

**TIAGO ABREU MAIA**

**INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO MINERAL NA QUALIDADE DA  
MADEIRA DE EUCALIPTO PARA ENERGIA**

**2014**

TIAGO ABREU MAIA

**INFLUÊNCIA DA ADUBAÇÃO MINERAL NA QUALIDADE DA  
MADEIRA DE EUCALIPTO PARA ENERGIA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências da disciplina Trabalho Final de Curso II do curso de Engenharia Florestal.

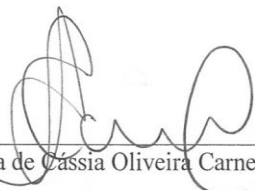
APROVADA: 09 de dezembro de 2014



Prof<sup>a</sup>. Ana Márcia M. L. Carvalho



Me. Artur Queiroz Lana



Prof<sup>a</sup>. Angélica de Cassia Oliveira Carneiro  
(Orientadora)

*Ao meu pai Marcos Maia, o  
exemplo de vida que sempre anelo.  
Dedico.*

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus por minha vida.

A meus pais que não mediram esforços para que eu alcançasse o sucesso durante toda graduação.

A Raphaela Mendes pelo amor.

A Angélica de Cássia “Cassinha”, pelo companheirismo, pela dedicação de seu tempo e pelo grande aprendizado durante a graduação.

A empresa Gerdau Aços Longos S.A., pela disponibilidade dos materiais e financiamento do projeto.

Ao Rodrigo Nascimento de Paula e Cristina Aun, pela dedicação prestada, por acreditar e incentivar minha ideia e pela troca de conhecimentos.

A antiga equipe da Tecnologia & Desenvolvimento da empresa Gerdau Aços Longos S.A., pelo companheirismo e amizade, em especial ao José Wilson.

Aos funcionários do Laboratório de Painéis e Energia (LAPEM).

Aos meus amigos da graduação que de alguma forma contribuíram para realização desta monografia.

## RESUMO

O presente trabalho teve como objetivo identificar as possíveis interferências que a adubação pode ocasionar nas propriedades da madeira de Eucalipto. Foram analisados seis clones, na idade de 54 e 66 meses, provenientes de florestas comerciais de uma empresa situada na cidade de Três Marias, Minas Gerais. Para análise da propriedade anatômica determinou-se a relação cerne/alburno do lenho, para análise química da madeira realizou-se a análise química estrutural, o teor de cinzas e o poder calorífico, e por fim o estudo das análises físicas se deu por meio da densidade básica e da quantidade de massa seca. Também avaliou as interferências na casca das árvores por meio da densidade básica, e do teor de cinzas. O experimento foi implantado segundo o delineamento amostral de parcelas gêmeas. Este delineamento visa à criação de novas parcelas virtualmente idênticas (Parcelas Gêmeas) as parcelas de inventário contínuo (Testemunhas) já existentes no talhão a que serão comparadas. Para a avaliação dos dados, optou-se em realizar uma análise comparativa entre os valores encontrados nas parcelas testemunhas com os valores das parcelas gêmeas. Para tal, optou-se pelo uso do teste de L&O, cujo procedimento resulta da combinação do teste de F ( $FH_0$ ) Graybill, do teste t para erro médio ( $t\bar{\epsilon}$ ) e da análise de correlação linear ( $rY_jY_1$ ) entre os valores encontrados nas parcelas Testemunhas ( $Y_j$ ) e os valores encontrados nas Parcelas Gêmeas ( $Y_1$ ). Para todas as propriedades analisadas o teste indicou que os valores encontrados nas parcelas gêmeas foram, em média, estatisticamente diferentes dos valores das parcelas testemunhas. A fertilização acarretou, de modo geral, uma redução da relação cerne/alburno do lenho. Para análise química estrutural foi observado um ligeiro aumento do teor de lignina, e uma pequena redução nos teores de holoceluloses, já para os teores de extrativos não foi observado uma similaridade da resposta frente à adubação. O poder calorífico superior da madeira das árvores adubadas foi um pouco maior em comparação as árvores testemunhas. O incremento nutricional provocou um expressivo aumento nos teores de cinzas da madeira dos clones analisados. Na avaliação da casca não foi observada uma resposta homogênea na densidade básica das árvores fertilizadas, já o teor de cinzas da casca foi superior em todos os materiais genéticos avaliados. A fertilização mineral diminuiu a densidade básica da madeira, o que foi compensado pelo aumento na produtividade, quando se analisou a quantidade de massa seca.

Palavras-chaves: adubação, propriedades da madeira, clones de eucalipto.

## SUMÁRIO

RESUMO.....	
1.INTRODUÇÃO.....	
2.OBJETIVOS.....	
2.1.Objetivo Geral.....	
2.2.Objetivos específicos.....	
3.REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	
3.1.Demanda de Nutrientes pelo Eucalipto.....	
3.2.Reflexos da Fertilização Mineral na Qualidade da Madeira.....	
3.2.1.Atributos Anatômicos.....	
3.2.2.Atributos Físicos.....	
3.2.3.Atributos Químicos.....	
4.MATERIAL E MÉTODOS.....	
4.1.Delineamento experimental.....	
4.2.Seleção das Amostras.....	
4.3.Produtividade.....	
4.4.Preparo das amostras.....	
4.5.Relação cerne/alburno da (C/A).....	
4.6.Densidade Básica da Madeira.....	
4.7.Densidade Básica da Casca.....	
4.8.Poder Calorífico Superior (PCS) da madeira.....	
4.9.Composição Química Estrutural.....	
4.10.Teor de Cinzas da Madeira e da Casca.....	
4.11.Cálculos das Estimativas de Massas.....	
4.12.Análise Estatística.....	

5.RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	.....
5.1.Produtividade.....	.....
5.2.Propriedades da Madeira.....	.....
5.2.1.Relação Cerne/Alburno (C/A) .....	.....
5.2.2.Densidade Básica.....	.....
5.2.3.Análise Química Estrutural.....	.....
5.2.4.Teor de Cinzas.....	.....
5.2.5.Poder Calorífico Superior (PCS) .....	.....
5.3.Propriedades da Casca.....	.....
5.3.1.Densidade Básica da Casca.....	.....
5.3.2.Teor de Cinzas da Casca.....	.....
5.4.Estimativa de Massa Seca de Madeira.....	.....
5.5.Estimativas das Massas de Lignina, Extrativos, Holoceluloses, Cinzas, Energia e Carvão.....	.....
6.CONCLUSÕES.....	.....
7.REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	.....

## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a implantação de maciços florestais formados, em maior parte, por espécies exóticas, é consequência da evolução de toda uma estrutura industrial que tem como objetivo atender à demanda das regiões mais desenvolvidas do país. Em 2012, a área brasileira de plantios de *Eucalyptus* e *Pinus* atingiu 6,66 milhões de hectares, um crescimento de 2,2% em relação ao indicador de 2011. Os plantios de *Eucalyptus* representaram 76,6% da área total e os plantios de *Pinus* 23,4%. Os estados de Minas Gerais, São Paulo, Paraná, Bahia, Santa Catarina, Mato Grosso do Sul e Rio Grande do Sul se destacam no cenário nacional como detentores de 87,1% da área total de plantios florestais do país (ABRAF, 2013).

Neste mesmo ano, 38,7% de toda a madeira de florestas plantadas produzida no país foi utilizada para a produção de carvão vegetal, lenha e outros produtos florestais, ao passo que a produção de painéis de madeira industrializada, serrados e compensados consumiu, respectivamente, 7,1%, 16,4% e 2,7% do total de madeira produzida. O restante 35,2% foi destinado à produção de celulose (ABRAF, 2013).

Durante anos o foco dos estudos da área florestal foi apenas uma busca incessante por um aumento da produtividade média dos plantios de *Eucalyptus* do país. No entanto hoje em dia sabe-se que as propriedades da madeira interferem diretamente na sua utilização final. Na busca por uma melhor qualidade dos produtos finais e do aumento da produtividade do processo em si, os centros de pesquisa e as grandes empresas florestais estão incorporando cada vez mais as características tecnológicas da madeira, aos seus aspectos econômicos e ao seu manejo silvicultural, a exemplo da adubação do solo.

Os reflexos da adubação do solo no lenho das árvores são difíceis de prever, enquanto alguns estudos apontam aumento e outros, declínio na qualidade da madeira (PUNCHES e COUNTRY, 2004). As características naturais de um solo, bem como sua



adubação, são fatores que podem influenciar a qualidade da madeira, por meio de sua interferência na taxa de crescimento das árvores que por sua vez pode interferir, principalmente nas propriedades anatômicas da madeira. Os efeitos do uso de adubos no lenho dependem da idade das árvores, do tipo de fertilizante, da época de aplicação, da quantidade aplicada e da frequência de aplicação, entre outros fatores (ANDRADE, 1993).

A adubação é o método mais popular e talvez o mais efetivo que o silvicultor dispõe para melhorar a qualidade de sítio e com isso a aumentar o incremento anual do plantio (LARSON, 1972). Contudo, alterações nas condições de crescimento, devido à aplicação de fertilizantes ou qualquer outro tratamento silvicultural, são frequentemente associados a alterações na qualidade da madeira (BISSET *et. al.*, 1951).

Apesar do número elevado de trabalhos disponíveis na literatura sobre o uso de fertilizantes em atividades florestais, pouco se tem pesquisado sobre o efeito da adubação na qualidade da madeira. A carência de pesquisas nesta área é mais acentuada quando se refere às folhosas e ainda mais quando relacionada com a madeira da espécie *Eucalyptus* spp. (VITAL,1990).

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar os efeitos da fertilização mineral nas propriedades anatômicas, físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus* spp.

### **2.2. Objetivos específicos**

Avaliar a influência da adubação na relação cerne/alburno;

Avaliar a influência da adubação na densidade básica;

Avaliar a influência da adubação nas propriedades químicas da madeira por meio da análise química estrutural, poder calorífico superior e do teor de cinzas;

Avaliar a influência da fertilização mineral na densidade básica e no teor de cinzas da casca das árvores;

Determinar a densidade energética da floresta em função da fertilização mineral.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1. Demanda de Nutrientes pelo Eucalipto

A fertilização é uma das inúmeras práticas de manejo silviculturais, que pode ser facilmente adotada visando o aumento da produtividade do eucalipto e conseqüentemente conseguindo reduzir o período de rotação da floresta. A implantação desta técnica no Brasil teve início nos anos 70, coincidindo justamente com o avanço desta cultura florestal para fronteira do cerrado (BARROS, NOVAIS e NEVES, 1990).

No Brasil a produtividade média das florestas de árvores do gênero *Eucalyptus* cerca de cinquenta anos atrás, eram encontrados valores em torno de 15 a 20 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup>, aos oito anos, atualmente foi observado, em algumas regiões do sul do estado da Bahia, valores de incremento médio anual em torno de 60 m<sup>3</sup> ha<sup>-1</sup> ano<sup>-1</sup> de árvores aos sete anos. Esse expressivo aumento de produtividade foi conseqüência de ganhos genéticos e do manejo adotado, especialmente dos aspectos relacionados à nutrição, que assumem grande importância quando se pensa, também, na sustentabilidade da produtividade dos plantios (FERNANDES, 2010).

Em regiões tropicais os fatores que determinam a produtividade florestal são principalmente a água e os nutrientes, uma vez que a radiação e a temperatura não são fatores limitantes para estas áreas (BARROS e COMERFORD, 2002). Mesmo o eucalipto sendo uma espécie florestal eficiente no uso da água e nutrientes, em solos de baixa fertilidade, elevados ganhos de produtividade tem sido obtido com a aplicação de fertilizantes minerais (BARROS *et. al.*, 2005).

O gênero *eucalyptus* possui correlação positiva e estreita entre a taxa de acúmulo de nutrientes e a taxa de crescimento, e as exigências nutricionais dependem de diversos fatores

como idade da planta, material genético e sítio (BARROS e NOVAIS, 1990). Relacionando o aporte de nutriente com as fases de crescimento, Gonçalves *et. al.* (1997) estratificaram o ciclo do eucalipto em três fases: na fase inicial as taxas de acúmulo de biomassa e nutrientes são baixas, e o fósforo é o nutriente demandado em maior quantidade; na segunda fase as taxas de crescimento e acúmulo de nutrientes são elevadas e a planta demanda em maiores quantidades nitrogênio e potássio; já a terceira fase do ciclo é caracterizada por baixa taxa de acúmulo de nutrientes e estabilização na taxa de crescimento. A duração de cada fase varia com a disponibilidade de fatores como clima (radiação solar, temperatura, precipitação pluvial), nutrientes e material genético, refletindo nos teores dos nutrientes nas plantas.

### **3.2. Reflexos da Fertilização Mineral na Qualidade da Madeira**

Nos dias atuais, poucos estudos buscam entender os possíveis efeitos que a adubação mineral possa ter sobre a qualidade da madeira e para o seu uso futuro, mesmo sabendo que a aplicação desta prática resulta em ganhos significativos de produtividade de florestas de eucalipto. Andrade (1993) destaca que ainda se sabe muito pouco a respeito dos níveis das influências dessa técnica nas qualidades físicas, químicas e anatômicas da madeira e seus derivados, sobretudo quando se trata de florestas de folhosas.

Vital (1990) enfatiza que poucos são os trabalhos realizados com latifoliadas e menos ainda se tem estudado sobre o efeito da fertilização na qualidade de madeira de árvores pertencentes ao gênero *Eucalyptus*, havendo, portanto a grande necessidade de se estabelecer um amplo programa de pesquisa com este objetivo.

De posse dos poucos estudos observados na literatura, Panches e Country (2004), citados por Barreiros *et. al.* (2007) e por Barbosa *et. al.* (2014) descrevem que os efeitos da adubação são difíceis de prever, pois enquanto alguns estudos apontam aumento, outros, ao contrário, apontam declínio na qualidade da madeira.

A avaliação do efeito de qualquer tratamento silvicultural sobre a qualidade da madeira é sempre um problema complexo (LARSON, 1967; 1968). Todas as espécies florestais possuem variações naturais em suas características, que são provenientes das diferenças genótípicas e de diferentes respostas às condições nas quais as árvores estão se desenvolvendo (PANSIN e ZÉEUW, 1980). Estas variações são inerentes ao crescimento das árvores e devem ser levadas em consideração quando se faz qualquer estudo sobre a qualidade da madeira (VITAL, 1990). Portanto, a resposta à aplicação de fertilizantes e suas

possíveis alterações nas características da madeira dependem não só da espécie, mas também da fertilidade do solo onde as árvores estão sendo cultivadas (LARSON, 1967; 1968).

### 3.2.1. Atributos Anatômicos

As poucas pesquisas elaboradas para estudar o efeito da fertilização mineral sobre as características anatômicas das latifoliadas foram dedicadas essencialmente ao estudo do impacto da adubação no comprimento das fibras e na proporção relativa de vasos e fibras (VITAL, 1990).

Redução no comprimento das fibras de *Eucalyptus saligna*, influenciada pela aplicação de duas toneladas de calcário por hectare, foi observada por Mello (1968), este mesmo comportamento foi observado por Higgs e Rudman (1973) ao analisarem as fibras de *Eucalyptus regnans* após a fertilização mineral. Para Saucier e Ike (1969) o comprimento da fibra pode permanecer inalterado ou aumentar ligeiramente com a adubação.

Vital (1990) fazendo uma revisão nos trabalhos que tratam sobre o tema, indica que geralmente a proporção de vasos e fibras permanece inalterada frente à adubação mineral. Em contra partida, Einspahr *et. al.* (1971) observaram, após a adubação de *Populus tremuloides* com NPK, um pequeno aumento na proporção de volume ocupado pelos vasos, em decorrência, do aumento nos diâmetros destes vasos.

### 3.2.2. Atributos Físicos

A massa específica da madeira é função de diversos fatores inerentes ao lenho das árvores, dentre eles os mais essenciais são a espessura da parede celular, as dimensões e os tipos das células e com uma menor importância, a quantidade de extrativos presentes por uma mesma unidade de volume (PANSHIN e ZÉEUW, 1980; BROWN *et. al.*, 1952). Portanto, o possível reflexo da fertilização na densidade da madeira será em decorrência de alterações nestes parâmetros (Klem, 1968; Haygreen e Bowyer, 1982).

Higgs e Rudman (1973) observaram, após adubação à base de NPK em uma floresta de *Eucalyptus regnans*, com idades que variavam de 27 a 34 anos, uma redução da densidade da madeira de 25 kg m<sup>-3</sup> em média. Barreiros *et. al.* (2007), também evidenciaram uma redução da massa específica da madeira de *Eucalyptus grandis* frente à adubação com lodo de esgoto. Este mesmo comportamento foi constatado por Barbosa *et. al.* (2014) que observaram

menores valores nas médias da massa específica de clones de *Eucalyptus* spp. fertilizados (com irrigação).

Andrade (1993) ao estudar clones de *Eucalyptus grandis* concluiu que as densidades básicas ponderada do cerne, do alburno e da casca não foram afetadas pela fertilização mineral ou pela calagem do solo, constatando que esta tendência está em concordância com os resultados encontrados por Mello (1968). Andrade (1993), explica este resultado citando que esta propriedade, tem suas origens ligadas a outros fatores que não propriamente a fertilização mineral do solo.

Por outro lado, segundo Haygreen e Browyer (1982), citado por Vital (1990) o aumento na taxa de crescimento das latifoliadas com porosidade em anel provocado pela adubação mineral ou qualquer outro tratamento silvicultural geralmente resulta em um ligeiro aumento na densidade da madeira.

### **3.2.3. Atributos Químicos**

Segundo Brazier (1977), após a fertilização mineral há uma tendência ao espessamento da parede celular primária e da lamela média, frente ao aumento do vigor da árvore. Como resultado, são notados pequenos aumentos nos teores de lignina e ligeiras reduções nos teores de celulose da madeira, devido à maior concentração de lignina, normalmente observada na lamela média e na parede primária (VITAL, 1990). Para Haygreen e Bowyer (1982) a adubação mineral pode também ocasionar um ligeiro aumento no teor de substâncias extratáveis, e para Larson (1968) o teor de cinzas, aparentemente, não é afetado.

Andrade (1993) constatou que os teores médios de lignina na madeira de *Eucalyptus grandis* não diferiram estatisticamente entre si, em resposta às adubações fosfatada e, ou, sulfatada e à calagem, já os teores de extrativos do lenho, apresentaram uma ligeira redução em detrimento à complementação nutricional. Este mesmo autor também concluiu que o fosfato e o calcário calcítico provocaram aumentos significativos nos teores de cinza do lenho, da casca e do carvão vegetal.

Barreiros *et.al.* (2007) observaram que o aumento da dose de biossólido como forma de fertilização das árvores de *Eucalyptus grandis* não afetou os teores de celulose, lignina, extrativos e o poder calorífico da madeira. No entanto, foi observado um aumento significativo dos teores de hemiceluloses e de cinzas da madeira com a aplicação do lodo de esgoto tratado.

Barbosa *et.al.* (2014), ao analisarem o efeito da fertilização e da ferti-irrigação do solo na madeira de clones de *Eucalyptus* spp. obtiveram diferença significativa apenas para a relação siringil/guaiacil e para o teor de grupos acetila do lenho. Para as demais propriedades da madeira analisadas por estes autores, tais como, teor de carboidratos, lignina total, ácidos urônicos, extrativos, cinzas, Fe, Ca e Mg, não foram observadas diferenças estatísticas entre os tratamentos.

#### 4. MATERIAL E MÉTODOS

Para a realização do presente trabalho foram utilizados seis clones de *Eucalyptus* spp., aos de 4,5 anos de idade. Também se avaliou três clones na idade de 5,5 anos. Na Tabela 01 estão apresentados os sistemas de espaçamento em que cada clone foi cultivado, bem como o seu material genético e sua respectiva idade.

**Tabela 01** – Informações gerais sobre os diferentes clones analisados.

Clone	Idade (anos)	Material Genético	Espaçamento
1	4,5	<i>E. urophylla</i>	3,25 x 2,5
	5,5		4,2 x 2,0
2	4,5	<i>E. urophylla</i>	3,25 x 2,5
	5,5		3,9 x 2,5
3	4,5	<i>E. urophylla</i> x <i>E. grandis</i>	3,6 x 2,3
	5,5		3,25 x 2,5
4	4,5	<i>E. urophylla</i>	3,25 x 2,5
5	4,5	<i>E. urophylla</i>	3,5 x 2,4
6	4,5	<i>E. urophylla</i>	3,6 x 2,3

Os materiais genéticos são provenientes de plantios comerciais pertencentes à empresa Gerdau S.A. localizados no município de Três Marias – MG. A região de plantio encontra-se na no bioma cerrado, caracterizado pela forte sazonalidade em seu clima, onde o verão é tipicamente quente e chuvoso, e com o inverno frio e seco. O clima local é classificado como tropical chuvoso (Aw de Köppen). O Índice Médio Pluviométrico Anual está em torno de 1500 mm, variando de 750 mm e 2000 mm (com as chuvas concentradas de outubro a março) a temperatura média é de 24°C, variando de 14°C a 30°C (RIBEIRO; WALTER, 1998).



O solo predominante é o Latossolo de cor vermelha ou vermelho-amarelada, poroso, permeável, bem drenado e, por isto, intensamente lixiviado. A textura é predominantemente arenoso, franco-arenoso, com cerca de 25% de argila na camada de 0 a 40 cm, com relevos predominantemente planos ou com declives pouco acentuados (PEREIRA, 2012).

#### **4.1. Delineamento experimental**

O experimento foi implantado segundo o delineamento amostral de parcelas gêmeas. Tal delineamento visa à criação de novas parcelas virtualmente idênticas (Parcelas Gêmeas) as parcelas de inventário contínuo (Testemunhas) já existentes no talhão a que serão comparadas. Possui a vantagem de serem mais replicáveis e com isto gerar um menor custo de implantação e manutenção. Além de ser uma alternativa aos delineamentos estatísticos convencionais e possuir uma maior representatividade das condições do manejo das florestas com um todo.

A implantação do experimento foi realizada no ano de 2011 durante o mês de abril. A delimitação das novas parcelas experimentais ocorreu de forma a se obter parcelas circulares de 540m<sup>2</sup>, obtendo assim em média um número de sessenta árvores por parcela. As parcelas gêmeas foram alocadas a uma distância de cinco linhas de plantio da parcela testemunha (inventário florestal contínuo - IFC) já existente no talhão. A alocação foi realizada com o intuito de se obter o máximo de similaridade entre as parcelas gêmeas e as parcelas testemunhas, como o mesmo número de árvores, de falhas e de árvores mortas no interior de ambas as parcelas.

Portanto, no experimento foram realizados dois tipos de tratamentos, sendo eles: 1) Testemunha (IFC) – sem acréscimo de fertilizantes minerais; 2) Parcela Gêmea – recebeu o reforço com insumos nutricionais. Esta adubação reforço acrescida na nova parcela gêmea, teve como objetivo, retirar qualquer possível limitação nutricional das árvores.

Durante a implantação do experimento no mês de abril de 2011, as parcelas gêmeas foram adubadas com três misturas diferentes de fertilizantes. Sendo elas, mistura 1: NPKS + micronutrientes; mistura 2: calcário RIMA + óxido de magnésio; mistura 3: gesso. Totalizando as seguintes doses de nutrientes (Kg/ha): 187,92 de N; 31,15 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>; 173,21 de KCl; 803,47 de Ca; 188,35 de Mg; 454,16 de S; 5,61 de B; 1,66 de Cu; 3,18 de Zn; 44,76 de Fe; 6,87 de Mn e 0,17 de Mo. Aos seis meses e aos doze meses após a adubação de implantação do experimento foi conduzida duas novas adubações com a mistura de NPK nas seguintes doses em Kg/ha: 185,61 de N; 123,74 de P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> e 185,61 de KCl (Tabela 02).

**Tabela 02** – Doses de aplicação dos insumos (kg/ha).

Nutriente	1ª Adubação	2ª Adubação	3ª Adubação	Total por nutriente
	extra	extra	extra	
(kg/ha)				
<b>N</b>	187,92	185,61	185,61	559,14
<b>P<sub>2</sub>O<sub>5</sub></b>	31,15	123,74	123,74	278,63
<b>K<sub>2</sub>O</b>	173,21	185,61	185,61	544,43
<b>Ca</b>	803,47	-	-	803,47
<b>Mg</b>	188,35	-	-	188,35
<b>S</b>	454,16	-	-	454,16
<b>B</b>	5,61	-	-	5,61
<b>Cu</b>	1,66	-	-	1,66
<b>Fe</b>	44,76	-	-	44,76
<b>Mn</b>	6,87	-	-	6,87
<b>Zn</b>	3,18	-	-	3,18
<b>Mo</b>	0,17	-	-	0,17

A quantidade, por elemento, que cada árvore presente na parcela experimental recebeu ao final das três adubações extras está descrito na Tabela 3.

Um aspecto importante de se destacar é que esta adubação complementar ocorreu de forma adicional ao manejo nutricional já adotado pela empresa, ou seja, tanto as parcelas testemunhas (inventário florestal contínuo), quanto as parcelas experimentais (gêmeas) foram sujeitas a adubação de manejo de implantação e manutenção durante o plantio da floresta, para o talhão em que estão localizadas.

**Tabela 03** – Quantidade de insumos aplicados por elemento.

Elemento	(kg/ha)	(kg/Parcela)
<b>N</b>	559,14	30,19
<b>P</b>	121,65	6,56
<b>K</b>	284,62	15,36
<b>Ca</b>	803,47	43,38
<b>Mg</b>	188,35	10,17
<b>S</b>	454,16	24,52
<b>B</b>	5,61	0,30
<b>Cu</b>	1,66	0,09
<b>Fe</b>	44,76	2,41
<b>Mn</b>	6,87	0,37
<b>Zn</b>	3,18	0,17
<b>Mo</b>	0,17	0,009

Na Figura 1 está apresentado o fluxograma de atividades demonstrando cada etapa de execução do delineamento experimental evidenciando qual a data que cada atividade ocorreu bem como a idade que a floresta se encontrava no momento desta atividade, para os clones que estavam com 4,5 anos no momento da coleta das amostras.



**Figura 1** - Fluxograma para as árvores amostradas com 4,5 anos.

Na Figura 2 está apresentado o fluxograma de atividades demonstrando cada etapa de execução do delineamento experimental evidenciando qual a data que cada atividade ocorreu bem como a idade que a floresta se encontrava no momento desta atividade, para os clones que estavam com 5,5 anos no momento da coleta das amostras.



**Figura 2** - Fluxograma para as árvores amostradas com 5,5 anos.

#### **4.2. Seleção das Amostras**

A princípio foi realizada a coleta dos diâmetros a altura do peito (DAP) das árvores pertencentes às parcelas testemunhas e gêmeas. Em seguida, de posse do resultado encontrado, chegou-se a três classes de DAP's por parcela. Para servirem de árvores-amostras no experimento optou-se pelas árvores que apresentavam as medidas que mais se aproximavam ao DAP do centro de classe em que cada árvore estava inserida. Com o intuito de sempre analisar três árvores por parcela, sendo uma com diâmetro menor, outra com diâmetro médio e por fim uma com diâmetro maior.

### **4.3. Produtividade**

Para a determinação da produtividade média, as parcelas testemunhas (IFC) e as parcelas gêmeas foram mensuradas no momento da implantação do experimento no mês de abril de 2011 e durante a coleta das amostras no mês de setembro de 2013.

### **4.4. Preparo das amostras**

As análises das amostras foram conduzidas no Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM), do Departamento de Engenharia Florestal da Universidade Federal de Viçosa – UFV, exceto as análises de densidade básica da madeira, que foram realizadas no Laboratório de Madeira e Carvão da empresa Gerdau S.A..

De cada árvore foram retirados dez discos de cinco centímetros de espessura, sendo dois discos correspondentes, a cada 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco, até o diâmetro mínimo de quatro centímetros. Uma metade dos discos foi utilizada para as análises da densidade básica da madeira. A outra metade inicialmente fez-se a medição das porcentagens de cerne e alborno de cada disco, e em seguida foram obtidas duas cunhas opostas, passando pela medula, para serem utilizadas na determinação das demais análises.

Para determinação das análises de poder calorífico superior, química estrutural, teor de cinzas e análises térmicas da madeira, as amostras foram transformadas em serragem, utilizando-se um moinho de laboratório tipo Wiley, de acordo com a norma TAPPI 257 om-52 (TAPPI, 1998).

Para determinação das análises do teor de cinzas e análises dos teores nutricionais das cascas, as amostras também foram transformadas em serragem, utilizando-se um moinho de laboratório tipo Wiley, de acordo com a norma TAPPI 257 om-52 (TAPPI, 1998).

Para todas as análises foram utilizadas sempre amostras compostas por árvore e posteriormente realizando uma média aritmética das três árvores para obter o valor médio por parcela.

#### **4.5. Relação cerne/alburno da (C/A)**

Os procedimentos utilizados para determinação da relação cerne/ alburno (C/A) estão de acordo com a metodologia descrita por Evangelista (2007). Inicialmente identificou-se, em cada disco, a região do cerne periférico, região limite entre cerne e alburno, com o auxílio de uma lupa com aumento de dez vezes, observando-se a alteração na cor e ocorrência de poros obstruídos por tilos no cerne. De uma extremidade à outra de cada disco, traçaram-se duas retas perpendiculares, passando pelo centro da medula. Foram feitas as medições do diâmetro total e do diâmetro do cerne com uma régua de 0,1 cm de precisão. A relação cerne/alburno (C/A) foi calculada pela fórmula:

$$C/A = \frac{Dc^2}{D^2 - Dc^2}$$

Em que:

Dc: Diâmetro do cerne, em cm; e,

D: Diâmetro do disco sem casca, em cm.

Os valores médios da relação C/A para cada clone foram calculados a partir da média aritmética da relação C/A dos discos de madeira de cada árvore.

#### **4.6. Densidade Básica da Madeira**

Dos discos foram retiradas as cascas e em seguida foram devidamente identificados. A densidade básica da madeira foi determinada pelo método de imersão em água, de acordo com a norma ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003). Os valores médios da densidade básica de cada árvore foram calculados pela média aritmética dos discos retirados ao longo do tronco.

#### **4.7. Densidade Básica da Casca**

A densidade básica da casca foi determinada pelo método de imersão em água, de acordo com a norma ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003). Os valores médios da densidade básica de cada árvore foram calculados pela média aritmética das cascas retiradas dos discos ao longo do fuste.

#### **4.8. Poder Calorífico Superior (PCS) da madeira**

O poder calorífico superior da madeira, foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (ABNT, 1984), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática IKA300.

As amostras de madeira foram transformadas em serragem utilizando-se um moinho de laboratório tipo Wiley, de acordo com a norma TAPPI 257 om-52 (TAPPI, 1998). Foi utilizada a fração que passou pela peneira n° 16 internacional, com malha de 40 mesh e ficou retida na peneira n° 24 internacional, com malha de 60 mesh, (ASTM, 1982). As amostras foram secas em estufa a  $103\pm 2^{\circ}\text{C}$ , até massa constante, para a determinação do poder calorífico superior.

#### **4.9. Composição Química Estrutural**

Para determinação da composição química estrutural da madeira foram empregadas as amostras de madeira já moídas, formando uma amostra composta por árvore, utilizando-se a fração que passou pela peneira com malha de 40 mesh e ficou retida na peneira com malha de 60 mesh (ASTM, 1982). A determinação do teor absolutamente seco da madeira foi realizada conforme a norma TAPPI 264 om-88 (TAPPI, 1998).

Os teores de extrativos da madeira foram determinados em duplicatas, de acordo com a norma TAPPI 204 om-88 (TAPPI, 1998), utilizando-se o método de determinação de extrativos totais, apenas substituindo o etanol/benzeno, pelo etanol/tolueno.

Os teores de lignina insolúvel foram determinados em duplicata pelo método Klason, modificado de acordo com o procedimento proposto por Gomide e Demuner (1986). A lignina solúvel foi determinada por espectrometria, conforme Goldschimid (1971), a partir da diluição do filtrado proveniente do procedimento para obtenção da lignina insolúvel. O teor de lignina total foi obtido por meio da soma dos valores de lignina solúvel e insolúvel.

O teor de holoceluloses foi obtido pelo somatório dos teores de extrativos e lignina totais, subtraído de 100.

#### 4.10. Teor de Cinzas da Madeira e da Casca

Para determinação da porcentagem de cinzas da madeira e da casca foram empregadas as amostras já moídas, formando uma amostra composta por árvore, utilizando-se a fração que passou pela peneira com malha de 40 mesh e ficou retida na peneira com malha de 60 mesh (ASTM, 1982). A determinação do teor absolutamente seco da madeira e da casca foi realizada conforme a norma TAPPI 264 om-88 (TAPPI, 1998). O teor de cinzas foi determinado de acordo com a norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986), substituindo-se o cadinho de platina por cadinho de porcelana e a temperatura de 750°C para 600°C.

#### 4.11. Cálculos das Estimativas de Massas

A massa seca de madeira sem casca por hectare foi obtida multiplicando-se a produtividade ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}$ ) da madeira sem casca pela sua densidade básica ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ), conforme equação:

$$\text{MSM} = \text{Vs}/c \times \text{Dbm}$$

em que:

MSM = massa seca de madeira ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ );

Vs/c = Volume da madeira sem casca ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}$ ); e

Dbm = densidade básica da madeira ( $\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$ ).

Para calcular as massas de lignina, extrativos, holoceluloses e cinzas da madeira expressas em quilogramas por hectare multiplicando-se a massa seca de madeira pelo percentual de lignina total, extrativos, holoceluloses e cinzas respectivamente, conforme as seguintes equações:

$$\text{ML} (\text{t}/\text{ha}) = \text{MSM} \times \text{LT}$$

em que:

ML = massa de lignina ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ );

MSM = massa seca da madeira ( $\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1}$ ); e

LT = lignina total/100.



$$ME \text{ (t/ha)} = MSM \times E$$

em que:

ME = massa de extrativos (kg.ha<sup>-1</sup>);

MSM = massa seca da madeira (kg.ha<sup>-1</sup>); e

E = extrativos/100.

$$MH \text{ (t/ha)} = MSM \times H$$

em que:

MH = massa de holoceluloses (kg.ha<sup>-1</sup>);

MSM = massa seca da madeira (kg.ha<sup>-1</sup>); e

H = holoceluloses/100.

$$MCm \text{ (t/ha)} = MSM \times Cm$$

em que:

MCm = massa de cinzas da madeira (kg.ha<sup>-1</sup>);

MSM = massa seca da madeira (kg.ha<sup>-1</sup>); e

Cm = cinzas da madeira/100.

Para o cálculo da energia por m<sup>3</sup> de madeira, expressa em M.W.m<sup>3</sup>, multiplicou-se a densidade básica da madeira (kg.m<sup>-3</sup>) pelo respectivo poder calorífico superior (kcal.kg<sup>-1</sup>) de cada clone, conforme apresentado a seguir:

$$\text{Energia} = \frac{DB \times PCS}{1.859,85}$$

em que:

Energia = produção energética (M.W.m<sup>3</sup>);

DB = densidade básica da madeira (kg.m<sup>-3</sup>); e

PCS = poder calorífico superior da madeira (kcal.kg<sup>-1</sup>).

Para o cálculo da quantidade de energia por hectare, expressa em (M.W.ha<sup>-1</sup>), multiplicou-se o volume da madeira sem casca (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>) pela energia por m<sup>3</sup>, conforme a equação abaixo:

$$\text{Energia (M.W.ha}^{-1}\text{)} = \text{Vs/c} \times \text{Energia (M.W.m}^{-3}\text{)}$$

em que:

Energia = quantidade de energia por hectare (M.W.ha<sup>-1</sup>);

Vs/c = Volume da madeira sem casca (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>); e

Energia = produção energética (M.W.h.m<sup>-3</sup>).

Para o cálculo da quantidade de carvão produzida por hectare, expressa em (ton.ha<sup>-1</sup>), multiplicou-se o volume da madeira sem casca (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>) pela relação gravimétrica de 35%, que corresponde ao valor médio encontrado por Pereira (2012) ao analisar o rendimento gravimétrico dos mesmos clones deste estudo, conforme a equação abaixo:

$$\text{Carvão (t.ha}^{-1}\text{)} = \text{Vs/c} \times 0,35$$

em que:

Carvão = quantidade de carvão por hectare (t.ha<sup>-1</sup>);

Vs/c = Volume da madeira sem casca (m<sup>3</sup>.ha<sup>-1</sup>).

#### 4.12. Análise Estatística

Para a avaliação dos dados, optou-se em realizar uma análise comparativa entre os valores encontrados nas parcelas testemunhas com os valores das parcelas gêmeas, a fim de verificar se os mesmos diferem entre si, em média, a um nível de significância de 5%.

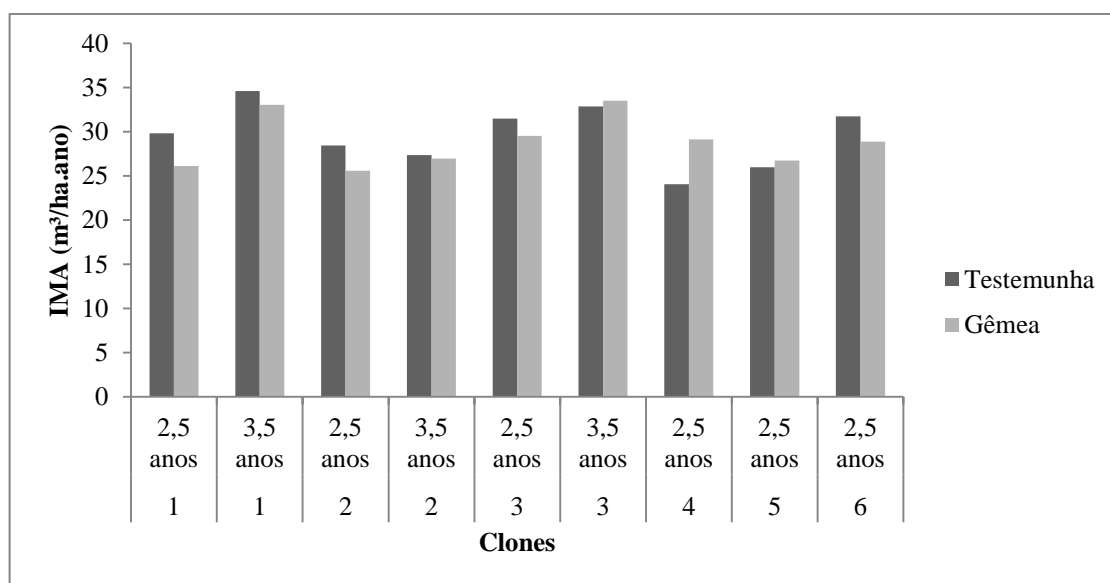
Para tal, optou-se pelo uso do teste de L&O, proposto por Leite e Oliveira (2002), cujo procedimento resulta da combinação do teste de F ( $F_{H_0}$ ) Graybill, do teste t para erro médio ( $t_{\bar{e}}$ ) e da análise de correlação linear ( $r_{Y_j Y_1}$ ) entre os valores encontrados nas parcelas Testemunhas ( $Y_j$ ) e os valores encontrados nas Parcelas Gêmeas ( $Y_1$ ).

O teste comparou os valores obtidos de cada propriedade da madeira das parcelas testemunhas como variável dependente e os valores das gêmeas como variável independente. Assim, para situações em que  $F(H_0)$  e  $t_{\bar{e}}$  forem não significativos (ns) e  $r_{Y_j Y_1} \geq 1 - |\bar{e}|$ , concluiu-se que os valores das parcelas gêmeas não diferiram, em média, dos valores das testemunhas.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

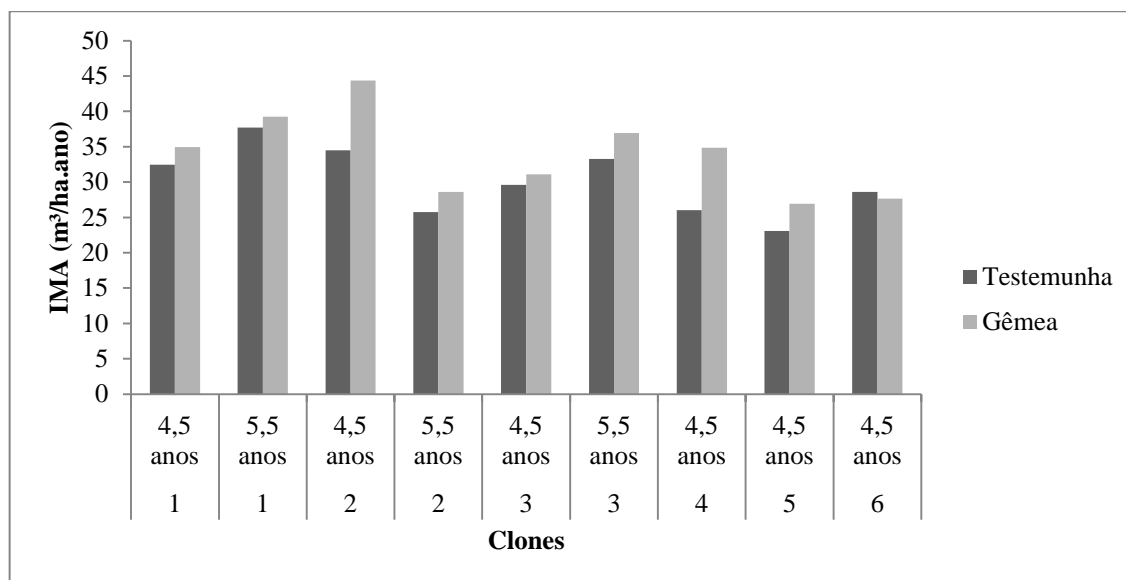
### 5.1. Produtividade

Na Figura 3 são apresentados os valores de Incremento Médio Anual (IMA) dos diferentes clones, no momento da implantação do experimento.



**Figura 3** - Incremento Médio Anual para os clones no momento da implantação do experimento.

Na Figura 4 são apresentados os valores de Incremento Médio Anual (IMA) dos diferentes clones, no momento da coleta das amostras.



**Figura 4** - Incremento Médio Anual para os clones no momento da coleta das amostras.

Uma maior produtividade das florestas de eucalipto deve ser consequência principalmente da maior aquisição de recursos do ambiente (carbono, proveniente da fotossíntese e nutrientes minerais provenientes do solo) pelas plantas e, ou, de utilização mais eficiente dos mesmos (NEVES, 2000).

Observou-se que uma maior concentração de nutrientes minerais no solo, disponíveis para absorção das árvores apresentou uma resposta positiva na produtividade média em todos os clones testados, em relação às parcelas testemunhas.

Nos clones 1, 2 e 3 que foram testados em duas diferentes idades de aplicação de adubo, nota-se que as melhores respostas de incremento médio anual foram encontradas naquelas parcelas que receberam a fertilização em idades mais jovens (2,0 anos a 3,0 anos) em relação às parcelas que foram adubadas em idades mais tardias (3,0 anos a 4,0 anos). Tal fato pode ser explicado pelo que Gonçalves *et. al.* (1997), definem por faixas de crescimento da floresta, que podem ser distinguidas em três fases que estão estreitamente relacionadas com a demanda de nutrientes das árvores. De acordo com estes mesmos autores a primeira fase de crescimento do eucalipto no Brasil vai até aproximadamente três meses após o plantio e a segunda de três a quatro anos. Na ultima fase, que compreende de três a quatro anos até o final da rotação, quando as copas das árvores já estão totalmente expandidas e a ciclagem biogeoquímica encontra-se bastante estabelecida, tornando pouco provável melhores respostas

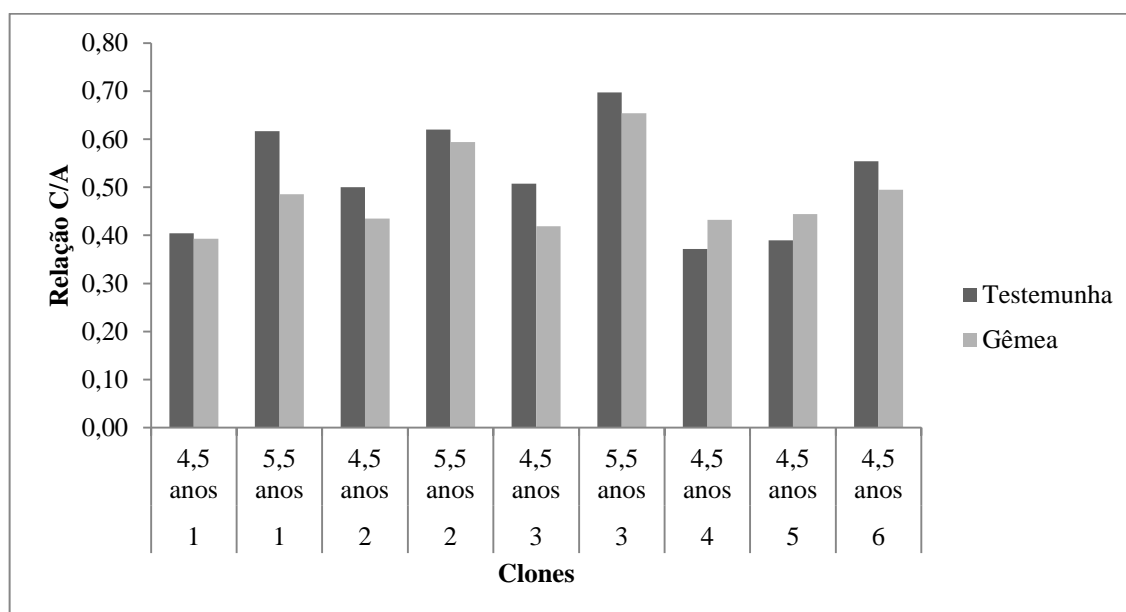
à adubação durante esta fase. Portanto o suprimento de nutrientes deve ser realizado durante as duas primeiras fases do ciclo de crescimento (BARROS *et. al.*; 2005).

Observa-se que o clone 2 na idade de 2,5 anos obteve a melhor resposta de aumento de produtividade média em função da fertilização mineral, em comparação aos demais clones analisados, apresentando um ganho de volume de aproximadamente  $13 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$ .

## 5.2. Propriedades da Madeira

### 5.2.1. Relação Cerne/Alburno (C/A)

Os valores médios da relação cerne/alburno para os clones avaliados estão apresentados na Figura 5.



**Figura 5** - Valores médios da relação cerne/alburno (C/A) dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp.

Pelo teste L&O, a um nível de significância de 5%, concluiu-se que os valores observados da relação cerne/alburno das parcelas gêmeas se diferiram dos valores das parcelas testemunhas, em média.

A relação C/A foi menor nas parcelas adubadas em relação às parcelas testemunhas em sete dos nove talhões analisados. Esta diferença encontrada pode ser explicada, provavelmente, pelo fato de que ganho de volume do fuste obtido nas parcelas gêmeas, se deu

principalmente devido ao aumento de alburno no lenho. Portanto, uma maior proporção de alburno em relação à porção de cerne culminou em menores valores da relação C/A nas parcelas gêmeas.

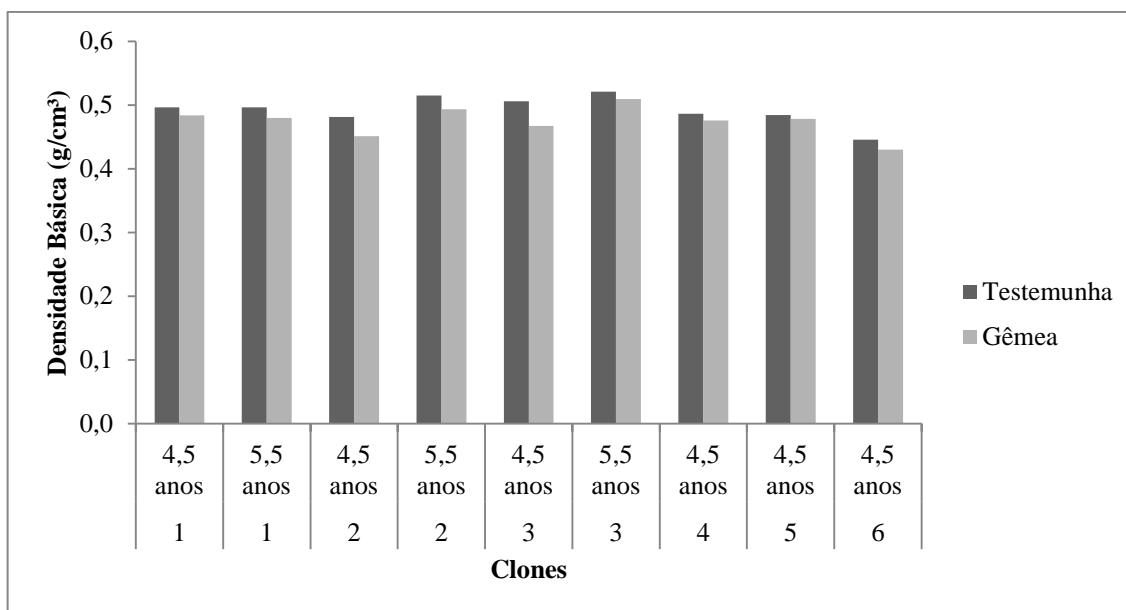
Conforme encontrado por Castro (2011), que observou um aumento da relação C/A com o aumento da idade para três clones de *Eucalyptus* spp., no presente trabalho também foi notado o mesmo comportamento desta propriedade com o avanço da idade das árvores em estudo. Este mesmo autor comenta que tal fato ocorre em virtude de que a produção de cerne ocorre conforme a madeira envelhece, deixando de ser útil como tecido de condução, devido à morte das células parenquimáticas. Durante esse processo a madeira, geralmente, sofre mudanças visíveis, que envolvem a perda de nutrientes de reserva e a infiltração de diversas substâncias (como extrativos), que mudam a coloração e o cheiro da madeira.

Menores relações C/A são desejáveis no processo de carbonização da madeira, já que os gases gerados durante este processo encontram maior dificuldade para percorrer o caminho do interior da madeira para a superfície, principalmente no cerne, devido à sua impermeabilidade, podendo provocar o rompimento das células parenquimáticas, gerando um carvão vegetal mais friável e, portanto, maior a porcentagem de finos (CASTRO, 2011).

Uma maior relação cerne/alburno pode acarretar problemas também durante a secagem da madeira, uma vez que o cerne é mais impermeável, o que dificulta a passagem de água da parte mais interna da madeira para a mais externa, provocando uma secagem mais rápida da superfície do lenho e, conseqüentemente, pode ocorrer rachaduras na madeira (GALVÃO e JANKOWSKY, 1985).

### **5.2.2. Densidade Básica**

Na Figura 6 são apresentados os valores médios de densidade básica das parcelas testemunhas e gêmeas para os clones analisados.



**Figura 6** - Valores médios da densidade básica dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp.

Pelo teste L&O, a um nível de significância de 5%, concluiu-se que os valores obtidos da densidade básica das parcelas gêmeas se diferiram dos valores das parcelas testemunhas, em média.

Verifica-se, por meio da Figura 8, que os valores de densidade básica foram inferiores nas parcelas que receberam o acréscimo nutricional, em relação às parcelas testemunhas. O que pode ser explicado pelo fato da densidade ser uma propriedade resultante de diversas características internas da madeira, dentre elas a espessura da parede celular das fibras e a proporção e distribuição de vasos e parênquimas radial e axial (PANSHIN e ZEEUW, 1980). Assim sendo, o aumento da taxa de crescimento das árvores, pode ter acarretado em uma diminuição da espessura da parede e largura da fibra, e provavelmente também gerou uma maior proporção das células de vasos e parênquimas radiais e axiais no lenho.

Para os clones 1, 2 e 3, que foram analisados em mais de uma idade observou-se que, de uma forma geral, houve um pequeno aumento dos valores de densidade básica com o aumento da idade das árvores. Esta tendência também foi verificada por Turgilho *et. al.* (1996) que estudaram a madeira de *Eucalyptus saligna* nas idades de 1, 2, 3 e 4 anos. Castro (2011) também verificou este comportamento ao estudar clones de *Eucalyptus urophylla* e o híbrido *Eucalyptus urophylla* x *Eucalyptus grandis*, nas idades de 3, 4, 5 e 7 anos. Vital (1984) explica tal fato como consequência do aumento da espessura da parede celular e diminuição da largura das células do lenho com a maturidade da árvore.

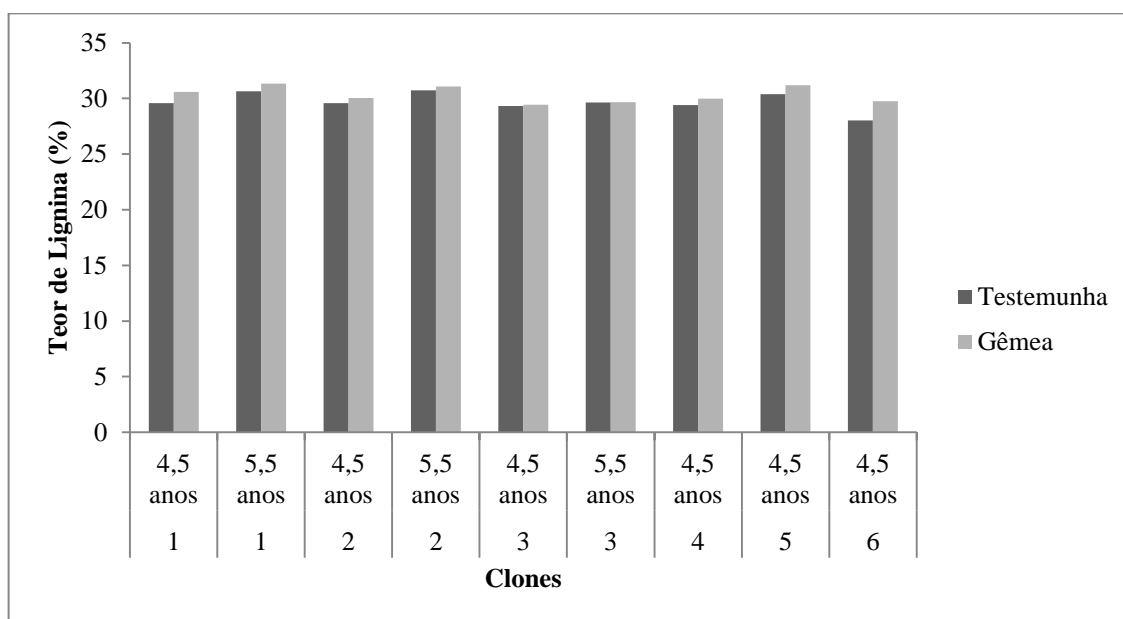


A densidade básica da madeira está diretamente relacionada com a produção de energia, de forma que quanto maior a densidade, maior também será a quantidade de energia estocada por metro cúbico (CASTRO, 2011). Portanto, é importante que se leve em consideração os reflexos negativos na densidade básica do lenho ao se realizar uma adubação mineral, para queima direta da madeira.

A manutenção da densidade da madeira em níveis mais elevados, também é de interesse das empresas produtoras de carvão, pois madeiras mais densas conferem maiores valores de densidade e resistência a este insumo. Uma vez que um carvão mais denso proporciona uma maior produtividade das praças de carbonização da madeira e dos altos fornos das siderúrgicas, além de diminuir os gastos com o transporte.

### 5.2.3. Análise Química Estrutural

Estão apresentados na Figura 7 os valores do teor de lignina total (%) das parcelas testemunhas e gêmeas para os clones analisados.



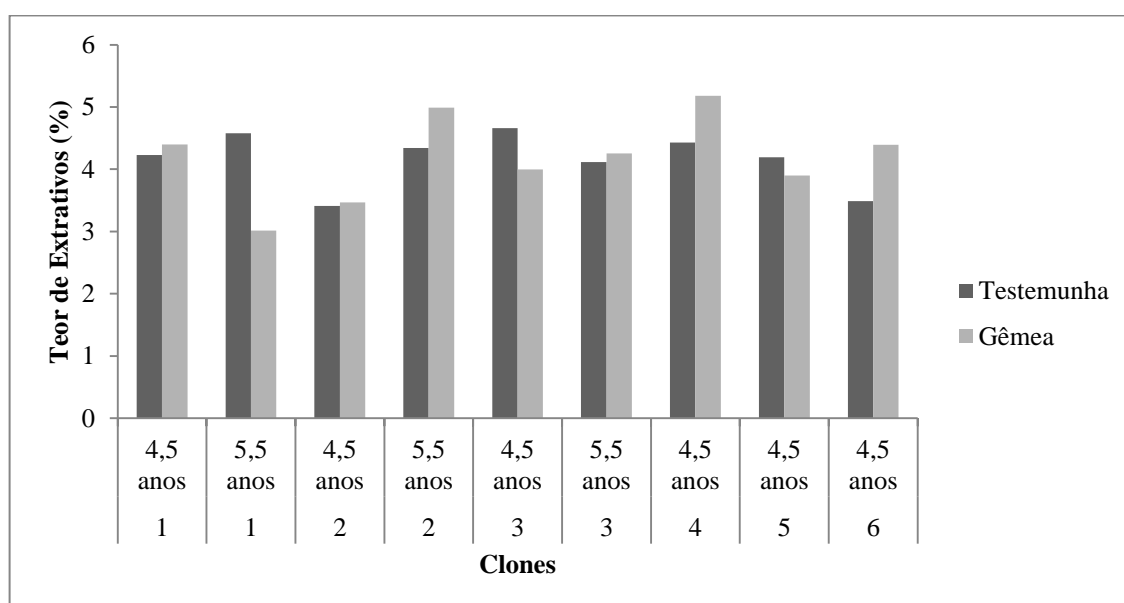
**Figura 7** - Valores médios do teor de lignina dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp.

A análise estatística, por meio do teste L&O, indicou que os valores das parcelas gêmeas se diferiram, em média, dos valores observados das parcelas testemunhas a um nível de significância de 5%.

De acordo com a Figura 10, observa-se que o efeito da fertilização das árvores acarretou, em todos os clones, um pequeno aumento do teor de lignina das madeiras analisadas. Este ligeiro aumento do teor de lignina da madeira se deve ao aumento do vigor da árvore devido à adubação que pode resultar em um maior número de células com parede celular secundária mais delgada e conseqüente uma parede primária e lamela média ligeiramente mais espessa (Brazier, 1977). Devido à maior concentração de lignina, normalmente observada na lamela média e parede primária (Panshin e Zéeuw, 1980), esta alteração na estrutura da parede celular pode ocasionar ligeiro aumento do teor de lignina e conseqüente redução do teor de celulose da madeira. Além disso, um aumento de madeira juvenil, que de modo geral, apresenta também maior percentual médio de lignina.

Maiores teores de lignina na madeira são desejados pelas empresas que tem como finalidade a queima direta da madeira e também pelas empresas produtoras de carvão vegetal. Para queima direta, a lignina é o componente da madeira que apresenta maior PCS, portanto ao ser degradada é a fração que mais contribui para liberação de energia. No processo de carbonização a lignina é o componente químico da madeira que contribui mais eficientemente para produção do carvão, em virtude de sua maior resistência à degradação térmica, contribuindo para maior rendimento gravimétrico em carvão vegetal.

Na Figura 8 estão apresentados os valores médios dos teores de extrativos da madeira encontrados para os clones analisados, para as parcelas testemunhas e para as parcelas gêmeas.



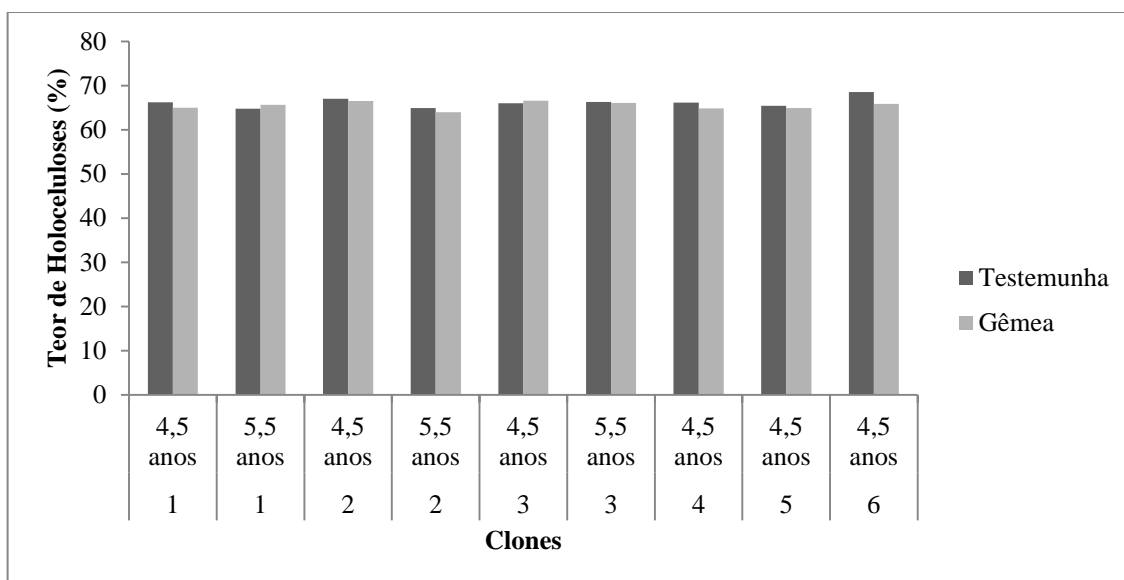
**Figura 8** - Valores médios do teor de extrativos dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp.

A análise estatística dos dados, por meio do teste L&O, indicou que os valores dos teores de extrativos das parcelas gêmeas se diferiram, em média, dos valores observados das parcelas testemunhas a um nível de significância de 5%.

O teor de extrativos foi maior nas parcelas gêmeas em relação à testemunha em seis, dos nove talhões analisados. Por outro lado a adubação mineral gerou menores teores de extrativos em outros três talhões. A falta de uma tendência mais uniforme da resposta da adubação no teor dos componentes secundários pode ser explicada pelo fato de que a concentração das substâncias extrativas está fortemente relacionada com intemperes do ambiente em que as árvores estão localizadas. Portanto, caso tenha ocorrido algum ataque de praga e, ou doença ou até mesmo déficit hídrico nas parcelas do experimento, isto pode induzir a formação destas substâncias extratáveis.

O teor de extrativo presente no lenho das árvores influencia diretamente a geração de energia com a queima direta da madeira, por aumentar o poder calorífico superior. Para a produção de carvão vegetal, a presença de maiores teores de extrativos voláteis é indesejável, uma vez que, para essa finalidade, o ideal é que a madeira apresente maiores quantidades de compostos estáveis termicamente, como é o caso da lignina (CASTRO 2011).

Os teores de holoceluloses das parcelas testemunhas e gêmeas para os clones analisados estão apresentados na Figura 9.



**Figura 9** - Valores médios do teor de holoceluloses dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp.

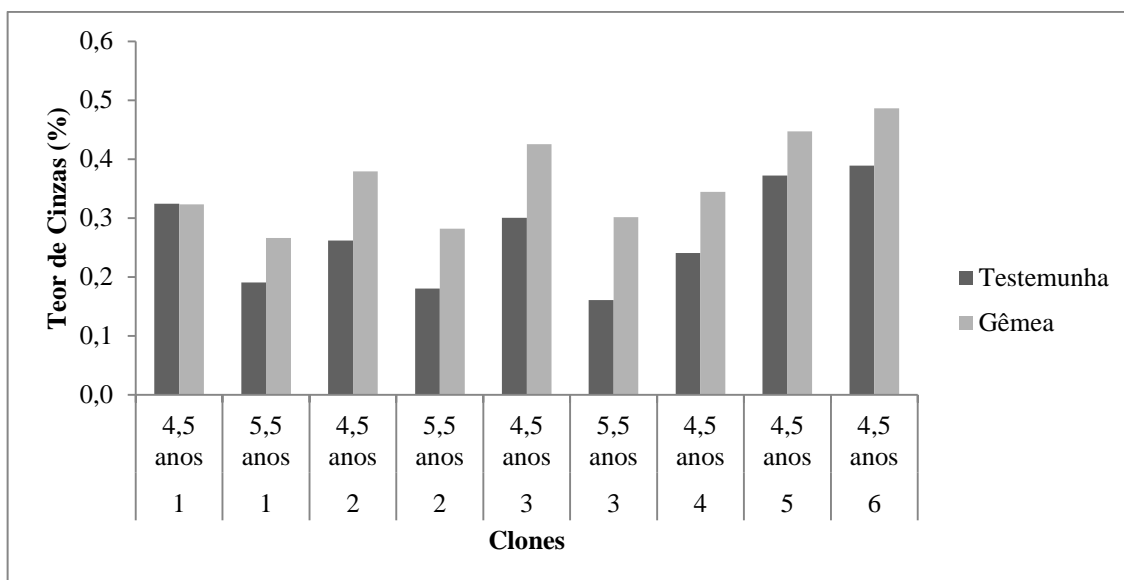
A análise estatística indicou que os valores de holoceluloses das parcelas gêmeas se diferiram, em média, dos valores observados das parcelas testemunhas a um nível de significância de 5%.

Analisando a Figura 9 observa-se para a maioria dos clones estudados que a adubação mineral das árvores influenciou de forma a reduzir ligeiramente o valor dos teores de holoceluloses da madeira. O que já era esperado de certa forma, uma vez que o teor de holoceluloses é inversamente proporcional ao teor de lignina, e visto que ocorreu um aumento dos teores deste último nas parcelas que foram adubadas. Este comportamento foi citado por Vital (1990) que afirmou que a adubação pode resultar em uma ligeira redução no teor de celulose da madeira.

Maiores teores de holoceluloses da madeira são priorizados para as empresas produtoras de celulose, uma vez que tal substância se trata da principal matéria prima para fabricação do papel. Por outro lado no processo de carbonização madeira que ocorre em temperaturas superiores a 300°C, Oliveira *et. al.* (1984) observaram que a contribuição da celulose no rendimento desse processo é pouco significativa. Madeiras com menores teores de holoceluloses devem ser preferidas também no processo de queima direta, uma vez que os valores do poder calorífico superior da celulose e hemiceluloses são inferiores ao poder calorífico encontrado na lignina.

#### **5.2.4. Teor de Cinzas**

Na Figura 10 estão apresentados os valores médios do teor de cinzas obtidos nas parcelas testemunhas e gêmeas dos diferentes clones.



**Figura 10** - Valores médios do teor de cinzas dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp.

A análise estatística dos dados, por meio do teste L&O, concluiu que os valores dos teores de cinzas das parcelas gêmeas se diferiram, em média, dos valores observados das parcelas testemunhas a um nível de 5% de probabilidade.

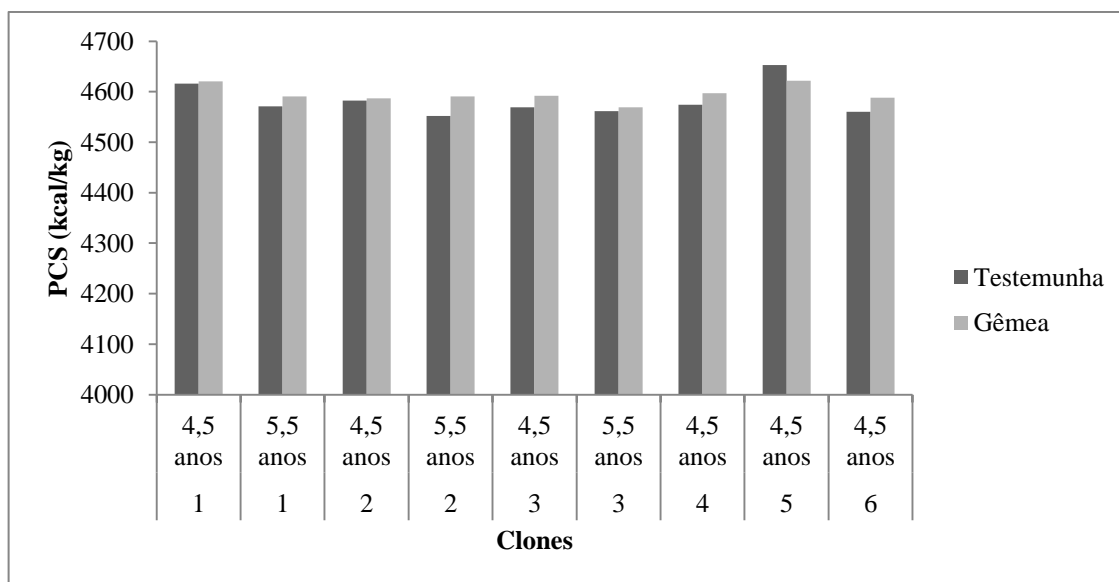
Observa-se na Figura 10 que o teor de cinzas das parcelas que receberam adubação complementar foi superior em todos os clones e idades analisados. Portanto, é possível afirmar que a fertilização mineral das árvores contribuiu para o aumento do teor de cinzas da madeira. Este aumento de cinzas está relacionado principalmente à maior absorção de nutrientes minerais pelas árvores adubadas, sendo os mais comuns são o cálcio, magnésio, fósforo e silício. Barreiros *et. al.* (2006), também observaram um aumento no teor de cinzas da madeira com a aplicação de lodo de esgoto tratado como forma de insumo para clones de *Eucalyptus grandis*.

Ainda na Figura 10 verifica-se para os clones que foram testados em mais de uma idade, que o teor de cinzas da madeira foi menor nos talhões com idades mais avançadas em relação aos talhões mais jovens. O que pode ser explicado pela menor quantidade de massa seca em proporção das parcelas mais jovens em relação às parcelas mais velhas, podendo com isso acarretar uma maior concentração do teor dos inorgânicos no lenho.

As cinzas podem gerar alguns problemas durante a utilização da madeira e do carvão vegetal, uma vez que contribuem negativamente para o poder calorífico, causam trincas e fissuras no ferro gusa, além de aumentar a quantidade de resíduos sólidos nos cinzeiros das fornalhas e um aumento no volume de escoria da produção do ferro gusa (CASTRO, 2011).

### 5.2.5. Poder Calorífico Superior (PCS)

Os valores médios do Poder Calorífico Superior (PCS) das parcelas adubadas e das parcelas testemunhas são apresentados na Figura 11.



**Figura 11** - Valores médios do poder calorífico superior (PCS) dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp.

A análise estatística indicou que os valores das parcelas gêmeas se diferiram, em média, dos valores observados das parcelas testemunhas a um nível de significância de 5%.

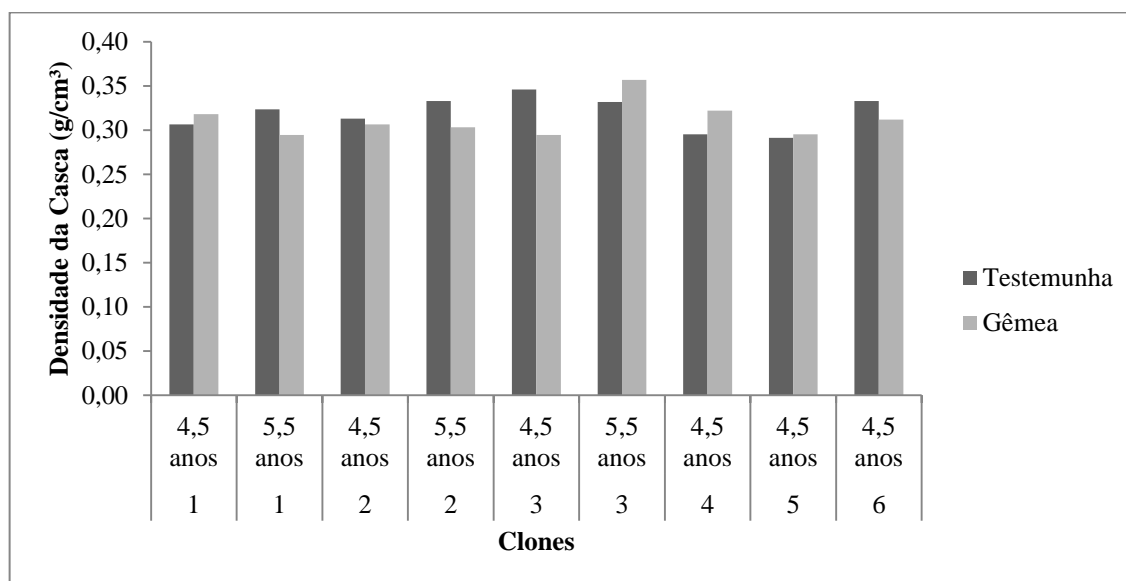
Observa-se que para a maioria dos clones analisados houve um ligeiro aumento nos valores do poder calorífico superior das parcelas gêmeas. Portanto, a fertilização mineral das árvores determinou em uma pequena resposta positiva na quantidade de energia armazenada por quilograma de madeira.

Este pequeno aumento do PCS nas parcelas gêmeas provavelmente foi em função da modificação química da madeira destas parcelas. Pois, é sabido que cada componente da madeira possui diferentes valores de PCS, de forma que segundo Pereira (2012) os valores médios de PCS da celulose, hemiceluloses (xilanas) e lignina são de 3.989, 3.206 e 6.007 kcal.kg<sup>-1</sup>, respectivamente. Portanto, a lignina é o componente mais energético da madeira, que segundo Haykiri-Acma *et. al.* (2010) é devido ao seu alto nível de aromaticidade, tamanho, arranjo de sua estrutura e elevado teor de carbono. Logo, o maior valor de lignina total encontrado das parcelas adubadas pode ter contribuído para o aumento do poder calorífico superior da madeira.

### 5.3. Propriedades da Casca

#### 5.3.1. Densidade Básica da Casca

Os valores médios encontrados referentes à densidade básica da casca estão apresentados na Figura 12.



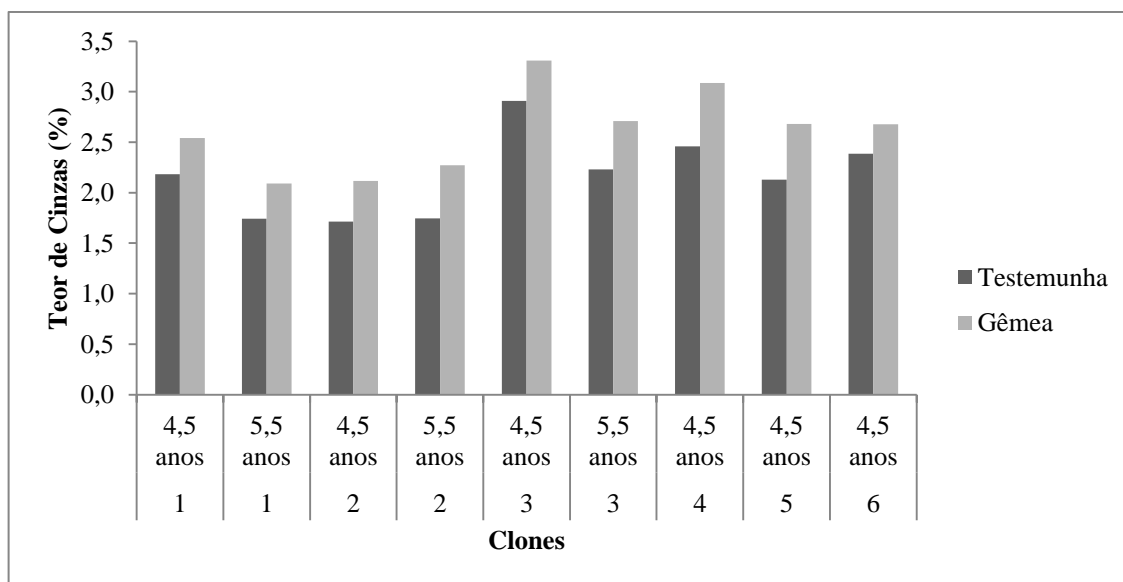
**Figura 12** - Valores médios da densidade básica da casca dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp.

Nota-se que a fertilização mineral das árvores não influenciou de forma direta os valores da densidade básica da casca. Portanto, não foi possível observar uma tendência no comportamento da densidade básica da casca em detrimento da adubação das parcelas. Esta falta de homogeneidade dos dados pode ser em virtude da grande quantidade de fatores que influenciam esta propriedade, dentre eles a espécie, a idade cronológica e fisiológica, o tamanho das árvores, a estação do ano, além do tipo de casca e do estágio de melhoramento genético do material em questão (FOELKEL, 2007).

Valores reduzidos da densidade básica da casca das árvores é um grande complicador para o processamento das toras de madeira. Uma vez que a menor densidade da casca, bem como o seu tecido poroso, fazem com que ela tenha mais espaços vazios para serem preenchidos com água. Desta forma a casca menos densa pode ser considerada um combustível de qualidade inferior, pois quase sempre vai transferir muita umidade para as caldeiras e fornalhas na queima direta, e para os fornos durante o processo de produção do carvão vegetal.

### 5.3.2. Teor de Cinzas da Casca

Na Figura 13 estão apresentados os valores médios do teor de cinzas das cascas das árvores localizadas nas parcelas testemunhas e gêmeas.



**Figura 13** - Valores médios do teor de cinzas da casca dos diferentes clones de Eucalyptus spp.

A análise estatística dos dados, por meio do teste L&O, retornou que os valores dos teores de extrativos das parcelas gêmeas se diferiram, em média, dos valores observados das parcelas testemunhas a um nível de significância de 5%.

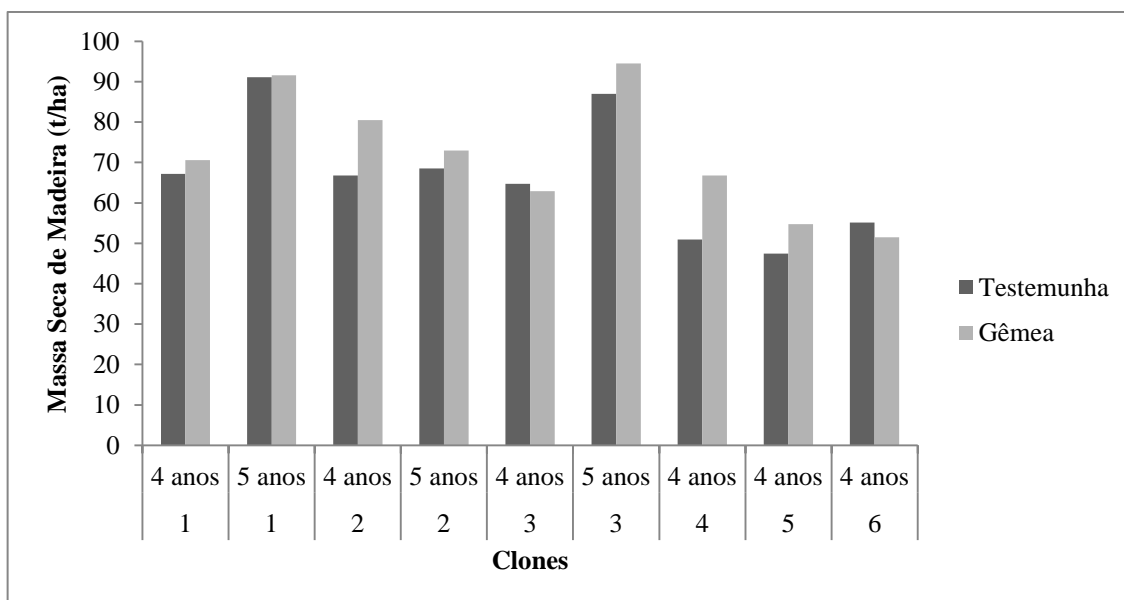
A maior disponibilidade de nutrientes para as árvores por meio da fertilização mineral acarretou uma clara tendência do aumento do teor de cinzas presente na casca de todos os clones analisados. Este aumento considerável do teor de cinzas da casca se deve a maior disponibilidade nutricional e consequente absorção de minerais pelas árvores ocasionando um aumento da retenção destes na forma de cristais nas células de parênquima das cascas, e também pode ter aumentado a translocação dos mesmos minerais na forma livre ou adsorvidos à composição de constituintes da seiva orgânica pelo floema.

O maior acúmulo de minerais na casca das árvores é prejudicial para os principais usos a que se destina a madeira hoje no país. Primeiramente, em razão de que o aumento dos minerais na casca acarreta em uma maior exportação de nutrientes do solo, o que contribui para um maior empobrecimento futuro deste solo. Outro ponto negativo seria o aumento da quantidade de resíduos sólidos nos cinzeiros das fornalhas, além de reduzir o poder calorífico da casca.



#### 5.4. Estimativa de Massa Seca de Madeira

Os valores de massa seca de madeira tanto das parcelas testemunhas quanto das gêmeas, em  $t \cdot ha^{-1}$ , estão apresentados na Figura 14.



**Figura 14** - Valores médios da massa seca dos diferentes clones de *Eucalyptus* spp.

Pelo teste L&O, a um nível de significância de 5%, concluiu-se que os valores encontrados da massa seca do lenho das parcelas gêmeas se diferiram, em média, dos valores das parcelas testemunhas.

Os valores de massa seca de madeira variou de  $47,5 t \cdot ha^{-1}$  para o clone 5 até o valor de  $94,5 t \cdot ha^{-1}$  para o clone 3. Nota-se que a quantidade de massa saca por hectare, das parcelas adubadas foi superior para a maioria dos clones avaliados neste trabalho. No entanto, mesmo que a adubação mineral acarretou uma redução da densidade básica da parcela, ao se multiplicar este valor por sua respectiva produtividade encontra-se uma maior quantidade de massa seca produzida por uma mesma unidade de área.

Vital (1990) descreve este mesmo comportamento, ao citar que mesmo quando ocorre redução da densidade da madeira sobre efeito da adubação, a massa de madeira produzida por unidade de área é maior devido ao acentuado crescimento volumétrico. Barreiros *et. al.* (2006) também concluíram que em árvores de *Eucalyptus grandis* adubadas com lodo de esgoto ocorreu a diminuição da densidade da básica da madeira, o que foi compensado pelo aumento na produtividade de madeira.

### 5.5. Estimativas das Massas de Lignina, Extrativos, Holoceluloses, Cinzas, Energia e Carvão

Nas Tabelas 5 e 6 estão apresentados os resultados médios obtidos para as estimativas da massa de lignina total, extrativos, holoceluloses, cinzas, carvão e energia por hectare tanto para as parcelas testemunhas (test.) quanto para as parcelas adubadas (gêmeas).

**Tabela 5** - Valores médios das estimativas da massa de lignina total, extrativos, cinzas para os clones avaliados.

Clone	Idade (anos)	Massa de Lignina (t.ha <sup>-1</sup> )		Massa de Extrativos (t.ha <sup>-1</sup> )		Massa de Holoceluloses (t.ha <sup>-1</sup> )		Massa de Cinzas (kg.ha <sup>-1</sup> )	
		Test.	Gêmea	Test.	Gêmea	Test.	Gêmea	Test.	Gêmea
1	4,5	19,9	21,6	2,8	3,1	44,5	45,9	217,7	228,1
	5,5	27,9	28,7	4,2	2,8	59,0	60,1	173,7	243,7
2	4,5	19,7	24,2	2,3	2,8	44,7	53,5	174,7	305,2
	5,5	21,1	22,7	3,0	3,6	44,5	46,6	123,3	205,5
3	4,5	19,0	18,5	3,0	2,5	42,7	41,9	194,5	267,6
	5,5	25,8	28,0	3,6	4,0	57,6	62,4	139,7	285,0
4	4,5	15,0	20,0	2,3	3,5	33,7	43,3	122,5	229,9
5	4,5	14,4	17,1	2,0	2,1	31,0	35,5	176,5	244,9
6	4,5	15,5	15,3	1,9	2,3	37,8	33,9	214,7	250,3

**Tabela 6** - Valores médios das estimativas de massa de carvão e de energia para os clones avaliados.

Clone	Idade (anos)	Massa de Carvão (t.ha <sup>-1</sup> )		Energia (MW.ha <sup>-1</sup> )	
		Test.	Gêmea	Test.	Gêmea
1	4,5	23,5	24,7	360,7	379,4
	5,5	31,9	32,1	484,1	488,8
2	4,5	23,4	28,2	355,7	429,5
	5,5	24,0	25,5	362,8	389,4
3	4,5	22,7	22,0	344,0	336,0
	5,5	30,5	33,1	461,4	502,1
4	4,5	17,8	23,4	271,0	356,8
5	4,5	16,6	19,2	256,8	294,2
6	4,5	19,3	18,0	292,6	274,6

A análise estatística, pelo teste L&O, indicou que para todos os valores das estimativas de massas das parcelas gêmeas se diferiram, em média, dos valores observados das estimativas das parcelas testemunhas a um nível de significância de 5%.

De modo geral, houve um aumento da massa seca de madeira em quase todas as parcelas adubadas. Em média, a fertilização mineral das árvores proporcionou um incremento, de cerca de 2 t.ha<sup>-1</sup> de massa de lignina na madeira. O que pode ser visto de maneira bem satisfatória para as empresas que utilizam a madeira para queima direta e para produção de carvão vegetal.

Observa-se também que nas parcelas adubadas, em média, houve um aumento das massas de extrativos e de holoceluloses, em virtude principalmente do aumento da quantidade de massa seca das parcelas gêmeas, já que não foi notada uma tendência de acréscimo nos teores destes componentes.

Outro aspecto importante é a massa de cinzas estimada, que foi superior nas parcelas que sofreram a fertilização independente do clone analisado. Vale salientar que a adubação do solo retornou para a madeira mais de 80 kg.ha<sup>-1</sup> de massa de cinzas em média. Portanto, é importante que as empresas produtoras de carvão vegetal avaliem mais detalhadamente o efeito, que este considerável aumento da massa de inorgânicos da madeira poderia causar, principalmente no processo de formação do ferro gusa e ligas especiais, antes de modificar o manejo nutricional da floresta.

De forma geral, verificou-se um ganho de 30 MW.ha<sup>-1</sup>. A maior densidade energética encontrada nas florestas adubadas é um fator primordial principalmente para as empresas que utilizam a madeira como combustível durante a queima direta. Todavia é importante salientar que esta maior energia estocada, se dá muito em razão da maior quantidade de massa seca das parcelas que receberam a complementação nutricional.

A quantidade média de carvão vegetal que se poderia obter a mais das árvores que receberam a adubação extra em relação às árvores que não receberam, foi de duas toneladas por hectare. Esta produção superior de carvão vegetal não reflete em uma melhor qualidade deste insumo, pois, como já foi evidenciado que a adubação acarretou em uma redução dos valores de densidade e aumentou os teores de cinzas da madeira, então se espera que o carvão oriundo desta madeira seja de qualidade inferior, menos denso, mais quebradiço com um maior teor de cinzas, afetando negativamente o seu funcionamento durante o processo de formação do aço nos altos-fornos das siderúrgicas.

## 6. CONCLUSÕES

De acordo com os resultados encontrados neste trabalho, conclui-se que:

A fertilização mineral acarretou em um aumento da produtividade média das árvores.

A densidade básica da madeira diminuiu em função da adubação, no entanto foi compensada pelo aumento da produtividade, gerando com isto uma quantidade superior de massa seca de madeira.

A fertilização inferiu negativamente na relação cerne/alburno das árvores, o que indica um aumento da porção de alburno em proporção a de cerne do lenho.

A adubação provocou um ligeiro aumento nos teores de lignina total e uma pequena redução dos teores de holoceluloses, todavia não se observou uma resposta homogênea nos teores de extrativos da madeira.

O teor de cinzas da madeira foi superior em todos os clones que receberam a complementação nutricional.

De maneira geral houve um ligeiro aumento do poder calorífico superior da madeira das parcelas adubadas.

A adubação mineral das árvores não provocou uma resposta homogênea na densidade básica da casca das árvores, no entanto acarretou em um maior teor de cinzas neste compartimento.

A adubação acarretou em um ganho de massa de carvão e de quantidade de energia estocada por hectare, ocasionando um aumento da densidade energética da floresta.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM. **Standard methods of evaluating properties of wood-base fiber and particles materials**. Philadelphia. 1982.

ANDRADE, A. M., **Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da masseira e do carvão de eucalipto**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993. 105p.

ARANTES, M. D. C. **Variação nas características da madeira e do carvão de um clone de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake**. Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009. 149 p.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal: análise imediata. Rio de Janeiro, 1986. 8 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633**: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS - ABRAF. 2011. **Anuário estatístico da ABRAF: ano base 2013**. Brasília, 2013. 146p.

BARBOSA, B. M.; COLODETTE J. L.; CABRAL C. P. T.; GOMES, F. J. B. e SILVA, V. L. Efeito da fertilização na qualidade da madeira de *Eucalyptus* spp. **Revista Scientia Forestalis**, Piracicaba, v. 42, n. 101, p 29-39, 2014.

BARREIROS, R. M.; GONÇALVES, J. L. M.; SANSÍGOLO, C. A.; POGGIANI, F. Modificações na produtividade e nas características físicas e químicas da madeira de *Eucalyptus grandis* causadas pela adubação com lodo de esgoto tratado. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 31, n. 1, p. 103-111, 2007.

BARROS, N. F. e COMERFORD, N. B. Sustentabilidade da produção de florestas plantadas na região tropical. In: ALVAREZ V. H.; SHAEFER C. E. G. R. ; BARROS N. F.; MELLO J. W. V. e COSTA L. M., eds. **Tópicos em ciência do solo II**. Viçosa, SBCS, 2002, p 487-592.

BARROS, N. F.; NOVAIS R. F. e NEVES J. C. L. Fertilidade dos solos, nutrientes e produção florestal. **Revista Visão Agrícola**, 2005, 4: 76-79.

BARROS, N. F.; NOVAIS R. F. e NEVES J. C. L. Fertilização e correção do solo para o plantio do eucalipto. In: BARROS N.F.; NOVAIS R.F. **Relação Solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa. p.127-186, 1990.

BISSET, I. J. W.; DADSWELL, H. E. e WARDROP, A. B. **Factor influencing tracheid length in conifer stems**. Aust. For.,1951. 15: p. 17-30.

BRAZIER, J. D. The effect practices on quality of the harvested crop. **Forest**, 1977. 50(1): p. 49-66.

BROW, H. P.; PANSHIN A. J. e FORSAITH, C. C. **Textbook of wood technology**. New York, MacGraw-Hill. Vol II. 1952. 783p.

CASTRO, A.F.N.M. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2011. 97p.

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

EINSPAHER, D. W.; BENSON, M. K.; HARDER, M. L. Influence of irrigation and fertilization on growth and wood properties of quaking aspen. In Symposium on the effect of growth acceleration on the properties of wood. **Proceedings...** Madison, Forest Products Laboratory, 1971, p I1-I11.

EVANGELISTA, W.V. **Caracterização da madeira de clones de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh. e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake, oriunda de consórcio agrossilvipastoril**. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2007. 120p.

FERNANDES, Loane Vaz, M. Sc., **Normas e determinação de faixas de suficiência para diagnose foliar com base no crescimento relativo de eucalipto**. Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010. 81p.

FOELKEL, C. Casca da árvore do eucalipto: Aspectos morfológicos, fisiológicos, florestais, ecológicos e industriais, visando à produção de celulose e papel. **Eucalyptus Online Book**. 2007. Disponível em: <http://eucalyptus.com.br/> Acesso: 28/10/2014

FREDDO, A. et al. Elementos minerais em madeiras de eucaliptos e acácia negra e sua influência na indústria de celulose Kraft branqueada. **Ciência Florestal**, v.9, n.1, p.193-209, 1999.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKY, I. P. **Secagem Racional da Madeira**. SAO PAULO. NOBEL, 1985. v. 1. 112 p.

GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWING, C. H. (Eds) **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971. p. 241-266.

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, MG, v. 29, n. 1, p. 129-137, jan./fev. 2005.

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

GONÇALVES, J. L. M.; BARROS, N. F.; NAMBIAR, E. K. S; NOVAIS, R. F. **Soil and stand management for short-rotation plantations**. In: Nambiar, E. K. S. and Brown, A. G. (Eds). **Management of soil, nutrients and water in tropical plantation forests**. Canberra, ACIAR, Austrália, 1997, p. 379-418.

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

HAYKIRI-ACMA, H.; YAMAN, S.; KUCUKBAYRAK, S. Comparison of the thermal reactivities of isolated lignin and holocellulose during pyrolysis. **Fuel Processing Technology**, v.91, p. 759-764, 2010.

HIGGS, M. L. e RUDMAN, P. The effects of fertilizing and thinning on wood properties of *Eucalyptus regnans*. **Apita**, 1973, 27: 51-55.

KLEM, G. S. Quality of wood from fertilized forests. **Tappi**, 1968. 51: 99<sup>a</sup>-103<sup>a</sup>.

LARSON, P. R. Evaluating the quality of fast-grown coniferous wood. In: Annual Meeting of the Western Fire Committee. Seattle, 1972. **Proceedings...** Portland, Western Forestry and Conservation Association. P 1-7.

LARSON, P.R. Assessing wood quality of fertilized coniferous tree. In: FOREST FERTILIZATION THEORY AND PRACTICE, Gainesville. **Proceedings...** Muscle Shoals: Tennessee Valley Authority. 1968. p. 275-280.

LIN, S. Y.; DENCE, C. W. **Methods in lignin chemistry**. Berlin: Springer Verlag, 1992. 578 p.

MELLO, H.H. **Aspectos do emprego de fertilizantes minerais no reflorestamento de solos de cerrado do Estado de São Paulo, com *Eucalyptus saligna***. Piracicaba, USP/ESALQ, 1968. 176p.

NEVES, J. C. L. **Produção e partição de biomassa, aspectos nutricionais e hídricos em plantações clonais de eucalipto na região litorânea do Espírito Santo**. Tese (Doutorado). Universidade Estadual do Norte Fluminense, 2000. 191p

OLIVEIRA, J. B. de; MENDES, M. G.; GOMES, P. A. Carbonização da madeira, modelo físico e influência das variáveis de processo. **Boletim da Associação Brasileira de Metais**, São Paulo, v. 40, n. 319, p. 315-319. 1984.

PANSHIN, A.J.; ZEEUW, C. de. **Textbook of wood technology**. 3.ed. New York: McGraw-Hill, 1980. 722p.

PEREIRA, B. L. C. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, 2012. 94p.

PUNCHES, J.; COUNTRY, D. **Tree growth, forest management and their implications for wood quality**. Roseburg: Pacific Northwest Extension Publication, 2004. p.245-253.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. **Fitofisionomia do bioma cerrado**. In: SANO,S.M.; ALMEIDA, S.P. (ed.). Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, Embrapa-CPAC, 1998. p. 89-166.

ROCHA, M. F. V. **Influência do espaçamento e da idade na produtividade da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2011. 84 p.

SANTANA, W. M. S. **Crescimento, produção e propriedades da madeira de um clone de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla* com enfoque energético**. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2009. 104 p.

SANTOS, R. C. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG, 2010. 173 p.

SAUCIER, J. R. e IKE, A. F. **Effect of fertilization upon wood properties of loblolly pine (*Pinus taeda* L.)** Raleigh, 1969, School of Forestry.

SJÖSTRÖM, E.; WESTERMARK, U. Chemical composition of wood and pulps: Basic constituents na their distribution. In: SJÖSTRÖM, E.; ALÉN, R. (ed.). **Analytical methods in wood chemistry, pulping, and papermaking**. Berlin: Springer-Verlag, 1998. 316 p.

TAPPI TECHNICAL DIVISIONS AND COMMITTEES. **TAPPI test methods**. Atlanta, 1998. 46 p.

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MENDES, L. M. Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de *Eucalyptus saligna*. **Revista Cerne**, Lavras, v. 2, n. 1, p. 94-11, 1996.

VITAL, B. R. **Métodos de determinação da densidade da madeira**. Viçosa, MG: Sociedade de Investigações Florestais, 1984. 21 p.

VITAL, B.R. Reflexos da fertilização mineral na qualidade e na utilização da madeira. In: BARROS N.F.; NOVAIS R.F. **Relação Solo-eucalipto**. Viçosa, MG: Folha de Viçosa, 1990. p.323-330.