos tecidos lenhosos constituintes, além de considerar o comprimento da fibra e a espessura da parede celular, sem esquecer que outras características da madeira, como a constituição química, influenciam a qualidade da celulose. A massa específica da madeira, comprimento de fibra e espessura da parede celular são parâmetros fáceis de serem mensurados e por isso são intensivamente empregados na avaliação da qualidade das madeiras (FOELKEL; BARRICHELO, 1975).

2.1.1. Teores de casca, alburno e cerne

O tronco e os galhos das árvores são formados principalmente pelos tecidos vasculares do xilema e floema secundários e pela periderme que é o tecido de revestimento secundário. Em outras palavras, o xilema secundário corresponde à madeira, a periderme e o floema secundário correspondem à casca (SANTOS, CECCANTINI, 2004).

A casca protege a árvore contra agentes externos e é dividida em camada externa composta de células mortas denominada ritidoma e camadas internas formadas por tecidos vivos, tenros e úmidos que compreendem o floema e a região cambial (SZÜCS et al., 2005).

A madeira ou xilema secundário é dividida em alburno e cerne. O alburno é uma região normalmente mais clara, localizado externamente logo sob a casca, permeável, constituído por tecido mais jovem e células ativas fisiologicamente, possui baixa resistência ao ataque de organismos xilófagos, cumpre com a função principal de condução de água e sais minerais. O cerne é a camada mais interna que perdeu sua atividade fisiológica, exercendo apenas com a função de sustentação, geralmente possui coloração mais escura, tende a armazenar resinas, taninos e outras substâncias de alto peso molecular, que o tornam mais escuro e com maior resistência a agentes biológicos. Podendo também ocorrer a formação de tiloses nos vasos, obstruindo total ou parcialmente o lume dos mesmos e propiciando uma baixa permeabilidade (COSTA, 2001).

O alburno fornece suporte ao tronco, conduz a seiva bruta até as folhas e armazena substâncias. O cerne, por outro lado, não armazena, não realiza condução de seiva, funcionando somente como suporte (CARNEIRO, 2003).

Na década de 1970 a casca chegou a ser cogitada como fonte de fibras para produção de celulose (FOELKEL, 1977). Contudo, ocorriam problemas como necessidade de maior quantidade de reagentes, menor rendimento, aumento no teor de rejeitos e entupimento de filtros, dificuldade de eliminação da “sujeira” na celulose e diminuição em suas propriedades físico-mecânicas (FOELKEL, 1978). Atualmente, vale o conceito da casca não possuir qualidade para produção de papel, devendo ser removida, porém, esta ainda é uma importante fonte de energia tendo potencial para produção de biocombustíveis (BRAGATTO, 2012) e tanino, para a acácia, (SILVA, 2008).

Segundo Foelkel (2005), a casca de eucalipto, em relação à madeira, é pobre em fibras, celulose e lignina, e rica em parênquima, células de súber, cinzas e extrativos em água e soda. Como consequência, a casca é um material que conduz a baixos rendimentos em celulose (entre 30 a 40%), demanda alto consumo de químicos no cozimento e conduz a polpas de baixíssimas alvuras (entre 12 a 20%). Aumentar o cozimento para melhorar essas propriedades, reduziria a viscosidade em função da degradação das fibras naturalmente mais frágeis, resultando na produção de celulose com baixa resistência mecânica.

Segundo o mesmo autor, o maior problema da casca é a contaminação dos cavacos de madeira pela mesma e as consequências associadas a isto, uma vez que, a cada 1% de massa de casca nos cavacos; há elevação entre 0,15 a 0,25% no álcali ativo consumido no cozimento; redução de 0,15 a 0,25% no rendimento em celulose (base madeira); tendência de elevação do número Kappa em 0,3 a 0,4 unidades; 14 a 18 kg a mais de sólidos secos no licor por tonelada seca ao ar de celulose marrom depurada; aumento de 0,025 a 0,085% no cloro ativo total consumido no branqueamento, mesmo com a tentativa de correções para equivalência de número kappa no digestor e na deslignificação com oxigênio.

Foelkel (1977), relatou diferenças marcantes entre cerne e alburno quanto a penetração do licor, principalmente, em função da presença de

extrativos incrustantes e de tiloses. No alburno o licor impregna primeiro nos vasos, passando aos raios pelas pontoações, dos raios o licor penetra no interior das fibras pelas pontuações.

Segundo Mauri (2010), quanto maior o percentual de alburno na árvore, melhor será a sua capacidade de impregnação e mais fácil será o branqueamento da polpa celulósica, enquanto maiores teores de cerne poderiam causar efeito inverso. Com relação à casca, deseja-se o menor percentual possível, uma vez que a mesma não é adequada à produção de polpa celulósica.

O cerne de *Eucalyptus globulus*, com 18 anos de idade, comparativamente com o alburno é caracterizado por conter maior teor de extrativos totais (9,8% vs. 3,9%), ser mais amarelado, porém, apresenta teor de lignina total semelhante (cerca de 24%), apresentar menores rendimentos (52,4% vs. 56,4%) e maior teor em lignina residual (3,0% vs. 1,2%) ao longo do processo de deslignificação e apresentar coloração mais escura (LOURENÇO; GOMINHO; PEREIRA, 2009).

Arango Alzate (2004) observou grande homogeneidade entre e dentro de clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, com oito anos de idade, para os teores de casca, cerne e alburno. Observou também teores de casca mais elevados na base e no topo do fuste e que o teor de cerne diminuiu da base para o topo.

Para *A. mangium* o teor de cerne e de casca tendem a diminuir da base para o topo (MOYA; MUÑOZ, 2010). As árvores de *A. mangium* formam cerne rico em extrativos, entretanto, em árvores jovens, idades em que são colhidas as árvores comerciais para produção de celulose, a cernificação ainda não ocorreu de forma intensa a ponto de densificar a madeira pela grande formação de tiloses (FOELKEL, 2012).

2.1.2. Massa específica básica da madeira

Quando se pretende avaliar a qualidade da madeira, a massa específica é uma das principais características a serem consideradas, pois está relacionada com fatores tecnológicos e econômicos importantes, por exemplo, contração, inchamento, resistência mecânica, rendimento e a qualidade do

carvão, o rendimento e a qualidade da polpa celulósica (PEREIRA et al., 2000). A massa específica básica é um dos parâmetros de qualidade da madeira mais utilizados e tem alta correlação com o rendimento na produção de celulose (CARVALHO; NAHUZ, 2004).

Segundo Foelkel (1978), apenas pela determinação da massa específica básica é possível estimar se uma madeira tem potencial celulósico, embora não dê para definir a qualidade da celulose resultante.

De acordo com Morfienski et al. (2003) a massa específica básica, juntamente com aporte volumétrico e o rendimento do processo de polpação são as características de maior impacto na capacidade e custo de produção, sendo a massa específica básica a característica que exerce maior influência na qualidade da polpa. Contudo, esta varia radial e longitudinalmente numa mesma árvore, entre árvores da mesma espécie, entre espécies, idade, espaçamento e local dos plantios.

A massa específica básica influencia no custo da celulose produzida, no rendimento do processo industrial e na qualidade das polpas e dos papéis. A massa específica básica recomendada para produção de celulose encontra-se entre 0,45 a 0,55 g.cm⁻³ (BARRICHELO; FOELKEL; MILANEZ, 1975, FOELKEL; MORA; MENOCELLI, 1992, REMADE, 2001) com valores limites entre 0,45 e 0,65g.cm⁻³ (FOELKEL; MORA; MENOCELLI, 1992).

Valores abaixo de 0,40 g.cm⁻³ indicam baixa opacidade, baixa resistência ao rasgo, alto teor de vasos de grandes dimensões ou alto teor de parênquima. Contudo, há uma melhor impregnação do licor, melhor deslignificação e melhora nas propriedades de resistência dependentes da ligação fibra-fibra, estouro, tração e dobramento (FOELKEL, 1978).

A influência da utilização de madeiras mais densas nos custos de produção é justificada em função do manuseio de menor volume de toras e cavacos para uma mesma quantidade de massa e pelo melhor aproveitamento da capacidade do digestor, que é limitada volumetricamente. O aumento da massa específica básica, no entanto, é acompanhado por uma maior dificuldade de picagem das toras, maior desgaste das facas, maior proporção de cavacos de maiores dimensões, dificuldade na impregnação com licor, menor produção de polpa depurada e maior teor de rejeitos na polpação.

Madeiras com baixa massa específica, por outro lado, possuem menor rendimento de polpa por volume de madeira, maior consumo de reagentes, baixos rendimentos na polpação e elevados teores de rejeitos (REMADE, 2001).

Valores de massa específica básica acima do limite indicam alto consumo de reagentes, baixa resistência ao dobramento e boa resistência ao rasgo (FOELKEL, 1978). Como alternativa para o processamento de madeiras muito densas, massa específica básica superior a $0,7 \text{ g.cm}^{-3}$, deve-se produzir cavacos de pequenas dimensões, 2,0 a 4,0 mm de espessura e 1,5 a 2,0 cm de comprimento (FOELKEL, 2009b).

Barrichelo, Brito e Migliorini (1982), descreveram que é importante o estudo da variabilidade da massa específica básica dentro da árvore, uma vez que esta varia no sentido radial e longitudinal, dentro da árvore, entre espécies e entre gêneros.

As variações na massa específica ao longo do tronco são menos consistentes que aquelas na direção radial. A proporção de madeira juvenil na direção longitudinal do caule tende a aumentar e a diminuição da massa específica é o resultado imediato (TRUGILHO; LIMA; MENDES, 1996).

Para as árvores de eucalipto, Barrichelo, Brito e Couto (1983) mencionaram que a massa específica básica tende a ser elevada na base, com diminuição até 25% da altura comercial e nova elevação nos valores a partir deste ponto. Entretanto, Souza e Barrichelo (1985) e Shimoyama (1990) observaram que os modelos de variação da massa específica básica dentro da árvore são diversos entre as espécies.

Alencar (2009) ao estudar quatro materiais genéticos de *A. mangium* com cinco anos de idade, encontrou valores de massa específica básica entre $0,36$ e $0,44 \text{ g.cm}^{-3}$ e tendência de valores mais elevados na base da árvore e decréscimo ao longo do fuste até atingir o topo.

Alencar (2002) salientou que as características anatômicas da madeira, tais como comprimento da fibra, espessura da parede, diâmetro do lume, proporção dos vários tipos de células e tecidos, possuem relação com a massa específica básica.

2.1.3. Composição química da madeira

Quimicamente, a madeira se caracteriza por ser um material constituído por compostos de elevados graus de polimerização e pesos moleculares, tais como celulose, hemicelulose, lignina e extrativos (DUARTE, 2007).

Segundo Barrichelo e Brito (1979), os componentes químicos da madeira podem ser divididos em componentes fundamentais e acidentais. Os primeiros são compostos orgânicos que aparecem em toda e qualquer madeira sem os quais a mesma perde sua identidade, são representados pela lignina e pela holocelulose, esta última compreende a celulose e as hemiceluloses. Componentes acidentais são compostos orgânicos e inorgânicos (extrativos e compostos minerais) não essenciais para a estrutura das paredes celulares e lamela média.

A celulose é o principal componente da parede celular dos vegetais, perfazendo aproximadamente a metade das madeiras tanto de coníferas, como de folhosas. Pode ser brevemente caracterizada como um polímero linear de alto peso molecular, constituído exclusivamente de unidades de β -D-glicose. Na parede celular mantém estreita relação com as hemiceluloses, estas possuem cadeias moleculares muito mais curtas que a celulose, podem conter grupos laterais e ramificações e são constituídas principalmente de açúcares neutros como as hexoses, glicose, manose e galactose e as pentoses, xilose e arabinose (KLOCK et al., 2005).

Dadas as diferenças estruturais entre a celulose e hemiceluloses, estes compostos comportam-se de maneira distinta frente à hidrólise. A ação de ácidos diluídos a quente é eficiente sobre as hemiceluloses e sobre pequena fração da celulose, resultando assim, o conceito de “polissacarídeos de fácil hidrolisação” (PFH). Por outro lado, a hidrólise da celulose só é conseguida utilizando-se ácidos inorgânicos concentrados, sendo a mesma considerada o principal componente dos “polissacarídeos de difícil hidrolisação” (PDH) (PEREIRA et al., 2000).

As moléculas de lignina são completamente diferentes dos polissacarídeos, pois são constituídas por um sistema aromático composto de

unidades de fenilpropano. Morfologicamente a lignina é uma substância amorfa localizada na lamela média, bem como na parede secundária. Durante o desenvolvimento das células, a lignina é incorporada como o último componente na parede, interpenetrando as fibrilas e assim fortalecendo e enrijecendo as paredes celulares (KLOCK et al., 2005).

Extrativos são compostos considerados não essenciais para a estrutura das paredes celulares e lamela média. São solúveis em água ou outros solventes orgânicos neutros. Entre os extrativos, citam-se os terpenos, as resinas, os óleos voláteis, as graxas, as ceras e os taninos (PEREIRA et al., 2000).

Os parâmetros químicos como teores de celulose, lignina, pentosanas e extrativos têm sido considerado relevantes na avaliação da qualidade da madeira para produção de polpa celulósica e papel. Normalmente são relacionados com os aspectos quantitativos de rendimento e consumo de produtos químicos (DUARTE, 2007).

Para Foelkel (1977), a natureza química da madeira está relacionada à facilidade na polpação e branqueamento da polpa celulósica, sendo de grande importância seu conhecimento.

Almeida (2003), destacou que o teor de holocelulose está relacionado ao rendimento do processo de polpação, facilidade no refino e na melhoria das propriedades de resistência físico-mecânica da polpa.

Para a produção de celulose por meio de processos químicos, a lignina é um constituinte prejudicial. Durante as operações de cozimento e branqueamento, procura-se removê-la, tanto quanto possível, sem causar danos consideráveis às fibras (PEREIRA et al., 2000). Madeiras com maior teor de lignina podem exigir maior quantidade de álcali para atingir níveis desejáveis de deslignificação no processo de polpação kraft. Causando uma maior degradação dos carboidratos, redução no rendimento, queda de viscosidade e resistência física da polpa celulósica e elevação da quantidade de sólidos para queima em caldeira de recuperação (ALENCAR, 2002).

Tem-se como consenso, que os teores de extrativos e lignina da madeira se correlacionam negativamente com o rendimento do digestor e com o consumo de álcali (REMADE, 2001; ALMEIDA, 2003).

Os extrativos possuem características prejudiciais à qualidade do papel, pois provocam formação de incrustações em equipamentos e pontos escuros, “pitch”, no papel (FERREIRA et al., 2006). Para a produção de celulose por meio de processos químicos, os extrativos são compostos indesejáveis, reduzindo o rendimento e prejudicando a qualidade da polpa (PEREIRA et al., 2000).

Gomide et al. (2005), ao pesquisarem dez clones de eucalipto pertencentes às principais empresas brasileiras de celulose encontraram teores variando de 1,76 a 4,13% para extrativos em álcool:tolueno (1:2); 27,5 a 31,7% para lignina total e valores entre 64,5 e 70,2% para holocelulose.

Alencar (2009), ao estudar quatro materiais genéticos de *A. mangium*, com cinco anos de idade, cultivada no Estado de São Paulo, encontrou variação de 5,93 a 9,66% para extrativos totais; 1,40 a 2,36% para lignina solúvel; 23,39 a 24,77 para lignina insolúvel; 24,79 a 26,83 para lignina total e 63,51 a 68,09 para holocelulose.

2.1.4. Anatomia da madeira

A variação das dimensões dos elementos anatômicos do lenho tem um efeito marcante sobre a qualidade da madeira e o produto final (ROCHA; FLORSHEIM; COUTO, 2004). Desta forma, a identificação e a caracterização dos elementos anatômicos possibilitam conhecer melhor o universo da madeira e assim, direcionar de forma adequada o seu uso (MONTEIRO, 1996).

2.1.4.1. Anatomia dos vasos

Os vasos são os elementos responsáveis pela condução da seiva bruta no xilema dos vegetais e possuem uma forma semelhante a um tubo, curto e largo. Conhecer sua frequência e dimensões é justificado, uma vez que, madeiras com vasos de grandes diâmetros e abundantes não são desejados na fabricação de papéis de imprimir e escrever (FOELKEL, 1978).

Durante o processo de impregnação dos cavacos, é importante que os vasos não estejam obstruídos por tilas, gomas, resinas ou ainda óleos resinas (FOELKEL, 1977, BURGER; RICHTER, 1991). Sua presença nas

madeiras de folhosas favorece o processo de impregnação dos cavacos pelo licor de cozimento. Além disto, a comunicação dos vasos com as células adjacentes por meio das pontuações permite que o licor de cozimento utilize essas vias de acesso. Por essas razões, a penetração e impregnação dos cavacos de folhosas pelo licor de cozimento é favorecida em madeiras com elevada quantidade de vasos e baixa massa específica. Com isto, tais madeiras podem ser mais facilmente deslignificadas, possuem maiores rendimentos gravimétricos e menores teores de rejeitos (FOELKEL, 2007).

Quando a penetração do licor é deficiente a celulose apresenta alto teor de rejeitos, a coloração fica escura e o branqueamento dificultado (FOELKEL, 1977). Contudo, apesar de auxiliar no processo de impregnação dos cavacos, madeiras com vasos de grandes dimensões podem provocar um defeito conhecido como arrebetamento ou arrepelamento de vasos (“vessel pincking”) quando são usados na fabricação de papéis para impressão. No Brasil o grau de refinação para fabricação de polpas de eucalipto é elevado, entre 35 a 45° Schopper Riegler, com isso os elementos de vaso ficam bem danificados e colapsados, minimizando o “vessel pincking” (FOELKEL, 2007).

Segundo Antunes (2009), os vasos da madeira de *A.mangium* possuem diâmetro tangencial de 120 a 160 μm e frequência de 4 a 9 vasos mm^{-2} . Sahri, Ibrahim e Shukor (1993), observaram frequência de 5 a 8 vasos mm^{-2} e diâmetro de 91 a 188 μm para *A.mangium* com quatro e oito anos de idade.

Segundo Silva et al. (2007), o diâmetro dos vasos estão positivamente correlacionados com a posição radial no sentido medula-casca em madeira de *Eucalyptus grandis*. Para a idade de dez anos encontraram 77,9; 122,5 e 136,6 μm para as posições próximas à medula, metade do raio e próximo à casca, respectivamente.

2.1.4.2. Anatomia das fibras

As fibras são os elementos anatômicos mais abundantes em massa e em volume na madeira de folhosas, caracterizam-se por possuir elevada relação comprimento:largura, por volta de 40 a 60, para as espécies de

eucalipto. São por isso mesmo, elementos alongados e estreitos, ocios em seu interior pela presença de um lume. São definitivamente os elementos mais desejados e abundantes em qualquer polpa de celulose destinada fabricação de papel (FOELKEL, 2009c).

As fibras de eucalipto têm seu comprimento variando de 0,75 a 1,30mm, com média próxima de 1,0 mm. Os parâmetros usualmente considerados nos estudos tecnológicos das fibras são definidos por quatro dimensões fundamentais, comprimento, largura, diâmetro do lume e a espessura da parede. A partir desses valores, podem ser calculados coeficientes, relacionando as dimensões entre si, com determinações importantes nas propriedades da celulose e do papel (REMADE, 2001).

As fibras de *A. mangium* são ligeiramente mais curtas do que as dos eucaliptos e com paredes mais delgadas. Fibras de árvores adultas possuem comprimento variando entre 0,75 a 1,1 mm, largura de 15 a 20 μm e espessura da parede celular entre 2,5 a 3,5 μm (FOELKEL, 2012).

Fibras com maior fração parede e menor coeficiente de flexibilidade têm maior potencial de resistência, entretanto, uma fração parede demasiadamente alta, poderá resultar em deficiência nas ligações interfibras, diminuindo a resistência mecânica do papel. Uma menor fração parede e maior coeficiente de flexibilidade poderão representar maior achatamento durante a formação do papel, o que é desejável para fabricação de papéis de imprimir e escrever. Portanto, polpas de fibras com menores espessuras de paredes celulares e maior diâmetro de lume possuem maior potencial de colapso e menor potencial para drenagem em máquina de celulose e papel (FERREIRA et al., 2006).

O diâmetro das fibras, diâmetro do lume e a espessura da parede conferem características importantes para a fabricação do papel, pois estão relacionadas à capacidade de colapsamento das fibras, sendo mais fácil ocorrer em fibras delgadas quando submetidas a prensagem. Fibras com paredes delgadas e maiores diâmetros são características de madeira de menor massa específica. São, portanto mais suscetíveis ao colapso, favorecendo as ligações entre fibras e possuindo maior facilidade de refino na fabricação de papel (ANTUNES, 2009).

Segundo Silva et al. (2007), a largura, o diâmetro do lume e espessura da parede das fibras estão positivamente correlacionados com a posição radial no sentido medula-casca em *Eucalyptus grandis* com dez anos de idade, tendo encontrado 17,82; 20,93 e 22,29 μm para largura de fibra, 11,61; 13,85 e 14,63 μm para diâmetro do lume e 3,01; 3,27 e 3,83 μm para espessura da parede das fibras, respectivamente, nas posições próximas à medula, metade do raio e próximo à casca

Para *A. mangium* com seis anos de idade plantada na Indonésia, Antunes (2009) obteve 16,0 μm para largura de fibra, 9,6 μm para diâmetro de lume e espessura de parede de 3,2 μm .

2.2. O EUCALIPTO NA PRODUÇÃO DE CELULOSE

O nome eucalipto deriva do grego eu (bem) e kalipto (cobrir), referindo-se à estrutura globular arredondada de seu fruto, caracterizando o opérculo que protege bem as suas sementes. É nativo da Austrália, onde cobre 90% da área do país. O Serviço Florestal da Austrália já identificou 670 espécies e apenas duas delas, *Eucalyptus urophylla* e *E. deglupta*, têm ocorrência natural fora do território australiano. Além do elevado número de espécies, existe também, um número muito grande de variedades e híbridos (BERTOLA, 2004).

É difícil afirmar com segurança, a data da introdução do eucalipto no Brasil, mas há evidências de que as primeiras árvores teriam sido plantadas em 1825, no Jardim Botânico do Rio de Janeiro. No início era plantado basicamente como árvore decorativa ou quebra-vento (PEREIRA et al., 2000).

A expansão do eucalipto deve-se à Companhia Paulista de Estradas de Ferro e ao Dr. Edmundo Navarro de Andrade, que em 1904, instalou os primeiros experimentos de natureza silvicultural para determinar essências capazes de fornecer madeira e lenha para suprir as necessidades da ferrovia. Após seis anos de estudos comparativos entre essências exóticas e nativas, no Horto Florestal de Jundiaí, chegou a conclusão de que o eucalipto era a essência que deveria ser plantada em larga escala (BERTOLA, 2004).

Apesar da grande variabilidade presente no gênero, algumas características são comuns. O alburno é delgado, com menos de 3,0 cm de

espessura e coloração clara, o cerne possui cor variando do amarelado até vários tons pardos, pardo-avermelhados e vermelhos. A madeira possui pouco brilho, grã direita à revessa, textura fina a média, cheiro e gosto indistintos. A massa específica aparente varia desde as mais leves, passando a média até àquelas pesadas, com valores variando de aproximadamente 0,40 a 1,20 g.cm⁻³. O gênero se caracteriza por uma constituição anatômica muito homogênea, portanto, de difícil separação entre as espécies (DADSWELL, 1972; REMADE, 2003b).

As árvores de eucalipto apresentam excelentes aspectos silviculturais, rápido crescimento, fácil plantio e manejo, baixa necessidade de poda, pois crescem de maneira retilínea e necessitam de pouco espaçamento em comparação às demais árvores de fibra curta (SUZANO CELULOSE E PAPEL, 2009). Todas essas qualidades aliadas às condições edafoclimáticas do território brasileiro, permitem seu rápido desenvolvimento e a obtenção de uma árvore apta à produção de celulose.

Nas últimas décadas ocorreu uma grande evolução na produtividade das florestas de eucaliptos no Brasil, em que o incremento médio anual (IMA) foi elevado de 25,0 m³ha⁻¹ano⁻¹ na década de 1980 (CÂMARA SETORIAL DE FLORESTAS - CSS, 2009) para 36,7 m³ha⁻¹ano⁻¹ em 2005 e 40,1 em 2011 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF, 2012). Contudo em estudo realizado por Gomide et al. (2005), alguns clones das principais empresas nacionais chegavam a atingir IMA's superiores a 50 m³ha⁻¹ano⁻¹ e Ferreira et al. (2006) reportou florestas clonais de eucalipto plantadas no extremo sul da Bahia com IMA líquido (sem casca e sem topo) médio acima de 43 m³ha⁻¹ano⁻¹, aos 7 anos de idade.

Para que tais produtividades fossem atingidas foi de grande importância o desenvolvimento e utilização de clones que pudessem atender às necessidades adaptativas de clima e solo com rápido crescimento e boa qualidade de polpa (CSS, 2009).

2.2.1. O híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* (*E. urograndis*)

O *E. urograndis* é um híbrido desenvolvido no Brasil, pelo cruzamento do *E. grandis* x *E. urophylla* com o objetivo de obter uma árvore com bom crescimento em campo, característico do *E. grandis*, associado a ligeira elevação na massa específica da madeira, aumento no rendimento e nas propriedades físicas da celulose produzida, provenientes do *E. urophylla* (CARVALHO, NAHUZ, 2001).

O *E. urophylla* é uma das duas espécies de ocorrência natural fora do território australiano, encontrado na ilha de Timor e outras ilhas do arquipélago indonésio, em altitudes variando de 400 a 3.000 metros. A precipitação pluviométrica média anual varia de 1.000 a 1.500 mm, com chuvas concentradas no verão. A temperatura média máxima situa-se em torno de 32°C e a temperatura média mínima varia entre 8 a 12°C, com geadas podendo ocorrer em alguns dias do ano, nas zonas de maior altitude. A madeira é considerada medianamente leve, e suas propriedades de resistência mecânica são moderadas (BERTOLA, 2004).

O *E. urophylla* tem sido a base dos programas de melhoramento florestal no Brasil, pois trata-se de uma espécie altamente tolerante às doenças típicas de condições tropicais, adaptado a uma ampla gama de sítios, podendo ser plantado, ou seus híbridos, em todas as regiões do país, exceto aquelas onde o frio ou o déficit hídrico são muito intensos. Por isto, há um grande esforço para a criação de híbridos em cruzamentos com o *E. grandis* e mais recentemente com o *E. globulus* (FOELKEL, 2009a).

O *E. grandis* ocorre naturalmente na Austrália, com maior ocorrência em altitudes até 600 metros, mas ocorrendo até 1.100 metros. A precipitação pluviométrica varia de 1.000 a 3.500 mm anuais, predominantemente no verão. A temperatura média máxima varia de 24 a 30°C e a mínima média varia entre 3 e 8°C. Raramente ocorrem geadas nas regiões costeiras, embora elas possam ocorrer em locais de maior altitude. A madeira é considerada medianamente leve, de baixa estabilidade, mas de elevada permeabilidade. É uma das espécies mais plantadas no mundo, considerada uma das espécies mais versáteis e indicadas para uso múltiplo (BERTOLA, 2004). No Quadro 1

estão dispostos alguns atributos dendrométricos e tecnológicos das madeiras das espécies *E. grandis* e *E. urophylla*.

Quadro 1. Características dos *E. grandis* x *E. urophylla*, plantados em Minas Gerais, espaçamento 3x2 metros, 10,5 anos de idade

Parâmetro	<i>E. urophylla</i>	<i>E. Grandis</i>
Altura total (m)	19,3 ± 1,0	24,4 ± 0,7
Diâmetro a 1,30m do solo (cm)	17,3 ± 1,8	20,1 ± 1,4
Volume comercial com casca (m ³)	0,180 ± 0,043	0,306 ± 0,042
Porcentagem de casca	17,5 ± 1,3	12,8 ± 0,7
Massa específica básica média da árvore (g.cm ³)	0,564 ± 0,017	0,479 ± 0,017
Massa específica básica a 1,30m do solo (g.cm ³)	0,554 ± 0,011	0,505 ± 0,023
Teor de lignina (%)	27,3	23,9
Polissacarídeos de difícil hidrolisação	47,7	46,3
Teor de pentosanas (%)	15,3	15,3

Fonte: Adaptado de Pereira et al. (2000).

Gomide et al. (2005), após pesquisarem dez clones de híbridos de eucalipto pertencentes às principais empresas brasileiras de celulose, declararam que os mesmos possuem massa específica básica variando de 0,47 a 0,51 g.cm⁻³, solubilidade em álcool:tolueno (1:2) de 1,76 a 4,13%; 27,5 a 31,7% de lignina total e valores entre 64,5 e 70,2% para holocelulose. As fibras possuem comprimento entre 950 e 1070 μ m, diâmetro de 17,3 a 19,2 μ m, diâmetro do lume entre 8,0 a 9,0 μ m, espessura da parede variando de 4,6 a 5,2 μ m e 16,3 a 27,7 milhões de fibras por grama. Os valores mencionados indicam alta qualidade tecnológica.

Resultados semelhantes foram obtidos por (FERREIRA et al., 2006), ao investigarem 12 clones de híbridos com idades entre sete e nove anos, plantados no Sul da Bahia. Estes autores encontraram massa específica básica de 0,45 a 0,55 g.cm⁻³, solubilidade em álcool tolueno de 1,09 a 3,76%, lignina total de 29,1 a 30,0%, hemicelulose de 17,7 a 20,6% e celulose entre 46,7 e 49,7%. Em relação às fibras, o comprimento foi relatado entre 990 e 1180 μ m, diâmetro entre 20,02 e 21,82 μ m, diâmetro de lume entre 10,00 e 12,30 μ m e 4,14 a 5,51 μ m para espessura de parede.

Arango Alzate (2004) afirmou que a madeira do híbrido de *E. grandis* x *E. urophylla*, com idade de oito anos, cultivado em São Miguel de Arcanjo-SP, possui cerne distinto do alburno e de cor rosa claro, massa específica baixa a média, macia ao corte, grã direita e textura média. Vasos visíveis a olho nu ou lente (10x), arranjo diagonal, maioria solitários, raros geminados, às vezes formando arranjos oblíquos, frequência de 8 a 13 vasos mm^{-2} e diâmetro tangencial de 76,91 a 133,25 μm . Fibrotraqueídeos presentes, com comprimento variando de 620,0 a 1270,0 μm ; largura variando de 17,28 a 20,93 μm , diâmetro do lume de 7,33 a 10,48 μm e espessura da parede de 3,48 a 6,71 μm .

2.3. A *Acácia mangium*

Dentre os gêneros empregados na produção de celulose de fibra curta nas regiões tropicais e subtropicais, destacam-se os gêneros *Eucalyptus* e *Acacia*. Embora o eucalipto seja a principal matéria-prima para produção de celulose de fibra curta, a polpa de acácia passou a ganhar mercado a partir de meados da década de 1990 com várias espécies sendo cultivadas tanto em regiões tropicais (Indonésia, Malásia, Vietnã, Índia, China, Tailândia e Filipinas) quanto subtropicais (África do Sul, Região Sul do Brasil e China). Dentre as espécies tropicais destacam-se a *A. mangium* e *A. auriculiformis* (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA, 2001).

Andrade et al. (2003), relatam que o gênero *Acacia* está incluído na família *Leguminosae*, subfamília *Mimosoideae*, sendo um dos maiores gêneros nas Angiospermas com mais de 1.200 espécies encontradas em regiões tropicais e subtropicais, na América tropical, África, Ásia e Austrália, sendo nesta última onde se encontra a maioria das espécies.

A espécie *A. mangium* ocorre naturalmente na região costeira da Austrália, na Indonésia, nas ilhas Molucas e Java e na província de Papua Nova Guiné, entre latitudes de 1° a 18°S e altitudes que vão desde o nível do mar até 800m (LELLES; SILVA; SILVA, 1996).

Silva (2008), afirmou que *A. mangium* se destaca pela elevada rusticidade, rápido crescimento, elevados incrementos volumétricos e pelo

caráter fixador de nitrogênio, que em muito contribui para manutenção da fertilidade dos solos. O mesmo autor reporta que a madeira pode ser explorada em plantios comerciais fornecendo múltiplos produtos, como taninos da casca, produtos apícolas das flores e folhas (possui nectários nas folhas), madeira para produtos sólidos, biomassa para energia, painéis, celulose e papel.

A silvicultura das acácias ainda está atrasada em relação à do eucalipto e do pinus, não sendo comum *A. mangium* possuir fuste tão retilíneo e podendo ocorrer irregularidades e bifurcações, contudo, as técnicas de melhoramento genético e de operações silviculturais têm evoluído muito, na medida em que cresce a importância florestal das espécies desse gênero. Os incrementos médios anuais para a espécie no Brasil têm sido relatados entre 25 a 45 m³ha⁻¹ano⁻¹ e a madeira tem massa específica básica relativamente baixa para produção de celulose, cerne marrom claro a escuro, alborno de cor creme e casca marrom a cinza, rugosa e não muito grossa (FOELKEL, 2012).

Tuomela et al. (1996), declararam que *A. mangium* não possui desrama natural eficiente e possui tendência a formar troncos múltiplos, por isto, a prática da desrama nos estágios iniciais, pode ser considerada uma prática necessária, visando à melhoria da qualidade da madeira e à formação de fustes longos de grandes dimensões.

Especificamente como matéria-prima para a produção de celulose, segundo EMBRAPA (2001), *A. mangium* tem demonstrado potencial de competição com a celulose de eucalipto. Contribuem para tal, fatores como a boa opacidade, maciez e boa formação do papel e o elevado rendimento em celulose. Ressaltando ainda importantes vantagens ambientais como a capacidade de fixação de nitrogênio; maior produção de serrapilheira; capacidade competitiva com as gramíneas, o que poderá levar à redução de gastos com controle de plantas daninhas e também baixa exigência nutricional.

Segura, Zanão e Silva Júnior (2010), avaliaram a madeira de *A. mangium* e outras duas espécies do gênero (*A. crassicarpa*, e *A. mearnsii*), aos seis anos de idade, sendo as duas primeiras plantadas na Indonésia e a terceira no Brasil. Os autores encontraram, para a madeira de *A. mangium*, massa específica básica igual a 0,522 g.cm⁻³, 28,01% de lignina, 66,77% de holocelulose e 5,13% de extrativos e rendimento depurado acima de 50% para

número kappa até 20 e também concluíram que a mesma é adequada para a produção de polpa celulósica.

Segundo Antunes (2009), a madeira de *A. mangium* possui massa específica básica variando de 0,40 a 0,60 g.cm⁻³, cerne castanho claro e coloração do alburno distinta do cerne. Elementos de vasos com ausência de tiloses, diâmetro tangencial de 120 a 160 μm , frequência de 4 a 9 vasos mm⁻², dispostos em padrão não específico e agrupados geralmente em grupos radiais curtos de 2–3 vasos. As fibras possuem paredes finas a espessuras médias e comprimento médio de 0,9 a 1,3mm.

O mesmo autor, ao pesquisar a madeira de *A. mangium* com idade de seis anos, plantada na Indonésia, encontrou valores de massa específica básica de 0,44 g.cm⁻³, 66,5% de holocelulose, 28,6% de lignina e 5,14% de extrativos totais. Quanto às fibras, relatou comprimento de 1,01 mm, largura de 16,0 μm , 9,6 μm para diâmetro do lume e espessura de parede de 3,2 μm .

Sahri, Ibrahim e Shukor (1993), ao investigarem a madeira de *A. Mangium* com quatro e oito anos de idade, constataram que a espécie possui porosidade difusa com predomínio de vasos solitários. Com relação às dimensões das fibras, comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura da parede foram de 934,0, 24,0, 17,0 e 3,3 μm para idade de quatro anos, e 1.017,0, 20,0 e 12,0 e 4,3 μm para oito anos, respectivamente. Fibras de menores comprimentos foram encontradas próximo à medula, ocorrendo aumentos de comprimento em direção à casca, o comprimento das fibras também tendeu a diminuir com a altura, assim como a percentagem de vasos.

Pinto, Evtuguin e Pascoal Neto (2005) encontraram teores de 27,1% para lignina, 70,9% para holocelulose, 46,5% para celulose, 13,3 % para pentosanas e 4,46% de extrativos (etanol/tolueno), para a espécie com sete anos plantada na Indonésia. Os autores ressaltaram que o teor de lignina pode estar superestimado, ou pelo menos parcialmente, pela presença de extrativos polifenólicos que não foram removidos pela solução etanol/tolueno durante a extração.

Ainda quanto ao uso da madeira de acácia na indústria de celulose, Logan (1987), afirmou ocorrer elevado rendimento de celulose, maior que 50%, e com moderada quantidade de álcalis. Guigan et al. (1991), destacaram a

maior facilidade de recuperação dos reagentes do cozimento, comparada com a produção de celulose de eucalipto. Estudos realizados por Clark et al.(1991) e Clark et al. (1994), com madeira de nove anos de idade, determinaram rendimento de 48% para madeira com massa específica igual $0,48 \text{ g.cm}^{-3}$ e 52,3% para $0,42 \text{ g.cm}^{-3}$.

Segundo PAPER INDUSTRY TECHNICAL ASSOCIATION – PITA (2005), *A. mangium* é uma espécie que tem propriedades semelhantes ao eucalipto, e pode ser misturada a esta em até 50% no processo de produção de celulose, no entanto, esta possui teor mais elevado de resina, o que reduz a sua capacidade de absorção, e necessita de maior refinação para desenvolver resistência suficiente. Contudo, ao mesmo grau Schopper Riegler de refino a polpa de *A. mangium* terá maior opacidade e irá proporcionar uma folha mais suave, características que a tornam adequada para ampla gama de papéis de imprimir e escrever, em particular papéis de impressão digital, papel bíblia, envelopes e pastas.

2.4. PLANTIO MISTO DE ESPÉCIES FLORESTAIS

Numa visão ambientalista, plantações de florestas envolvendo mais de uma espécie são consideradas preferenciais às monoculturas e mais ainda em relação às monoculturas clonais, em consequência da maior biodiversidade e complexidade do ambiente utilizado pelo homem. Contudo, de forma geral, as empresas do setor possuem certa resistência a esta opção, pois significa maiores custo, controle e planejamento, maior variabilidade nas florestas, na matéria-prima e nos produtos da floresta. Também os mercados compradores podem rechaçar qualquer alteração no produto, havendo a necessidade de boa comunicação e de forte convencimento dos compradores (FOELKEL, 2008).

Por outro lado, as plantações mistas de eucaliptos e de leguminosas mostram vantagens interessantes, sendo a maior delas o fornecimento do nitrogênio vital para o eucalipto por parte da leguminosa. *A. mangium* tem potencial para depositar $5 \text{ a } 12 \text{ ton.ha}^{-1}\text{ano}^{-1}$ de serrapilheira seca, com cerca de $150 \text{ a } 300 \text{ kg}$ de nitrogênio fixado, esse nitrogênio orgânico, na forma de proteínas e aminoácidos, sofrerá mineralização e se disponibilizará às culturas

que estiverem vegetando na área (FOELKEL, 2012). Mas não apenas as árvores de eucalipto são beneficiadas, as leguminosas podem ganhar em micorrização, já que os eucaliptos possuem alta capacidade de se associar com fungos micorrízicos (FOELKEL, 2008).

Os dois modelos mais comuns de experimentos de cultivos mistos são os de substituição e de adição. Na substituição, a densidade de suporte total é constante em todos os tratamentos, mas as proporções das duas espécies podem variar, este modelo tem sido sistematicamente utilizado em experimentos com eucalipto e leguminosas que visam investigar as interações entre as espécies e dar suporte em nível de produtividade. Em modelos de adição, a densidade da espécie principal, normalmente o eucalipto, permanece constante, enquanto a da espécie secundária varia, possibilitando avaliar os efeitos da densidade da espécie secundária sobre o desenvolvimento da espécie principal (LACLAU et al., 2008).

A implantação do sistema de consórcio de eucaliptos com espécies arbóreas fixadoras de nitrogênio visam alcançar algumas vantagens deste sistema em relação aos monocultivos. Forrester et al. (2006) citaram vantagens da consorciação de espécies, como por exemplo, melhorar a ciclagem de nutrientes, a fertilidade do solo, a produção de biomassa e sequestro de carbono, o gerenciamento de riscos e proteção contra pragas e doenças, diversificação de produtos, além de poder ser utilizado como um sistema silvicultural para produção de madeira de qualidade elevada.

Tais vantagens estão relacionadas aos principais processos que ocorrem em um plantio misto: (1) competição, quando duas ou mais plantas ou populações interagem de tal modo que uma exerce um efeito negativo na outra; (2) redução competitiva, quando a competição interespecífica é inferior a competição em monoculturas, resultando de uma diferenciação na necessidade ou captação de recursos (água, luz ou nutrientes) de cada espécie, conduzindo a uma utilização mais completa dos recursos e; (3) facilitação, quando uma espécie tem um efeito positivo sobre a outra (FORRESTER et al., 2006) .

Galiana et al. (2002), relataram que o *E. urophylla* é a espécie mais próxima de *A. mangium* em termos de fenologia (perenifolia), origens climáticas, geográficas e de exploração do solo pelas raízes finas.

Segundo Novais, Barros e Neves (1990), plantios de eucalipto têm alta demanda por nutrientes até à formação da copa, principalmente nitrogênio, sendo estes totalmente absorvidos do solo. Uma vez a copa estabelecida, a ciclagem de nutrientes da serrapilheira torna-se a via mais importante de fornecimento de nutrientes. O cultivo de uma leguminosa fixadora de nitrogênio arbórea pode favorecer o desenvolvimento do eucalipto.

As raízes finas das duas espécies se entrelaçam no solo e o eucalipto absorve uma parte dos nutrientes disposto pela renovação das raízes da leguminosa. A serrapilheira na superfície do solo é enriquecida pela deposição de folhas e galhos da leguminosa, que são mais ricos em nitrogênio que as mesmas partes do eucalipto. Além da melhor disponibilização de nitrogênio, ocorre uma melhor distribuição das copas no plantio misto de eucalipto e *A. mearnsii*, com maior penetração de sol para atingir as folhas e a leguminosa, que tem um ritmo de crescimento inferior ao do eucalipto, sendo forçada a crescer mais rápido pela competição (FOELKEL, 2008).

Coelho et al. (2007), ao avaliarem o crescimento até 24 meses de monocultivos de *E. grandis* (1.111 árvores ha⁻¹) e cultivos consorciados com seis leguminosas arbóreas dentre elas a *A. mangium* (100 eucalipto : 50 leguminosa), observaram menor produção de biomassa total no *E. grandis* quando consorciado, demonstrando que a competição interespecífica foi maior que a intraespecífica; menor biomassa no lenho do eucalipto consorciado (13,6 ton.ha⁻¹) que no monocultivo (17,6 ton.ha⁻¹), porém, não diferenciando da produtividade total do consórcio (16,2 ton.ha⁻¹).

Os mesmos autores também relataram que a distribuição do sistema radicular de *E. grandis*, e de *A. mangium* no solo indicaram existência de nichos de exploração radicular diferentes entre as espécies, *A. mangium* foi sobrepujada em altura apenas aos 12 meses e as concentrações de nitrogênio encontradas nas folhas de *E. grandis* não foram modificadas pelas espécies de leguminosas consorciadas, resultado semelhante ao obtido por Bouillet et al.

(2008), indicando que a transferência de nitrogênio da leguminosa para *E. grandis* foi baixa ou inexistente até a idade de estudo.

Laclau et al. (2008), ao pesquisarem plantios simples e consorciados de *E. grandis* e *A. mangium*, 36 meses, declararam que a competição interespecífica levou à estratificação das copas e a supressão do crescimento da acácia pela expansão lateral da copa do eucalipto e não pelo crescimento em altura. Os mesmos autores também reportam maior número médio de hastes nos povoamentos puros de acácia em relação aos plantios mistos.

Vezzani, Tedesco e Barros (2001), ao estudarem plantios simples e mistos de *E. saligna* e *A. mearnsii*, proporção 1:1, aos 45 meses, encontraram no plantio misto maior teor de matéria orgânica e nitrogênio total no solo e maior absorção de nitrogênio no eucalipto consorciado em relação ao monocultivo. E o volume total de madeira produzido no plantio misto, 110 m³ ha⁻¹ (71 m³ ha⁻¹ de eucalipto + 39 m³ ha⁻¹ de acácia) não diferiu estatisticamente dos 109 m³ ha⁻¹ produzidos no cultivo simples de eucalipto.

Resultados semelhantes foram obtidos por Viera, Schumacher e Liberalesso (2011), estes concluíram que o plantio misto de eucalipto e *A. mearnsii* representa uma alternativa sem perda de produtividade e com o benefício de possuir mais indivíduos com diâmetros superiores, visto que, até os 18 meses de idade, o crescimento e a produtividade não foram influenciados negativamente pela presença de outra espécie florestal e o cultivo misto (50% eucalipto + 50% acácia) apresentou maior número de indivíduos com diâmetros superiores em relação aos monocultivos.

A utilização do plantio misto com leguminosas fixadoras de nitrogênio promove alterações no ambiente em relação ao monocultivo, com mudanças na estratificação das copas, mas propriedades do solo e no espaçamento. De acordo com Carlquist (1975), existe uma interação entre a anatomia da madeira e fatores ecológicos e genéticos que atuam sobre a atividade cambial. E segundo REMADE (2003a), os tratos silviculturais, dentre eles o espaçamento e a fertilização, podem influenciar nas propriedades da madeira.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. PROCEDÊNCIA DO MATERIAL

Para a realização dos estudos, foram avaliadas sob o ponto de vista tecnológico algumas importantes propriedades da madeira de *A. mangium* e de um híbrido clonal de *E. grandis* x *E. urophylla*, ambas com 75 meses de idade, plantadas em monocultivos e também em cultivo misto em diversas proporções, na região do Vale do Rio Doce, Minas Gerais.

O cultivo das árvores foi conduzido no município de Santana do Paraíso - MG. Precipitação média anual de 1.114 mm, temperatura média anual de 25,2 °C, evapotranspiração potencial de 1.326 mm e déficit hídrico anual de 429 mm. Altitude média de 290 metros, umidade relativa média anual de 65%. Dados climáticos relativos ao período de cultivo e foram gentilmente cedidos pela Empresa Celulose Nipo Brasileira S/A (CENIBRA).

O relevo local é ondulado, com 12 a 24% de declividade. O solo da área foi classificado como Latossolo Amarelo Distrófico típico, textura muito argilosa, horizonte A proeminente, álico, caulínico, mesoférico (EMBRAPA, 1999).

O solo foi preparado sob cultivo mínimo, com fertilização de base para todos os tratamentos e ambas as espécies de 1.500 kg de calcário (40 % CaO; 10 % MgO; 15 % umidade) e 90 g. do formulado NPK (06-30-06) por planta na ocasião do plantio e adubação de cobertura, dois meses após o plantio, com 400 kg de fósforo reativo e 300 kg de KCl (1,2% B, 1% Zn , 0,5% Cu) por hectare.

Cada tratamento foi implantado em parcela de 30 x 30 metros, sendo a parcela útil os 18 x 18 metros centrais, ou seja, os 6 metros periféricos foram desconsiderados em função do efeito de bordadura, que de acordo com Conceição, Silva e Machado et al. (1993) pode ser definido como o diferente comportamento entre as plantas das fileiras externas e internas da parcela, que pode ser em função da influência de áreas não plantadas ou de parcelas que receberam tratamentos diferentes. A disposição dos tratamentos no campo e o modelo da parcela estão representados na Figura 1.

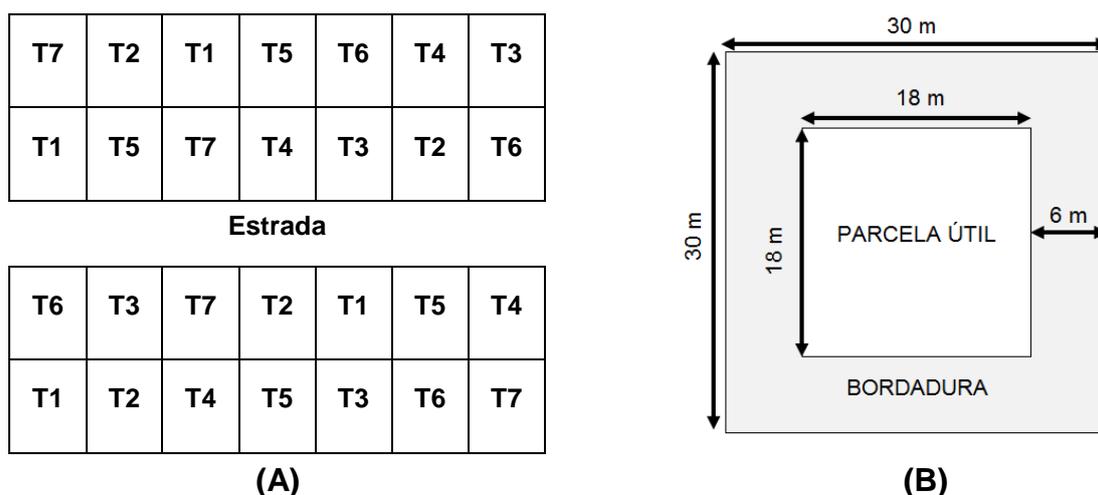


Figura 1. Modelo dos blocos do experimento em campo (A) e da parcela utilizada com faixa de bordadura (B).

Constam no Quadro 2, a descrição dos tratamentos, número de árvores por espécie nas parcelas e espaçamento entre as mesmas. Desta forma, o tratamento T1 foi constituído de monocultivo ou “cultivo puro” de *A. Mangium* com espaçamento de 3,0 x 3,0m; os tratamentos T2 e T3 consistiram de monocultivos de eucalipto com espaçamento de 3,0 x 3,0m, tendo o tratamento T3 recebido fertilização nitrogenada de cobertura no primeiro e décimo primeiro mês após o plantio, com 500 kg ha⁻¹ de sulfato de amônio (20%N); nos tratamentos T4, T5 e T6 a espécie *A. mangium* foi adicionada à linha de plantio nas proporções de 25, 50 e 100%, respectivamente, assim sendo, o espaçamento teve de ser reduzido na mesma proporção nesses tratamentos; o tratamento T7 consistiu no plantio misto de *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%) no espaçamento de 3,0 x 3,0m.

Não foram realizadas inoculações com bactéria *Rhizobium* ou fungos micorrízicos. Não foram realizadas desramas e algumas árvores de *A. mangium* possuíam mais de um fuste.

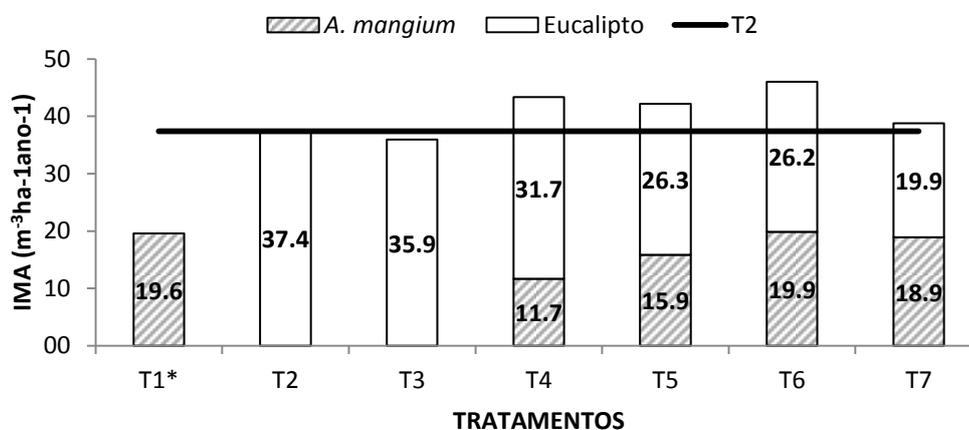
Quadro 2. Descrição dos tratamentos

Tratamento	Descrição	Abreviação	Plantas na parcela útil			Espaçamento (m)
			EU ¹	AM ²	Total	
T1	Monocultivo de acácia	(AM)	-	36	36	3,0 x 3,0
T2	Monocultivo de eucalipto	(EU)	36	-	36	3,0 x 3,0
T3	Monocultivo de eucalipto e fertilização nitrogenada	(EU+N)	36	-	36	3,0 x 3,0
T4	eucalipto + 25% acácia	(EU+25AM)	36	9	45	3,0 x 2,4
T5	eucalipto + 50% acácia	(EU+50AM)	36	18	54	3,0 x 2,0
T6	eucalipto + 100% acácia	(EU+100AM)	36	36	72	2,0 x 2,2
T7	50% eucalipto + 50% acácia em substituição	(50EU:50AM)	18	18	36	3,0 x 3,0

¹ EU = Eucalipto

² AM = *A. mangium*

Os dados de produtividade do experimento, dividido por tratamento e por espécie, em comparação ao monocultivo de eucalipto, tratamento T2 (EU), podem ser visualizados na Figura 2.



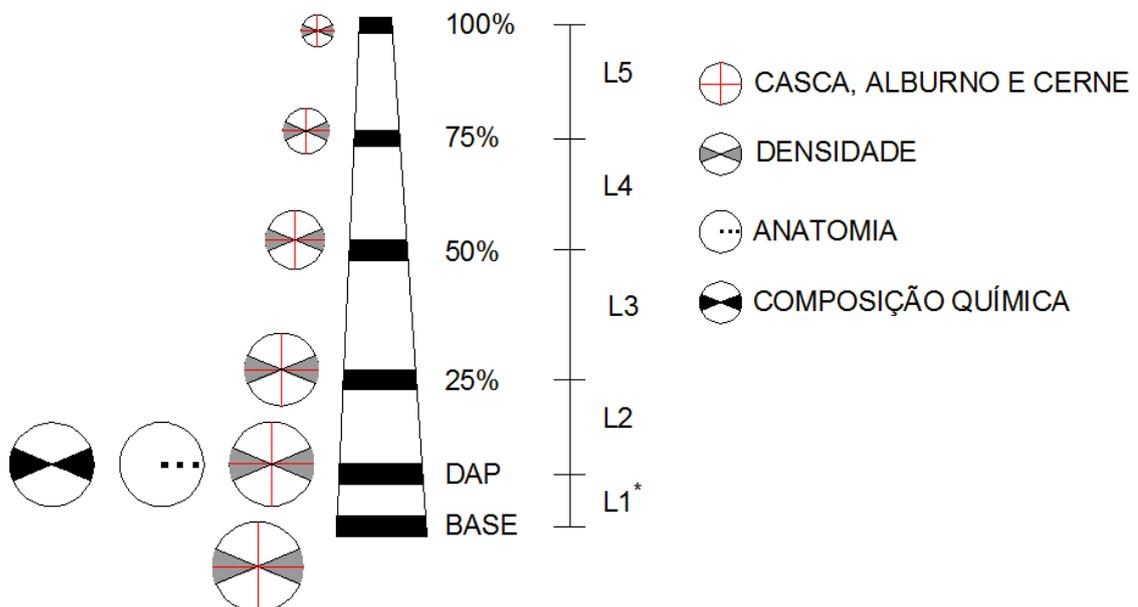
* T1: Tratamento 1, monocultivo de *A. mangium*, espaçamento 3,0 x 3,0m; T2: tratamento 2, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m; T3: tratamento 3, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m, + fertilização nitrogenada; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; T6: Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), em espaçamento 3,0 x 3,0m.

Figura 2. Incremento médio anual (IMA) dos diversos tratamentos, dividido por espécie e comparação com o eucalipto em monocultivo (T2). Dados cedidos pela Empresa Celulose Nipo Brasileira S/A (CENIBRA)

3.2. AMOSTRAGEM

Para avaliação da qualidade das madeiras foram colhidas cinco árvores por espécie e por tratamento, amostradas ao acaso, com diâmetro médio da espécie no tratamento (obtido a partir de inventário florestal), estado fitossanitário normal e sem bifurcações (*A. mangium*), perfazendo um total de 55 árvores.

Das árvores colhidas foram retiradas amostras sob a forma de discos com espessura de aproximadamente 5,0 cm, nas posições correspondentes à 0 (base), 25, 50, 75 e 100% da altura comercial para determinação da massa específica básica da madeira e dos teores de casca, albarno e cerne. No DAP (diâmetro a altura do peito ou 1,30 metros da base) foram retirados três discos para determinação da massa específica básica, teores de casca, albarno e cerne, composição química e anatomia da madeira. A altura comercial foi considerada como a altura até o diâmetro de 6,0 cm, e compreendeu entre 15 a 20 metros para as árvores de acácia e a 21 a 28 metros para as de eucalipto. O esquema de amostragem das madeiras pode ser visualizado na Figura 3.



*Os segmentos L1 a L5 correspondem ao comprimento entre os discos superior e inferior.

Figura 3. Esquema de amostragem das madeiras

3.3. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CASCA, CERNE E ALBURNO

Conforme consta na Figura 3, na seção transversal dos discos, retirados nas seis alturas ao longo do tronco de cada um dos cinco fustes de cada espécie e tratamento, foram realizadas medições de diâmetros radiais em dois sentidos opostos com e sem casca e diâmetro de cerne. Para tais medições, utilizou-se uma régua metálica milimetrada com precisão de 0,5 mm. A partir dessas medições, determinaram-se os diâmetros médios, as áreas seccionais correspondentes ao cerne, área do disco com e sem casca e as porcentagens de cerne, alborno e casca nos discos, conforme Equações 1 e 2:

$$A = \frac{D^2 \times \pi}{4} \quad (1)$$

em que:

A = Área ocupada pela estrutura do tronco desejada (cm²);

D= Diâmetro médio do tratamento (cm).

$$\%_s = \frac{A}{A_{cc}} \times 100 \quad (2)$$

em que:

%s = Porcentagem ocupada pela estrutura do tronco desejada (m²);

A = Área ocupada pela estrutura do tronco desejada (m²), e;

Acc = Área do disco com casca (m²).

Os dados referentes ao alborno foram determinados pela diferença entre os dados referentes às mensurações sem casca e o do cerne, os dados referentes à casca foram determinados pela diferença entre as mensurações com casca e sem casca.

Os volumes das secções e dos componentes casca, alborno e cerne foram calculados de acordo com as Equações 3 e 4. Estes subsidiaram os cálculos dos teores, em porcentagem, de casca, alborno e cerne no fuste,

Equação 5. O volume do fuste foi obtido pelo somatório do volume das secções.

$$VS_{(i)} = 7,854 \times 10^{-5} \times \frac{D^2+d^2}{2} \times L \quad (3)$$

em que:

$VS_{(i)}$ =Volume da secção (i) (m^3);

D^2 =Diâmetro do disco mais próximo à base (cm);

d^2 =Diâmetro do disco mais distante à base (cm);

L = Comprimento da secção (m);

$$V_{(m)} = \frac{A_{inf.} + A_{sup.}}{2} \times L \quad (4)$$

em que:

$V_{(m)}$ = Volume médio da estrutura do tronco desejada na secção (m);

$A_{inf.}$ = Área ocupada pela estrutura do tronco desejada no disco inferior (m);

$A_{sup.}$ = Área ocupada pela estrutura do tronco desejada no disco superior (m);

L = Comprimento da secção (m).

$$\%_0f = \frac{\sum_{i=1}^N V_{(m)}}{\sum_{i=1}^{N-1} VS_i} \times 100 \quad (5)$$

em que:

$\%_0f$ = Porcentagem ocupada pela estrutura do tronco desejada no fuste.

3.4. MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA

A massa específica básica foi determinada pelo método gravimétrico, MB 26 da Associação Brasileira de Normas técnicas – ABNT (1940). Foram retiradas duas cunhas opostas nos discos, nas seis alturas ao longo do tronco de cada uma das cinco árvores de cada espécie e tratamento. Estas foram imersas em água até a sua saturação completa e obtidos os valores de massa úmida, do volume de água deslocado e da massa seca ($103^\circ \pm 2,0^\circ\text{C}$).

A massa específicas básicas das cunhas, dos discos (posições), sua variação longitudinal e seus valores médios ponderadas pelo volume dos fustes foram determinados segundo as Equações 6 a 10.

$$MEB_C = \frac{MS_C}{VV_C} \quad (6)$$

em que:

MEB_C = Massa específica básica cunha;

MS_C = Massa seca cunha;

VV_C = Volume verde cunha (volume deslocado).

$$MEBD = \frac{MEB_{C1} + MEB_{C2}}{2} \quad (7)$$

em que:

DB_C = Massa específica básica cunhas 1 e 2

$MEBD$ = Massa específica básica do disco

$$MEBS_{(i)} = \frac{MED_{inf.} + MEBD_{sup.}}{2} \quad (8)$$

em que:

$MEBS_{(i)}$ = Massa específica básica média da secção (i) (g/cm³)

$MED_{inf.}$ = Massa específica básica do disco inferior

$MEBD_{sup.}$ = Massa específica básica do disco superior

$$VS_{(i)} = 7,854 \times 10^{-5} \times \frac{D^2 + d^2}{2} \times L \quad (9)$$

em que:

$VS_{(i)}$ = Volume da secção (i) (m³);

D^2 = Diâmetro do disco mais próximo à base (cm);

d^2 = Diâmetro do disco mais distante à base (cm);

L = Comprimento da secção (m)

$$MEBT = \frac{\sum_{i=1}^{N-1} VS_{(i)} \times MEBS_{(i)}}{\sum_{i=1}^{N-1} VS_i} \quad (10)$$

em que:

DBT = Densidade básica média do fuste (g/cm³)

Desta forma, as massas específicas básicas das diferentes posições subsidiaram a determinação de sua variação longitudinal e o cálculo dos valores médios ponderadas pelo volume dos fustes, pela fórmula de Smalian, nos diferentes tratamentos.

3.5. ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA

Para a caracterização química da madeira foram retiradas cunhas opostas nos discos localizados na altura do DAP de cada uma das cinco árvores de cada espécie e tratamento, conforme consta na Figura 3. As cunhas foram transformadas em cavacos, tendo os mesmos sido homogeneizados, secos ao ar, transformados em serragem em moinho tipo Wiley, conforme a norma da Technical Association of the Pulp and Paper Industry (TAPPI - T 257 om-92, 1992). A serragem foi classificada por peneiras, de forma que, as análises foram efetuadas apenas na fração de granulometria suficiente para passar em peneira de 40 “mesh” (abertura de 0,42mm), porém, ficar retida em peneira de 60 “mesh” (0,25mm).

A análise dos extrativos foi realizada conforme a norma TAPPI 264 om-88 (1992). A partir das amostras de serragem, tomaram-se 2,0 ± 0,001g da amostra livre de umidade, estas foram alocadas em filtro de vidro sinterizado, porosidade n°2, e posteriormente inseridas em extrator “Soxhlet” para extração pela solução álcool:tolueno (1:2) por 5 horas. O produto da extração, uma mistura de solventes e extrativos foi evaporada em estufa a 103,0 ± 2,0°C para remoção dos solventes. O resíduo formado pelos extrativos foi então pesado e o teor de extrativos obtido por diferença de massa.

A remoção dos extrativos para análise da lignina seguiu a norma TAPPI 264 om-88 (1992), com uma sequência de extração em solução álcool:tolueno (1:2) por 5 horas, álcool por 4 horas, ambas em extrator “Soxhlet”, e em água quente por 1 hora.

Após a remoção dos extrativos tomou-se $0,3 \pm 0,0001\text{g}$ da amostra, e esta foi submetida à hidrólise com ácido sulfúrico por 60 minutos ($30,0 \pm 1,0^\circ\text{C}$), autoclavada por 60 minutos e filtrada. Considerando o sólido retido a lignina insolúvel, determinada por diferença de massa (GOMIDE; DEMUNER, 1986). O líquido remanescente da filtração da lignina insolúvel foi analisado em espectrofotômetro UV, para determinação da lignina solúvel (GOLDSHIMID, 1971). 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.

3.6. DESCRIÇÃO ANATÔMICA QUANTITATIVA

Para os estudos anatômicos dos vasos e fibras das madeiras de ambas as espécies, retiraram-se amostras em três posições no sentido medula-casca (próximo à medula, metade do comprimento do raio e próximo à casca) nos discos do DAP de cada uma das cinco árvores de cada espécie e tratamento com posterior mensuração dos elementos anatômicos empregando cortes histológicos e materiais especificamente dissociados. Foram confeccionadas lâminas e a classificação dos elementos anatômicos, fibras e vasos, seguiram parâmetros da norma da Comisión Panamericana de Normas Técnicas, COPANT (1974).

Para a mensuração dos vasos, a partir das amostras retiradas nas três posições radiais foram confeccionados corpos de prova nas dimensões $1,0 \times 1,5 \times 2,0\text{cm}$, nas direções radial (R), tangencial (T) e longitudinal (L), respectivamente. Cada corpo-de-prova foi amolecido em água à temperatura de ebulição e fixado em micrótomo de deslize, para a obtenção de cortes de espessura variando de 18 a $20\mu\text{m}$ do plano transversal. Os cortes foram montados em lâminas temporárias com uso de glicerina e água (1:1).

Para as fibras, foram confeccionados macerados de acordo com o método do peróxido de hidrogênio : ácido acético, proposto por Nicholls e Dadswel e descrito por Ramalho (1987). Foram tomados cavacos no plano radial das amostras e, posteriormente, submetidos ao processo de maceração que consistiu na sua transferência para frasco de 25ml contendo solução de

ácido acético/peróxido de hidrogênio (1:1) que foi lacrado e levado à estufa (60°C, 48h).

Esgotada a solução macerante, a suspensão de células foi lavada em água destilada, corada em safranina e montadas lâminas histológicas temporárias sobre água destilada e glicerina em proporção de 1:1.

Foram realizadas fotomicrografias das lâminas com os cortes e com os macerados empregando conjunto microscópio óptico trinocular e câmera fotográfica com resolução de 7.1 Megapixels, estas fotomicrografias foram analisadas com auxílio do software *axiovision* 4.5.

Os parâmetros mensurados relativos aos vasos foram a frequência vascular e o diâmetro tangencial. Foram realizadas 25 repetições para ambos os parâmetros, em cada amostra, atendendo a COPANT (1974).

Para as fibras, foram mensurados o comprimento, a largura e diâmetro de lume. A espessura da parede celular foi determinada pela metade da diferença entre a largura e diâmetro do lume. As mensurações foram realizadas segundo a norma COPANT (1974), considerando 20 repetições, por posição, por espécie e por tratamento.

3.7. ANÁLISE DOS DADOS

Após a coleta dos dados, realizou-se o cálculo dos parâmetros avaliados, foram utilizadas estatísticas simples, como média, desvio padrão e coeficiente de variação. Tabelas e gráficos também foram confeccionadas.

Para possibilitar a análise estatística, os dados em porcentagem, componentes do tronco e parâmetros químicos, foram transformados em $\arcsen[\text{raiz}(\text{parâmetro}/100)]$. Esta transformação dos dados, sugerida por Steel & Torrie (1980), foi necessária para permitir a homocedasticidade das variâncias.

Na análise e avaliação dos ensaios foi empregado o teste de Tukey, a 5% de significância, para os fatores e interações detectados como significativos pelo teste F (Apêndice 1).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. TEORES DE CASCA, ALBURNO E CERNE:

4.1.1. *Acacia mangium*

Os resultados para os componentes do tronco, casca, alborno e cerne, nos diferentes tratamentos e posições e seus teores médios ponderados por árvore, para a espécie *A. mangium* estão na Tabela 1.

Conforme consta nos Apêndices 1.1 e 1.3, a interação entre tratamentos e posições ao longo do tronco não foi significativa para os teores de casca, alborno e cerne. Igualmente não significativas foram as diferenças entre os teores médios de casca, alborno e cerne, ponderados pelo volume, no fuste. Contudo, foram significativas as diferenças entre posições e entre tratamentos, considerando apenas o percentual de cada componente no disco, portanto, sem considerar o volume.

De modo geral, o teor de casca diminuiu da base até cerca da metade da altura do fuste, voltando a aumentar até o topo, contudo, sem alcançar os teores da base.

Embora os teores de alborno tenham sido estatisticamente constantes da base até 50% do comprimento do fuste, com elevação dos valores desta posição até o topo, de maneira geral, foi observado tendência de aumento em seus teores da base até o topo.

Foi observado grande amplitude para o coeficiente de variação para os componentes do tronco, casca, cerne e alborno entre posições e entre os tratamentos. Os altos valores dos coeficientes de variação para os teores de cerne nas posições 5 e 6 estão relacionados ao fato de algumas amostras possuírem cerne e outras não, nestas posições.

Tabela 1. Teores de casca, albarno e cerne, em porcentagem, nos diferentes tratamentos e posições e seus teores médios ponderados por fuste, em porcentagem, para a madeira de *A. mangium*

Tratamento	Parâmetro	Posição ao longo do tronco (%) ¹						Média ²	Fuste ³
		0	DAP	25	50	75	100		
T 1⁴ (AM)	Casca	15,47 (3,93)* (25,42)**	12,68 (1,93) (15,20)	7,09 (2,58) (36,44)	6,34 (1,15) (18,10)	7,14 (2,6) (28,86)	9,00 (2,22) (24,62)	9,62 B⁵ (4,07) (42,37)	8,58 A (1,35) (15,75)
	Albarno	41,59 (12,12) (29,13)	46,54 (10,08) (21,67)	50,46 (10,27) (20,36)	58,43 (8,40) (14,37)	69,03 (4,97) (7,20)	91,00 (2,22) (2,43)	59,51 B (18,65) (31,34)	55,65 A (8,35) (15,00)
	Cerne	42,94 (12,02) (27,99)	40,77 (10,18) (24,96)	42,46 (8,73) (20,56)	35,23 (8,98) (25,49)	23,83 (4,68) (19,65)	0,00	30,87 AB (17,33) (56,12)	35,77 A (8,03) (22,45)
T 4 (EU+25AM)	Casca	15,71 (3,47) (22,07)	14,24 (6,02) (42,29)	10,65 (3,87) (36,37)	9,97 (1,95) (19,58)	10,04 (2,08) (20,70)	10,59 (2,01) (19,01)	11,87 A (3,96) (33,35)	11,50 A (3,08) (26,80)
	Albarno	47,90 (7,22) (15,08)	48,77 (5,77) (11,83)	54,44 (9,30) (17,07)	57,47 (6,03) (10,49)	75,00 (8,86) (11,81)	84,91 (6,03) (7,10)	61,42 AB (15,55) (25,31)	58,09 A (4,84) (8,33)
	Cerne	36,39 (6,10) (16,76)	36,99 (6,24) (16,86)	34,91 (8,05) (23,06)	32,56 (5,04) (15,54)	14,96 (10,27) (68,69)	4,49 (0,08) (1,79)	26,72 AB (14,27) (53,42)	30,41 A (5,76) (18,94)
T 5 (EU+50AM)	Casca	13,14 (5,58) (42,45)	10,77 (3,43) (31,85)	7,19 (2,45) (34,16)	8,01 (2,96) (36,97)	10,93 (1,50) (13,75)	13,73 (1,54) (11,25)	10,63 AB (3,82) (35,93)	9,32 A (2,23) (23,91)
	Albarno	49,35 (10,12) (20,50)	52,30 (5,62) (10,75)	54,59 (11,37) (20,83)	61,63 (6,64) (10,78)	77,52 (8,98) (11,58)	86,27 (1,54) (1,79)	63,61 AB (15,73) (24,73)	60,12 A (6,24) (10,37)
	Cerne	37,50 (6,34) (16,90)	36,93 (5,73) (15,50)	38,22 (11,75) (30,74)	30,35 (6,20) (20,42)	11,55 (9,84) (85,21)	0,00	25,76 B (16,51) (64,10)	30,56 A (6,67) (21,83)
T 6 (EU+100AM)	Casca	12,51 (4,23) (33,83)	11,03 (4,07) (36,89)	7,43 (1,88) (25,33)	8,26 (2,08) (25,17)	9,02 (1,55) (17,20)	9,20 (2,40) (26,05)	9,58 B (3,16) (33,00)	8,85 A (1,12) (12,70)
	Albarno	52,76 (5,42) (10,28)	55,12 (3,97) (7,21)	55,43 (10,52) (18,99)	62,91 (7,27) (11,55)	76,41 (11,74) (15,36)	90,80 (2,40) (2,64)	65,57 A (15,64) (23,85)	61,99 A (6,82) (11,00)
	Cerne	34,72 (5,34) (15,38)	33,85 (3,90) (11,52)	37,15 (9,59) (25,82)	28,83 (7,04) (24,42)	14,57 (12,37) (84,93)	0,00	24,85 B (15,20) (61,15)	29,15 A (7,01) (24,06)

Continua...

Tabela 1, Continuação:

T 7 (50EU:50AM)	Casca	12,12 (4,68) (38,67)	11,38 (1,19) (10,42)	7,68 (1,55) (20,21)	5,71 (0,96) (16,87)	8,89 (1,48) (16,61)	13,21 (3,16) (23,93)	9,83 B (3,54) (35,99)	8,53 A (0,54) (6,35)
	Alburno	47,46 (5,06) (10,67)	47,97 (3,17) (6,60)	47,13 (1,83) (3,88)	56,04 (13,30) (23,74)	66,74 (11,47) (17,19)	84,36 (5,40) (6,41)	58,28 B (15,57) (26,71)	54,01 A (5,05) (9,35)
	Cerne	40,42 (2,40) (5,93)	40,65 (2,25) (5,53)	45,19 (2,47) (5,47)	38,25 (12,44) (32,52)	24,36 (10,29) (42,23)	2,44 (5,45) (223,61)	31,89 A (16,28) (51,05)	37,47 A (4,77) (12,72)
Média	Casca	13,79 a (4,33) (31,42)	12,02 ab (3,65) (30,39)	8,00 d (2,73) (34,14)	7,66 d (2,36) (30,79)	9,21 cd (2,06) (22,39)	11,15 bc (2,93) (26,31)	-	-
	Alburno	47,81 d (8,55) (17,88)	50,14 d (6,50) (12,97)	52,41 cd (9,11) (17,37)	59,30 c (8,39) (14,15)	72,94 b (9,72) (13,32)	87,47 a (4,66) (5,32)	-	-
	Cerne	38,40 a (7,19) (18,72)	37,84 a (6,30) (16,65)	39,59 a (8,79) (22,21)	33,04 a (8,37) (25,32)	17,85 b (10,44) (58,50)	1,39 c (3,86) (278,72)	-	-

¹ Porcentagem da altura comercial e DAP (diâmetro a altura do peito), 1,30 metros da base.

² Média dos componentes do tronco nas posições/discos.

³ Valores médios ponderados pelo volume dos segmentos do fuste.

⁴ T1: Tratamento 1, monocultivo de *A. mangium*, espaçamento 3,0 x 3,0m; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; T6: Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), em espaçamento 3,0 x 3,0m.

⁵ Valores ao longo das colunas seguidos de mesma letra maiúscula e ao longo das linhas seguidos de mesma letra minúscula, para o mesmo parâmetro, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

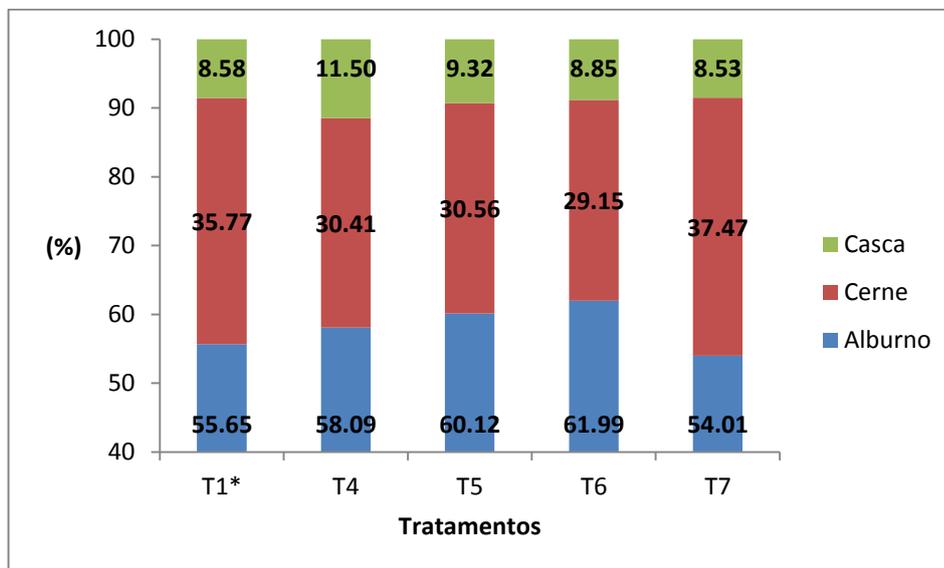
* Valores correspondem ao desvio-padrão (%)

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Foi observado tendência de elevação nos teores de alburno e diminuição nos teores de casca com a adição de *A. mangium* no plantio misto por adição, ou seja, com a adição de acácia passando de 25% (EU+25AM) para 50% (EU+50AM) e 100% (EU+100AM), respectivamente.

Numericamente, o plantio misto em substituição (50EU:50AM) e o monocultivo (AM), nesta ordem, possuem os maiores teores de cerne e menores teores de alburno. O tratamento com adição de acácia em 25% (EU+25AM) apresentou o maior teor de casca.

Para melhor visualização dos dados, o histograma ilustrando os teores médios por fuste dos diferentes componentes do tronco de *A. mangium* estão dispostos na Figura 4.



* T1: Tratamento 1, monocultivo de *A. mangium*, espaçamento 3,0 x 3,0m; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; T6: Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), em espaçamento 3,0 x 3,0m.

Figura 4. Teores médios por fuste dos componentes do tronco de *A. mangium* nos tratamentos.

Maiores teores de alburno e menores teores de casca e cerne são características desejadas em madeiras para produção de celulose em função do mais elevado teor de extrativos e dificuldade de impregnação do cerne e pela baixa qualidade da casca para produção de celulose e seu potencial para contaminação dos cavacos.

Moya, Muñoz (2010) observaram teores de 14,32, 20,67 e 65,01%, respectivamente, para casca, alborno e cerne na posição do DAP de *A. mangium* com nove anos de idade, plantada na Costa Rica. Para a variação longitudinal descreveram teores de casca pouco superiores a 15% na base, decrescendo até cerca de 12% nas posições intermediárias e voltando a aumentar próximo aos 15% no topo. O teor de cerne diminuiu quase linearmente da base, onde possuía cerca de 66%, até o topo, posição com teores ligeiramente abaixo de 50%.

4.1.2. Híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*

Os resultados para os componentes do tronco, casca, alborno e cerne, nos diferentes tratamentos e posições e seus teores médios ponderados por árvore, para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* estão na Tabela 2.

Conforme consta nos Apêndices 1.2 e 1.4, a interação entre tratamentos e posições ao longo do tronco foi significativa para os teores de cerne e alborno e não significativa para os teores de casca, componente em que foram observadas diferenças significativas nos teores médios ponderados por fuste, entre posições nos tratamentos e entre tratamentos, considerando apenas o percentual de cada componente no disco, portanto, sem considerar o volume.

O menor teor médio ponderado de casca por fuste foi constatado no tratamento em monocultivo com adição de nitrogênio (EU+N) e o maior no tratamento com adição de 50% de acácia (EU+50AM). Os demais tratamentos apresentaram teores intermediários, sem diferir dos tratamentos com os teores mais elevados e mais baixos, (EU+50AM) e (EU+N), respectivamente, e sem diferir entre si. Desta forma, isoladamente, a fertilização nitrogenada e o plantio misto não influenciaram significativamente, porém, ocorreu diferença significativa quando somados os efeitos da fertilização nitrogenada e da adição de 50% de acácia. Numericamente, os tratamentos em plantio misto com adição de 25, 50 e 100% de acácia, (EU+25AM), (EU+50AM) e (EU+100AM), possuíram os maiores teores ponderados de casca por fuste.

Tabela 2. Teores de casca, albarno e cerne, em porcentagem, nos diferentes tratamentos e posições e seus teores médios ponderados por fuste, em porcentagem, para a madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*

Tratamento	Parâmetro	Posição ao longo do tronco (%) ¹						Média ²	Fuste ³
		0	DAP	25	50	75	100		
T 2⁴ (EU)	Casca	12,09 (1,61)* (13,32)**	11,03 (1,56) (14,15)	11,48 (1,09) (9,50)	12,39 (2,17) (17,54)	14,12 (3,03) (21,48)	17,07 (3,15) (18,43)	13,03 B⁵ (2,91) (22,35)	12,37 AB (0,68) (5,53)
	Albarno	41,85 bA (2,87) (6,86)	41,62 bA (2,44) (5,87)	41,30 bA (1,20) (2,89)	51,08 bAB (2,45) (4,80)	80,97 aAB (8,27) (10,21)	82,93 aA (3,15) (3,79)	56,66 (18,88) (33,32)	52,70 A (1,41) (2,68)
	Cerne	46,06 aA (2,56) (5,55)	47,35 aA (2,93) (6,18)	46,99 aA (1,14) (2,42)	36,53 aA (2,99) (8,19)	4,91 bC (10,97) (223,61)	0,00 bA	30,31 (20,91) (69,00)	34,93 A (1,45) (4,15)
T 3 (EU+N)	Casca	10,80 (1,53) (14,14)	9,94 (1,32) (13,28)	10,25 (2,24) (21,85)	11,09 (1,29) (11,60)	12,45 (2,31) (18,52)	14,20 (1,39) (9,75)	11,46 C (2,17) (18,92)	11,03 B (0,99) (8,95)
	Albarno	37,81 cA (1,74) (4,61)	40,56 cA (2,50) (6,16)	42,84 cA (1,88) (4,39)	57,97 bAB (4,17) (7,20)	87,55 aA (2,31) (2,63)	85,80 aA (1,39) (1,61)	58,75 (21,23) (36,13)	55,44 A (1,95) (3,52)
	Cerne	51,39 aA (2,60) (5,06)	49,51 aA (2,99) (6,04)	46,91 aA (2,41) (5,14)	30,94 bA (4,05) (13,10)	0,00 cC	0,00 cA	29,79 (22,57) (75,77)	33,53 A (2,34) (6,99)
T4 (EU+25AM)	Casca	16,42 (1,73) (10,52)	13,19 (2,22) (16,84)	11,71 (1,76) (15,07)	13,40 (1,24) (9,28)	14,68 (2,38) (16,22)	17,23 (0,74) (4,31)	14,44 AB (2,52) (17,48)	13,49 AB (1,19) (8,85)
	Albarno	36,16 dA (3,30) (9,12)	38,66 dA (3,25) (8,40)	43,86 dA (3,32) (7,58)	54,57 cAB (9,20) (16,85)	72,97 bBC (12,55) (17,20)	82,77 aA (0,74) (0,90)	54,83 (18,85) (34,37)	52,38 A (3,13) (5,97)
	Cerne	47,42 aA (4,57) (9,63)	48,15 aA (3,66) (7,59)	44,43 abA (3,18) (7,15)	32,03 bA (9,72) (30,35)	12,35 cB (11,70) (94,72)	0,00 dAd	30,73 (19,80) (64,43)	34,13 A (3,72) (10,91)
T 5 (EU+50AM)	Casca	14,92 (2,78) (18,66)	13,32 (1,68) (12,59)	13,67 (1,12) (8,22)	14,20 (2,28) (16,03)	16,49 (2,66) (16,12)	18,76 (2,16) (2,65)	15,23 A (2,76) (18,14)	14,52 A (1,46) (10,03)
	Albarno	39,24 dA (1,70) (4,33)	42,12 dA (1,96) (4,65)	42,16 dA (4,99) (11,83)	58,96 cA (7,93) (13,45)	68,84 bCD (9,28) (13,48)	81,24 Aa (2,16) (2,65)	55,43 (16,72) (30,17)	52,31 A (3,41) (6,52)
	Cerne	45,84 aA (1,89) (4,12)	44,56 aA (2,77) (6,21)	44,17 aA (5,15) (11,66)	26,84 bA (9,12) (33,97)	14,67 cB (9,58) (65,38)	0,00 dA	29,35 (18,46) (62,90)	33,17 A (3,64) (10,98)

Continua...

Tabela 2, Continuação:

T 6 (EU+100AM)	Casca	14,18 (1,61) (11,38)	12,09 (2,93) (24,24)	11,45 (1,98) (17,33)	13,67 (1,59) (11,63)	15,41 (2,40) (15,54)	17,54 (1,42) (8,13)	14,06 AB (2,79) (19,84)	13,31 AB (0,75) (5,66)
	Alburno	38,98 cA (4,82) (12,36)	40,00 bcA (3,81) (9,52)	42,54 bcA (1,34) (3,15)	49,29 bB (5,11) (10,36)	74,69 aBC (7,54) (10,10)	82,46 aA (1,42) (1,73)	54,66 (18,15) (33,20)	51,41 A (3,22) (6,26)
	Cerne	46,83 aA (5,29) (11,31)	47,91 aA (2,35) (4,90)	46,01a A (0,91) (1,99)	37,04 aA (3,55) (9,59)	9,90 bB (7,45) (7,28)	0,00 cA	31,28 (19,85) (63,47)	35,28 A (2,56) (7,26)
T 7 (50EU:50AM)	Casca	14,35 (2,24) (15,62)	13,11 (3,14) (23,96)	12,22 (2,83) (23,13)	10,66 (2,91) (27,34)	13,55 (2,74) (20,21)	15,67 (2,92) (18,63)	13,26 B (3,02) (22,77)	12,45 AB (2,19) (17,57)
	Alburno	43,18 cA (3,37) (7,82)	44,30 cA (3,95) (8,91)	44,84 cA (2,59) (5,78)	52,25 bcAB (4,58) (8,77)	61,00 bD (10,46) (17,15)	84,33 aA (2,92) (3,46)	54,98 (15,53) (28,25)	50,76 A (3,59) (7,08)
	Cerne	42,47 aA (2,68) (6,30)	42,59 aA (2,98) (6,99)	42,93 aA (0,86) (1,99)	37,10 abA (4,64) (12,51)	25,45 bA (8,03) (31,54)	0,00 cA	31,76 (16,17) (50,91)	36,79 A (2,21) (6,01)
Média	Casca	13,80 bc (2,60) (18,83)	12,11 d (2,41) (19,94)	11,80 d (2,05) (17,36)	12,57 cd (2,26) (18,02)	14,45 b (2,71) (18,72)	16,74 a (2,30) (13,74)	-	-
	Alburno	39,59 (3,74) (9,46)	41,21 (3,33) (8,08)	42,96 (2,84) (6,61)	54,02 (6,55) (12,13)	74,34 (11,86) (15,95)	83,26 (2,45) (2,94)	-	-
	Cerne	46,67 (4,15) (8,89)	46,68 (3,61) (7,74)	45,24 (2,93) (6,48)	33,41 (6,91) (20,70)	11,21 (11,44) (101,99)	0,00	-	-

¹ Porcentagem da altura comercial e DAP (diâmetro a altura do peito), 1,30 metros da base.

² Média dos componentes do tronco nas posições/discos.

³ Valores médios ponderados pelo volume dos segmentos do fuste.

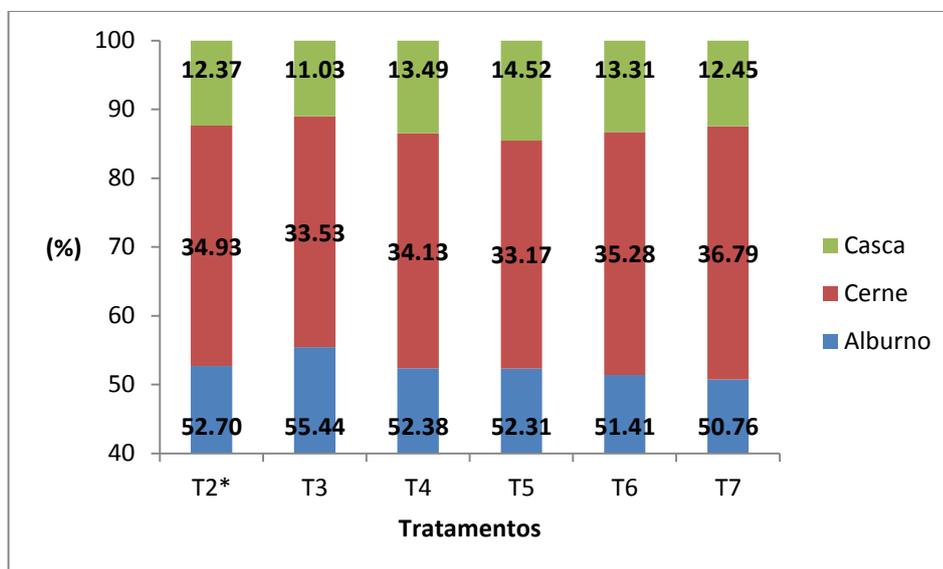
⁴ T2: tratamento 2, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m; T3: tratamento 3, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m, + fertilização nitrogenada; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), espaçamento 3,0 x 3,0m.

⁵ Valores ao longo das colunas seguidos de mesma letra maiúscula e ao longo das linhas seguidos de mesma letra minúscula, para o mesmo parâmetro, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

* Valores correspondem ao desvio-padrão (%)

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Para melhor visualização dos dados, o histograma apresentando os teores médios por fuste dos diferentes componentes do tronco do híbrido de eucalipto está disposto na Figura 5.



* T2: tratamento 2, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m; T3: tratamento 3, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m, + fertilização nitrogenada; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), espaçamento 3,0 x 3,0m.

Figura 5. Teores médios por fuste dos componentes do tronco do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* nos tratamentos.

Os teores de casca decresceram da base até o DAP, permanecendo constantes até a metade do fuste, voltando a aumentar desta posição até chegar a um valor máximo próximo ao topo do fuste, comportamento semelhante ao encontrado por Arango Alzate (2004) e Gonçalves et. al. (2010), para o mesmo híbrido, e por Oliveira et al. (1999) para as *Corymbia citriodora*, *E. tereticornis*, *E. paniculata*, *E. pilularis*, *E. urophylla* e *E. grandis*).

Apesar da diferença na idade, os teores ponderados de casca no fuste encontrados estão de acordo com os observados por Oliveira et al. (1999) para *E. grandis* com aproximadamente 19 anos de idade (10,82%) e *E. urophylla* com aproximadamente 21 anos de idade (12,75%). E próximo aos 11,36% obtidos por Gonçalves et. al. (2010) para os teores médios de casca por árvore, em híbrido clonal *E. grandis* x *E. urophylla* 70 meses após reforma.

Não foram observadas diferenças significativas entre os teores médios de alburno e cerne por fuste, contudo, embora não significativo, os maiores

teores de alburno foram observados no plantio simples com fertilização nitrogenada (EU+N) e o menor teor de alburno no plantio misto em substituição (50EU:50AM), este ainda possuiu o maior teor de cerne. De maneira geral, os teores de alburno mantiveram-se estatisticamente constantes da base até 25% da altura comercial, aumentando desta posição até o topo. Contudo, foi observado tendência de aumento no sentido base-topo, concordando com Gonçalves et. al. (2010).

Os teores de alburno encontrados estão elevados, mas semelhantes aos encontrados por Gonçalves (2006), que ao avaliar o híbrido *E. grandis x E. urophylla* com 5 e 8 meses de idade, encontrou teores médios de 49,45% para alburno.

Os teores de casca, alburno e cerne encontrados estão semelhantes aos descritos por Arango Alzate (2004), que ao estudar o híbrido *E. grandis x E. urophylla* com aproximadamente oito anos de idade, encontrou valores de 11,91, 35,76 e 52,37%, para casca, cerne e alburno, respectivamente.

Mauri (2010) obteve valores variando desde 11,02 até 17,61% para casca, 37,24 a 52,01% para alburno e 31,22 a 54,62% para cerne após medições realizadas no DAP de dois híbridos *E. grandis x E. urophylla* com seis anos.

Foi observado grande amplitude para o coeficiente de variação dos teores de casca, cerne e alburno nas posições e tratamentos, diferentemente destes componentes ponderados pelo volume do fuste. Os elevados coeficientes de variação nas posições mais altas do fuste estão relacionados ao fato de algumas amostras possuírem cerne e outras não, nestas posições.

4.2.MASSA ESPECÍFICA BÁSICA DA MADEIRA

4.2.1. *Acacia mangium*

Os resultados para a massa específica básica da madeira nos tratamentos, posições ao longo do tronco e seus valores médios ponderados por fuste de *A. mangium* estão na Tabela 3.

Tabela 3. Massa específica básica média da madeira (g. cm^{-3}) nos diferentes tratamentos e posições e massa específica básica média ponderada por fuste para *A. mangium*

Tratamento	Posição ao logo do tronco (%) ¹						Média ²	Fuste ³
	0	DAP	25	50	75	100		
T 1⁴ (AM)	0,49 (0,08)* (15,98)**	0,40 (0,05) (13,60)	0,37 (0,08) (20,21)	0,38 (0,05) (13,80)*	0,39 (0,05) (11,99)	0,38 (0,05) (13,90)	0,40 AB⁵ (0,07) (17,23)	0,39 A (0,05) (13,99)
T 4 (EU+25AM)	0,51 (0,03) (5,36)	0,46 (0,04) (7,73)	0,38 (0,02) (6,11)	0,40 (0,08) (20,15)	0,36 (0,04) (10,70)	0,38 (0,05) (13,58)	0,42 A (0,07) (16,99)	0,40A (0,02) (4,71)
T 5 (EU+50AM)	0,54 (0,06) (10,95)	0,47 (0,08) (17,02)	0,39 (0,06) (14,21)	0,38 (0,06) (15,76)	0,39 (0,06) (15,21)	0,39 (0,11) (27,37)	0,43 A (0,09) (20,94)	0,41A (0,06) (14,27)
T 6 (EU+100AM)	0,47 (0,06) (11,79)	0,39 (0,04) (11,43)	0,35 (0,02) (5,31)	0,35 (0,03) (9,49)	0,33 (0,03) (9,72)	0,32 (0,05) (15,36)	0,37 B (0,06) (17,18)	0,36A (0,01) (2,56)
T 7 (50EU:50AM)	0,53 (0,03) (5,58)	0,43 (0,05) (12,24)	0,37 (0,05) (12,16)	0,33 (0,09) (25,6)	0,35 (0,02) (6,63)	0,33 (0,04) (12,41)	0,39 AB (0,08) (21,47)	0,37A (0,04) (9,72)
Média	0,51 a (0,06) (10,85)	0,43 b (0,06) (14,33)	0,37 c (0,05) (12,58)	0,37 c (0,06) (17,35)	0,36 c (0,04) (12,28)	0,36 c (0,06) (18,08)	-	-

¹ Porcentagem da altura comercial e DAP (diâmetro a altura do peito), 1,30 metros da base.

² Massa específica básica média das posições/discos.

³ Valores médios de massa específica básica ponderados pelo volume dos segmentos do fuste.

⁴ T1: Tratamento 1, monocultivo de *A. mangium*, espaçamento 3,0 x 3,0m; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; T6: Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), em espaçamento 3,0 x 3,0m.

⁵ Valores ao longo das colunas seguidos de mesma letra maiúscula e ao longo das linhas seguidos de mesma letra minúscula, para o mesmo parâmetro, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

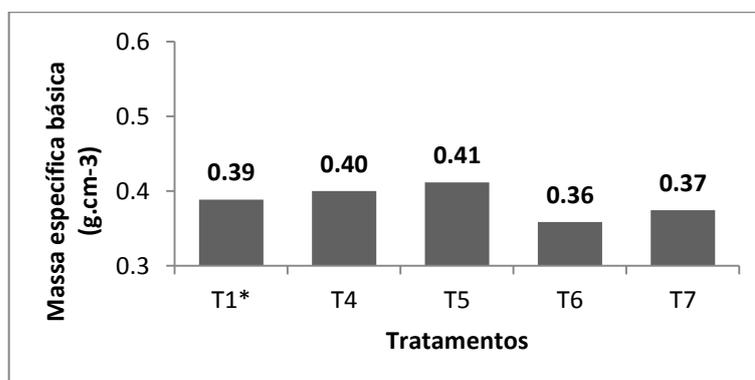
* Valores correspondem desvio-padrão (g.cm^{-3}).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Conforme consta nos Apêndices 1.5 e 1.7, Não foi observado diferença significativa para a massa específica básica média por fuste, pelo teste de Tukey com 5% de significância. Da mesma forma, não foi observado interação significativa entre as posições longitudinais do fuste e os tratamentos, para a massa específica básica, em *A. mangium*. Entretanto, ocorreram diferenças significativas entre as médias das posições e dos tratamentos.

A madeira de *A. mangium* proveniente do tratamento com adição de 100% de acácia (EU+100AM) apresentou a menor massa específica básica para a média dos discos ou posições e, embora não tenha sido verificada diferença entre os tratamentos para massa específica média do fuste, numericamente, o mesmo tratamento apresentou a menor média para este parâmetro. Também numericamente, a madeira dos tratamentos com adição de acácia em 25% (EU+25AM) e 50% (EU+50AM) apresentaram os maiores valores por disco (posição) e ponderados por fuste. Estatisticamente, não houve diferença entre as médias ponderadas por fuste.

Para melhor visualização, os dados de massa específica básica média dos fustes de *A. mangium* nos diferentes tratamentos, constantes na Tabela 3, estão em forma gráfica na Figura 6.



* T1: Tratamento 1, monocultivo de *A. mangium*, espaçamento 3,0 x 3,0m; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; T6: Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), em espaçamento 3,0 x 3,0m.

Figura 6. Massa específica básica média dos fustes de *A. mangium* nos tratamentos.

A massa específica básica da madeira de *A. mangium* está abaixo da faixa recomendada para produção de celulose, que se encontra entre 0,45 a

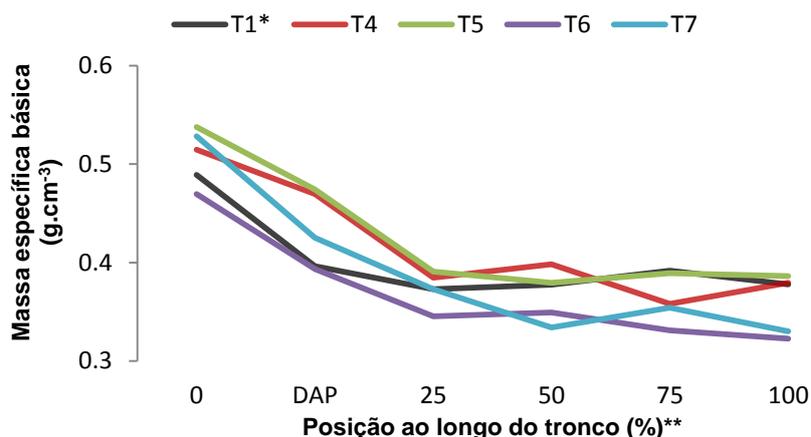
0,55 g.cm⁻³ (BARRICHELO; FOELKEL; MILANEZ, 1975, FOELKEL; MORA; MENOCELLI, 1992, REMADE, 2001). A massa específica básica da madeira está relativamente baixa para a produção de celulose, concordando com Foelkel (2012). A massa específica básica abaixo desta faixa indica menor rendimento de polpa por volume de madeira, maior custo por unidade de massa de celulose, menor aproveitamento da capacidade do digestor, celulose com menores opacidade e resistência ao rasgo.

A massa específica média do fuste para todos os tratamentos estão dentro da faixa de 0,357 a 0,436 g.cm⁻³ encontrada por Alencar (2009) ao estudar quatro materiais genéticos de *A. mangium* com cinco anos de idade, cultivadas em Anhembi-SP. Contudo estão inferiores aos 0,52 g.cm⁻³ descritos por Segura, Zanão e Silva Júnior (2010) para árvores com seis anos de idade plantadas na Indonésia e por Vale, Brasil e Martins (1999) para árvores com sete anos, plantadas em Botucatu-SP. Os valores encontrados são inferiores, contudo, porém, próximos aos observados por Antunes (2009), 0,44 g.cm⁻³, para árvores com seis anos plantadas na Indonésia.

Os valores de massa específica básica da madeira do DAP nos tratamentos (EU+25AM), (EU+50AM) e (50EU:50AM) estão próximos aos encontrados por Moya e Muñoz (2010), na mesma posição, em árvores com nove anos de idade cultivadas na Costa Rica. Os mesmos autores também reportam significativo declínio desta propriedade associado ao aumento na altura, com valores próximos a 0,48 g.cm⁻³ na base e 0,41 g.cm⁻³ no topo. Mesma tendência observada por Alencar (2009), com massa específica mais elevada na base e decréscimo ao longo do fuste até atingir o topo.

Os valores encontrados, para variação longitudinal da massa específica básica, estavam próximos a 0,50 g.cm⁻³ na base do tronco, estes decrescem até a posição correspondente a 25% da altura comercial, permanecendo estatisticamente constante até o topo. Os maiores valores na base podem ser atribuídos a maior proporção de madeira de transição ou adulta, com fibras com paredes mais espessas, em relação ao topo.

Para melhor visualização, os dados referentes à variação da massa específica básica ao longo do fuste de *A. mangium* nos diferentes tratamentos, constantes na Tabela 3, estão na Figura 7.



* T1: Tratamento 1, monocultivo de *A. mangium*, espaçamento 3,0 x 3,0m; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; T6: Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), em espaçamento 3,0 x 3,0m.

** Porcentagem da altura comercial e DAP (diâmetro a altura do peito) corresponde a 1,30 metros da base.

Figura 7. Variação da massa específica básica ao longo do fuste de *A. mangium* nos tratamentos.

Antunes (2009) observou decréscimo nos valores da massa específica básica da base até 25% da altura comercial do fuste, aumentando em 50%, seguido de nova redução até atingir o topo.

Foelkel (2012) reportou como tendência mais comum a ocorrência dos maiores valores de massa específica na base e as mais baixas no quartil superior do tronco. Segundo o mesmo autor, o decréscimo da base para o topo pode ocorrer também de forma contínua e lenta ou em alguns casos, é possível se notar um decréscimo rápido da massa específica básica da base até 25% da altura comercial, para depois crescer e novamente baixar. Sendo este último mais próximo ao encontrado neste trabalho, porém, os valores ficaram praticamente constantes nas posições acima de 25% da altura comercial.

4.2.2. Híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*

Os resultados para a massa específica básica da madeira nos tratamentos, posições ao longo do tronco e seus valores médios ponderados por fuste de *E. grandis* x *E. urophylla* estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4. Massa específica básica média da madeira (g. cm^{-3}) nos diferentes tratamentos e diferentes posições e massa específica básica média ponderada por fuste para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*

Tratamento	Posição ao logo do tronco (%) ¹						Fuste ²
	0	DAP	25	50	75	100	
T 2³ (EU)	0,57 aA ⁴ (0,02)* (3,78)**	0,52 bB (0,02) (3,37)	0,52 bBC (0,02) (4,43)	0,53 bBC (0,01) (0,97)	0,52 bBC (0,01) (2,04)	0,54 abA (0,02) (3,32)	0,53BC (0,01) (2,02)
T 3 (EU+N)	0,56 aA (0,03) (5,39)	0,54 abAB (0,02) (4,66)	0,51 bC (0,02) (3,42)	0,52 bC (0,02) (3,07)	0,52 bC (0,01) (2,65)	0,52 bA (0,01) (2,66)	0,52C (0,01) (2,22)
T 4 (EU+25AM)	0,58 aA (0,01) (2,41)	0,52 dB (0,01) (2,57)	0,53 cdABC (0,03) (5,11)	0,56 abcAB (0,01) (1,98)	0,57 abA (0,01) (1,99)	0,54 bcdA (0,01) (1,71)	0,55AB (0,01) (1,28)
T 5 (EU+50AM)	0,59 aA (0,02) (4,03)	0,52 cB (0,02) (4,11)	0,54 bcABC (0,03) (4,66)	0,57 abA (0,03) (5,84)	0,56 abAB (0,02) (3,00)	0,54 bcA (0,02) (3,18)	0,55A (0,01) (2,68)
T 6 (EU+100AM)	0,58 aA (0,03) (4,86)	0,53 bB (0,02) (4,14)	0,54 bAB (0,02) (3,93)	0,55 abAB (0,02) (3,24)	0,55 abABC (0,02) (3,17)	0,53 bA (0,01) (2,34)	0,54AB (0,004) (0,82)
T 7 (50EU:50AM)	0,58 aA (0,01) (1,15)	0,57abA (0,02) (4,27)	0,57abA (0,03) (4,93)	0,55 abABC (0,01) (1,36)	0,56 abA (0,01) (1,15)	0,54 bA (0,01) (1,18)	0,56A (0,01) (2,39)

¹ Porcentagem da altura comercial e DAP (diâmetro a altura do peito) corresponde a 1,30 metros da base.

² Valores médios ponderados pelo volume dos segmentos do fuste.

³ T2: tratamento 2, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m; T3: tratamento 3, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m, + fertilização nitrogenada; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, planta mista em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), espaçamento 3,0 x 3,0m.

⁴ Valores ao longo das colunas seguidos de mesma letra maiúscula e ao longo das linhas seguidos de mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey a 5% de significância.

* Valores correspondem desvio-padrão (g.cm^{-3}).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Conforme consta nos Apêndices 1.6 e 1.8, houve significância estatística para a interação entre tratamentos e posições ao longo do tronco para a massa específica básica da madeira do híbrido de eucalipto e a massa específica média por fuste diferenciou estatisticamente entre os tratamentos.

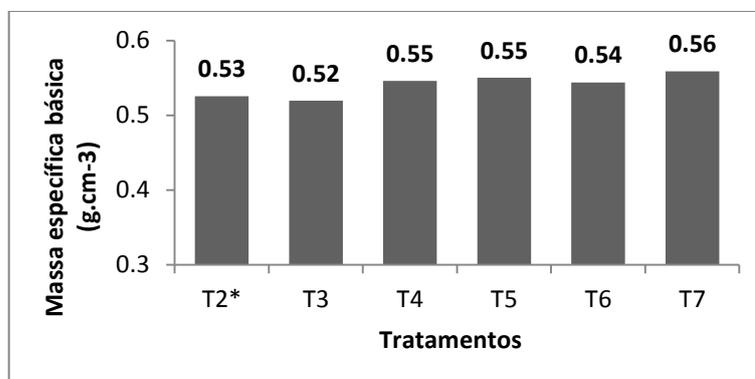
Embora o plantio simples sem fertilização nitrogenada tenha sido semelhante ao plantio misto com adição de 25 e 100% de acácia, os tratamentos em plantio simples apresentaram as menores médias por fuste. Não havendo diferença estatística entre os tratamentos em plantio misto, mas, numericamente, a madeira do plantio misto por substituição (50EU:50AM) apresentou os maiores valores.

A massa específica básica da madeira do híbrido de eucalipto foi significativamente influenciada pelo plantio misto, sendo os maiores valores observados neste tipo de cultivo em relação ao monocultivo. Não foi observado diferença significativa entre os tratamentos em monocultivo com e sem fertilização nitrogenada, (EU) e (EU+N), portanto, a fertilização nitrogenada não foi significativa para este parâmetro.

Os valores médios de massa específica básica das árvores ou fustes estão dentro do intervalo de 0,45 a 0,55 g.cm⁻³, descrito por Ferreira et al. (2006) para o mesmo híbrido com idades entre sete e nove anos cultivados no Sul da Bahia. Os resultados obtidos para massa específica básica média estão superiores aos 0,47, 0,51 e 0,52 g.cm⁻³ descritos por Trugilho (2009) para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* aos cinco, seis e sete anos, respectivamente. Alencar (2009), Barrichello e Silva Junior (2001) observaram valor de 0,52 g.cm⁻³ para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com seis e sete anos de idade, valores também inferiores aos observados no presente estudo.

As massas específicas básicas médias das árvores estão dentro do intervalo de recomendado para madeiras destinadas a produção de celulose, ou seja, entre 0,45 a 0,55 g.cm⁻³ (BARRICHELO; FOELKEL; MILANEZ, 1975, FOELKEL; MORA; MENOCELLI, 1992, REMADE, 2001) com valores limites entre 0,45 e 0,65 g.cm⁻³ (FOELKEL, 1978; FOELKEL; MORA; MENOCELLI, 1992).

Para melhor visualização, os dados de massa específica básica média dos fustes do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* nos diferentes tratamentos, constantes na Tabela 4, estão na Figura 8.



* Tratamento 2, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m; T3: tratamento 3, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m, + fertilização nitrogenada; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), espaçamento 3,0 x 3,0m.

Figura 8. Massa específica básica média dos fustes do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* nos tratamentos.

Os valores de massa específica básica média por fuste observados para todos os tratamentos estão superiores aqueles obtidos por Arango Alzate (2004) e Gonçalves (2006), que observaram valores de 0,48 a 0,49 g.cm⁻³, para clones de *E. grandis* x *E. urophylla* com idades entre cinco e dez anos.

Os valores encontrados no DAP estão superiores aos observados por Mauri (2010), que observou valores inferiores a 0,50 g.cm⁻³, em híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com seis anos.

A massa específica básica da porção mediana das toras, ou acima de 25%, apresentam valores mais elevados que os observados por Carvalho e Nahuz (2001) em híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com sete anos (0,51g.cm⁻³), exceto o tratamento com fertilização nitrogenada (EU+N), que também apresentou valores próximos ao encontrado pelos autores. Os autores observaram este valor em porção de tora destinada a produção de celulose após o fuste ser dividido longitudinalmente em partes para produtos sólidos, produção de celulose e energia, a porção destinada a produção de celulose compreendia desde a posição a 4 metros da base até altura correspondente ao diâmetro de 6,0 cm.

Gomide et al. (2005), ao estudarem dez clones de *Eucalyptus* das principais empresas brasileiras de celulose declararam que os mesmos possuem massa específica básica média variando de 0,47 a 0,51 g.cm⁻³, portanto, inferiores aos valores observados neste estudo.

Em relação à variação longitudinal, a massa específica básica da madeira esteve acima de 0,50 g.cm⁻³ em todas as posições para todos os tratamentos e, no geral, observou-se tendência de decréscimo em seus valores da base para o DAP, não confirmada estatisticamente nos tratamentos com fertilização nitrogenada em plantio simples (EU+N) e no cultivo misto em substituição (50EU:50AM). E a partir do DAP os tratamentos apresentaram comportamentos distintos.

Ainda para a variação longitudinal da massa específica básica da madeira. No plantio simples (EU), esta ficou praticamente constante do DAP até 75% da altura comercial, com incremento nos valores desta posição até o topo. Para o plantio simples com fertilização nitrogenada (EU+N), houve decréscimo até 25% da altura comercial, novo acréscimo em 50% e permaneceu constante até o topo. Os tratamentos com adição de acácia em 50% (EU+50AM) e 100% (EU+100AM) apresentaram tendência de elevação da massa específica básica do DAP até 50% do comprimento do tronco e decréscimo até 100% da altura comercial, ocorrendo comportamento semelhante no plantio com adição de 25% de acácia (EU+25AM), porém, com decréscimo nos valores a partir de 75% da altura comercial e não em 50% como os dois tratamentos anteriores, (EU+50AM) e (EU+100AM).

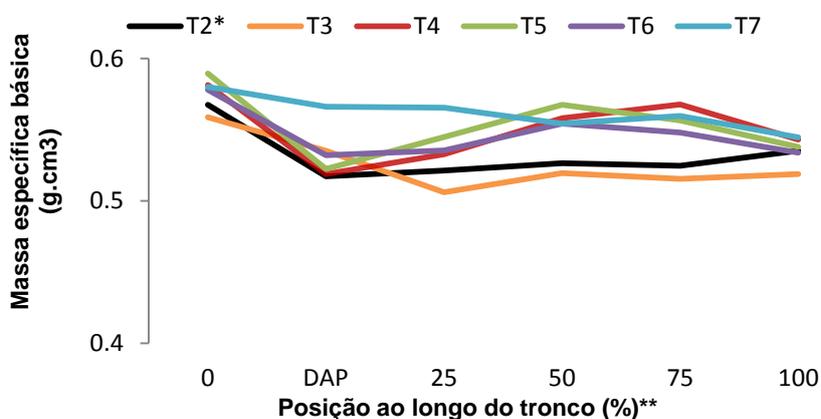
O plantio misto em substituição (50EU:50AM) apresentou tendência de queda na massa específica básica da madeira da base ao topo, sendo também, o que apresentou maiores valores nas posições do DAP e 25% da altura comercial e maior homogeneidade entre as médias das diferentes posições. A homogeneidade é uma característica a ser buscada e, muitas dificuldades no processo de produção de celulose são devidas à manipulação de matéria-prima heterogênea.

As diferentes modalidades e proporções do plantio misto influenciaram a variação longitudinal da massa específica básica no clone de eucalipto, podendo ser notado que os tratamentos em cultivo misto apresentaram

maiores valores de massa específica básica entre o DAP e 75% da altura comercial, quando comparado aos tratamentos em monocultivo.

Os valores de massa específica básica para as diferentes posições apresentaram maior semelhança nas extremidades superior e inferior do fuste e maior heterogeneidade nas posições medianas quando comparado os diferentes tratamentos.

Para melhor visualização, os dados referentes à variação da massa específica básica ao longo do fuste do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* nos diferentes tratamentos, constantes na Tabela 4, estão apresentados em forma gráfica na Figura 9.



* Tratamento 2, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m; T3: tratamento 3, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m, + fertilização nitrogenada; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), espaçamento 3,0 x 3,0m.
 ** Porcentagem da altura comercial e DAP (diâmetro a altura do peito) corresponde a 1,30 metros da base.

Figura 9. Variação da massa específica básica ao longo do fuste do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* nos tratamentos.

A literatura possui dados contrastantes em relação à variação da massa específica básica da madeira no sentido base-topo. Para o gênero *Eucalyptus*, observa-se com maior frequência, valores decrescentes até 50% da altura da árvore e crescentes desse ponto até o topo ou ainda podendo diminuir próximo ao topo (GOULART et al, 2003). Padrão crescente da base para o topo foi relatado por Cardoso et al. (2002) para *E. globulus* com oito anos de idade.

O perfil longitudinal encontrado nos tratamentos com adição de 25, 50 e 100% de acácia, (EU+25AM), (EU+50AM) e (EU+100AM), é semelhante ao

verificado por Goulart et al. (2003) para *E. grandis*, dez anos de idade, em que a massa específica básica da madeira decresceu da base para o DAP, aumentou levemente até 75% da altura comercial e seguiu tendência decrescente até 100%, ou seja, com os maiores valores encontrados na base e em 75% da altura comercial.

A variação longitudinal encontrada diferiu do observado por Arango Alzate, Tomazello Filho e Piedade (2005) para *E. grandis* e para um híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, ambos com oito anos de idade, em que a massa específica básica do *E. grandis* decresceu da base até aproximadamente metade da altura comercial, voltando a aumentar na direção do topo, e aumentou da base até o topo do fuste, no híbrido.

Sturion, Pereira e Chemin (1988) não observaram influência do espaçamento na massa específica básica de *Eucalyptus viminalis*, aos sete anos, ao variar a área por planta de 1,0 a 6,0m². Goulart et al. (2003), observaram redução da massa específica básica da madeira com o aumento do espaço vital para *E. grandis*, com dez anos de idade. Berger (2000) afirmou ocorrer elevação da massa específica básica da madeira com o aumento do espaço vital em *E. saligna* e Willer Ferreira et al (1997) verificaram maiores espaçamentos relacionados aos maiores valores para *E. dunnii* aos seis anos.

Os resultados obtidos neste trabalho estão em desacordo com os autores citados no parágrafo anterior com relação a influência do espaçamento na massa específica básica da madeira. Podendo indicar que resultados obtidos em trabalhos que avaliaram influência do espaçamento nas propriedades da madeira não devem servir de subsídio para estudos que avaliam a influência do plantio misto nas propriedades da madeira.

4.3. ANÁLISE QUÍMICA DA MADEIRA

4.3.1. *Acacia mangium*

Os resultados para a análise química da madeira de *A. mangium* nos diferentes tratamentos, para posição do DAP estão na Tabela 5.

Tabela 5. Análise química da madeira de *A. mangium* nos tratamentos na posição do DAP.

Tratamento	Extrativos ¹ (%)	Lignina Solúvel (%)	Lignina Insolúvel (%)	Lignina Total (%)	Holocelulose (%)
T 1² (AM)	3,01 A ³ (0,54) (18,09)*	1,26 B (0,03) (2,14)	28,03 A (1,49) (5,32)	29,29 A (1,48) (5,06)	67,70 A (1,21) (1,79)
T 4 (EU+25AM)	3,35 A (0,82) (24,51)	1,21 B (0,03) (2,15)	28,06 A (0,83) (2,95)	29,27 A (0,82) (2,80)	67,38 A (0,55) (0,82)
T 5 (EU+50AM)	3,07 A (0,86) (27,99)	1,26 B (0,07) (5,56)	27,24 A (1,44) (5,28)	28,50 A (1,45) (5,10)	68,44 A (1,63) (2,38)
T 6 (EU+100AM)	3,29 A (0,89) (30,16)	1,51 A (0,26) (16,89)	28,08 A (0,40) (1,44)	29,59 A (0,32) (1,07)	67,12 A (1,22) (1,82)
T 7 (50EU:50AM)	2,81 A (0,35) (12,45)	1,39 AB (0,06) (4,09)	27,41 A (1,67) (6,11)	28,80 A (1,69) (5,87)	68,39 A (1,46) (2,14)

¹ Extrativos em álcool/tolueno (1:2).

² T1: Tratamento 1, monocultivo de *A. mangium* espaçamento 3,0 x 3,0m; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; T6: Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), em espaçamento 3,0 x 3,0m.

³ Valores ao longo das colunas seguidos de mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

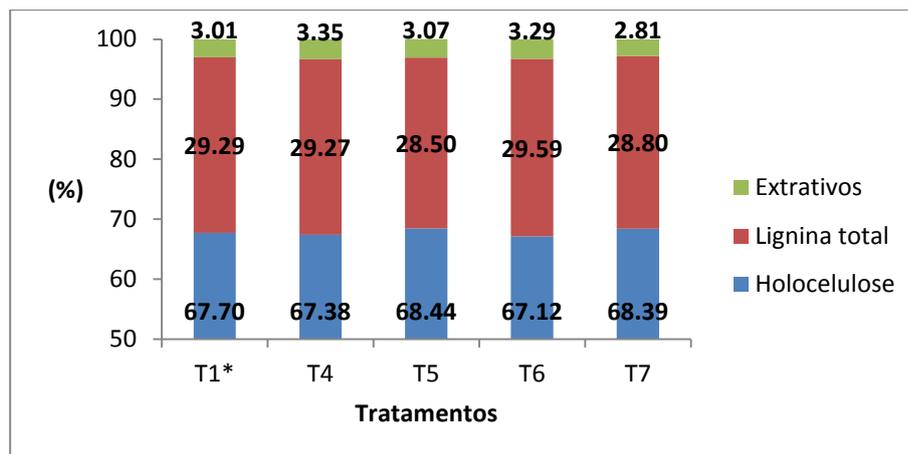
* Valores correspondem desvio-padrão (%).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Conforme consta no Apêndice 1.9, os tratamentos não influenciaram significativamente os parâmetros químicos pesquisados na madeira de *A. mangium*, exceção ao parâmetro lignina solúvel, único parâmetro em que foram verificadas diferenças significativas entre os tratamentos. Contudo, conforme consta na Tabela 5, os teores médios de lignina solúvel estiveram próximos também nos diferentes tratamentos.

Ainda para lignina solúvel, o teor mais elevado foi encontrado no tratamento com adição de 100% de acácia. Desta forma o plantio misto não influenciou as características químicas da madeira de *A. mangium*, exceto para lignina solúvel quando houve adição de 100% de acácia.

Para melhor visualização dos dados, o histograma com os teores médios de extrativos, lignina total e holocelulose em *A. mangium* está disposto na Figura 10.



* T1: Tratamento 1, monocultivo de *A. mangium*, espaçamento 3,0 x 3,0m; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; T6: Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), em espaçamento 3,0 x 3,0m.

Figura 2. Teores médios de extrativos, lignina total e holocelulose em *A. mangium*.

Antunes (2009) constatou 5,14% de extrativos totais, 1,44% de lignina solúvel, 26,62% de lignina insolúvel, 28,06% de lignina total e 66,55% de holocelulose. Segura; Zanão e Silva Júnior (2010) encontraram valores de 5,13; 28,01 e 66,77 % para extrativos totais, lignina total, e holocelulose, respectivamente. Os dois trabalhos investigaram *A. mangium*, com idade de seis anos, plantada na Indonésia, sendo os valores próximos aos encontrados no presente estudo, exceto, pelo menor teor de extrativos do presente estudo.

Pinto, Evtuguin e Pascoal Neto (2005) encontraram para a espécie aos sete anos de idade, valores de 70,9; 27,1 e 4,26% para holocelulose, lignina total e extrativos (etanol/tolueno), respectivamente. Valores que estão próximos aos obtidos no presente trabalho.

Alencar (2009) ao estudar quatro materiais genéticos de *A. mangium*, com cinco anos de idade, cultivada no Estado de São Paulo, observou variação de 5,93 a 9,66% para extrativos totais; 1,40 a 2,36% para lignina solúvel; 23,39 a 24,77% para lignina insolúvel; 24,79 a 26,83 para lignina total e 63,51 a 68,09% para holocelulose. Tais valores estão semelhantes aos encontrados para de holocelulose, porém, elevados em comparação com os teores de extrativos e inferiores para lignina insolúvel e total.

Os resultados obtidos neste trabalho evidenciam coerência com a literatura citada, contudo, possui teores de extrativos inferiores a todos os valores pesquisados na literatura.

Segundo Carvalho (1999), em geral maiores teores de lignina presentes na madeira podem exigir maiores cargas de reagentes químicos durante o processo de cozimento, assim como maiores teores de extrativos, que também colaboram para tal, além de possuírem maior potencial para a formação de depósitos de “pitch” em equipamentos, principalmente, telas e feltros.

4.3.2. Híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*

Os resultados para a análise química da madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* nos diferentes tratamentos, para posição do DAP estão na Tabela 6. Sendo constatadas influências significativas dos tratamentos sobre a química da madeira do clone de eucalipto em todos os fatores estudados, conforme consta no Apêndice 1.10.

Os teores de extrativos foram mais elevados nas madeiras provenientes de plantio misto e inferiores nas madeiras do plantio simples, embora tenha ocorrido semelhança estatística entre alguns tratamentos dos dois grupos esta tendência pôde ser percebida. Os maiores teores foram observados para as madeiras dos tratamentos com adição de 100% de acácia e substituição do eucalipto pela acácia em 50%, (EU+100AM) e (50EU:50AM), respectivamente, e os mais baixos teores de extrativos na madeira do plantio simples. Embora os tratamentos em cultivos simples tenham sido semelhantes, os menores teores, em termos numéricos, podem estar relacionados com a fertilização nitrogenada.

Os extrativos são indesejáveis em madeiras para produção de celulose, pois, são relacionados com a diminuição no rendimento, aumento no consumo de reagentes, incrustações em equipamentos e prejuízos à qualidade da celulose, por exemplo, alvura e propriedades mecânicas.

Os maiores teores de lignina solúvel foram observados nos tratamentos em cultivo simples, (EU) e (EU+N), contudo, os tratamentos (EU+50AM) e (EU+100AM) foram estatisticamente semelhantes.

Os menores teores de lignina solúvel foram observados nos tratamentos com adição de 25% de acácia (EU+25AM) e no plantio misto em substituição (50EU:50AM). Os mais elevados teores foram observados nos tratamentos em cultivo simples com e sem fertilização nitrogenada, estes foram semelhantes entre si e aos demais tratamentos em cultivo misto. A fertilização nitrogenada não influenciou os teores de lignina solúvel.

Tabela 6. Análise química da madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* nos tratamentos na posição do DAP.

Tratamento	Extrativos ¹ (%)	Lignina Solúvel (%)	Lignina Insolúvel (%)	Lignina Total (%)	Holocelulose (%)
T 2² (EU)	1,11 BC ³ (0,10)* (9,37)**	1,96 A (0,06) (2,93)	28,99 B (0,61) (2,10)	30,95 B (0,58) (1,87)	67,93 AB (0,53) (0,79)
T 3 (EU+N)	0,87 C (0,16) (18,39)	1,92 A (0,03) (1,76)	30,45 A (1,11) (3,63)	32,37 A (1,13) (3,50)	66,76 B (1,20) (1,80)
T 4 (EU+25AM)	1,18 B (0,12) (10,39)	1,74 C (0,04) (2,45)	27,86 B (0,52) (1,88)	29,60 C (0,52) (1,76)	69,22 A (0,43) (0,62)
T 5 (EU+50AM)	1,24 AB (0,21) (16,97)	1,91 AB (0,01) (5,11)	28,90 B (0,61) (2,12)	30,31 BC (0,55) (1,77)	67,96 AB (0,54) (0,79)
T 6 (EU+100AM)	1,51 A (0,07) (4,46)	1,87 AB (0,07) (3,75)	28,70 B (0,51) (1,77)	30,57 BC (0,53) (1,73)	67,92 AB (0,54) (0,79)
T 7 (50EU:50AM)	1,52 A (0,19) (12,37)	1,80 BC (0,02) (0,92)	27,87 B (0,30) (1,08)	29,67 C (0,31) (1,05)	68,81 A (0,48) (0,70)

¹ Extrativos em álcool/tolueno (1:2).

² T2: tratamento 2, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m; T3: tratamento 3, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m, + fertilização nitrogenada; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), espaçamento 3,0 x 3,0m.

³ Valores ao longo das colunas seguidos de mesma letra maiúscula, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de significância.

* Valores correspondem desvio-padrão (%).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

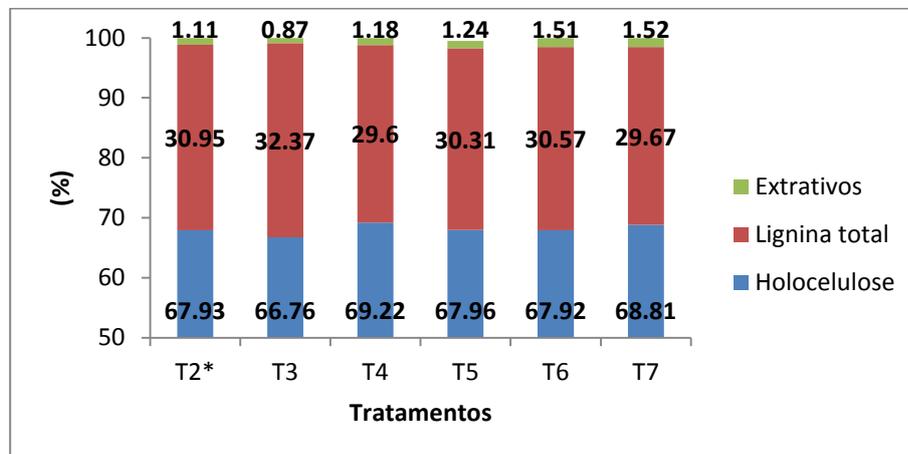
O tratamento em plantio simples com fertilização nitrogenada (EU+N) apresentou os maiores teores de lignina insolúvel e os demais tratamentos não diferiram estatisticamente entre si. Desta forma, o plantio misto não influenciou significativamente os teores de lignina insolúvel, ao contrário da fertilização nitrogenada.

A lignina total, assim como a lignina insolúvel, foi influenciada pela fertilização nitrogenada, sendo constatado diferença significativa entre os tratamentos em plantio simples, com e sem esta fertilização. O plantio simples com a fertilização apresentou os maiores teores de lignina total e o plantio simples sem fertilização não diferenciou significativamente dos tratamentos com adição de acácia em 50 e 100%, (EU+50AM) e (EU+100AM). Os mais

baixos teores foram observados nos tratamentos em plantio misto em substituição (50EU:50AM) e com adição de 25% de acácia (EU+25AM), contudo, também, sem diferir de dos tratamentos com adição de acácia em 50 e 100% que apresentaram comportamento intermediário.

O teor de lignina possui relação direta com o consumo de álcali e inversa com o rendimento da polpação, facilidade no branqueamento e resistência mecânica da polpa.

Para melhor visualização dos dados, o histograma com os teores médios de extrativos, lignina total para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* está disposto na Figura 11.



* T2: tratamento 2, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m; T3: tratamento 3, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m, + fertilização nitrogenada; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), espaçamento 3,0 x 3,0m.

Figura 3. Teores médios de extrativos, lignina total e holocelulose para o híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*.

Para holocelulose, os maiores teores foram observados nos tratamentos em plantio misto em substituição (50EU:50AM) e com adição de 25% de acácia (EU+25AM) e os menores valores no plantio simples com fertilização nitrogenada (EU+N). Os demais tratamentos apresentaram teores de holocelulose intermediários, não diferindo dos tratamentos com teores mais elevados e mais baixos. Ao contrário da lignina e dos extrativos, o teor de holocelulose está diretamente relacionado com o rendimento do processo de

produção de celulose, do branqueamento, do refino e com a resistência mecânica da polpa.

As diferenças significativas para os teores de lignina, insolúvel e total, e holocelulose entre os tratamentos em monocultivo com e sem fertilização nitrogenada e as semelhanças entre o monocultivo sem esta fertilização com alguns tratamentos em plantio misto para os mesmo parâmetros podem indicar que embora ocorra uma melhoria nas condições do solo e incorporação de nitrogênio, estudos que avaliaram a influência do espaçamento ou da fertilização nas propriedades da madeira em cultivos monoespecíficos não devem subsidiar a influência de plantios mistos na qualidade da madeira.

Ferreira et al. (2006) reportaram teores de lignina total entre 29 e 30% e extrativos em álcool/tolueno entre 1,09 a 3,74% em estudo realizado com nove híbridos *E. grandis* x *E. urophylla* com sete anos de idade, cultivados no sul da Bahia.

Alencar, Barrichello e Silva Junior (2001) obtiveram teores de 67,54; 28,18 e 4,28% para holocelulose, lignina total e extrativos totais, respectivamente, em madeira de híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* com seis anos de idade.

Carvalho e Nahuz (2001) encontraram 73,93% de holocelulose, 22,50% de lignina e 3,67% de extrativos em amostras de madeira coletadas em porção de tora que compreendia desde posição a 4 metros da base, diâmetro superior a 12 cm, até altura correspondente a 6cm de diâmetro.

Gomide et al. (2005) estudaram dez clones de *E. grandis* x *E. urophylla*, com sete anos de idade, pertencentes as principais empresas brasileiras de celulose encontrando solubilidade em álcool:tolueno (1:2) variando de 1,76 a 4,13%, 27,5 a 31,7% de lignina total e valores entre 64,5 e 70,2% para holocelulose.

Santana (2009) encontrou 67,11%; 29,13% e 3,58% para holocelulose, lignina total e extrativos totais, respectivamente, para madeira do clone *E. grandis* x *E. urophylla* com seis anos de idade.

Os resultados obtidos neste trabalho estão em desacordo com Sturion, Pereira e Chemin (1988), que não observaram influência do espaçamento no teor de lignina para *Eucalyptus viminalis* aos sete anos de idade ao variar a

área por planta de 1,0 a 6,0m². Podendo indicar que resultados obtidos em trabalhos que avaliaram influência do espaçamento nas propriedades da madeira não devem servir de subsídio para estudos que avaliam a influência do plantio misto nas propriedades da madeira.

4.4. ANATOMIA QUANTITATIVA DAS MADEIRAS

4.4.1. Elementos de vaso de *Acacia mangium*

Os valores médios, o respectivo desvio-padrão e os coeficientes de variação, obtidos para o diâmetro e frequência de vasos para a madeira de *Acacia mangium*, com 75 meses de idade, em três posições radiais na altura do DAP estão na Tabela 7.

Conforme consta no Apêndice 1.11, a interação entre os tratamentos e as posições radiais não possui significância estatística para o diâmetro dos vasos, contudo, a mesma interação foi significativa para a frequência de vasos. Embora a interação entre tratamentos e posições medula-casca não tenha significância para o diâmetro de vaso, ocorreram diferenças significativas para as médias dos diferentes tratamentos e diferentes posições medula-casca. De forma que, conforme consta na Tabela 7, foi verificado um aumento no diâmetro dos vasos no sentido medula-casca.

A madeira de *A. mangium* possui vasos pouco numerosos e de tamanho médio, segundo classificação da COPANT (1974), com frequência variando de 5,30 a 7,33 vasos mm⁻² e diâmetro tangencial de 91,57 a 143,83 μ m. Esses resultados estão dentro da faixa encontrada por Sahri, Ibrahim e Shukor (1993), que observaram frequência de 5 a 8 vasos mm⁻² e diâmetro de vaso variando de 91,0 a 188,0 μ m, ao estudarem a espécie com idade variando de quatro a oito anos. Também, os resultados encontrados estão dentro dos limites reportados por Antunes (2009) para a espécie com seis anos de idade e plantada na Indonésia, cujo diâmetro tangencial variou de 120 a 160 μ m e frequência de 4 a 9 vasos mm⁻².

Tabela 7. Valores médios de diâmetro e frequência vasculares para madeira de *A. mangium* em três posições radiais no DAP

Tratamento	Diâmetro de vaso (μm)				Frequência de vaso (vasos mm^{-2})		
	Posição medula-casca ¹			Média	Posição medula-casca		
	1	2	3		1	2	3
T 1³ (AM)	91,57 (24,87)* (27,16)**	116,05 (35,07) (30,22)	120,83 (37,03) (30,65)	109,48 B² (34,80) (31,78)	5,30 aA (1,00) (18,76)	5,37 aC (0,85) (15,87)	5,81 aAB (5,81) (1,47)
T 4 (EU+25AM)	105,17 (30,91) (29,39)	129,58 (35,23) (27,18)	142,81 (39,17) (27,36)	125,85 A (38,13) (30,30)	5,77 abA (1,05) (18,17)	6,28 aB (1,15) (18,36)	5,10 bBC (1,02) (19,98)
T 5 (EU+50AM)	109,02 (19,15) (17,69)	124,91 (23,58) (18,87)	133,77 (30,87) (23,58)	122,57 A (26,75) (21,83)	5,67 bA (0,66) (11,56)	7,33 aA (1,38) (18,87)	5,81 bAB (0,89) (15,35)
T 6 (EU+100AM)	101,13 (15,92) (15,75)	124,85 (23,57) (18,88)	143,83 (24,55) (17,07)	123,27 A (27,70) (22,47)	5,33 aA (0,87) (16,36)	5,90 aBC (1,42) (24,12)	4,27 bC (0,82) (19,30)
T 7 (50EU:50AM)	110,83 (20,48) (18,48)	131,53 (28,49) (21,66)	137,06 (31,74) (23,16)	126,47 A (29,25) (23,23)	5,65 bA (0,91) (16,11)	6,45 aB (18,66) (4,00)	6,50 aA (16,89) (4,00)
Média	103,54 c (23,54) (22,73)	125,38 b (29,65) (23,65)	135,66 a (33,56) (24,74)	-			

¹As posições 1, 2 e 3 referem-se às posições próximas à medula, no meio do raio e próximo à casca, respectivamente.

²Valores ao longo das colunas seguidos de mesma letra maiúscula e ao longo das linhas seguidos de mesma letra minúscula, para o mesmo parâmetro, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

³T1: Tratamento 1, monocultivo de *A. mangium* espaçamento 3,0 x 3,0m; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; T6: Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), em espaçamento 3,0 x 3,0m.

* Valores correspondem ao desvio-padrão (μm) e (vasos mm^{-2}).

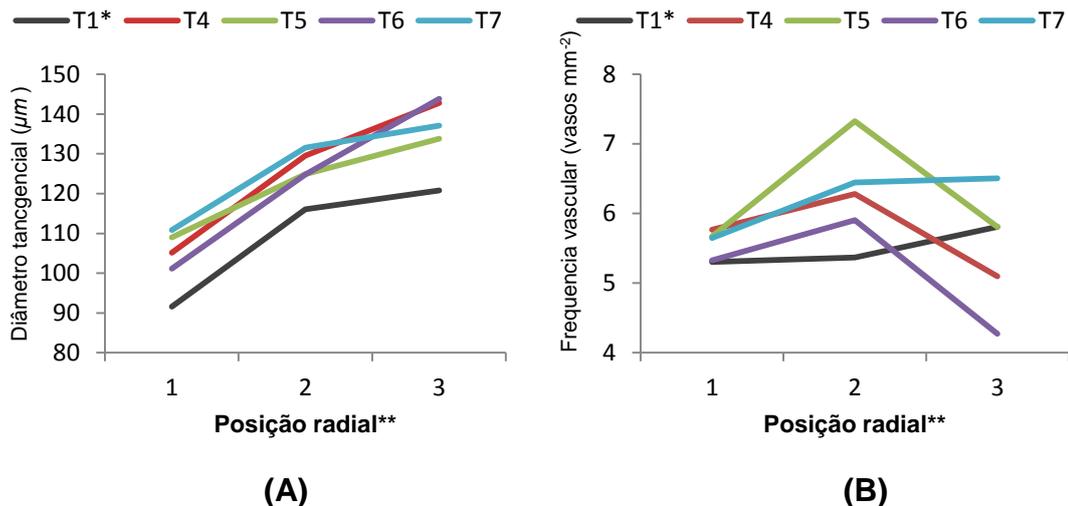
** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

O diâmetro dos vasos aumentou no sentido medula-casca em todos os tratamentos e sofreu influência do plantio misto, com o tratamento em plantio simples (AM) apresentando os menores diâmetros de vaso nas três posições e na média destas em relação aos tratamentos em plantio misto, que não diferiram entre si. Ou seja, o monocultivo diferiu do cultivo misto, contudo, entre os tratamentos em cultivo misto, as variações no tipo de cultivo e nas proporções de acácia não influenciaram significativamente o diâmetro dos vasos. Tais tendências podem ser visualizadas na Figura 12.

A frequência dos vasos não diferiu entre os tratamentos para a posição 1, próxima à medula, com presença marcante de madeira juvenil. Para a posição 2, metade do comprimento do raio, o tratamento em que a acácia foi adicionada em 50% (EU+50AM) apresentou as maiores frequências de vaso e o monocultivo de acácia (AM) as menores. Na posição 3, próxima à casca, as maiores frequências de vaso foram observadas no cultivo misto em substituição (50EU:50AM), sem diferir estatisticamente da adição de 50% de acácia (EU+50AM) e do monocultivo (AM). As menores médias para frequência de vaso na posição 3 foram observadas nos tratamentos com adição de 25 e 100% de *A. mangium*, (EU+25AM) e (EU+100AM), respectivamente.

A frequência dos vasos e sua variação radial sofreram influência dos tratamentos, com os tratamentos em plantio simples e em cultivos mistos por adição e substituição apresentando tendências de variação diferentes. Não foi verificada diferença significativa entre as posições para o plantio simples (AM), contudo, foi observado tendência de elevação em seus valores da posição 2 para posição 3. O cultivo misto por substituição (50EU:50AM) teve elevação na frequência vascular da posição 1 para posição 2 com estabilização em 3. Os tratamentos em plantio misto, com adição de 25, 50 e 100% de acácia, apresentaram tendência de elevação na frequência da posição 1 para posição 2 com nova diminuição na posição 3.

Para melhor visualização, as tendências de variação radial do diâmetro dos vasos e frequência vascular no xilema de *A. mangium*, estão expostos na Figura 12.



* T1: Tratamento 1, monocultivo de *A. mangium*, espaçamento 3,0 x 3,0m; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; T6: Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), em espaçamento 3,0 x 3,0m.

**As posições 1, 2 e 3 referem-se às posições próximas à medula, no meio do raio e próximo à casca, respectivamente.

Figura 12. Variação radial do diâmetro dos vasos (μm) e da frequência vascular (vasos mm^{-2}) no xilema de *A. mangium*.

Duarte et al. (2010) ao investigarem as diferenças anatômicas entre cerne e alburno no DAP de *A. mangium*, quatro anos e seis meses de idade, encontraram vasos com 102,07 e 139,73 μm de diâmetro e frequência de 6,63 e 8,49 vasos mm^{-2} , respectivamente para cerne e alburno, ou seja, maiores frequência de vasos e diâmetro tangencial no alburno. A maior frequência de vasos no alburno está coerente com a variação encontrada entre as posições 1 e 2, porém, a frequência de 8,49 vasos mm^{-2} está mais elevada que os resultados encontrados neste estudo. Os valores para o diâmetro tangencial dos vasos estão próximos aos obtidos no presente estudo para as posições próximas à medula e à casca.

4.4.2. Elementos de vaso do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*

Os valores médios, o respectivo desvio-padrão e os coeficientes de variação, obtidos para o diâmetro e frequência de vasos para a madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, em três posições radiais no DAP estão na Tabela 8.

Tabela 8. Valores médios de diâmetro e frequência vasculares para madeira de do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* em três posições radiais no DAP

Tratamento	Diâmetro de vaso (μm)				Frequência de vaso (vasos mm^{-2})		
	Posição medula-casca ¹			Média	Posição medula-casca		
	1	2	3		1	2	3
T 2³ (EU)	69,47 (29,21)* (42,04)**	75,68 (26,10) (37,48)	77,12 (31,03) (40,24)	74,09 B² (28,65) (38,67)	18,92 aC (2,11) (11,15)	13,95 cBC (0,94) (6,74)	15,31 bA (0,92) (6,00)
T 3 (EU+N)	67,38 (31,29) (46,43)	75,83 (25,67) (33,86)	76,68 (37,04) (48,31)	73,30 B (31,53) (43,02)	21,36 aB (1,99) (9,30)	15,59 bA (1,08) (6,95)	13,84 cB (1,41) (10,18)
T 4 (EU+25AM)	70,99 (21,01) (29,60)	82,34 (21,42) (26,02)	90,88 (18,48) (20,33)	81,40 AB (21,68) (26,64)	19,37 aC (1,44) (7,45)	13,06 cCD (0,97) (7,41)	14,26 bAB (1,53) (10,71)
T 5 (EU+50AM)	78,16 (23,29) (29,80)	88,48 (24,01) (27,14)	95,72 (29,13) (30,44)	87,45 A (26,28) (30,05)	23,24 aA (1,54) (6,62)	14,49 bAB (1,27) (8,74)	13,60 bB (1,06) (7,83)
T 6 (EU+100AM)	76,42 (21,12) (27,63)	94,45 (21,52) (22,79)	97,35 (23,02) (23,64)	89,41 A (23,53) (26,31)	21,22 aB (1,68) (7,91)	13,80 bBC (0,91) (6,62)	13,47 bB (2,07) (15,39)
T 7 (50EU:50AM)	85,03 (21,21) (24,94)	96,57 (23,19) (24,01)	97,56 (18,83) (19,30)	93,06 A (21,64) (23,25)	21,21 aB (2,20) (10,37)	11,94 cD (1,12) (9,40)	13,27 bB (1,06) (7,97)
Média	74,58 c (25,18) (33,77)	85,56 a (24,76) (28,94)	89,22 a (28,13) (31,53)	-			

¹As posições 1, 2 e 3 referem-se às posições próximas à medula, no meio do raio e próximo à casca, respectivamente.

²Valores ao longo das colunas seguidos de mesma letra maiúscula e ao longo das linhas seguidos de mesma letra minúscula, para o mesmo parâmetro, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

³T2: tratamento 2, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m; T3: tratamento 3, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m, + fertilização nitrogenada; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), espaçamento 3,0 x 3,0m.

* Valores correspondem ao desvio-padrão (μm) e (vasos mm^{-2}).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

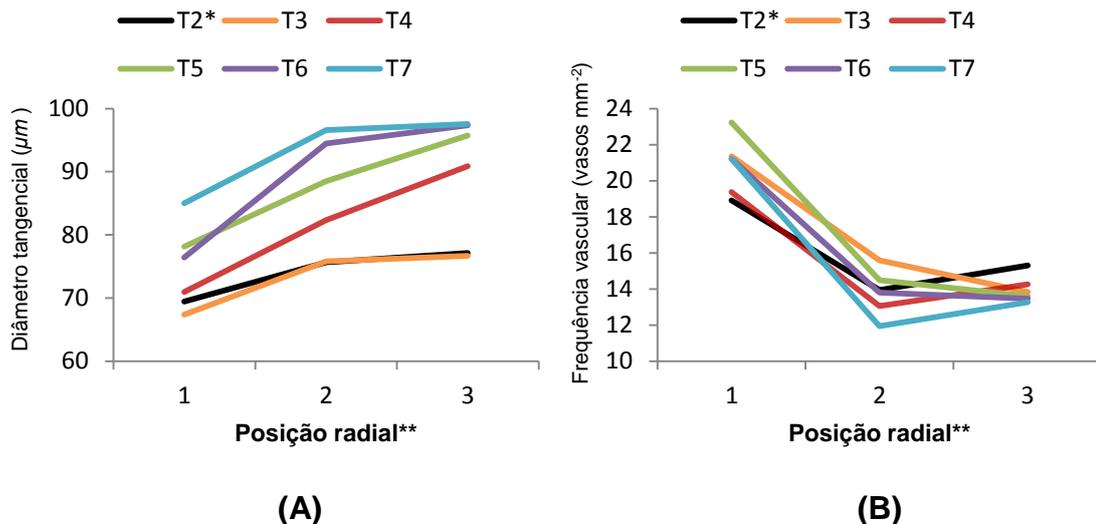
Conforme consta no Apêndice 1.12, a interação entre os tratamentos e as posições radiais não apresentou significância estatística para o diâmetro dos vasos, contudo, a mesma interação foi significativa para a frequência de vasos.

A madeira do híbrido de eucalipto possui vasos pequenos e pouco numerosos, contudo, para o monocultivo com fertilização nitrogenada (EU+N), adição de acácia em 50% (EU+50AM) e 100% (EU+100AM) e no cultivo misto em substituição (50EU:50AM) chegaram a numerosos na posição próxima à medula, segundo classificação da COPANT (1974).

O diâmetro tangencial dos vasos está dentro da faixa de 76,91 a 133,25 μm encontrada por Arango Alzate (2004), exceto os monocultivos com e sem fertilização nitrogenada, para o mesmo híbrido com oito anos de idade. Para frequência vascular, o mesmo autor relata 8 a 13 vasos mm^{-2} , valor inferior ao encontrado em quase todas posições e tratamentos no presente estudo.

O diâmetro tangencial dos vasos está dentro da faixa de 76,91 a 133,25 μm encontrada por Arango Alzate (2004), exceto os monocultivos com e sem fertilização nitrogenada, (EU) e (EU+N), para o mesmo híbrido com oito anos de idade. Para frequência vascular, o autor anteriormente citado relata 8 a 13 vasos mm^{-2} , valor inferior ao encontrado em quase todas as posições e tratamentos no presente estudo. O diâmetro tangencial dos vasos aumentou significativamente no sentido medula-casca. Foi observado que o híbrido de eucalipto cultivado juntamente com *A. mangium* apresentou maiores diâmetros de vaso em relação aos monocultivos, com e sem fertilização com nitrogênio, apenas o tratamento com acácia adicionada em 25% (EU+25AM) apresentou diâmetro intermediário, não diferindo dos monocultivos e dos demais, em cultivo misto. A fertilização nitrogenada não influenciou o diâmetro dos vasos, os tratamentos com e sem fertilização não diferiram significativamente.

Para melhor visualização, a variação radial do diâmetro dos vasos e frequência vascular no xilema do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, estão expostos na Figura 13.



(A) (B)

* T2: tratamento 2, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m; T3: tratamento 3, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m, + fertilização nitrogenada; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), espaçamento 3,0 x 3,0m.
 **As posições 1, 2 e 3 referem-se às posições próximas à medula, no meio do raio e próximo à casca, respectivamente.

Figura 13. Variação radial do diâmetro dos vasos (µm) e da frequência vascular (vasos mm⁻²) no xilema do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*.

Embora não tenha ocorrido diferença estatística entre os tratamentos em cultivo misto, foi observado tendência de aumento no diâmetro dos vasos com o aumento da proporção de *A. mangium* no plantio misto em adição, T4 (EU+25AM), T5 (EU+50AM) e T6 (EU+100AM), sendo também observado, numericamente, os maiores diâmetros no cultivo misto em substituição (50EU:50AM).

Silva et al. (2007) descreveram a mesma variação radial, com aumento no diâmetro dos vasos no sentido medula-casca, em *E. grandis* com idade de dez anos, encontrando 77,9; 122,5 e 136,6 µm para as posições próximas à medula, metade do raio e próximo a casca, respectivamente.

Foi observado queda na frequência vascular da posição 1, próximo à medula, para posição 2, metade do raio, em todos os tratamentos, com diferença entre os mesmos da posição 2 para 3, próximo à casca. Os valores continuaram decrescendo na posição 3 apenas no plantio simples com fertilização nitrogenada (EU+N). Houve estabilização nos valores da posição 2 para 3 nos plantios com adição de acácia em 50 e 100%, (EU+50AM) e (EU+100AM), e nova elevação nos valores na posição 3, contudo, sem atingir

os valores da posição 1, no plantio simples (EU), com adição de 25% de acácia (EU+25AM) e em substituição do eucalipto em 50% (50EU:50AM).

Não foi constatado padrão de variação da frequência vascular em relação às proporções das espécies no plantio misto, contudo, a mesma foi influenciada pelo plantio misto e pela fertilização nitrogenada, uma vez que ocorreram diferenças significativas nas médias.

Tomazello Filho (1985), verificou aumento no diâmetro tangencial e diminuição na frequência dos vasos no sentido medula-casca para *E. grandis* e *E. saligna*, com dez anos de idade.

Para *E. grandis* aos sete anos, os valores do diâmetro tangencial dos vasos foram crescentes da medula para a casca e com tendência inversa para frequência de vasos, com médias de 78,93 μm e 18,70 vasos mm^{-2} ; 105,34 μm e 13,03 vasos mm^{-2} ; 117,57 μm e 11,07 vasos mm^{-2} , respectivamente, para diâmetro (μm) e frequência de vasos (vasos mm^{-2}) nas três posições medula-casca (ROCHA; FLORSHEIM; COUTO, 2004).

Mauri (2010) ao analisar a madeira de dois híbridos *E. grandis* x *E. urophylla* com seis anos observou frequência de vasos de 14,18 e 17,73 vasos mm^{-2} próximo à medula; 10,96 e 11,72 vasos mm^{-2} no meio do raio; 10,02 e 10,36 vasos mm^{-2} próximo à casca, e diâmetro de vaso de 87,70 e 94,70 μm ; 115,27 e 126,59 μm ; 130,86 e 133,64 μm , nas respectivas posições, caracterizando aumento no diâmetro e diminuição na frequência de vasos no sentido medula-casca.

Ao comparar os valores obtidos no presente estudo com os autores anteriormente citados, pode ser notado menor diâmetro de vasos nas posições 2 e 3 e maior frequência nas diferentes posições em relação aos valores pesquisados em literatura. A frequência apresentou comportamento distinto entre os tratamentos, sendo constatado o padrão de diminuição no sentido medula-casca como encontrado em literatura, apenas no plantio em monocultivo com fertilização nitrogenada, os demais tratamentos apresentaram queda da medula até a metade do comprimento do raio com estabilização ou elevação nos valores até a casca.

4.4.3. Elementos fibrosos de *Acacia mangium*

Os valores médios, o respectivo desvio-padrão e os coeficientes de variação, obtidos para o comprimento de fibra para a madeira de *Acacia mangium*, com 75 meses de idade, em três posições radiais no DAP estão apresentados na Tabela 9.

Conforme consta no Apêndice 1.13, a interação entre tratamentos e posições medula-casca não foi significativa para o comprimento de fibra. Conforme consta na Tabela 9, as fibras de *A. mangium* possuem comprimentos variando de muito curto, menor que 900 μm , a curto, segundo classificação da COPANT (1974). O comprimento das fibras aumentou no sentido medula-casca e os menores valores foram constatados no tratamento em plantio simples (AM). Os tratamentos em plantio misto não apresentaram diferenças significativas, independentemente da proporção de *A. mangium* ou sistema adotado. A variação radial do comprimento das fibras pode ser visualizada na Figura 14.

O aumento do comprimento das fibras no sentido medula-casca está de acordo com Honjo, Furukawa E Sahri (2005). Os autores ainda acrescentam que este comportamento independe da altura na árvore. Duarte et al. (2010) também encontrou maior comprimento de fibra no alburno quando comparado com o cerne, sendo estes valores 911,84 μm e 768,92 μm , respectivamente. Tal comportamento era esperado e típico, uma vez que, fibras mais curtas são típicas de madeira juvenil, encontrada próximo à medula.

Valores semelhantes aos encontrados são descritos por Alencar (2009) ao estudar quatro materiais genéticos de *A. mangium* com cinco anos de idade, cultivada no Estado de São Paulo, tendo encontrando valores médios variando de 810 a 980 μm no comprimento das fibras.

Os coeficientes de variação observados variam entre 4,71 a 8,95%, podendo ser considerada uma baixa variação e uma indicação de que o comprimento de fibra foi pouco heterogêneo nos tratamentos e posições.

Tabela 9. Valores médios de comprimento de fibra para madeira de *A. mangium* em três posições radiais no DAP

Tratamento	Comprimento (μm)			Média
	Posição medula-casca ¹			
	1	2	3	
T 1³(AM)	716,58 (60,28)* (8,41)**	819,11 (48,91) (5,48)	967,17 (70,15) (7,25)	858,62 B² (121,41) (14,14)
T 4 (EU+25AM)	789,14 (39,86) (5,05)	957,81 (73,11) (7,62)	1011,00 (63,43) (6,27)	919,32 A (112,34) (12,22)
T 5 (EU+50AM)	770,04 (68,90) (8,95)	948,47 (50,24) (5,30)	1014,93 (71,21) (7,02)	911,14 A (121,85) (13,37)
T 6 (EU+100AM)	806,7 (62,03) (7,69)	943,55 (44,45) (4,71)	987,20 (73,95) (7,49)	912,49 A (98,23) (10,77)
T 7 (50EU:50AM)	742,91 (56,46) (7,60)	948,12 (77,85) (8,21)	1015,18 (77,51) (7,63)	902,07 A (136,22) (15,10)
Média	765,07c (65,65) (8,58)	938,01b (63,74) (6,80)	999,10a (72,51) (7,26)	-

¹As posições 1, 2 e 3 referem-se às posições próximas à medula, no meio do raio e próximo à casca, respectivamente.

² Valores ao longo das colunas seguidos de mesma letra maiúscula e ao longo das linhas seguidos de mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

³T1: Tratamento 1, monocultivo de *A. mangium* espaçamento 3,0 x 3,0m; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; T6: Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), em espaçamento 3,0 x 3,0m.

* Valores correspondem ao desvio-padrão (μm).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Antunes (2009) observou comprimento médio de 1.010 μm para a espécie com seis anos de idade plantada na Indonésia. Yahya et al. (2010) encontraram comprimento de fibra médio de 982 μm para amostras retiradas próximo a base de árvores com sete anos. Sahri, Ibrahim e Shukor (1993), para amostras no DAP, obtiveram média de 933,7 μm para comprimento de fibra de árvores com quatro anos de idade e 1.017,5 μm para árvores da mesma espécie com oito anos. Esses valores são semelhantes aos valores médios encontrados para o comprimento de fibra nas posições 2 e 3 do presente estudo.

Madeiras com fibras mais longas deverão produzir papel mais resistente, em função da correlação positiva entre o comprimento da fibra e a resistência ao arrebentamento, resistência à tração, resistência ao rasgo e resistência ao dobramento.

Os valores médios, o respectivo desvio-padrão e os coeficientes de variação, obtidos para a largura de fibra, diâmetro do lume e espessura de parede para a madeira de *Acacia mangium*, com 75 meses de idade, em três posições radiais no DAP estão na Tabela 10.

Tabela 10. Valores médios obtidos para a largura de fibra, diâmetro do lume e espessura de parede para madeira de *A. mangium* em três posições radiais no DAP

Tratamento	Largura (μm)			Diâmetro de lume (μm)			Espessura parede (μm)		
	Posição medula-casca ¹								
	1	2	3	1	2	3	1	2	3
T 1³ (AM)	25,49aAB ² (2,03)* (7,97)**	23,16bA (1,92) (8,28)	20,89cC (2,09) (10,00)	20,87aA (1,86) (8,89)	16,82bA (2,19) (13,00)	14,04cB (2,04) (14,56)	2,31bC (0,27) (11,89)	3,17aB (0,44) (13,79)	3,42aA (0,46) (13,36)
T 4 (EU+25AM)	23,46aC (1,85) (7,90)	21,74bAB (1,92) (8,85)	21,80bBC (1,62) (7,42)	17,50aB (2,17) (2,04)	15,03bAB (2,04) (13,55)	15,03bAB (1,74) (11,59)	2,98bA (0,37) (12,25)	3,35aB (0,54) (16,22)	3,38aA (0,41) (12,06)
T 5 (EU+50AM)	23,25aC (2,19) (9,42)	21,44bB (2,19) (10,23)	21,19bC (1,40) (6,48)	18,08aB (2,44) (13,49)	13,75bB (2,60) (18,95)	14,09bB (1,37) (9,72)	2,59bBC (0,33) (12,59)	3,85aA (0,49) (12,65)	3,55aA (0,40) (11,30)
T 6 (EU+100AM)	24,27aBC (2,32) (9,55)	23,18aA (1,76) (7,57)	23,58aA (1,48) (6,29)	18,29aB (2,68) (14,64)	16,67bA (2,47) (14,82)	16,87abA (1,68) (9,97)	2,99bA (0,44) (14,61)	3,25abB (0,50) (15,30)	3,36aA (0,33) (9,91)
T 7 (50EU:50AM)	26,85aA (2,39) (8,92)	22,81bAB (2,21) (9,70)	23,00bAB (1,78) (7,74)	21,19aA (2,50) (11,78)	15,11bAB (1,95) (12,92)	15,84bAB (1,74) (11,01)	2,83bAB (0,41) (14,51)	3,85aA (0,46) (11,94)	3,58aA (0,32) (8,88)

¹As posições 1, 2 e 3 referem-se às posições próximas à medula, no meio do raio e próximo à casca, respectivamente.

²Valores ao longo das colunas seguidos de mesma letra maiúscula e ao longo das linhas seguidos de mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

³T1: Tratamento 1, monocultivo de *A. mangium* espaçamento 3,0 x 3,0m; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; T6: Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), em espaçamento 3,0 x 3,0m.

* Valores correspondem ao desvio-padrão (μm).

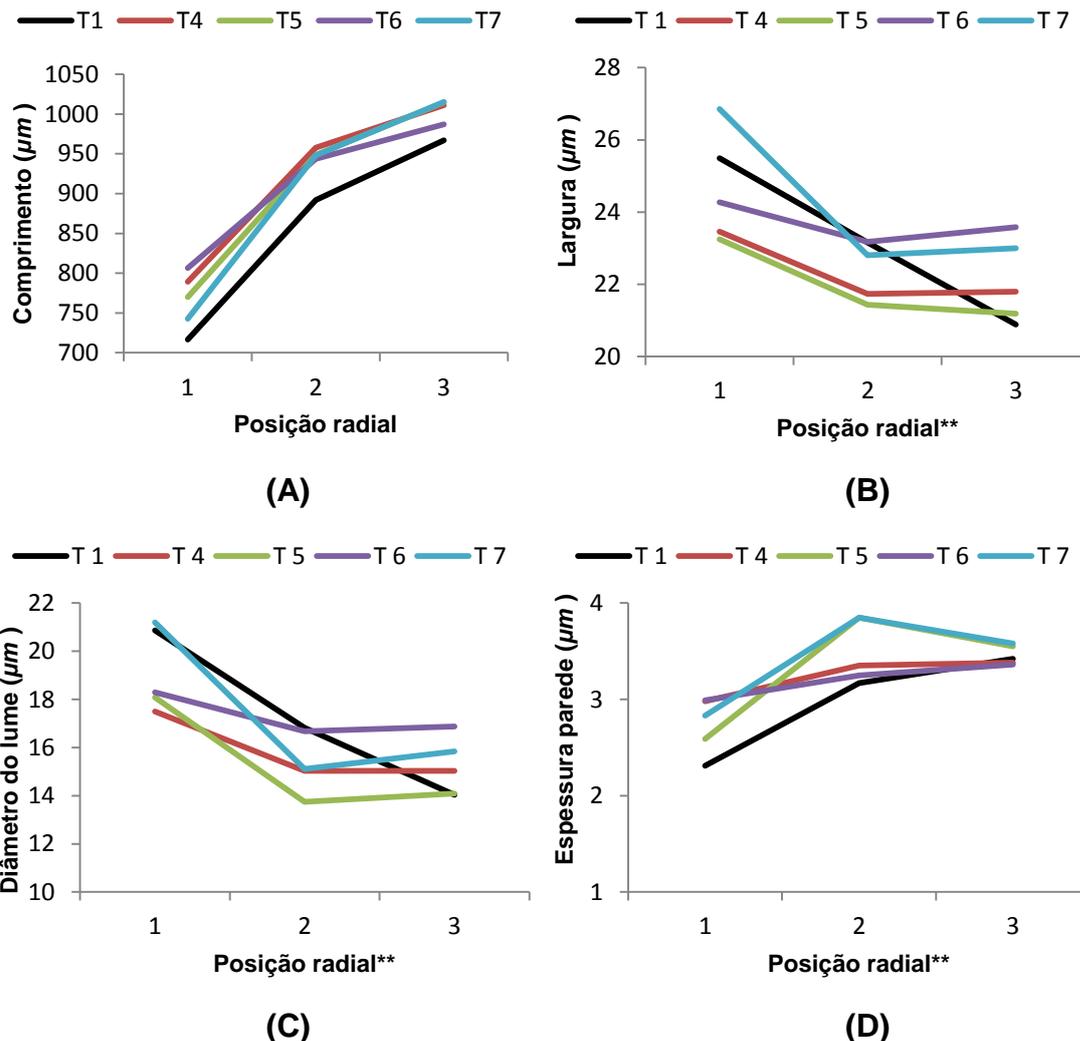
** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Conforme consta no Apêndice 1.13, a interação entre tratamentos e posição medula-casca foi significativa para os três parâmetros, largura de fibra, diâmetro do lume e espessura da parede. Conforme consta na Tabela 1.10, a madeira de *A. mangium*, possui fibras de paredes delgadas, segundo classificação da COPANT (1974), e de maneira geral, a largura da fibra e o diâmetro do lume diminuíram e a espessura da parede aumentou no sentido medula-casca, ou seja, fibras mais largas, com lumes mais volumosos e paredes delgadas próximas à medula. A variação radial das dimensões das fibras de *A. mangium*, podem ser visualizada na Figura 14 e a transição na morfologia das fibras pode ser mais facilmente observada da posição 1 para posição 2.

A largura das fibras e sua variabilidade radial foram influenciadas pelo plantio misto, uma vez que, diferenciaram entre os tratamentos. No tratamento com acácia pura (AM) a largura decresceu da posição 1 até a posição 3. Nos tratamentos em plantio misto os valores decresceram da posição 1 para 2 e mantiveram-se constantes em 3, exceto no plantio com adição de acácia em 100%, (EU+100AM), em que a largura da fibra permaneceu estatisticamente constante nas três posições. Os tratamentos com acácia adicionada em 25 e 50% tenderam a possuir as menores médias para o parâmetro. A largura das fibras esteve menor nas posições próximas à medula em relação às próximas à casca em todos os tratamentos. A variação radial das dimensões das fibras de *A. mangium* pode ser visualizada na Figura 14.

Para o diâmetro do lume, foi observado tendência similar à largura das fibras, valores decrescentes da posição 1 até 3 no tratamento com acácia pura (AM) e os tratamentos em plantio misto com valores decrescentes da posição 1 para 2 e constantes de 2 para 3. Assim como para a largura de fibra, o plantio com adição de acácia em 100%, (EU+100AM), apresentou maior homogeneidade entre as posições, os tratamentos com acácia adicionada em 25 e 50% tenderam a possuir as menores médias para o parâmetro.

Para melhor visualização da variação radial das dimensões das fibras de *A. mangium*, os referentes ao comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede estão expostos na Figura 14.



* T1: Tratamento 1, monocultivo de *A. mangium*, espaçamento 3,0 x 3,0m; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; T6: Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), em espaçamento 3,0 x 3,0m.

**As posições 1, 2 e 3 referem-se às posições próximas à medula, no meio do raio e próximo à casca, respectivamente.

Figura 14. Variação radial do comprimento (A), da largura (B), do diâmetro do lume (C) e espessura de parede (D) das fibras de *A. mangium*.

Com relação à espessura da parede celular, todos os tratamentos exibiram o mesmo comportamento, com paredes mais delgadas na posição 1, próximo à medula, e mais espessas nas posições 2 e 3 sem diferir significativamente entre as duas últimas, contudo, numericamente, a madeira proveniente do plantio misto em substituição e (50EU:50AM) e do plantio com adição de acácia em 50% (EU+50AM) apresentaram fibras com parede mais finas na posição 3 em relação à posição 2, enquanto, os outros tratamentos apresentaram o oposto. Fibras com paredes mais finas próximo à medula é um

comportamento justificado pela ocorrência de madeira juvenil, que concentra estas características. Não houve diferença significativa entre os tratamentos na posição próxima à casca para o parâmetro.

As maiores diferenças entre as posições para as medidas perpendiculares das fibras, largura da fibra e diâmetro de lume e espessura da parede, foram observadas no tratamento em monocultivo, (AM), ou seja, maior heterogeneidade no sentido radial.

Os coeficientes de variação observados estiveram quase sempre abaixo de 10% para largura de fibra, indicando uma baixa variação e baixa heterogeneidade. Para diâmetro do lume e espessura de parede, os valores de coeficientes de variação podem ser considerados baixos, pois estiveram sempre abaixo de 20%, com predominância de valores inferiores a 15%.

As dimensões obtidas para as fibras estão dentro dos intervalos encontrados por Alencar (2009) ao estudar quatro materiais genéticos de *A. mangium*, quando observou valores médios por árvore variando de 22,0 a 27,75 μm na largura de fibra, 15,75 a 21,25 μm no diâmetro de lume e 3,12 a 4,62 μm na espessura da parede.

Os resultados encontrados estão próximos aos obtidos por Sahri, Ibrahim e Shukor (1993), que encontraram largura de fibra de 24,7 e 20,2 μm , diâmetro de lume de 18,2 e 12,0 μm e espessura de parede média de 3,3 e 4,1 μm , para *Acacia mangium* com quatro e oito anos de idade, respectivamente, assemelhando-se às mensurações obtidas no presente estudo.

Valores semelhantes aos obtidos no presente estudo são descritos por Yahya et al. (2010), que observaram valores de 19,39 μm para largura de fibra, 14,29 μm para diâmetro de lume e 2,55 μm para espessura de parede para a espécie com seis anos de idade plantada na Indonésia.

A variação radial das dimensões da fibra concordam com Duarte et al. (2010), que reportaram maior espessura de parede, menor largura de fibra e diâmetro de lume encontrados no alburno, contudo há diferenças entre os valores encontrados, principalmente para espessura de parede. Uma vez que os autores observaram largura de fibra de 28,49 e 23,44 μm , diâmetro de lume de 19,41 e 13,13 μm e espessura de parede de 4,54 e 5,16 μm ,

respectivamente, para fibras do cerne e alburno em amostras do DAP de *A. mangium* com quatro anos e seis meses de idade.

Antunes (2009) encontrou 16,0 μm para largura de fibra, 9,6 μm para diâmetro de lume e espessura de parede de 3,2 μm para a espécie com 6 anos de idade plantada na Indonésia. Estes valores estão inferiores aos encontrados no presente estudo para largura da fibra e diâmetro de lume, mas semelhante quanto à espessura de parede.

O diâmetro das fibras, diâmetro do lume e a espessura da parede conferem características importantes para a fabricação do papel, pois estão relacionadas à capacidade de colapsamento das fibras, sendo mais fácil ocorrer em fibras delgadas quando submetidas à prensagem. Fibras com paredes delgadas e maiores diâmetros são características de madeira de menor massa específica. São, portanto mais suscetíveis ao colapso, favorecendo as ligações entre fibras e possuindo maior facilidade de refino na fabricação de papel (ANTUNES, 2009).

4.4.4. Elementos fibrosos do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*

Os valores médios, o respectivo desvio-padrão e os coeficientes de variação, obtidos para o comprimento de fibra para a madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, com 75 meses de idade, em três posições radiais no DAP estão na Tabela 11.

Conforme consta no Apêndice 1.14, a interação entre tratamentos e posições medula-casca não foi significativa para o comprimento de fibra e não foram ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos. Conforme consta na Tabela 11, as fibras do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* possuem comprimentos variando de muito curto, menor que 900 μm , a curto, segundo classificação da COPANT (1974). Desta forma, a fertilização nitrogenada e as diferentes proporções de *A. mangium* nos sistemas de cultivo misto utilizados não tiveram efeito significativo sobre o comprimento das fibras. Contudo, foi observado aumento significativo no comprimento das fibras no sentido medula-casca. A variação radial do comprimento das fibras pode ser visualizada na Figura 15.

Tabela 11. Valores médios de comprimento de fibra para madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* em três posições radiais no DAP

Tratamento	Comprimento de Fibra (μm)			Média
	Posição medula – casca ¹			
	1	2	3	
T 2³ (EU)	727,52 (42,06)* (5,78)**	904,56 (57,25) (6,33)	983,00 (70,61) (7,18)	871,70 A² (121,83) (13,98)
T 3 (EU+N)	719,34 (36,40) (5,06)	911,97 (54,20) (5,94)	998,13 (46,39) (4,65)	876,48 A (126,02) (14,38)
T 4 (EU+25AM)	715,44 (40,50) (5,66)	931,14 (61,93) (6,65)	996,05 (75,24) (7,55)	880,89 A (134,97) (15,32)
T 5 (EU+25AM)	754,54 (53,80) (7,13)	914,49 (64,02) (7,00)	1016,07 (68,09) (6,70)	895,03 A (124,62) (13,92)
T 6 (EU+25AM)	744,08 (52,08) (7,00)	934,10 (76,53) (8,19)	988,21 (82,57) (8,36)	888,80 A (126,89) (14,28)
T 7 (50EU:50AM)	762,17 (52,04) (6,83)	920,66 (77,42) (8,42)	994,86 (59,13) (5,94)	892,56 A (116,22) (13,02)
Média	737,18 c (48,95) (6,64)	919,49 b (65,28) (7,10)	996,05 a (67,37) (6,76)	-

¹As posições 1, 2 e 3 referem-se às posições próximas à medula, no meio do raio e próximo à casca, respectivamente.

²Valores ao longo das colunas seguidos de mesma letra maiúscula e ao longo das linhas seguidos de mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

³T2: tratamento 2, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m; T3: tratamento 3, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m, + fertilização nitrogenada; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), espaçamento 3,0 x 3,0m.

* Valores correspondem ao desvio-padrão (μm).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Os valores de comprimento de fibra encontrados estão dentro da faixa descrita por Arango Alzate (2004), para fibras de *E. grandis* x *E. urophylla*, com oito anos de idade, quando observou comprimento variando de 620-1.270 μm com média de 1.030 μm .

A variação radial do comprimento das fibras observado está de acordo com o encontrado por Arango Alzate (2004) para fibras de *E. grandis* x *E. urophylla*, com oito anos de idade, exceto pela estabilização em 75% do comprimento do raio, justificado pela menor idade do material e do número de amostras no sentido medula casca deste estudo.

Foi constatado a mesma variação radial descrita por Silva et al. (2007), contudo, os valores observados estão inferiores aos 780; 1.050 e 1.150 μm observados em madeira de *E. grandis* com idade de dez anos nas posições próximas à medula, metade do raio e próximo à casca, respectivamente.

Comportamento semelhante foi observado por Rocha; Florsheim e Couto (2004) em madeira de *E. grandis* aos sete anos de idade. Os autores

reportaram comprimentos de fibras de 800,50; 944,15 e 1.080,84 μm para as três posições no sentido medula-casca.

Os coeficientes de variação observados variaram entre 4,65 a 8,36%, demonstrando uma baixa variação, podendo considerar que o comprimento de fibra foi pouco heterogêneo nos tratamentos e posições.

Os resultados deste trabalho estão inferiores em relação aos descritos por Mauri (2010) para dois híbridos *E. grandis* x *E. urophylla* com seis anos de idade, em que foi observado comprimento de fibras de 780 e 820 μm na posição 1; 1.080 e 1.020 μm na posição 2; 1.240 e 1.160 μm na posição 3, para os clones estudados. Contudo, concordam quanto ao aumento observado no comprimento de fibras no sentido medula casca

As médias encontradas nas três posições apontam para um aumento no comprimento das fibras no sentido medula-casca, assim como pesquisado em literatura, contudo, no geral, os comprimentos obtidos neste trabalho estão sensivelmente inferiores aos pesquisado em literatura para as posições.

Costa Tienne et al. (2009) constataram relação significativa entre o comprimento das fibras versus espaçamento, tendo observado um aumento no comprimento das fibras em maiores espaçamentos em clones de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* com dois anos. Entretanto, tal relação não pôde ser observada no presente trabalho, podendo indicar que resultados obtidos em trabalhos que avaliaram influência do espaçamento nas propriedades da madeira não devem servir de subsídio para estudos que avaliam a influência do plantio misto nas propriedades da madeira.

Os valores médios, o respectivo desvio-padrão e os coeficientes de variação, obtidos para a largura de fibra, diâmetro do lume e espessura de parede para a madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, com 75 meses de idade, em três posições radiais no DAP estão na Tabela 12.

Conforme consta no Apêndice 1.14, a interação entre tratamentos e posição medula-casca não foi significativa para a largura de fibra, diâmetro do lume e espessura da parede.

Tabela 12. Valores médios de largura de fibra, diâmetro do lume e espessura de parede para madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* em três posições radiais no DAP

Trat. ⁴	Largura (μm)				Diâmetro de lume (μm)				Espessura de parede (μm)			
	Posição medula – casca			Média	Posição medula – casca ¹			Média	Posição medula – casca			Média
	1	2	3		1	2	3		1	2	3	
T 2³ (EU)	15,55 (1,53)* (9,82)**	17,08 (0,85) (5,00)	17,71 (0,96) (5,45)	16,78 AB² (1,46) (8,67)	6,84 (1,40) (20,53)	7,78 (0,87) (11,22)	6,77 (0,97) (14,29)	7,13 B (1,18) (16,57)	4,35 (0,21) (4,88)	4,65 (0,31) (6,76)	5,47 (0,39) (7,04)	4,83 A (0,57) (11,75)
T 3 (EU+N)	15,39 (1,40) (9,08)	16,98 (1,04) (6,15)	17,24 (1,01) (5,85)	16,54 B (1,41) (8,52)	6,92 (1,36) (19,68)	7,98 (0,85) (10,75)	6,84 (0,92) (13,39)	7,22 B (1,15) (15,99)	4,24 (0,40) (9,35)	4,55 (0,37) (8,12)	5,20 (0,33) (6,27)	4,66 A (0,54) (11,58)
T 4 (EU+25AM)	15,74 (1,16) (7,39)	17,14 (1,32) (7,72)	18,02 (1,60) (8,88)	16,96 AB (1,65) (9,72)	6,95 (1,04) (14,99)	7,96 (1,24) (15,36)	7,24 (1,57) (21,75)	7,38 B (1,35) (18,31)	4,40 (0,34) (7,80)	4,59 (0,37) (8,08)	5,39 (0,57) (10,52)	4,79 A (0,61) (12,75)
T 5 (EU+25AM)	15,75 (0,89) (5,68)	16,69 (1,43) (8,56)	17,86 (1,15) (6,42)	16,76 AB (1,45) (8,63)	7,74 (1,03) (13,36)	7,92 (1,16) (14,60)	6,88 (1,24) (17,97)	7,52 B (1,22) (16,67)	4,00 (0,41) (10,35)	4,38 (0,36) (8,26)	5,49 (0,46) (8,47)	4,62 A (0,75) (16,32)
T 6 (EU+25AM)	16,06 (0,95) (5,93)	17,65 (1,25) (7,07)	18,19 (1,29) (7,12)	17,30 A (1,47) (8,50)	8,57 (1,18) (13,74)	9,23 (1,29) (13,93)	7,91 (1,48) (18,70)	8,57 A (1,41) (16,42)	3,75 (0,35) (9,29)	4,21 (0,38) (9,09)	5,14 (0,51) (9,96)	4,37 B (0,71) (16,38)
T 7 (50EU:50AM)	15,90 (0,96) (6,01)	17,07 (1,15) (6,72)	17,10 (1,01) (5,90)	16,69 AB (1,17) (6,99)	8,54 (1,16) (13,59)	8,93 (1,18) (13,25)	7,01 (1,08) (15,35)	8,16 A (1,40) (17,13)	3,68 (0,35) (9,52)	4,07 (0,37) (9,06)	5,05 (0,49) (9,73)	4,27 B (0,70) (16,49)
Média	15,73 c (1,17) (7,43)	17,10 b (1,20) (7,01)	17,69 a (1,23) (6,96)	-	7,59 b (1,39) (18,36)	8,28 a (1,20) (14,50)	7,11c (1,27) (17,85)	-	4,07 c (0,44) (10,91)	4,41 b (0,41) (9,35)	5,29 a (0,49) (9,18)	-

¹As posições 1, 2 e 3 referem-se às posições próximas à medula, no meio do raio e próximo à casca, respectivamente.

²Valores ao longo das colunas seguidos de mesma letra maiúscula e ao longo das linhas seguidos de mesma letra minúscula, não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

³T2: tratamento 2, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m; T3: tratamento 3, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m, + fertilização nitrogenada; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), espaçamento 3,0 x 3,0m.

⁴ Tratamento

* Valores correspondem ao desvio-padrão (μm).

** Valores correspondem ao coeficiente de variação (%).

Foi constatado que a madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla* possui paredes espessas, segundo classificação da COPANT (1974), com a largura de fibra e a espessura da parede aumentando no sentido medula-casca, da posição 1 a posição 3, o diâmetro do lume diminuiu da posição 1 para 2, voltando a decrescer para valor abaixo do observado na posição 1, exceto no plantio com adição de 25% de acácia (EU+25AM). Tais tendências podem ser visualizadas na Figura 15.

Os coeficientes de variação observados estiveram quase sempre abaixo de 21% para largura de fibra e espessura de parede, indicando uma baixa variação e baixa heterogeneidade. Para diâmetro do lume, os valores de coeficientes de variação também podem ser considerados baixos, pois estiveram quase sempre abaixo de 20%.

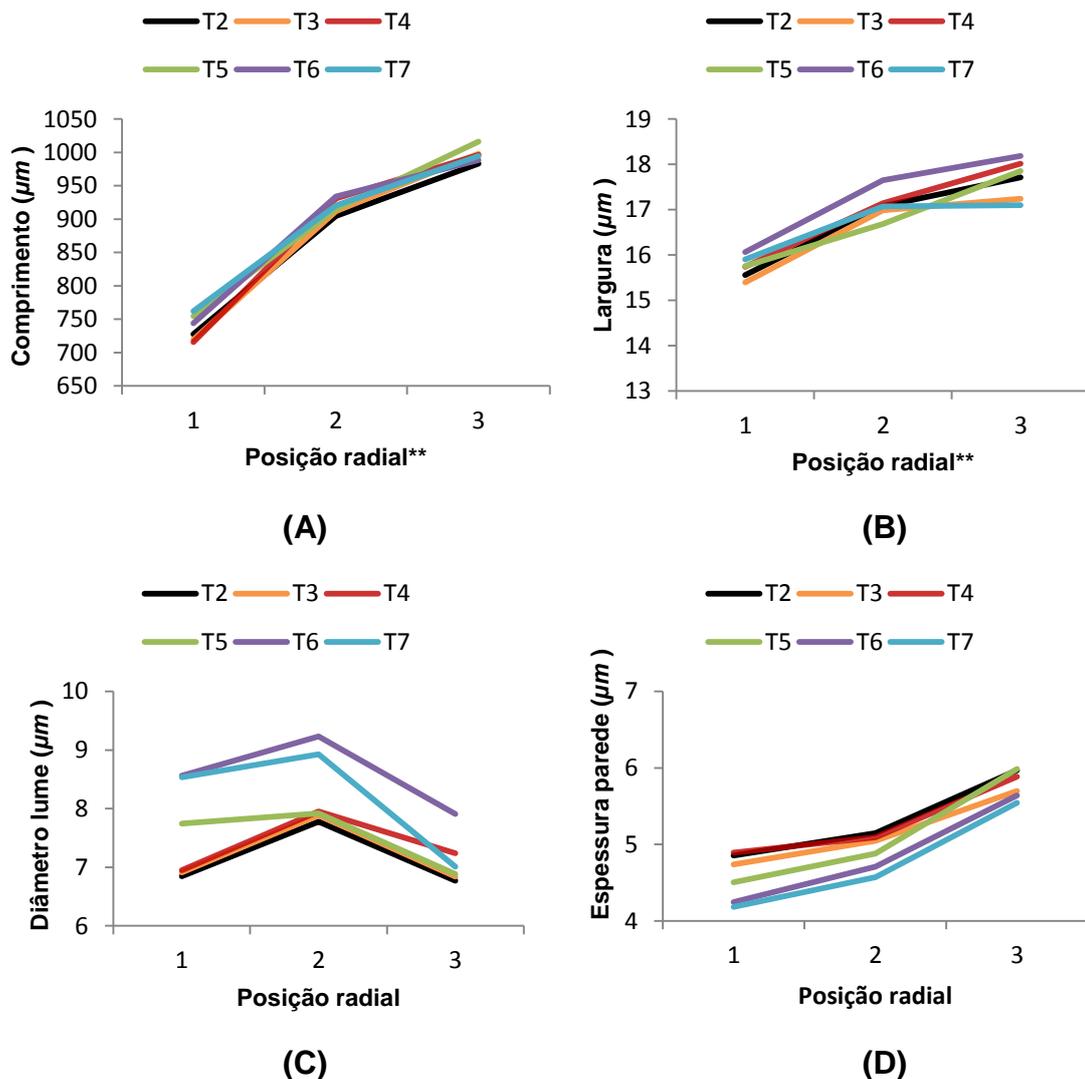
A largura da fibra foi influenciada pelos tratamentos, o monocultivo com fertilização nitrogenada (EU+N) e o tratamento com acácia adicionada em 100% (EU+100AM) apresentaram os menores e maiores valores para a propriedade, respectivamente. Os demais tratamentos apresentaram valores intermediários, ou seja, isoladamente, a fertilização nitrogenada e o plantio misto não influenciaram significativamente, porém, ocorreu diferença significativa quando foram somados os efeitos da fertilização nitrogenada e da adição de 100% de acácia.

Ocorreu aumento na largura da fibra no sentido medula-casca, entretanto, os tratamentos em plantio simples com fertilização nitrogenada (EU+N) e em substituição em 100% (50EU:100AM) apresentaram certa estabilização dos valores do meio do raio para a casca, posição 2 a 3.

O diâmetro de lume e a espessura de parede também foram influenciados, contudo, apenas os tratamentos com acácia adicionada em 100% (EU+100AM) e em substituição em 50% (50EU:50AM) apresentaram diferença significativa dos demais, sendo encontrado nestes tratamentos, semelhantes entre si, os maiores valores de diâmetro de lume e os menores para espessura de parede. Ou seja, a fertilização nitrogenada e a adição de acácia até 50% não influenciaram significativamente estes parâmetros. A tendência de variação medula-casca foi semelhante para os tratamentos, com aumento no diâmetro do lume da medula até a metade do comprimento do raio

e novo decréscimo até próximo a casca e aumento na espessura da parede no mesmo sentido.

Para melhor visualização da variação radial das dimensões das fibras do híbrido de eucalipto, os dados referentes ao comprimento, largura, diâmetro do lume e espessura de parede estão expostos na forma gráfica na Figura 15.



* T2: tratamento 2, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m; T3: tratamento 3, monocultivo de eucalipto, espaçamento 3,0 x 3,0m, + fertilização nitrogenada; T4: Tratamento 4, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 25%, espaçamento 3,0 x 2,4m; T5: Tratamento 5, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 50%, espaçamento 3,0 x 2,0m; Tratamento 6, *A. mangium* adicionada à linha de plantio em 100 %, espaçamento 3,0 x 2,2m; T7: Tratamento 7, plantio misto em substituição, *A. mangium* (50%) e eucalipto (50%), espaçamento 3,0 x 3,0m.

**As posições 1, 2 e 3 referem-se às posições próximas à medula, no meio do raio e próximo à casca, respectivamente.

Figura 15. Variação radial do comprimento (A), da largura (B), do diâmetro do lume (C) e espessura de parede (D) das fibras do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*.

A variação radial das dimensões das fibras foi semelhante à obtida por Mauri (2010), contudo os valores estão diferentes dos observados pela autora, ao analisar a madeira de dois híbridos de *E. grandis* x *E. urophylla* com seis anos de idade. Tendo obtido para os dois clones, para as três posições medula-casca, 17,12; 19,01 e 19,60 μm para largura de fibra, 11,01; 12,05 e 10,65 μm para diâmetro do lume e 3,06; 3,49 e 4,48 μm para espessura da parede das fibras.

Arango Alzate (2004), ao analisar as fibras de *E. grandis* x *E. urophylla*, com oito anos de idade, observou expressivo aumento na largura da posição da medula até cerca de 75% do raio, posição em que ocorreu uma redução nos valores. Os valores do diâmetro do lume reduziram gradativamente no sentido radial, com redução acentuada a partir de 50 a 75% do raio. E, a espessura da parede apresentou modelo de crescimento no sentido radial. Desta forma, uma variação radial do diâmetro do lume diferente do observado neste trabalho, ao contrário da espessura da parede e largura de fibra, exceto pela redução na largura a partir de 75% do comprimento do raio. Os intervalos obtidos pela autora foram 17,28 a 20,9 μm para largura de fibra; 7,33 a 10,48 μm para diâmetro do lume e 3,48 a 6,71 μm para espessura da parede. Tais valores são próximos aos obtidos no presente estudo, exceto para a largura da fibra na posição próxima à medula.

Segundo Silva et al. (2007) a largura, o diâmetro do lume e espessura da parede das fibras estiveram positivamente correlacionados com a posição radial no sentido medula-casca em madeira de *Eucalyptus grandis* com idade de dez anos, tendo encontrado valores de 17,82; 20,93 e 22,29 μm para largura de fibra, 11,61; 13,85 e 14,63 μm para diâmetro do lume e 3,01; 3,27 e 3,83 μm para espessura da parede das fibras, respectivamente, nas posições próximas à medula, metade do raio e próximo à casca. O mesmo comportamento foi observado por Rocha, Florsheim e Couto (2004) ao estudarem árvores de *Eucalyptus grandis*, sete anos de idade, que encontraram, para as três posições medula-casca, 18,08, 19,15 e 20,33 μm para largura de fibra, 10,32, 11,57 e 12,36 μm para diâmetro do lume e 3,88, 3,78 e 3,98 μm para espessura da parede das fibras.

Ao comparar a variação radial das dimensões das fibras, sentido medula-casca, e os valores observados pelos dois autores citados, pode ser constatado que houve diferença na variação radial do diâmetro do lume e que o presente estudo obteve valores mais baixos para largura da fibra e diâmetro do lume e valores mais elevados para espessura da parede.

As fibras de eucalipto têm seu comprimento variando de 750 a 1300 μm , com média próxima de 1000 μm . Os parâmetros usualmente considerados nos estudos tecnológicos das fibras são definidos por quatro dimensões fundamentais; comprimento, largura, diâmetro do lume e a espessura da parede. A partir desses valores, podem ser calculados os coeficientes, relacionando as dimensões entre si, com determinações importantes nas propriedades do papel e da celulose (REMADE, 2001).

5. CONCLUSÕES

Com relação à madeira da espécie *A. mangium*, os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

Houve tendência de elevação nos teores de alburno e diminuição nos teores de casca com o aumento na proporção de *A. mangium* no plantio misto por adição.

Foi observado tendência de aumento nos teores de alburno no sentido base-topo.

O teor de casca diminuiu da base até cerca da metade da altura do fuste, voltando a aumentar até o topo, contudo, sem alcançar os teores da base.

Os valores de massa específica básica estiveram mais elevados na base do tronco, diminuindo na direção do topo até a posição correspondente a 25% da altura comercial e permanecendo constante até o topo.

A massa específica básica média por fuste não foi significativamente influenciada pelo plantio misto e seus valores estiveram abaixo da faixa recomendada para produção de celulose.

Para as propriedades químicas da madeira, os diferentes tratamentos influenciaram apenas os teores de lignina solúvel.

O diâmetro de vaso aumentou no sentido medula-casca e a madeira do plantio simples apresentou os menores diâmetros de vaso. A frequência dos vasos e sua variação radial sofreram influência dos tratamentos.

As dimensões das fibras e suas variações no sentido radial sofreram influência dos tratamentos. De maneira geral, a largura da fibra e o diâmetro do lume diminuíram e o comprimento da fibra e espessura da parede aumentaram no sentido medula-casca.

O tratamento em plantio simples apresentou os menores comprimentos de fibra e maior heterogeneidade radial para a largura da fibra, do diâmetro do lume e da espessura da parede.

Com relação à madeira do híbrido *E. grandis* x *E. urophylla*, os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

A fertilização nitrogenada e o plantio misto não influenciaram significativamente o teor de casca no fuste do híbrido de eucalipto, porém, ocorreu diferença significativa quando foram somados os efeitos da fertilização nitrogenada e da adição de 50% de acácia.

Os teores de casca decresceram da base até a 25% do comprimento do fuste, voltando a aumentar desta posição até um valor máximo próximo ao do topo do fuste.

Não foram observadas diferenças entre os teores médios de alburno e cerne por fuste.

De maneira geral, os teores de alburno mantiveram-se estatisticamente constantes da base até 25% da altura comercial, aumentando desta posição até o topo. Contudo, foi observado tendência de aumento no teor de alburno no sentido base-topo.

A massa específica básica da madeira e sua variação longitudinal foram significativamente influenciadas, sendo os maiores valores observados no plantio misto.

Foi observada tendência dos tratamentos em cultivo misto apresentarem maiores teores de extrativos e holocelulose e menores teores de lignina, principalmente quando comparado com o tratamento em plantio simples com fertilização nitrogenada. Tais tendências não foram comprovadas estatisticamente para todos os tratamentos.

O diâmetro dos vasos aumentou no sentido medula-casca. A madeira dos tratamentos sob cultivo misto tiveram os maiores diâmetros de vaso. Para o plantio misto, foi observado tendência de aumento no diâmetro dos vasos com o aumento da proporção de *A. mangium* no plantio misto em adição e, numericamente, maiores diâmetros no cultivo misto em substituição.

A frequência de vaso sofreu influência do plantio misto e da fertilização nitrogenada.

O comprimento das fibras aumentou no sentido medula-casca em todos os tratamentos, não sendo constatado diferença entre os mesmos.

Ocorreu aumento na largura da fibra e espessura da parede no sentido medula-casca. O diâmetro do lume aumentou da posição próxima à medula até a metade do comprimento do raio, com novo decréscimo até próximo à casca.

Isoladamente a fertilização nitrogenada e o plantio misto não influenciaram a largura da fibra, porém, ocorreu diferença significativa quando foram somados os efeitos da fertilização nitrogenada e da adição de 100% de acácia.

Os tratamentos em plantio misto, com a acácia substituindo o eucalipto em 50% (50EU:50AM) e adicionada em 100% (EU+100AM), apresentaram os maiores valores para diâmetro de lume e os menores para espessura de parede.

Com relação ao plantio misto, os resultados obtidos neste trabalho permitiram concluir que:

O plantio misto influenciou as propriedades de ambas as madeiras.

As madeiras de ambas as espécies estudadas, oriundas de plantios mistos, estão aptas a serem utilizadas como fonte de fibras para o processo de produção de celulose, embora, a massa específica de *A. mangium* esteja abaixo do recomendado para produção de celulose.

São necessários maiores estudos acerca da influência de plantios mistos sobre as propriedades da madeira e programas de melhoramento visando elevar a massa específica básica da *A. mangium*.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT – **MB-26**: Ensaios físicos e mecânicos da madeira. Rio de Janeiro, 1940. 16p.

ALENCAR, G. S. B. **Qualidade da madeira de espécies do gênero *Acacia* plantadas no Brasil**. 2009. 132 p. Tese (Doutorado em Recursos Florestais) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba, 2009.

ALENCAR, G.S.B. **Estudo da qualidade da madeira para produção de polpa celulósica relacionada à precocidade na seleção de um híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla***. 2002. 73 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2002.

ALENCAR, G.S.B.; BARRICHELO, L.E.G.; SILVA JUNIOR, F.G. Qualidade da madeira de híbrido de *Eucalyptus grandis* x *E.urophylla* e seleção precoce In: 34º Congresso Anual. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 6 p., 2001. Disponível em: <http://www.celso-foelkel.com.br/artigos_outros22.html>. Acesso em: 23 abr. 2012.

ALMEIDA, F.S. **Influência da carga alcalina no processo de polpação L-solids para madeiras de eucaliptos**. 2003. 115 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2003.

ANDRADE, C; PEITZ, C; SILVA, C; MIGUEL, M. D; MIGUEL, O.G; KEBER, V.A; Revisão do gênero acacia: atividades biológicas e presença de fenóis derivados do núcleo flavânico. **Visão Acadêmica**, Curitiba, PR, v. 4, n. 1, p. 47 - 56, 2003.

ANTUNES, F. S. **Avaliação da qualidade da madeira das espécies de *Acácia Crassicarpa*, *Acacia mangium*, *Eucalyptus nitens*, *Eucalyptus globulus* e *Populus tremuloides***. 2009. 82 p. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais). Universidade de São Paulo, Escola superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba-SP, 2009.

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

ARANGO ALZATE, S. B.; TOMAZELLO FILHO, M.; PIEDADE, S. M. S. Variação longitudinal da densidade básica da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden, *E. saligna* Sm. e *E. grandis* x *E. urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 68, p.87-95, ago. 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Dados do setor**: Julho – 2011. São Paulo – SP, 2011, 27p. Disponível em:

<<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/booklet.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE CELULOSE E PAPEL – BRACELPA. **Relatório anual 2009 / 2010**. São Paulo – SP, 2009, 60p. Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra2/sites/default/files/estatisticas/rel2009.pdf>>. Acesso em: 25 ago. 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF. Anuario estatístico da ABRAF 2012 ano base 2011. ABRAF. – Brasília: 2012. 150p. Disponível em: < www.abraflor.org.br >. Acesso em: 21 maio 2012

BARRICHELO, L.E.G.; FOELKEL, C.E.B.; MILANEZ, A.F. Estudo comparativo das madeiras de *Eucalyptus saligna*, *E. paniculata*, *E. citriodora*, *E. maculata* e *E. tereticornis* para a produção de celulose sulfato. **IPEF**, Piracicaba, n.10, p.17-37, 1975.

BARRICHELO, L. G.; BRITO, J. O. A utilização da madeira na produção de celulose. **Circular Técnica IPEF**. Piracicaba, n. 68, 12 p, 1979.

BARRICHELO, L.G.; BRITO, J.O.; MIGLIORINI, A.J. Estudo longitudinal da densidade básica de *Eucalyptus spp*. **Silvicultura**, São Paulo, v. 8, n. 28, p. 726-730, 1982.

BARRICHELO, L. G.; BRITO, J. O.; COUTO, H. T. Z. Densidade básica, teor de holocelulose e rendimento de celulose de *Eucalyptus grandis*. **Silvicultura**, São Paulo, v.8, n.32, p.802-808, 1983.

BERGER, R. **Crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob o efeito do espaçamento e da fertilidade**. 2000. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2000.

BERTOLA, A. Eucalipto - 100 Anos de Brasil. “Falem mal, mas continuem falando de mim!”. 2004. Disponível em: < http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/outros/Eucalipto_100%20anos%20de%20Brasil_Alexandre_Bertola.pdf>. Acesso em: 22 maio 2012.

BOUILLET, J. P.; LACLAU, J. P.; GONÇALVES, J.L.M.; MOREIRA, M.Z.; TRIVELIN, P. C. O.; JOURDAN, C.; SILVA, E. V.; PICCOLO, S. M.; TSAI, S. M.; GALIANA, A. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil: 2: Nitrogen accumulation in the stands and biological N² fixation. **Forest Ecology and Management**. v. 255, p. 3918–3930, 2008.

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

BRAGATTO, J. Casca de eucalipto para a produção de bioetanol. 2012. Disponível em: <<http://www.celuloseonline.com.br/artigos/Casca+de+eucalipto+para+a+produo+de+bioetanol#>>. Acesso em: 25 maio 2012.

CÂMARA SETORIAL DE SILVICULTURA – C.C.S. **Agenda estratégica do setor de florestas plantadas**. Brasília, 2009. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/arq_editor/file/camaras_setoriais/Florestas_plantadas/9_reuniao/Agenda_Sivicultura.pdf>. Acesso em: 22 fev. 2012.

CARDOSO, G. V.; FRIZZO, S. M. B.; ROSA, C. A. B.; FOELKEL, C. E. B.; ASSIS, T. F.; OLIVEIRA, P. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus globulus* no sentido longitudinal da árvore. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 35, 2002, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Celulose e Papel, 2002. Disponível em: <<http://www.celsofoelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202002d.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2012

CARLQUIST, S. **Ecological strategies of xylem evolution**. University of California Press, Berkeley, 1975, 259 p.

CARNEIRO, A. C. O. **Problemas especiais: anatomia da madeira**. Viçosa:UFV, 2003, 45 p.

CARVALHO, M.G.V.S. **Efeito das variáveis de cozimento nas características químicas de pastas kraft de *Eucalyptus globulus***. 1999. 269 f. Tese (Doutorado em Engenharia Química) - Universidade de Coimbra, Coimbra, 1999.

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M. A. R. Valorizaçã 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. 61-7, jun. 20016.

CARVALHO, A. M.; NAHUZ, M. A. R. Interferência na qualidade e rendimento de polpa celulósica de eucalipto devido ao uso múltiplo da madeira. **Cerne**, Lavras, v. 10, n. 2, p. 242-256, jul./dez. 2004

CLARK, N. B.; BALODIS, V.; GUIGAN, F.; JINGXIA, W. Pulping properties of tropical acacias. In: TURNBULL, J.W. **Advances in tropical acacia research**. Canberra: ACIAR, 1991. p. 138-144. (ACIAR. Proceedings, 35).

CLARK, N. B.; BALODIS, V.; GUIGAN, F.; JINGXIA, W. Pulpwood potential of Acacias. In: BROWN, A.G. **Australian tree species research in China**. Canberra: ACIAR, 1994. p. 196-202. (ACIAR, Proceedings, 48).

COELHO, S. R. F.; GONÇALVES, J. L. M.; MELLO, S. L. M.; MOREIRA, R. M.; SILVA, E. V.; LACLAU, J.P. Crescimento, nutrição e fixação biológica de nitrogênio em plantios mistos de eucalipto e leguminosas arbóreas. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 6, p. 759-768, 2007.

CONCEIÇÃO, M.M.; SILVA, P.S.L.; MACHADO, A.A. Efeitos de bordadura e amostragem em experimentos de híbrido de milho. **Ciência Agrônômica**, Fortaleza, v.24, n.1/2, p.63-69, 1993

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

COSTA, A. **Anatomia da madeira**. Coletâneas de anatomia da madeira ,2001. Disponível em: < <http://www.joinville.udesc.br/sbs/professores/arlindo/materiais/APOSTILANATOMIA1.pdf>> . Acesso em: 14 jan. 2011.

COSTA TIENNE, D. L.; OLIVEIRA, J, N.; PALERMO, G. P. M.; SOUZA, J. S.; LATORRACA, J. V. F. Influência do espaçamento no ângulo das microfibrilas e comprimento das fibras de clone de eucalipto. **Revista Florestal Latinoamericana**, v. 24, n. 1, p. 67-83, 2009.

DADSWELL, H. E. The anatomy of eucalypt wood. Melbourne: **Forest Products Laboratory**, CSIRO, n.66, p.1-28, 1972.

DUARTE, A. P. C.; Motta, J. P.; BRAZ, R. L.; RODRIGUES, B. P.; MAURI, R.; OLIVEIRA, J. T. S. Avaliação da densidade básica e anatomia da madeira de *Acacia mangium* proveniente de reflorestamento. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, Lavras. 12., 2010. **Anais...** Lavras: UFLA, 2010. CD-ROM.

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**. 2007. 107 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. Sistema brasileiro de classificação de solos. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Workshop sobre Melhoramento de Espécies Florestais e Palmáceas no Brasil**. Documentos 62. Curitiba, Agosto 2001. Disponível em: <<http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes.htm>>. Acesso em: 7 ago. 2011.

FERREIRA, C. R.; FANTINI JUNIOR, M.; COLODETTE, J. L.; GOMIDE, J. L.; CARVALHO, A. M. M. L. Avaliação tecnológica de clones de eucalipto: parte 1 - qualidade da madeira para produção de celulose Kraft. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 70, p. 161-170, abr. 2006.

FOELKEL, C.E.B.; BARRICHELO, L. E. G. **Tecnologia de celulose e papel.** Piracicaba: USP, ESALQ, 1975. 207 p.

FOELKEL, C.E.B.; ZVINAKEVICIUS, C.; SIQUEIRA, L.R.O.; KATO, J.; ANDRADE, J.O.M. 1977. A Casca Desmoldulada de Eucalipto: Uma Nova Opção Como Fonte de Fibras para a Indústria de Celulose Kraft. In: X Congresso da ABCP. São Paulo, p.19-35.

FOELKEL, C.E.B., C. ZVINAKEVICIUS, L.R.O. SIQUEIRA, J. KATO e J.O.M. ANDRADE, 1977. A casca desmoldulada de eucalipto: Uma nova opção como fonte de fibras para a indústria de celulose kraft. In: X Congresso da ABCP. São Paulo, p.19-35.

FOELKEL, C.E.B. Química dos processos de produção de celulose. 1977. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 18 maio 2012.

FOELKEL, C.E.B. Madeiras de eucalipto: da floresta ao digestor. In: CONGRESSO ANUAL DA ABTCP, 11, 1978, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Associação Brasileira de Celulose e Papel, 1978. P.E1-E25.

FOELKEL, C.E.B.; MORA, E.; MENOCELLI, S. Densidade básica: Sua verdadeira utilização como índice de qualidade da madeira de eucalipto para a produção de celulose. **O Papel**, São Paulo, v. 53, n. 5, p. 35-40, 1992.

FOELKEL, C.E.B. Casca da árvore do eucalipto: Aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando a produção de celulose e papel. 2005. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 18 maio 2012.

FOELKEL, C. E. B. Elementos de vaso e celuloses de eucalipto. 2007. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 9 nov. 2011

FOELKEL, C.E.B. **Os eucaliptos e as leguminosas** - Parte 01: *Acacia mearnsii*. 2008. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 9 nov. 2011.

FOELKEL, C.E.B. **Propriedades papelarias das árvores, madeiras e fibras celulósicas dos eucaliptos.** 2009a. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 9 nov. 2011

FOELKEL, C.E.B. **Individualização das fibras da madeira do eucalipto para a produção de celulose kraft.** 2009b. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 23 maio 2012.

FOELKEL, C. E. B. **Diferenciando polpas de mercado e papéis de eucalipto através da gestão dos finos celulósicos da polpa.** 2009c. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 9 nov. 2011.

FOELKEL, C.E.B. **Os eucaliptos e as leguminosas** - Parte 03: *Acacia mangium*. 2012. Disponível em: <<http://www.eucalyptus.com.br>>. Acesso em: 20 jul. 2012

FORRESTER, D. I.; BAUHUS, J.; COWIE, A. L.; VANCLAY, J. K. Mixed-species plantations of Eucalyptus with nitrogen-fixing trees: A review. **Forest Ecology and Management**, Amsterdam, v. 233, p. 211–230, 2006. Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S03781127_06003252>. Acesso em: 22 jan. 2011.

GALIANA, A.; BALLE, P.; N'GUESSAN KANGA, A.; DOMENACHD, A.M. Nitrogen fixation estimated by the ¹⁵N natural abundance method in *Acacia mangium* Willd. inoculated with *Bradyrhizobium* sp. and grown in silvicultural conditions. **Soil Biology and Biochemistry**. Oxford, v. 34, n. 2, p. 251-262, 2002 Disponível em: < http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S003807170_1001791>. Acesso em: 22 jan. 2011.

GOLDSCHIMILD, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUSWIG, C. H. Eds **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971, p.241-246

GOMIDE, J.L. DEMUNER, B.J. Determinação do teor de lignina em material lenhoso: Método Klarson modificado. **O papel**, São Paulo, v.47, n.8, p36-38, 1986.

GOMIDE, J.L.; COLODETTE, J.L.; OLIVEIRA, R.C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* do Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.129-137, 2005.

GONÇALVES, F. G. **Efeito da taxa de crescimento na qualidade da madeira de híbrido clonal de *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis* para produtos sólidos**. 167 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal). Universidade Federal do Espírito Santo, Alegre, 2006.

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

GOULART, M.; HASELEIN, C. R.; HOPPE, J. M.; FARIAS, J. A., PAULESKI, D. T. Massa específica básica e massa seca de madeira de *Eucalyptus grandis* sob o Efeito do espaçamento de plantio e da posição axial no tronco. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 167-175, 2003.

GUIGAN, F.; BALODIS, V.; JINGXIA, W.; CLARK, N. B. Kraft pulping properties of *Acacia mearnsii* and *A. silvestris*. In: TURNBULL, J.W. **Advances in tropical acacia research**. Canberra: ACIAR, 1991. p. 145-150. (ACIAR. Proceedings, 35).

HONJO, K.; FURUKAWA, I.; SAHRI, M. H. Radial variation of fiber length increment in *Acacia mangium*. **IAWA Journal**, v. 26, n. 3, p. 339-352, 2005.

KLOCK, U; MUÑIZ, G.I.B.; HERNANDEZ, J.A.; ANDRADE, A.S. **Química da madeira**. Curitiba, UFPR. p. 71-73, 2005.

LACLAU, J. P.; BOUILLET, J. P.; GONÇALVES, J.L.M.; SILVA, E.V.; JOURDAN, C.; CUNHA M.C.S.; MOREIRA, M.R.; SAINT-ANDRÉ, L.; MAQUÈRE, V.; NOUVELLON, Y.; RANGER, J. Mixed-species plantations of *Acacia mangium* and *Eucalyptus grandis* in Brazil: 1. Growth dynamics and aboveground net primary production. **Forest Ecology and Management**. v. 255, p. 3905–3917, 2008. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0378112707008419>>. Acesso em: 22 jan. 2011.

LELLES, J.G.; SILVA, F.P.; SILVA, J.C. Caracterização do carvão vegetal produzido a partir da madeira de *Acacia mangium*. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 20, n. 1, p. 87-92, 1996.

LOGAN, A. F. Australian acacias for pulpwood. In: TURNBULL, J. W. **Australian acacias in developing countries**. Canberra: ACIAR, 1987. p. 89-94. (ACIAR. Proceedings, 16).

LOURENÇO, A.; GOMINHO, J.; PEREIRA, H. - A influência do cerne do eucalipto na produção de pasta para papel. In: Congresso Florestal Nacional, 6º, Ponta Delgada, 2009 - A floresta num mundo globalizado. Disponível em: <<https://www.repository.utl.pt/handle/10400.5/1710>>. Acesso em: 25 jan. 2012.

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

MONTEIRO, L.V. **Anatomia, identificação e usos de trinta e uma espécies de madeiras comercializadas no Estado do Maranhão**. 1996. 200 f. Dissertação (Mestrado Recursos Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Piracicaba, 1996.

MORFIENSKI, A.; GOMIDE, J.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. Importância da densidade e o teor de carboidratos totais da madeira de eucalipto no desempenho da linha de fibra. In: COLÓQUIO INTERNACIONAL SOBRE CELULOSE KRAFT DE EUCALIPTO, 2003, Viçosa. **Anais...** Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2003. p. 13-38.

MOYA R.; MUÑOZ F. Physical and mechanical properties of eight fast-growing plantation species in Costa Rica. **Journal of Tropical Forest Science**, Selangor Darul Ehsan, v.22, n. 3, p. 317–328, 2010. Disponível em: <http://www.myjurnal.my/filebank/published_article/2977/317-328.pdf>. Acesso em: 28 jan. 2012.

YAHYA, R.; SUGIYAMA, J.; SILSIA, D.; GRIL, J.; Some anatomical features of an *Acacia* hybrid, *A. mangium* and *A. auriculiformis* grown in Indonesia with regard to pulp yield and paper strength. **Journal of Tropical Forest Science**, Selangor Darul Ehsan, v.22, n. 3, p. 343–351, 2010.

NOVAIS, R.F.; BARROS N.F.; NEVES, J.C.L. **Nutrição mineral do eucalipto**. In: BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F., (Eds.). *Relação solo-eucalipto*. Viçosa, Folha de Viçosa, 1990. p. 25-98

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

PAPER INDUSTRY TECHNICAL ASSOCIATION – PITA. **Acacia hardwood Kraft**. Lancashire, 2005. Disponível em: <http://www.pita.co.uk/factsheets/public_view.php?id=41>. Acesso em: 25 jan. 2012

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. (Documentos, 38). Disponível em:< <http://www.cnpf.embrapa.br/publica/seriedoc/edicoes/doc38.pdf> >. Acesso em: 7 ago. 2011.

PINTO, P.C.; EVTUGUIN, D.V.; PASCOAL NETO, C. Chemical composition and structural features of the macromolecular components of plantation *Acacia mangium* wood. **Journal of Agricultural and Food Chemistry**. Aveiro, v. 53, n. 20, 2005, p. 7856-7862, 2005.

RAMALHO, R. S. **O uso de macerado no estudo anatômico de madeiras**. Viçosa. MG: UFV, 1987. 4p.

REVISTA DA MADEIRA – REMADE. Influência dos tratamentos silviculturais na qualidade da madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, n° 75, ago. 2003a. Disponível em: < <http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 22 ago. 2011.

REVISTA DA MADEIRA – REMADE. O potencial do eucalipto para a produção de madeira sólida. **Revista da Madeira**, Curitiba, n° 75, ago. 2003b. Disponível em: < <http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 22 ago. 2011.

REVISTA DA MADEIRA. Importância do Eucalipto para a Indústria de Celulose no Brasil. **Revista da Madeira**, Curitiba, n. 59, set. 2001. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 22 ago. 2011.

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, jun. 2004.

SAHRI, M. H., IBRAHIM, F. H., SHUKOR, N. A. A., 1993. Anatomy of *Acacia mangium* grown in Malaysia. **IAWA Journal**, v. 26, n. 3, p. 339–352, 2005. Disponível em: <<http://bio.kuleuven.be/sys/iawa/IAWA%20J%20pdf's/26.no.3.2005/339-352.pdf>>. Acesso em: 30 mar. 2012.

SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *E. urophylla* com enfoque energético.** 2009. 91f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2010

SANTOS, D.Y.A.C.; G. CECCANTINI. **Propostas para o ensino de botânica: manual do curso para atualização de professores dos ensinos fundamental e médio,** 2004. Disponível em: <http://felix.ib.usp.br/Botanica_Cotidiano.pdf>. Acesso em: 30 mar. 2011.

SEGURA, T. E. S; ZANÃO, M; DA SILVA JÚNIOR, F.G. **potencial da madeira de acácia para a produção de polpa celulósica kraft.** In: Encontro Nacional da TECNICELPA / VI CIADICYP, 21, Lisboa – Portugal, 08 pp. (2010). Disponível em:< http://www.eucalyptus.com.br/newspt_julho11.html>. Acesso em: 25 ago. 2011.

SHIMOYAMA, V.R.S. **Variação da densidade básica e características anatômicas e químicas da madeira em *Eucalyptus* spp.** 1990. 93 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 1990.

SILVA, J. C. TOMAZELLO FILHO, M.; OLIVEIRA, J. T. S.; CASTRO, V. R. Influência da idade e da posição radial nas dimensões das fibras e dos vasos da madeira de *Eucalyptus grandis* Hill ex. Maiden. **Revista Árvore**, Viçosa, v.31, n.6, p.1081-1090, 2007.

SILVA, F. P. **Reflorestamento de acácia:** nova fonte de renda para o produtor florestal. *Revista da Madeira*, Curitiba, n. 117, nov. 2008. Disponível em: <http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=1337&subject=Reflorestamento&title=Reflorestamento%20de%20ac%C3%A1cia:>>. Acesso em: 22 ago. 2011.

SOUZA. V.R.; BARRICHELO, L.E.G. Densidade básica da madeira de Eucalipto no sentido longitudinal (Base e Topo). **Informações SQCE**, Piracicaba, v. 17, p. 1-4, 1985.

STEEL, R. G. D.; TORRIE, J. H. **Principles and procedures of statistics: a biometrical approach.** 2.ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 633 p.

STURION, J. A.; PEREIRA, J. C. D.; CHEMIN, M. S. Qualidade da madeira de *Eucalyptus viminalis* para fins energéticos em função do espaçamento e idade de corte. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 16, p.55-59, 1988.

SUZANO CELULOSE E PAPEL. **Visão geral do setor**. 2009. Disponível em: <<http://suzano.infoinvest.com.br/modulos/doc.asp?arquivo=00406030.wan&doc=ian370.doc&language=ptb>>. Acesso em: 25 abr. 2010.

SZÜCS, C. A.; TEREZO, R. F.; VALLE, Â.; MORAES, P. D. **Estruturas de madeira**. Apostila do curso de Engenharia Civil UFSC. 186 pp. (2005). Disponível em: <<http://www.ecv.ufsc.br/secdepto/graduacao/planoensino/AEstruturaMadeiras.pdf>>. Acesso em: 05 abr. 2011

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

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

THOMAZ, A.F. **Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna***. Lavras, 1995. 35 f. Monografia (Trabalho de Graduação em Engenharia Florestal). Universidade Federal de Lavras, 1995.

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

TUOMELA, K.; OTSAMO, A.; KUUSIPALO, J.; VUOKKO, R.; NIKLES, G. Effect of provenance variation and singling and pruning on early growth of *Acacia mangium* Willd. plantation on *Imperata cylindrica* (L.) Beauv. dominated grassland. **Forest Ecology and Management**, v.84, p.241-249, 1996. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0378112796037152>>. Acesso em: 20 jul. 2012

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, set./out., 2009.

TRUGILHO, P .F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-111, 1996.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; MARTINS, I. S. Variação axial da densidade básica da madeira de *Acacia mangium* willd aos sete anos de idade. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 9, n. 2, p. 85-92, 1999.

VEZZANI, F. M.; TEDESCO, M. J.; BARROS, N. F. Alterações dos nutrientes no solo e nas plantas em consórcio de eucalipto e acácia negra. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, Brasil, v. 25, n. 1, p. 225-231, 2001.

VIERA, M.; SCHUMACHER, M. V.; LIBERALESSO, E. Crescimento e produtividade de povoamentos monoespecíficos e mistos de eucalipto e acácia-negra. **Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 41, n. 3, p. 415-421, jul./set. 2011.

WILLER FERREIRA, G.; VIEIRA GONZAGA, J.; FOELKEL, C. E. B.; ASSIS, T. F.; RATNIEKS, E.; SILVA, M. C. M.; Qualidade da celulose kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.7, n.1, p. 41-63, 1997.

APÊNDICES

Apêndice 1. Análises de variâncias das propriedades pesquisadas nas madeiras de *A. mangium* e do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*, com média de idade 75 meses.

Apêndice 1.1. Resumo da análise de variância dos teores de casca, alborno e cerne ponderados pelo volume do fuste de *A. mangium*

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio		
		Casca	Alborno	Cerne
Tratamento	4	0,1987×10 ² NS	0,5472×10 ² NS	0,7898×10 ² NS
Resíduo	20	0,9588×10 ³	0,4270×10 ²	0,5059×10 ²

GL: Graus de Liberdade

* :Significativo

NS: Não significativo

Apêndice 1.2. Resumo da análise de variância dos teores de casca, alborno e cerne ponderados pelo volume do fuste do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio		
		Casca	Alborno	Cerne
Tratamento	5	0,1613×10 ² *	0,1304×10 ² NS	0,9799×10 ³ NS
Resíduo	24	0,4001×10 ³	0,8458×10 ³	0,8585×10 ³

GL: Graus de Liberdade

* :Significativo

NS: Não significativo

Apêndice 1.3. Resumo da análise de variância dos teores de casca, alborno e cerne em seis posições longitudinais no fuste de *A. mangium*

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio		
		Casca	Alborno	Cerne
Posição	5	0,0388 *	0,7717 *	108,3348 *
Tratamento	4	0,7828×10 ² *	0,0308 *	3,1086 *
Pos xTrat	20	0,3116×10 ² NS	0,4343×10 ² NS	0,6213 NS
Resíduo	120	0,2194×10 ²	0,7340×10 ²	0,7520

GL: Graus de Liberdade

* :Significativo

NS: Não significativo

Apêndice 1.4. Resumo da análise de variância dos teores de casca, alborno e cerne em seis posições longitudinais no fuste do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio		
		Casca	Alborno	Cerne
Posição	5	0,0214 *	1,2072 *	203,1064 *
Tratamento	5	0,0113 *	0,0110 *	1,1579 *
Pos xTrat	25	0,7769×10 ³ NS	0,0129 *	2,3365 *
Resíduo	144	0,1029×10 ²	0,2960×10 ²	0,4682

GL: Graus de Liberdade

* :Significativo

NS: Não significativo

Apêndice 1.5. Resumo da análise de variância da massa específica básica ponderada pelo volume do fuste do fuste de *A. mangium*

Fonte de variação	Massa específica básica	
	G.L.	Quadrado médio
Tratamento	4	0,2167×10 ² NS
Resíduo	20	0,1634×10 ²

GL: Graus de Liberdade

* :Significativo

NS: Não significativo

Apêndice 1.6. Resumo da análise de variância da massa específica básica ponderada pelo volume do fuste do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*

Fonte de variação	Massa específica básica	
	G.L.	Quadrado médio
Tratamento	5	0,1149×10 ² *
Resíduo	24	0,113×10 ³

GL: Graus de Liberdade

* :Significativo

NS: Não significativo

Apêndice 1.7. Resumo da análise de variância da massa específica básica em seis posições longitudinais no fuste de *A. mangium*

Fonte de variação	Massa específica básica	
	G.L.	Quadrado médio
Posição	5	0,0865 *
Tratamento	4	0,0155 *
Pos xTrat	20	0,1730×10 ² *
Resíduo	120	0,3068×10 ² NS

GL: Graus de Liberdade

* :Significativo

NS: Não significativo

Apêndice 1.8. Resumo da análise de variância da massa específica básica em seis posições longitudinais no fuste do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*

Fonte de variação	Massa específica básica	
	G.L.	Quadrado médio
Posição	5	0,8015×10 ² *
Tratamento	5	0,5251×10 ² *
Pos xTrat	25	0,6342×10 ³ *
Resíduo	144	0,3535×10 ³ *

GL: Graus de Liberdade

* :Significativo

NS: Não significativo

Apêndice 1.9. Resumo da análise de variância das propriedades químicas da madeira de *A. mangium* no DAP

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio				
		Holocelulose	Lignina solúvel	Lignina insolúvel	Lignina total	Extrativos
Tratamento	4	0,2033×10 ³ NS	0,1367×10 ³ *	0,1053×10 ³ NS	0,1182×10 ³ NS	0,1771×10 ³ NS
Resíduo	20	0,1862×10 ³	0,2439×10 ⁴	0,1996×10 ³	0,1939×10 ³	0,4291×10 ³

GL: Graus de Liberdade

* :Significativo

NS: Não significativo

Apêndice 1.10. Resumo da análise de variância das propriedades químicas da madeira do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis* no DAP

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio				
		Holocelulose	Lignina solúvel	Lignina insolúvel	Lignina total	Extrativos
Tratamento	5	0,4162×10 ³ *	0,4653×10 ⁴ *	0,5493×10 ³ *	0,6029×10 ³ *	0,6635×10 ³ *
Resíduo	24	0,5179×10 ⁴	0,4717×10 ⁵	0,5209×10 ⁴	0,9656×10 ⁴	0,4735×10 ⁴

GL: Graus de Liberdade

* :Significativo

NS: Não significativo

Apêndice 1.11. Resumo da análise de variância da frequência e diâmetro dos vasos da madeira de *A. mangium*, em três posições radiais, no DAP

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio	
		Frequência	Diâmetro
Posição	2	23,1809 *	33629,18 *
Tratamento	4	16,4295 *	3606,996 *
Pos xTrat	8	7,8764 *	450,5437 NS
Resíduo	360	1,1620 *	831,5062

GL: Graus de Liberdade

* :Significativo

NS: Não significativo

Apêndice 1.12. Resumo da análise de variância da frequência e diâmetro dos vasos da madeira do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*, em três posições radiais, no DAP

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio	
		Frequência	Diâmetro
Posição	2	2436,417 *	8685,572 *
Tratamento	5	34,0180 *	5081,724 *
Pos xTrat	10	38,6756*	247,1343 ^{NS}
Resíduo	432	2,1357*	637,4458

GL: Graus de Liberdade

* :Significativo

NS: Não significativo

Apêndice 1.13. Resumo da análise de variância das dimensões das fibras da madeira de *A. mangium*, em três posições radiais, no DAP

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio			
		Comprimento	Largura	Diâmetro lume	Espessura parede
Posição	2	1473416 *	193,0374 *	498,8439 *	18,1678
Tratamento	4	35509,02 *	51,9919 *	55,5352 *	1,7395
Pos xTrat	8	6577,876 ^{NS}	16,7197 *	32,2904 *	1,1633
Resíduo	285	4052,127	3,8628	4,5395	0,1738

GL: Graus de Liberdade

* :Significativo

NS: Não significativo

Apêndice 1.14. Resumo da análise de variância das dimensões das fibras da madeira do híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*, em três posições radiais, no DAP

Fonte de variação	G.L.	Quadrado médio			
		Comprimento	Largura	Diâmetro lume	Espessura parede
Posição	2	2122232 *	120,2379 *	41,9670 *	47,4534 *
Tratamento	5	5223,229 ^{NS}	4,1791 *	19,8073 *	3,0916 *
Pos xTrat	10	3689,245 ^{NS}	1,3197 ^{NS}	2,4156 ^{NS}	0,2764 ^{NS}
Resíduo	342	3711,207	1,4034	1,4033	0,1565

GL: Graus de Liberdade

* :Significativo

NS: Não significativo