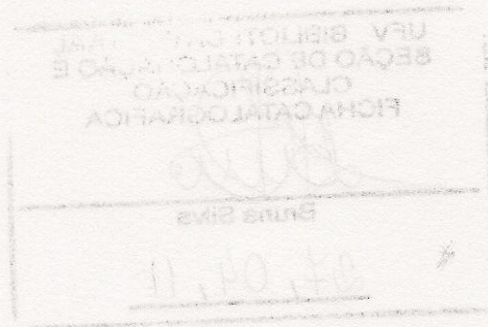


MARIA FERNANDA VIEIRA ROCHA

**INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO E DA IDADE NA
PRODUTIVIDADE E PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* x
Eucalyptus camaldulensis PARA ENERGIA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-graduação em Ciência Florestal,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2011



**Ficha catalográfica preparada pela Seção de Catalogação e
Classificação da Biblioteca Central da UFV**

T

R672i
2010

Rocha, Maria Fernanda Vieira, 1984-

Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia / Maria Fernanda Vieira Rocha. – Viçosa, MG, 2011.
xiii, 71f. : il. (algumas col.) ; 29cm.

Inclui anexos.

Orientador: Benedito Rocha Vital.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Viçosa.

Inclui bibliografia.

1. Eucalipto. 2. Biomassa florestal. 3. Madeira -
Espaçamento. 4. Madeira - Idade de corte. 5. Energia elétrica -
Produção. 6. Reflorestamento. 7. Energia de biomassa.
8. Carvão vegetal. I. Universidade Federal de Viçosa. II. Título.

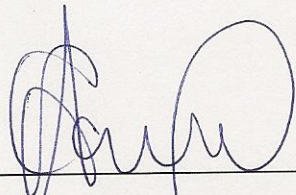
CDO adapt. CDD 22. ed. 634.989

MARIA FERNANDA VIEIRA ROCHA

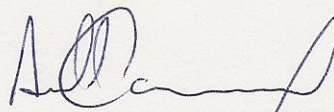
**INFLUÊNCIA DO ESPAÇAMENTO E DA IDADE NA
PRODUTIVIDADE E PROPRIEDADES DA MADEIRA DE *Eucalyptus grandis* x
Eucalyptus camaldulensis PARA ENERGIA**

Dissertação apresentada à
Universidade Federal de Viçosa, como
parte das exigências do Programa de
Pós-graduação em Ciência Florestal,
para obtenção do título de *Magister
Scientiae*.

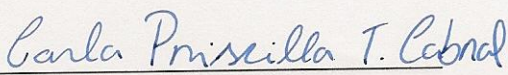
Aprovada em 28 de fevereiro de 2011.




Prof. Angélica de Cássia O. Carneiro
(Coorientadora)




Prof. Ana Márcia M. L. Caryalho
(Coorientadora)



Dr.ª Carla Priscilla Távora Cabral



Dr.ª Solange de Oliveira Araújo



Prof. Benedito Rocha Vital
(Orientador)

Aos meus pais Damázio e Edileuza
e às minhas irmãs Alessandra,
Amanda e Mariana por serem o
alicerce da minha vida.

O SENTIDO DA VIDA

"Não sei...

*se a vida é curta ou longa demais pra nós,
mas sei que nada do que vivemos tem sentido,
se não tocamos o coração das pessoas.*

Muitas vezes basta ser:

*colo que acolhe,
braço que envolve,
palavra que conforta,
silêncio que respeita,
alegria que contagia,
lágrima que corre,
olhar que acaricia,
desejo que sacia,
amor que promove.*

E isso não é coisa de outro mundo,

é o que dá sentido à vida.

*É o que faz com que ela não
seja nem curta, nem longa demais,
mas que seja intensa,
verdadeira,
pura... enquanto durar.... “*

(Cora Coralina)

AGRADECIMENTOS

A DEUS.

Aos meus pais José Damázio e Edileuza e às minhas irmãs Alessandra, Amanda e Mariana por todo apoio, carinho e compreensão dispensados a mim neste período.

À família do meu avô Dozinho, por serem sempre o meu ponto de apoio.

À Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri por todo aprendizado e pela formação acadêmica.

À Universidade Federal de Viçosa, pela oportunidade do mestrado.

Ao Departamento de Engenharia Florestal, pelo aprendizado.

Ao CNPq, pela concessão da bolsa de mestrado.

À empresa ArcelorMittal, pelo incentivo ao experimento.

Ao Professor Benedito Rocha Vital por toda compreensão, confiança e respeito.

À Professora Angélica de Cássia Oliveira Carneiro, pela amizade, acolhimento, confiança e dedicação.

À Professora e amiga Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho, pelas orientações e por acreditar tanto em mim.

Ao Professor Gilciano Saraiva Nogueira por toda confiança e presteza de sempre.

À Solange e Carla pela amizade e por toda ajuda.

As minhas amigas, Isabel, Mariana e Débora, por toda presença e por me darem forças a todo momento.

Aos meus amigos de Montes Claros por sempre torcerem por mim.

Aos amigos do LAPEM, Renato, Cíntia, Marcinha, Jú Bianche, Juliana Sampaio, Vanessa, Fábio, Aylson, Bárbara, Marco Túlio, Lumena, Cris.

Ao Sr. Maninho, Moiado, Bráulio, Lumma, Diego, Aristeu e José Maria por toda ajuda e contribuição para a realização da pesquisa.

Aos amigos e colegas Anna Karolina, Danila, Marcela, Valéria Juste, Dalton, Flaviana, Bruna, Glauciana, Anne, Regina, Cibele, Marcos, Renan, Fabiano, Ranieri e Humberto por serem tão presentes e fundamentais para o meu dia a dia em Viçosa.

Ao Renato pelo apoio e boa vontade de sempre.

A todos que, de algum modo, contribuíram para o desenvolvimento deste trabalho.

BIOGRAFIA

MARIA FERNANDA VIEIRA ROCHA, filha de José Damázio Rocha Brito e Edileuza Vieira Rocha, nasceu em 31 de janeiro de 1984, na cidade de Montes Claros, Estado de Minas Gerais.

No ano de 2004 ingressou no curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri, em Diamantina, Minas Gerais, concluindo-o em agosto de 2008.

Em março de 2009, ingressou no Programa de Pós-graduação em Ciência Florestal, em nível de Mestrado, na área de Tecnologia da Madeira, na Universidade Federal de Viçosa.

SUMÁRIO

RESUMO	x
ABSTRACT	xii
1. INTRODUÇÃO GERAL	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. Contexto energético brasileiro	4
2.2. O gênero <i>Eucalyptus</i>	6
2.3. Crescimento da árvore	7
2.3.1. Crescimento em altura	7
2.3.2. Crescimento em diâmetro	8
2.3.3. Fatores que afetam o crescimento e a qualidade da madeira	8
2.4. Propriedades da madeira	11
2.4.1. Densidade básica	11
2.4.2. Poder calorífico superior	13
2.4.3. Composição química da madeira	13
2.4.4. Componentes inorgânicos da madeira	14
2.5. Propriedades do carvão vegetal	15
3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	16
 Artigo 1	
EFEITO DA IDADE E DO ESPAÇAMENTO NAS PROPRIEDADES DA MADEIRA PARA ENERGIA	21
RESUMO	21

ABSTRACT.....	22
1. INTRODUÇÃO.....	23
2. MATERIAIS E MÉTODOS	25
2.1. Preparo das amostras	26
2.2. Determinação da densidade básica	26
2.3. Determinação do poder calorífico superior.....	26
2.4. Estimativas de massa seca e energia por hectare.....	27
2.5. Análise estatística do experimento	27
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	29
3.1. Densidade Básica da Madeira	29
3.2. Poder Calorífico Superior da Madeira	33
3.3. Estimativas da massa seca, massa de carbono e energia por hectare .	34
4. CONCLUSÕES.....	38
5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	39

Artigo 2

EFEITO DO ESPAÇAMENTO NAS PROPRIEDADES ENERGÉTICAS DA MADEIRA E DO CARVÃO VEGETAL	42
RESUMO	42
ABSTRACT.....	43
1. INTRODUÇÃO.....	44
2. MATERIAIS E MÉTODOS	46
2.1. Preparo das amostras	47
2.2. Densidade básica da madeira e da casca.....	47
2.3. Poder calorífico superior da madeira e da casca	47
2.4. Teor de minerais presentes na madeira e na casca	48

2.5.	Composição química da madeira.....	49
2.6.	Rendimento gravimétrico em carvão vegetal.....	50
2.6.1.	Propriedades do carvão vegetal	51
2.7.	Estimativas de massa seca, massa de carbono, massa de lignina, massa de carvão vegetal e energia por hectare	51
2.8.	Análise estatística do experimento	53
3.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	54
4.	CONCLUSÕES	64
5.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	65
4.	CONCLUSÕES GERAIS	68
5.	ANEXOS	69

RESUMO

ROCHA, Maria Fernanda Vieira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2011, **Influência do espaçamento e da idade na produtividade e propriedades da madeira de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* para energia.** Orientador: Benedito Rocha Vital. Coorientadores: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro e Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.

As oscilações no preço dos combustíveis fósseis e os problemas ambientais que eles ocasionam têm motivado a procura de fontes energéticas alternativas, entre elas a biomassa. Contudo, as propriedades energéticas da biomassa variam entre espécies. No caso de espécies de porte arbóreo, fatores como idade, tratamentos silviculturais, manejo, entre outros irão interferir também nestas propriedades. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a influência do espaçamento de plantio nas propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto (híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*) em quatro idades diferentes. O experimento foi instalado em dezembro de 2002, na empresa ArcelorMittal Jequitinhonha, com delineamento inteiramente casualizado com três repetições. Cada parcela foi constituída por seis linhas de plantio totalizando 168 árvores. As árvores foram coletadas aos 48,61,77 e 85 meses de idade. De cada árvore foram retirados discos e destes discos foram retiradas amostras destinadas à determinação da densidade básica e para as demais análises da madeira, assim como para as carbonizações. Dentre as variáveis estudadas pode-se concluir que, para a produção do carvão vegetal e de energia, a idade ideal de corte é de 61 meses no espaçamento 3,0 x 0,5 metros. Contudo, quando se avaliou a madeira aos

85 meses e considerando o volume e propriedades da madeira, da casca e do carvão vegetal, o melhor espaçamento para a produção de carvão vegetal foi de 3,0 x 1,5 metros. Sendo assim, a utilização de plantios adensados nos povoamentos florestais destinados à produção de energia se apresenta como uma excelente alternativa para o setor, porém, para se tomar a decisão de escolha do espaçamento ideal deve-se considerar outros fatores, como por exemplo, os custos que abrangem a produção florestal.

ABSTRACT

ROCHA, Maria Fernanda Vieira, M. Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2011, **Influence of spacing and age on the productivity and properties of the *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* wood for energy**. Advisor: Benedito Rocha Vital. Co-advisors: Angélica de Cássia Oliveira Carneiro and Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.

The oscillations in the price of fossil fuels and the environmental problems that they cause have motivated the search for alternative energy sources, including biomass. However, the energetic properties of biomass varies according to species types. In the case of arboreal species, factors such as age, silvicultural treatments, handling, among others, will also affect these properties. Thus, this research seeks to evaluate the influence of plant spacing on the energetic properties of wood and charcoal from eucalyptus clones (hybrid of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*) in four different ages. The experiment took place in December 2002, in the company ArcelorMittal Jequitinhonha, with a completely randomized design with three replications. Every plot was constituted of six lines of planting, totaling 168 trees planted. The trees were collected at four different ages. A disk was removed from every tree and each disk samples were taken in order to study their density and other features of the wood, as well as the carbonization. Among the variables we can conclude that, for the production of charcoal and energy, the optimal cutting age is 61 months in the spacing 3,0 x 0,5 meters. Nevertheless, when measuring the wood with 85 months and considering the volume and properties of wood, bark and charcoal, the best spacing for the production of charcoal was 3,0 x 1,5 meters. Thus, the use of high density to grow crops for energy production is an excellent alternative to the sector, however, to make

the decision to choose the ideal spacing, one should consider other factors, such as the costs involved in the forest production.

1. INTRODUÇÃO GERAL

Nos últimos anos tem-se observado um aumento significativo na produção de biomassa para fins energéticos. Isso ocorre em função principalmente das oscilações na oferta e no preço dos combustíveis fósseis, do aumento no consumo de energia e das vantagens ambientais que este oferece, como por exemplo, a diminuição das emissões dos gases do efeito estufa devido à captação de CO₂ pelas florestas e redução da quantidade de enxofre produzida, uma vez que a biomassa praticamente não possui este componente.

A madeira sempre contribuiu para o desenvolvimento da humanidade sendo a primeira fonte de energia inicialmente empregada para o aquecimento e preparo de alimentos. Com o passar dos anos passou a ser utilizada como combustível sólido, líquido e gasoso, constituindo processos para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica. Hoje, a energia proveniente da madeira é responsável por cerca de 7% do total da energia consumida no mundo. A maioria dos países, sejam eles desenvolvidos ou não, estão buscando aumentar a utilização desta fonte de energia, fazendo com que a mesma tenha participação significativa em suas matrizes energéticas.

Apesar da maior parte da madeira no Brasil ser destinada à produção de carvão vegetal para abastecimento dos fornos siderúrgicos, tem-se constatado uma crescente demanda pela utilização da biomassa para uso industrial, principalmente para abastecimento de caldeiras e para geração de energia na forma direta, calor.

Dentro deste contexto, a utilização de plantações florestais visando à produção de biomassa para geração de energia contribui para uma perspectiva ambiental mais

sustentável, pois se tem um aproveitamento da madeira e conseqüentemente, o retorno dos resíduos (casca, galhos, folhas) para o solo.

Assim, a crescente demanda de biomassa para geração de energia vem impulsionando a necessidade de se aumentar a oferta de florestas plantadas, tornando-se imprescindível introduzir ou aperfeiçoar técnicas silviculturais e materiais genéticos que contribuam eficientemente para o aumento da produtividade e melhoria da qualidade das plantações conferindo-lhes sustentabilidade dos processos de produção, sem prejuízos ambientais.

As técnicas silviculturais aplicadas em um povoamento florestal agem de forma direta sobre a qualidade da madeira. Atualmente, o que se busca é uma madeira com características favoráveis para o produto o qual destina, pois as exigências do mercado consumidor aumentam a cada dia. Dessa forma, são necessárias florestas produtivas e matéria-prima com padrões de qualidade.

Entre os diversos fatores condicionantes da produção florestal, o espaçamento de plantio e a idade de corte exercem papéis fundamentais no estabelecimento, condução da floresta e custos de produção, uma vez que influenciam a taxa de crescimento das árvores e as práticas de implantação, manejo e colheita.

Nos últimos anos, com a crescente demanda por madeira, tanto para produção de celulose e papel como para produção de carvão vegetal, mourões de cerca, madeira serrada, óleos essenciais, entre outros, tem-se despertado o interesse de pequenos produtores e de grandes empresas em aumentar a produtividade do povoamento, e uma das técnicas é a utilização dos plantios adensados, que consistem em se plantar um maior número de árvores por hectare, ou seja, plantar em menores espaçamentos, onde o objetivo é produzir a maior quantidade de massa seca por hectare/ano.

Em decorrência da baixa oferta de madeira, da concorrência dos preços, da busca pela melhoria da qualidade de seus produtos e do aumento da produtividade do processo, as empresas estão se conscientizando da necessidade da busca de materiais genéticos que irão produzir madeira de maior qualidade. Por isso são necessários estudos mais aprofundados sobre a influência da idade de corte e dos diversos espaçamentos de plantio sobre as características da madeira e do carvão vegetal produzido.

Neste contexto, o gênero *Eucalyptus*, em função da sua grande adaptação às diversas condições ambientais, altos índices de produtividade, densidade e poder calorífico, é o mais utilizado para implantação de florestas energéticas.

Assim, o objetivo geral deste trabalho foi verificar a influência do espaçamento e da idade de corte nas propriedades da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*.

Os objetivos específicos foram: a) Determinar o poder calorífico e a densidade da madeira em função da idade de corte e do espaçamento com maior potencial para geração de energia; b) Estimar a massa seca da madeira sem casca, massa de carbono e energia por hectare, em relação ao incremento médio anual; c) Avaliar o efeito do espaçamento aos 85 meses de idade entre árvores sobre a densidade básica, poder calorífico e composição química das madeiras e das cascas; d) Determinar os teores de minerais presentes nas madeiras e na casca em função do espaçamento; e) Avaliar o efeito do espaçamento entre árvores no rendimento gravimétrico e nas propriedades do carvão vegetal.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. Contexto energético brasileiro

Atualmente, com os avanços tecnológicos conquistados tanto na área de geração de energia quanto na área da silvicultura no Brasil, tornam-se promissoras as expectativas quanto ao uso da biomassa florestal como insumo para a geração de energia (MULLER, 2005).

De acordo com Magalhães (1993), o reflorestamento com o objetivo de produzir matéria prima para a indústria de base madeireira é uma atividade em crescimento no país. Em Minas Gerais, o eucalipto foi introduzido por volta de 1937, pela Companhia Siderúrgica Belgo Mineira, com a finalidade de produzir carvão para atender à produção de aço na siderurgia.

Magalhães (2001) afirma que o uso da madeira plantada para fins energéticos no país remonta o final do século XIX, quando a Companhia Paulista de estradas de ferro precisou replantar suas terras com árvores de rápido crescimento, para suprir com madeira as locomotivas a vapor, que na época era o mais importante meio de transportes de passageiros e de carga.

Dos anos 1960 aos 80, durante a vigência dos incentivos fiscais, foram plantados cerca de 6 milhões de hectares, cerca da metade desse total no estado de Minas Gerais, sendo a maioria de espécies de eucalipto. Esses plantios fizeram com que a produção de carvão vegetal se baseasse em florestas plantadas, em substituição às florestas nativas (ASSIS, 2001).

Em 1980 se conceituou o termo florestas energéticas em plantações florestais com grande número de árvores por hectare e, conseqüentemente, de curta rotação, que tinham como finalidade a produção do maior volume de biomassa por área em menor espaço de tempo (MAGALHÃES, 2001).

O Brasil é responsável por 40% da produção mundial de carvão vegetal, tendo como destino principal a produção de ferro gusa, aço, ferro ligas e silício metálico, e, em 2008, o país consumiu cerca de 34 milhões de m³ de carvão vegetal. Ressalta-se que o Estado de Minas Gerais detém o maior parque siderúrgico a carvão vegetal do mundo e tem se destacado como o maior produtor e consumidor desse insumo energético, atingindo a marca de 21,908 milhões de mdc, no ano de 2007, correspondendo a 59,67% do total produzido. Hoje, é o estado brasileiro com maior área de florestas plantadas e consome cerca de 60% de todo o carvão vegetal produzido no país (AMS, 2009).

Calais (2009) afirmou que as plantações florestais brasileiras, notadamente aquelas que utilizam espécies arbóreas de rápido crescimento, impulsionam cadeias produtivas que agregam valores aos produtos e trazem reflexos importantes para a economia do país.

O uso da madeira para energia engloba diminuir a dependência energética externa e ter maior segurança quanto ao suprimento da demanda, algo que muitos dos combustíveis hoje empregados não proporcionam. Além do mais, graças ao seu alto potencial renovável e produtivo, pode expressar uma matriz energética ambientalmente mais correta e socialmente mais justa, pois é uma fonte de energia que possibilita grandes taxas de geração de emprego por recurso monetário investido (BRITO, 2007).

De acordo com Couto et al. (2000), a biomassa florestal possui características que permitem a sua utilização como fonte alternativa de energia, tanto pela queima da madeira e utilização do carvão, quanto pelo aproveitamento de resíduos da exploração e aproveitamento de óleos essenciais, alcatrão e licor pirolenhoso. Além destas fontes, tem-se também a utilização da madeira para produção de cavacos utilizados para geração de energia, que de acordo com Omachi et al. (2004), a produção total de cavaco de pinus, eucalipto e biomassa pela Amcel (Amapá Florestal e Celulose S.A) é de 3.700/GMT (*Green Metric Ton*), ou tonelada verde por dia, sendo cerca de 18% vendido em forma de biomassa para geração de energia.

De acordo com Brito (2007), a produção de carvão vegetal também se destaca, em relação ao consumo energético de madeira para energia, em decorrência principalmente da demanda existente pelo produto junto ao setor siderúrgico. O Brasil é o maior produtor mundial de aço produzido com o emprego do carvão vegetal para fins de redução do minério de ferro.

Desta forma, especificamente no caso brasileiro, 35% de todo o ferro-gusa é produzido em altos-fornos a carvão vegetal (SINDIFER, 2010).

2.2. O gênero *Eucalyptus*

O eucalipto é a essência florestal mais usada nos programas de reflorestamento no Brasil, em razão de suas características de rápido crescimento e boa adaptação às condições edafoclimáticas existentes no país (SANTOS et al., 2005). Nativo da Austrália, já se espalhou para quase todas as regiões tropicais e subtropicais do globo (LAVABRE, 2001).

O gênero *Eucalyptus* pertence à família Myrtaceae e tem aproximadamente 3.000 espécies. Foi introduzido no Brasil em 1868, no Rio Grande do Sul e no Rio de Janeiro. Até o início do século XX, as espécies de *Eucalyptus* eram utilizadas apenas como arborização de ruas ou como quebra-ventos. A cultura em larga escala foi iniciada em 1903, no estado de São Paulo (SILVEIRA, 2004).

De acordo com Dossa et al. (2002), a produtividade do eucalipto, decorrente do seu rápido crescimento, foi um dos principais fatores que determinaram sua expansão nos mercados de celulose, carvão, papel e, também, serraria.

Atualmente, as espécies do gênero *Eucalyptus* são as mais utilizadas para a produção de carvão vegetal, especialmente no estado de Minas Gerais. As principais espécies de *Eucalyptus* utilizadas no Brasil para a plantação de florestas energéticas são *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna*, *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus urophylla*, assim como seus híbridos (SANTOS, 2010).

A estrutura anatômica, composição química e as propriedades físicas da madeira de *Eucalyptus* ssp. são essenciais para a produção de energia. De acordo com Campos (2008), a seleção de espécies para a produção de florestas energéticas buscam homogeneizar as propriedades da madeira e melhorar os rendimentos em carvão, teor de

carbono, densidade do carvão e outras propriedades almejadas na sua utilização como termoreduzidor.

Paludzysyn Filho (2008) afirma que, para fins energéticos, o melhoramento enfatiza as madeiras de eucalipto que têm elevado potencial produtivo, alta densidade e alto teor de lignina, pois, segundo o autor, o rendimento na produção de carvão é maximizado com o uso da madeira mais densa, de maior poder calorífico e com o teor de carbono fixo de pelo menos 75%.

2.3. Crescimento da árvore

De acordo com Scolforo (1994), entende-se por crescimento de uma árvore o aumento gradual do valor das variáveis que dela se mede. Consiste no acréscimo dos elementos dendrométricos (diâmetro, altura, área basal e volume), produzido pela atividade fisiológica da planta (meristemas apical ou cambial). Em termos de diâmetro, o crescimento se dá em função das atividades do câmbio vascular, enquanto para a altura o crescimento é resultante do meristema ou gema apical, através de divisões celulares sucessivas.

Encinas et al. (2005) afirmam que o crescimento de uma árvore poderá apresentar diferentes variações nas suas dimensões em altura, diâmetro, volume, área basal e peso, em função de diversos fatores que nem sempre podem ser controlados ou monitorados, como os fatores genéticos das espécies e suas interações com o ambiente. Outras fontes de influência direta no crescimento são os fatores climáticos (temperatura, precipitação, vento, insolação etc.), pedológicos (características físicas, químicas e biológicas dos solos), topográficos (inclinação, altitude e exposição), biológicos (pragas e doenças) e pela própria competição com outras árvores e outros tipos de vegetação. Ações antrópicas, como por exemplo o desbaste, também alteram o crescimento das árvores.

2.3.1. Crescimento em altura

O crescimento em altura, também chamado crescimento primário, se dá pela atividade da gema apical ou terminal, através da divisão celular. Esta variável, altura da árvore, produz a modificação mais notória do crescimento, especialmente na idade

juvenil em que é fácil observar a rapidez da modificação em altura em períodos curtos de tempo (ENCINAS et al., 2005).

De acordo com Burger & Richter (1991), o meristema apical, responsável pelo crescimento em altura, representa uma pequena porção da árvore e localiza-se no ápice do tronco e ramos. Através de sucessivas divisões celulares, novas células são acrescentadas para baixo, enquanto o tecido meristemático vai sendo deslocado para cima.

2.3.2. Crescimento em diâmetro

De acordo com Encinas et al. (2005), o crescimento em diâmetro se refere ao aumento do diâmetro de uma árvore em um determinado período de tempo. Este crescimento é também denominado de crescimento secundário.

O crescimento em diâmetro se deve ao meristema cambial, tecido constituído por uma camada de células que se localiza entre o floema e o alburno. A formação de novas células se dá a partir de uma célula do câmbio (célula mãe ou inicial) que irá originar duas células absolutamente idênticas a ela. Uma das células mantém o seu caráter embrionário e sofre um aumento de tamanho tornando-se uma célula mãe original. A outra célula irá se diferenciar em um elemento constituinte ou do xilema ou do floema (BURGER & RICHTER, 1991).

Para que ocorra o incremento no diâmetro das árvores, as células formadas pelo câmbio vascular dão origem ao lenho, que por sua vez, se diferenciam em alburno e cerne. Este crescimento é influenciado principalmente pelo espaçamento (SCOLFORO, 1994).

2.3.3. Fatores que afetam o crescimento e a qualidade da madeira

Ao manejar um povoamento florestal, é importante considerar todos os fatores que influenciam no crescimento das árvores, de tal maneira que seja aproveitada ao máximo a capacidade produtiva do sítio. Da mesma forma, deve ser observada a potencialidade de utilização das árvores, em relação à forma e dimensões alcançadas pelo fuste. Quando a densidade do povoamento for muito baixa, pode-se não aproveitar todo o potencial do sítio, em termos de luz, nutrientes e água, disponíveis no local. Por

outro lado, se a densidade for elevada, estes elementos, muitas vezes, não são suficientes para garantir o bom desenvolvimento das árvores (SCHNEIDER et al.,1998).

A madeira pode apresentar propriedades diferentes de acordo com a idade e com os tratamentos silviculturais aos quais é submetida, dentre eles, o espaçamento de plantio. Variações na composição química, física e anatômica da madeira são grandes entre espécies, embora também ocorram dentro da mesma espécie, em função principalmente da idade, fatores genéticos e ambientais (TRUGILHO et al.,1996).

2.3.3.1. Espaçamento de plantio

O espaçamento utilizado em um povoamento florestal deve ser estabelecido com base no produto para o qual a madeira se destina, o volume, dimensão da copa e galhos, qualidade da madeira, dentre outros. A densidade de um povoamento é a expressão quantitativa da população de árvores por unidade de área e pode ser descrita pela área basal, volume e frequência, de forma isolada ou associada a outras variáveis para definir o espaço horizontal (SCHNEIDER,1993).

Segundo Leles et al. (1998), o espaçamento pode afetar o desenvolvimento e a produtividade das florestas, principalmente para as espécies de rápido crescimento. Sob o aspecto do crescimento vegetal, o espaçamento determina o tempo e a intensidade da competição pelos recursos entre as árvores, sendo que elas entram em competição quando os recursos disponíveis diminuem (HARRINGTON et al., 2009).

De acordo com Scolforo (1997), se o povoamento é muito denso, o espaço para o crescimento de cada árvore é reduzido, comprometendo o desenvolvimento radicular e da copa, e, conseqüentemente, afetando a quantidade a qualidade da produção.

De maneira geral, os menores espaçamentos resultam em menor diâmetro quadrático, maior área basal por hectare, maior volume total por hectare e menor porcentagem de sobrevivência. Entretanto, ainda persistem questionamentos sobre o espaçamento inicial em reflorestamentos com diferentes espécies, principalmente em relação à definição da área ideal para o crescimento de uma árvore (LEITE et al., 2006).

A escolha do espaçamento de plantio tem maior impacto sobre o diâmetro do que na altura. Maiores espaçamentos produzem árvores com diâmetro à altura do peito (DAP) maior, mas com altura similar à das árvores com espaçamentos mais estreitos (SMITH & STRUB, 1991). De acordo com Chies (2005), quando se planta em maiores

espaçamentos, se tem, em determinada idade, maior diâmetro, maior conicidade, galhos mais grossos e copas mais extensas que árvores em plantações mais densas. Além de ter influência marcante na produção, o espaçamento afeta significativamente os custos de implantação, manutenção e exploração da floresta, bem como afeta a qualidade da madeira produzida.

Berger et al. (2000) observaram um aumento significativo na densidade básica da madeira em uma população de clone de *Eucalyptus saligna* em espaçamentos mais amplos, aos 10 anos de idade. Porém Brasil & Ferreira (1971), em um estudo sobre a densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis* com idade de 5 anos, observaram que os espaçamentos 3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m, em duas localidades não influenciaram esta propriedade.

O espaçamento também apresenta grande influência sobre a idade de corte da floresta, ou seja, a idade de estagnação do crescimento e, portanto, a exploração ou desbaste será tanto mais precoce e freqüente quanto maior a densidade populacional para uma mesma espécie e sítio (SCOLFORO,1997).

2.3.3.2. Idade de corte

De acordo com Vital et al. (1984), o efeito da idade sobre as propriedades físicas, químicas e anatômicas da madeira já é bem conhecido. A idade da árvore tem influência nas variações de certas propriedades da madeira, como o comprimento das fibras, a densidade, a percentagem de lenho tardio e o ângulo microfibrilar (SCHILLING et al.,1997). De acordo com Ferreira et al. (1979) , ao estudar a influência da idade em plantações de eucalipto observou uma tendência para o aumento da densidade em função da idade.

De maneira geral, a madeira apresenta uma rápida elevação dos valores de densidade, comprimento de fibra, entre outros, da fase juvenil até atingirem a maturidade, onde os valores permanecem mais ou menos constantes. Na fase juvenil, a taxa de incorporação de biomassa é crescente, tendendo a se estabilizar, quando a árvore atinge a fase adulta (TRUGILHO et al., 1996). Comparada à madeira adulta, a madeira juvenil caracteriza-se por sua menor densidade básica, maior ângulo das microfibrilas, fibras com menor comprimento, paredes celulares mais finas, maior conteúdo de

lignina, menor conteúdo de celulose e menor resistência e rigidez (McALISTER & CLARK, 1991).

De acordo com Trugilho et al. (1996), existe uma tendência de redução da taxa de incremento da densidade básica com a idade. Isso pode ser explicado perfeitamente, pois apesar das células estarem, ainda, aumentando a espessura de suas paredes e, conseqüentemente, aumentando a largura das fibras, outras dimensões como comprimento e diâmetro do lúmen, que possuem tendência semelhante à densidade básica, contribuem para a ocorrência desse fenômeno.

2.4. Propriedades da madeira

As propriedades da madeira variam conforme a espécie, a idade, posição geográfica, clima e das condições do solo em que a floresta foi plantada (CARNEIRO, 2006). De acordo com Ragland et al. (1991), algumas propriedades da madeira também sofrem variações devido às condições de crescimento da árvore.

Para Trugilho & Silva (2004), a madeira é um material altamente heterogêneo, ocorrendo variações entre espécies, e, dentro de uma mesma espécie, entre árvores e até em nível celular. Essas variações são atribuídas, principalmente, a fatores genéticos e ambientais. Muitas diferenças ocorrem, por exemplo, entre cerne e alburno, madeira de início e fim de estação de crescimento, e, em escala microscópica.

Desta forma, é necessário se conhecer as propriedades da madeira, pois, assim é possível inferir sobre a qualidade do produto final, ou seja, as características de um determinado produto estão diretamente relacionadas com a qualidade da madeira de origem (ARANTES, 2009).

2.4.1. Densidade básica

A densidade básica é um parâmetro da maior importância para a determinação da qualidade da madeira. No gênero *Eucalyptus*, a densidade básica pode variar entre espécies, entre árvores de uma mesma espécie e dentro de uma mesma árvore em função, principalmente, do ciclo de vida da árvore e das condições edafoclimáticas do povoamento (VITAL et al., 2006).

Shimoyama (1990) classifica a densidade básica como um dos parâmetros mais importantes entre as diversas propriedades físicas, pois afeta todas as demais propriedades da madeira e, conseqüentemente, as características tecnológicas para a produção e utilização dos produtos florestais.

A densidade, como foi conceituada por Vital (1984), é a quantidade de massa, expressa em peso, contida na unidade de volume. Em se tratando de madeira, a densidade pode ser absoluta, expressa em g.cm^{-3} ou em kg.m^{-3} , ou relativa quando comparada com a densidade absoluta da água destilada, isenta de ar, à temperatura de 3,98 °C, com densidade de $1,0 \text{ g.cm}^{-3}$. Segundo Burger & Richter (1991), é uma das propriedades mais estudadas, podendo variar de 0,13 a $1,40 \text{ g.cm}^{-3}$.

É resultante da interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira. Assim, as variações na densidade são provocadas por diferenças nas dimensões celulares, das interações entre esses fatores e pela quantidade de componentes extratáveis presentes por unidade de volume (PANSWIN & DeZEEUW, 1980). De acordo com Vital (1986), as variações na densidade da madeira em uma mesma espécie são ocasionadas pela idade da árvore, genótipo, clima, localização geográfica, tratamentos silviculturais, etc.

Santos (2010) afirma que a densidade básica é referenciada, por muitos autores, como índice de qualidade da madeira, haja vista que influencia em outras propriedades da mesma e dos produtos que são gerados.

Na produção de carvão vegetal, a densidade deve ser encarada sob vários aspectos, sendo que várias considerações podem ser feitas em torno dela. A densidade da madeira afeta a capacidade de produção de carvão, porque para um determinado volume de forno a utilização de madeira mais densa resulta em maior produção em peso. Além disso, madeira mais densa produz carvão com densidade mais elevada, com vantagens para alguns de seus usos (BRITO, 1993).

A densidade, assim como as outras propriedades da madeira, varia conforme a idade da árvore. A madeira correspondente aos primeiros anéis formados, madeira juvenil, apresenta menor densidade e fibras mais curtas, quando comparada à madeira adulta (LATORRACA & ALBUQUERQUE, 2000). Os mesmos autores constataram que a densidade tende a aumentar com a idade da árvore.

2.4.2. Poder calorífico superior

O poder calorífico da madeira é a quantidade de calor (energia térmica) liberada durante a combustão completa de uma unidade de massa ou volume do combustível (kcal kg^{-1} ou Kcal m^{-3}) (NOGUEIRA et al., 2000).

Segundo JARA (1989), o poder calorífico superior da madeira e do carvão é muito influenciado pela constituição química da madeira, principalmente a lignina e extrativos (resinas, óleos-resinas, matérias graxas, óleos, etc), o que também está de acordo com Burger & Richter (1991).

De acordo com Couto et al. (2005), existe uma tendência clara de aumento do poder calorífico com o aumento da densidade de plantio, o que se deve ao fato de, nos menores espaçamentos, ocorrer maior formação de casca (que apresenta um alto poder calorífico), bem como maior teor de lignina, conferindo, assim, melhor qualidade energética à madeira.

2.4.3. Composição química da madeira

Segundo Arantes (2009), do ponto de vista da análise dos componentes da madeira, deve-se fazer distinção entre os componentes macromoleculares constituintes da parede celular, que são celulose, hemiceluloses e lignina. Os demais componentes da madeira presentes em menor quantidade são compostos de baixo peso molecular denominados extrativos, encontrados notadamente na casca e abrangendo terpenos, óleos, graxas, taninos, corantes e outros.

A celulose é o composto orgânico mais abundante no planeta, é um polímero composto por unidades de D-glicopirranose, interligadas por ligações glicosídicas beta 1-4, formando longas cadeias; e sua proporção na madeira é de 40 a 45%. As hemiceluloses são polímeros de várias unidades de açúcares diferentes, originando cadeias ramificadas, correspondendo de 15 a 25% da madeira. As ligninas são moléculas amorfas, altamente complexas, cujo polímero é formado principalmente por unidades aromáticas de fenilpropano, considerado uma substância incrustante, tendo uma proporção de 18 a 25% nas folhosas e 25 a 35% nas coníferas. Os extrativos são compostos químicos geralmente formados a partir de graxas, ácidos graxos, álcoois

graxos, fenóis, terpenos, esteróides, resinas ácidas, resinas, ceras, e alguns outros tipos de compostos orgânicos (ROWELL et al., 2005).

Para Andrade (1993), a composição química da madeira exerce considerável influência sobre as propriedades físicas e químicas do carvão vegetal. Normalmente, ao se carbonizar uma madeira rica em lignina, obtém-se um elevado rendimento gravimétrico e um carvão com alto teor de carbono. Isto está relacionado com a maior resistência à decomposição térmica que a lignina possui, quando comparada aos demais constituintes estruturais da madeira.

2.4.4. Componentes inorgânicos da madeira

Conforme as árvores desempenham suas funções vitais, elas movimentam e armazenam os diferentes minerais em suas diferentes partes. Tanto a quantidade estocada, como a concentração desses elementos, variam nesses compartimentos da árvore. Apesar das quantidades desses nutrientes variarem bastante em função da espécie, idade, região, época do ano, a tendência de se guardar mais de um ou de outro elemento em um determinado compartimento é relativamente à mesma (FOEKEL, 2005).

As plantas superiores requerem, além do carbono, hidrogênio e oxigênio, treze elementos essenciais que elas absorvem na forma de íons da solução do solo. Seis destes, requeridos em maiores quantidades, são chamados macronutrientes: nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), enxofre (S) e magnésio (Mg). Os sete outros, requeridos em concentrações menores, são chamados micronutrientes: ferro (Fe), manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), boro (B), molibdênio (Mo) e cloro (Cl). Tais constituintes são retirados do solo, provenientes da própria constituição do solo ou de fertilizantes. Há ainda elementos minerais denominados de benéficos como sódio (Na), silício (Si) e cobalto (Co) (MATTA & LOUREIRO, 2007).

Os minerais presentes na madeira são importantes do ponto de vista energético, pois podem formar incrustações nos equipamentos e nas tubulações quando queimados em fornalhas. No setor de transformação, quando se produz carvão vegetal para ser usado na siderurgia, este deve possuir baixo teor de minerais, uma vez que estes diminuem a qualidade do aço a ser produzido, sendo o problema maior ainda quando é destinado à produção de ligas metálicas (BARCELLOS et al., 2005).

2.5. Propriedades do carvão vegetal

Levando em consideração a composição química, o carvão vegetal pode ser considerado como constituído de três partes: carbono fixo, materiais voláteis e cinzas (CAMPOS, 2008).

Segundo Santos (2008), a composição química é um importante parâmetro na qualidade do carvão vegetal, tendo em vista que é constituído basicamente de carbono. O carbono é o principal redutor do óxido de ferro, produzindo gusa e os gases CO e CO₂, ou seja, considerando um alto-forno, à medida em que se aumenta o teor de carbono fixo do carvão, maior a utilização volumétrica do alto-forno. Os teores ideais de carbono fixo no carvão vegetal devem ser entre 70% e 80%. Os outros componentes do carvão vegetal devem ter, em média, seus valores variando de 25% a 35% para o teor de materiais voláteis e 0,5% a 4% para o teor de cinzas.

No carvão vegetal, a densidade é uma propriedade física de grande importância, pois determina o volume ocupado pelo redutor no alto-forno siderúrgico. Não havendo prejuízo para as outras propriedades, a densidade do carvão deve ser a maior possível (GOMES & OLIVEIRA, 1980). A densidade do carvão está diretamente relacionada à densidade da madeira (VITAL et al., 1986)

O poder calorífico, outra propriedade importante na análise do carvão vegetal, refere-se ao número de calorias liberadas na combustão completa de uma unidade de massa do combustível, sendo expresso, geralmente, em kcal/kg (CAMPOS, 2008).

3. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDRADE, A. M. **Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto.** 1993. 105 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

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.** 2009. 137 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Lavras, MG.

ASSIS, J. B. A política florestal em Minas Gerais. In: BIOMASSA: ENERGIA NOS TRÓPICOS EM MINAS GERAIS, 1., 2001, Viçosa, MG. **Anais...** Viçosa, MG: SIF, 2001. p. 115-131.

ASSOCIAÇÃO MINEIRA DE SILVICULTURA, MAS. **Números do setor.** Belo Horizonte, 2009. Disponível em: <<http://www.silviminas.com.br>>. Acesso em: 10 fevereiro 2011.

BARCELLOS, D.C.; COUTO, L.C.; MULLER, M.D.; COUTO, L. O estado da arte da qualidade da madeira de eucalipto para a produção de energia: um enfoque nos tratamentos silviculturais. **Biomassa e Energia.** V. 22, n.1, p.141-158, 2005.

BERGER, R.; SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G. **Efeito do espaçamento e da fertilização sobre o crescimento e qualidade da madeira de um clone de *Eucalyptus saligna* SMITH.** In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE MANEJO FLORESTAL, 1., 2000, Santa Maria, RS. **Anais...** Santa Maria: UFSM, 2000. p. 209-236.

BRASIL, M. A. M.; FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba*, *E. saligna* e *E. grandis* aos 5 anos de idade, em função do espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, n. 2/3, p. 129-149, 1971.

BRITO, J.O. **Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico.** IPEF, Piracicaba,.6p. (Circular técnica nº 181). 1993.

BRITO, J. O. O uso energético da madeira. **Revista Estudos Avançados**, v. 21, n. 59, 2007.

BURGER, L. M.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991.157 p.

CALAIS, D. Florestas Energéticas no Brasil: demanda e disponibilidade. Abril, 2009. Disponível em: <
http://www.silviminas.com.br/Publicacao/Arquivos/publicacao_585.pdf> Acesso em: 10 fevereiro 2011.

CAMPOS, A. C. M. **Carvão de *Eucalyptus*: efeito dos parâmetros da pirólise sobre a madeira e seus componentes químicos e predição da qualidade pela espectroscopia NIR**. 2008. 118 f. Tese (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) – Universidade Federal de Lavras, MG.

CARNEIRO, R. S. **Influência de defeitos de crescimento e das dimensões de traqueídeos nas propriedades de densidade e flexão estática da madeira de *Pinus caribea***. 2006. 171 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília.

CHIES, D. **Influência do espaçamento sobre a qualidade e o rendimento da madeira serrada de *Pinus taeda* L.** 2005. 123 f. Tese (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Paraná.

COUTO, L.; FONSECA, E.M.B.; MÜLLER, M.D. **O estado da arte das plantações de florestas de rápido crescimento para produção de biomassa para energia em Minas Gerais: aspectos técnicos, econômicos sociais e ambientais**. Belo Horizonte: CEMIG, 2000. 44p.

COUTO, L.; MÜLLER, M.D.; TSUKAMOTO, A. A.; BARCELLOS, D. C.; FONSECA, E.M.B.; CORRÊA, M. R. Avaliação de reflorestamento para produção de biomassa. **Revista da Madeira**. Edição nº88, Março, 2005.

DOSSA, D.; SILVA, H. D.; BELLOTE, A. F. J.; RODIGHERI, H. R. **Produção e rentabilidade do eucalipto em empresas florestais**. Colombo: EMBRAPA, 2002. 4 p.

ENCINAS, J. I.; SILVA, G. F. da.; PINTO, J. R. R. **Idade e crescimento das árvores**. Comunicações Técnicas Florestais, v. 7, n. 1, UNB, Brasília, 2005. 43p.

FERREIRA, C. A.; FREITAS, M. de; FERREIRA, M. Densidade básica da madeira de plantações comerciais de eucaliptos, na região de Migi-Guaçú (SP). **IPEF**, n.18, p.106-117, jun.1979.

FERREIRA, G. W. Qualidade da celulose Kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, v. 7, n. 1, p. 41-63, 1997.

FOEKEL, C. Minerais e nutrientes das árvores dos eucaliptos: Aspectos ambientais, fisiológicos, silviculturais e industriais acerca dos elementos inorgânicos presentes nas árvores. In: **Eucalyptus Online Book**. 133p. 2005.

GOMES, P. A.; OLIVEIRA, J. B. Teoria da carbonização da madeira. In: PENEDO, W. R. (Ed.). **Uso da madeira pra fins energéticos**. Belo Horizonte, MG: CETEC, 1980. v. 1, p. 27- 42.

HARRINGTON, T. B.; HARRINGTON, C. A.; DEBELL, D. S. Effects of planting spacing and site quality on 25-year growth and mortality relationships of Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* var. *menziesii*). **Forest Ecology and Management**, v. 258, p. 18–25, 2009.

JARA, E.R.P. **O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT, 1989. (Comunicação Técnica, 1797).

LATORRACA, J. V.; ALBUQUERQUE, C. E. C. Efeito de rápido crescimento sobre as propriedades da madeira. **Revista Floresta e Ambiente**, Seropedica, v. 7, n. 1, p. 279-291, jan./abr.,2000.

LAVABRE, M. Aromaterapia: a cura pelos óleos essenciais. 5ª edição, Rio de Janeiro. Record, Editora Nova Era, 2001. p. 18-89.

LEITE, H. G.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**.Viçosa – MG, v. 30, n. 4, 2006.

LELES, P. S. S.dos; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E. J. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

MAGALHÃES, J. L. Futuro do carvão vegetal no contexto nacional e internacional. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1993, Belo Horizonte. **Resumos...** Viçosa: SIF/UFV, 1993. p. 240-259.

MAGALHÃES, J. R. A energia que vem da floresta. In: BIOMASSA; Energia que vem dos trópicos em Minas Gerais. 2001. p. 133-144.

MATTA, F.M.; LOUREIRO, M.E. **Nutrição mineral de plantas - Material Didático de apoio a disciplina BVE 270**. Viçosa: UFV, 2007. 13 p.

McALISTER, R.; CLARK, A. Effect of geographic location and seed source on the bending properties of juvenile and mature loblolly pine. **Forest products journal**, v.41, n. 9, p. 39-41, 1991.

MÜLLER , M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG**. 2005. 94 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S.; TROSSERO, M. A.; FRISK, T. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações**. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica, 2000.

OMACHI, I. H.; RODRIGUES, L. G.; STOLF, M; CANNAVAL, R.; SOBREIROS, R. Produção de biomassa florestal para exportação: o caso da AMCEL. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 1, p.29-36, 2004.

PALUDZYSYN FILHO, E. Melhoramento do eucalipto para a produção de energia. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, n. 15, jun./ago. 2008. Disponível em: <http://www.revistaopinioes.com.br/cp/edicao_materias.php?id=15>. Acesso em: 10 fevereiro 2011.

PANSHIN, A.J.; De ZEEUW, C. Textbook of technology. 3. ed., New York, McGraw Hill. 722p. 1980.

RAGLAND, K. W.; AERTS, D. J.; BAKER, A. J. Properties of Wood for Combustion Analysis. **Bioresource Technology**. USDA Forest Service, Forest Products Laboratory, Madison, Wisconsin. 1991. p. 161-168.

ROWELL, R. M.; PETTERSEN, R.; HAN, J.S.; ROWELL, J. S.; TSHABALALA, M. A. **Handbook of Wood Chemistry and Wood Composites**. Editado por Roger M. Rowell. Editora Taylor & Francis Group. New York, 2005.

SANTOS, L. D. T.; FERREIRA, F. A.; MEIRA, R. M. S. A.; BARROS, N. F.; FERREIRA, L. R.; MACHADO, A. F. L. **Planta Daninha**, Viçosa-MG, v. 23, n. 1, p. 133-142, 2005.

SANTOS, M. A. S. Parâmetros de qualidade do carvão vegetal para uso em alto-forno. In: FÓRUM NACIONAL SOBRE CARVÃO VEGETAL, 1., 2008, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: UFMG, 2008.

SANTOS, R. C. dos. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. 122 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SCHILLING, A. C.; SCHNEIDER, P. R.; HASALEIN, C.; FINGER, C. A. G. Influência da desrama sobre a densidade da madeira de primeiro desbaste de *pinus elliottii* Engelm. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.7, n.1, p. 77-89. 1997.

SCHNEIDER, P. R. **Introdução ao manejo florestal**. Santa Maria: UFSM, 1993. 348p.

SCHNEIDER, P. R.; FINGER, C. A. G.; HOPPE, J. M.; DRESCHER, R.; SCHEEREN, L. W.; MAINARDI, G.; FLEIG, F. D. **Produção de *Eucalyptus grandis* Hill exMaiden em diferentes intensidades de desbaste**. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.8, n.1, p. 129-140. 1998.

SCOLFORO, J.R.S. **Modelos para expressar o crescimento e a produção florestal**, parte 1. Lavras: ESAL, FAPE, 1994. 188p.

SCOLFORO, J. R. S. **Manejo Florestal**. Universidade Federal de Lavras. FAPE. Lavras, 1997, 433p.

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

SILVEIRA, R. L. V. A. Evaluation of the nutritional status of Eucalypts: visual and foliar diagnosis and their interpretation. In: GONÇALVES, J. L. M.; BENEDETTI, V. (Ed.). **Forest nutrition and fertilization**. Piracicaba: IPEF, 2004. p. 85-111.

SINDICATO NACIONAL DOS PRODUTORES DE FERRO-GUSA. **Produtores de ferro-gusa no Brasil**. Belo Horizonte, 2010. Disponível em: <http://www.sindifer.com.br/Anuario_2007.html>. Acesso em: 10 fevereiro 2011.

SMITH, W. D.; STRUB, M. R. Initial spacing: how many trees to plant. In: DURYEA, M. L.; DOUGHERTY, P. M. (Ed.) **Forest regeneration manual**. Netherlands: Kluwer Academic Publishers, 1991. p. 281-289.

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

TRUGILHO, P.; SILVA, D. da. Influência da temperatura final de carbonização nas características físicas e químicas do carvão vegetal de jatobá (*Himenea courbaril* L.) **Scientia Agraria**. Piracicaba, v. 2, n. 27, 2004.

VITAL, B. R.; PEREIRA, A. R.; DELLA LUCIA, R. M.; ANDRADE, D. C. de. **Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de *Eucalyptus grandis* cultivado da região do cerrado de Minas Gerais**. Brasília: IBDF, 1984. p. 41-52.

VITAL, B. R. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 10, n. 2, p. 151-160, 1986.

VITAL, B. R.; MACIEL, A. S.; LUCIA, R. M. D. Qualidade de juntas coladas com lâminas de madeira oriundas de três regiões do tronco de *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus elliottii*. **Revista Árvore**, vol.30, n. 4, Viçosa, Julho-Agosto,2006.

Artigo 1

Efeito da idade e do espaçamento nas propriedades da madeira para energia

Resumo: O presente trabalho teve como objetivo verificar a influência do espaçamento e da idade no poder calorífico e na densidade da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* e estimar a massa seca da madeira sem casca, massa de carbono e energia por hectare, em relação ao incremento médio anual. A madeira utilizada para as análises foram coletadas em povoamentos de propriedade da empresa ArcelorMittal Jequitinhonha, localizada no município de Itamarandiba, MG. O experimento foi instalado em dezembro de 2002 e foram avaliados cinco espaçamentos distintos, 3,0 x 0,5; 3,0 x 1,0; 3,0 x 1,5; 3,0 x 2,0 e 3,0 x 3,0 metros. As medições foram realizadas aos 48, 61, 77 e 85 meses de idade. De cada árvore foram retirados discos na base e a 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco. A densidade foi obtida retirando-se amostras opostas, em forma de cunha, de cada disco, e o poder calorífico superior utilizando a serragem feita com a parte que não foi utilizada do disco. A quantidade de energia por hectare foi calculada tomando como base os valores do IMA, densidade e poder calorífico da madeira e a massa de carbono. Os resultados mostram que para a produção do carvão vegetal e de energia elétrica a idade ideal de corte é de 61 meses no espaçamento 3,0 x 0,5 metros, o que mostra que a utilização de plantios adensados e de curta rotação, para este fim, tomando como base as propriedades da madeira produzida, foi satisfatória.

Palavras-chave: espaçamento; idade de corte; energia; plantios adensados.

Effect of age and spacing on the properties of wood for energy

Abstract: This study seeks to verify the influence of spacing and age on calorific value and density of the wood of a hybrid of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* and estimate the dry mass of wood without the bark, carbon mass and energy for hectare in comparison to the average annual increment. The wood used for analysis was collected in ArcelorMittal Jequitinhonha company, located in the Itamarandiba, MG. The experiment took place in December 2002 and five different spacings were evaluated: 3,0 x 0,5; 3,0 x 1,0; 3,0 x 1,5; 3,0 x 2,0, and 3,0 x 3,0 meters. Measurements were performed at 48, 61, 77 and 85 months of age. From each tree disk were taken in base and 25, 50, 75 and 100% of the commercial height of the trunk. The density was obtained by withdrawing samples opposite, wedge-shaped, of each disk, and the gross calorific value using the sawdust made with the part that was not used on the disc. The amount of energy per hectare was calculated on the basis of IMA values, of density and calorific value of wood and the mass of carbon. The results show that for charcoal production and electric energy, the ideal cutting age is 61 months in the spacing 3.0 x 0.5 meters, which shows that the use of high crop density and short rotation, based on the properties of the wood produced, was satisfactory.

Keywords: spacing; cutting age, energy, high planting density.

1. Introdução

Quando comparada com os combustíveis fósseis, a biomassa como fonte de energia tem se mostrado como uma alternativa viável, principalmente por ser um material renovável e pouco poluente, contribuindo para uma redução dos gases do efeito estufa.

Além de ser matéria-prima para geração de energia na forma sólida, a madeira é utilizada como combustível líquido e gasoso, para geração de energias elétrica, mecânica e térmica.

Desta forma, considerando o uso final da madeira, parte-se do princípio de que ela deve possuir qualidades que atendam as propriedades relacionadas ao seu produto final. O eucalipto, por ser uma madeira de elevada versatilidade e produtividade, atende, na maioria dos casos, à necessidade energética (BARCELLOS et al., 2005).

Pensando nisso, introduziu-se o termo florestas energéticas para traduzir as plantações florestais industriais voltadas para a produção de energia.

As florestas energéticas são implantadas com a finalidade de produzir matéria-prima para geração de energia limpa e renovável. São constituídas por espécies de rápido crescimento e são manejadas por meio de técnicas que visam alcançar a máxima produção em termos de biomassa por unidade de área em um curto espaço de tempo (COUTO et al., 2002).

A idade de corte e os tratamentos silviculturais aplicados ao povoamento florestal, como por exemplo, o espaçamento do plantio, podem causar alterações nas características da madeira. Desta forma, o espaçamento utilizado em um povoamento florestal deve ser estabelecido com base no uso final da madeira, pois o mesmo pode causar influência direta sobre a forma, o volume, dimensão da copa e galhos, qualidade da madeira, entre outros.

Os fatores que são preponderantes na definição do espaçamento entre plantas são o objetivo final da madeira, a capacidade produtiva do local e o sistema de colheita adotado. Essa decisão é complexa, pois envolve a avaliação de aspectos ecológicos, fisiológicos, silviculturais e econômicos (LEITE et al., 2006).

De acordo com Trugilho et al. (1996), as composições física, mecânica e anatômica da madeira variam de maneira significativa, especialmente devido à idade da árvore, fatores genéticos e ambientais dentro de uma mesma espécie. A idade pode

influenciar sobre a estrutura anatômica, composição química e propriedades físicas, porém, essas alterações podem tornar-se insignificantes.

Diante disto, um dos grandes desafios das pesquisas nesta área é definir, para um determinado material genético, a idade ideal de corte, o número ideal de plantas por hectare e a melhor distribuição espacial das árvores.

O objetivo deste trabalho foi verificar a influência do espaçamento e da idade no poder calorífico e na densidade da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*. E como objetivos específicos estimar a massa seca da madeira sem casca, a massa de carbono e a energia por hectare/ano, relacionando essas características ao incremento médio anual.

2. Materiais e métodos

As madeiras utilizadas para as análises foram coletadas em um experimento implantado sobre espaçamento de plantio utilizando clones de eucalipto (híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*) de propriedade da empresa ARCELORMITTAL JEQUITINHONHA, localizados no município de Itamarandiba-MG.

O município está localizado na região do vale do Jequitinhonha, Estado de Minas Gerais, com sede nas coordenadas geográficas 17,86°S de latitude e 42,86°W de longitude (PNUD, 2000). A temperatura média chega 21,2°C e o clima é tropical de altitude, com duas estações bem definidas. O índice médio pluviométrico é de 1.130 mm anuais e a altitude máxima é de 1.658 m e a mínima de 645 m (MME, 2005). A umidade relativa do ar média anual é de 60 a 70% e os solos predominantes na região são luvisolos férricos, ferralsolos ácidos e arenosolos. A tipologia florestal predominante é o cerrado com seus diferentes tipos, desde os cerradões a campos, com pequenas ocorrências de matas semi-decíduais e caducifólias (MULLER, 2005).

O experimento foi instalado em dezembro de 2002 e consistiu em um delineamento inteiramente casualizado em esquema fatorial 5 x 4, onde foram utilizados cinco espaçamentos e quatro diferentes idades. Foram feitas três repetições de cada tratamento. As coletas foram realizadas aos 48, 61, 77 e 85 meses de idade, e as árvores foram selecionadas de acordo o diâmetro médio da parcela.

Cada parcela foi constituída por seis linhas de plantio (distância entre as linhas igual a 3 m), e em cada linha foram plantadas 28 árvores (a distância entre as árvores variou de acordo com o tratamento, ou seja, 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; e 3,0 m), totalizando 168 árvores. Em cada parcela, as duas primeiras e as duas últimas linhas de plantio e as duas primeiras e as duas últimas árvores de cada linha foram consideradas como bordas. O que resultou em 120 árvores de bordas e 48 árvores localizadas no interior do bloco, consideradas como pertencentes à unidade de amostra ou parcela. A caracterização do experimento é apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 – Características do povoamento experimental

Tratamento	Espaçamento (m)	Área planta	Árvore por Bloco	Árvore da Borda	Árvore por Parcela	Área parcela
1	3,0 x 0,5	1,5	168	120	48	72
2	3,0 x 1,0	3,0	168	120	48	144
3	3,0 x 1,5	4,5	168	120	48	216
4	3,0 x 2,0	6,0	168	120	48	288
5	3,0 x 3,0	9,0	168	120	48	432

Área planta= Área útil por planta (m²), Árvore por bloco = N° de árvores por bloco, Árvore da borda= N° de árvores da borda, Árvore por parcela = N° de árvores por parcela, Área Parcela = Área útil de parcela (m²).

2.1. Preparo das amostras

As árvores foram coletadas e de cada uma foram retirados discos de 6,0 cm de espessura a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco. De cada disco foram obtidas duas cunhas opostas, que foram utilizadas para a determinação da densidade básica da madeira. O restante do disco foi utilizado para a determinação do poder calorífico superior, sendo essas realizadas com amostras compostas.

2.2. Determinação da densidade básica

Os procedimentos utilizados para a análise estão de acordo com o método de imersão em água, descrito por Vital (1984). Os valores foram calculados a partir da média aritmética das densidades das respectivas cunhas.

2.3. Determinação do poder calorífico superior

O poder calorífico superior da madeira foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (ABNT, 1983), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática. 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 Technical Divisions and Committees - 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±2°C, até massa constante, para a determinação do poder calorífico superior.

2.4. Estimativas de massa seca e energia por hectare

A massa seca da madeira sem casca por hectare/ano foi obtida multiplicando o incremento médio anual da madeira sem casca pela densidade básica da madeira (kg/m^3), conforme equação:

$$\text{MSM} = \text{IMA} \times \text{Dbm}$$

em que MSM = massa seca de madeira (t); IMA = incremento médio anual e Dbm = densidade básica da madeira.

A massa de carbono, expressa em tonelada, foi obtida multiplicando-se a massa seca de madeira pelo fator 0,5, recomendado pelo IPCC (Intergovernmental Panel on Climate Change), que considera o percentual de carbono fixado na madeira de 50% do peso da biomassa seca.

$$\text{MC (ton)} = \text{Msm} \times \% \text{C}$$

em que MC = massa de carbono; Msm = massa seca da madeira e %C = porcentagem de carbono/100.

Para o cálculo da quantidade de energia por hectare/ano, expressa em kW.h, multiplicou-se a massa seca da madeira (t) pelo poder calorífico superior.

$$\text{Energia/ha (KW.h)} = \text{Msm} \times \text{PCS mad}$$

em que: energia (kW.h) = energia por hectare; Msm = massa seca da madeira e PCS mad = poder calorífico superior da madeira.

2.5. Análise estatística do experimento

A análise estatística foi realizada considerando um delineamento experimental inteiramente casualizado em esquema fatorial, onde foram utilizados cinco

espaçamentos e quatro diferentes idades. Para cada tratamento foram realizadas três repetições.

Os resultados foram interpretados com auxílio da análise de variância (ANOVA), aplicando-se o teste F, no nível de 5% de probabilidade. Posteriormente, as médias foram comparadas pelo teste de Tukey, a 5% de significância.

3. Resultados e discussão

3.1. Densidade Básica da Madeira

Os valores médios da densidade básica da madeira nos diferentes espaçamentos e idades são mostrados na Tabela 2.

Tabela 2 Densidade básica das madeiras, em $\text{g}\cdot\text{cm}^{-3}$, por espaçamento e idade

Idade (meses)	Espaçamento (m)					Média
	3,0 x 0,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5	3,0 x 2,0	3,0 x 3,0	
48	0,49 Aa	0,51 Aa	0,52 Aa	0,52 Ab	0,51 Ab	0,51 B
61	0,52 Aa	0,51 Aa	0,54 Aa	0,51 Ab	0,54 Aab	0,52 AB
77	0,53 Aa	0,52 Aa	0,52 Aa	0,53 Aab	0,54 Aab	0,53 AB
85	0,51 Ba	0,53 ABa	0,55 Aa	0,56 Aa	0,56 Aa	0,54 A
Média	0,51 b	0,52 ab	0,53 ab	0,53 ab	0,54 a	0,53

Mesmas letras maiúsculas em cada linha e minúsculas em cada coluna não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste Tukey.

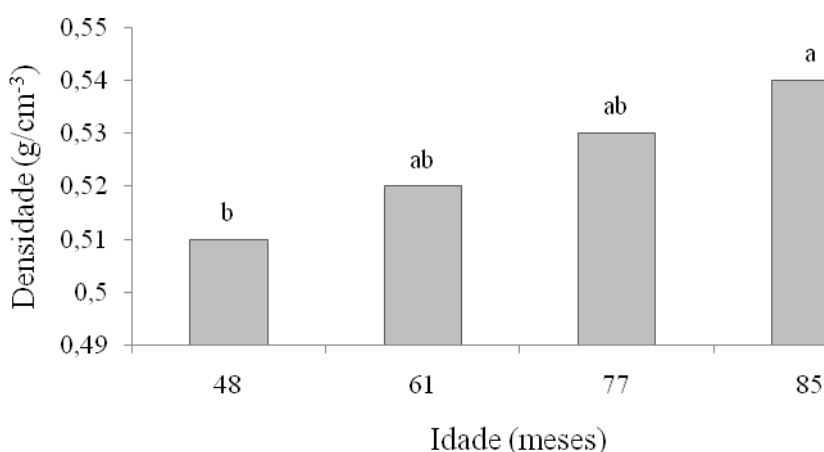
Verifica-se, pela Tabela 2, que a densidade básica da madeira nas idades de 48, 61 e 77 meses, independentemente do espaçamento utilizado, não apresentaram diferenças significativas entre si. Avaliando o efeito do espaçamento na densidade básica das madeiras na idade de 85 meses, observa-se que nos espaçamentos 3,0 x 0,5 a densidade foi significativamente inferior do que aquelas observadas nos espaçamentos 3,0 x 1,5; 3,0 x 2,0 e 3,0 x 3,0 metros. Para os espaçamentos 3,0 x 0,5 e 3,0 x 1,0 metros não houve diferença significativa entre as densidades.

Essa diminuição na densidade básica aos 85 meses, nos menores espaçamentos, pode estar relacionada a uma maior competição entre árvores. Plantios realizados em menores espaçamentos têm uma densidade populacional maior por unidade de área, o que irá provocar maior competição entre plantas por água, luz e nutrientes. Como as árvores se encontram com uma idade mais avançada, pode-se dizer que uma possível causa deste efeito foi a estagnação do crescimento ocasionada pelo esgotamento de água e nutrientes do solo. Esse efeito também foi constatado por Berger (2000) e Garcia et al. (1991) que, trabalhando com clones de *Eucalyptus saligna*, notaram um aumento na densidade básica com o aumento do espaçamento.

Quando se avalia a densidade nas idades 48 e 61 meses, nota-se uma redução nas médias para os dois maiores espaçamentos. Isso pode estar relacionado à altura das árvores. À medida que se aumentaram os espaçamentos, pode-se observar nos Anexos

(Tabela 1), que as alturas das árvores também aumentaram. Desta forma, tendo este ganho no crescimento em altura, a árvore terá sua copa mais alta e o tronco mais longo, resultando em uma maior proporção de madeira juvenil. Além disto, quando a árvore se encontra em fase de crescimento apical, ocorre um a maior produção de madeira de lenho inicial (LARSON et al.,2001).

Ainda na Tabela 2, pode-se observar que, de modo geral, houve um aumento da densidade básica com o aumento da idade, porém esse efeito só foi significativo para os espaçamentos 3,0 x 2,0 e 3,0 x 3,0 metros. Isto também foi observado por Mello et al. (1976) onde verificaram a influência de dois espaçamentos de plantio (3,0 x 1,5 m e 3,0 x 2,0 m) e de duas idades de corte (7 e 9 anos) na densidade básica da madeira de quatro espécies (*Eucalyptus saligna*, *Eucalyptus grandis*, *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus propinqua*). Porém, quando se avalia numericamente a média geral da densidade básica da madeira nas quatro idades, Figura 1, nota-se que os valores obtiveram uma tendência a crescimento com o aumento da idade das árvores.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Figura 1 Densidade básica média da madeira por idade

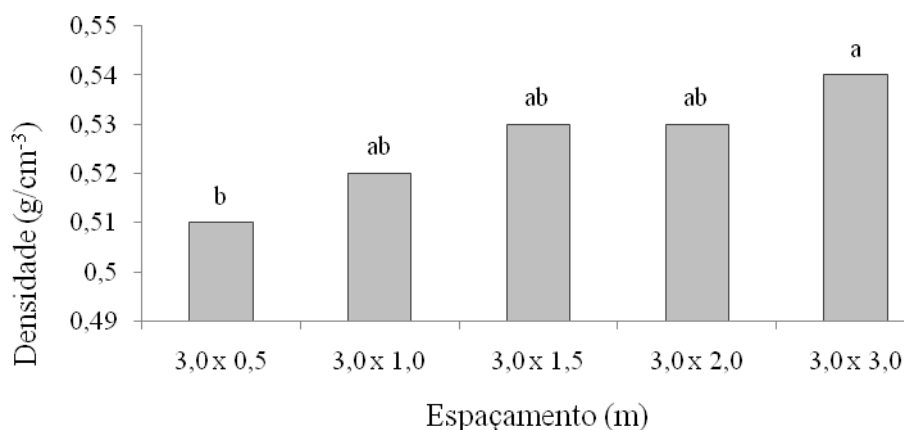
Esse incremento na densidade também foi observado por Kokutse et al. (2004) onde os autores verificaram um aumento proporcional da densidade com a idade da madeira de *Tectona grandis*. De acordo com Vital et al. (1984), normalmente a densidade da madeira tende a aumentar com a idade como consequência do aumento da espessura da parede celular e diminuição da largura das células. Nos espaçamentos menores esse efeito não foi tão evidente, provavelmente devido à competição existente entre as árvores.

Moura & Brito (2001) afirmam que com o aumento da idade e a consequente redução do ritmo de crescimento, ocorre um maior acúmulo de macromoléculas de celulose nas paredes secundárias das fibras, contribuindo para o aumento da espessura da parede celular, que irá refletir nos valores da densidade da madeira.

Esse aumento na densidade básica da madeira pode ter ocorrido, também, devido à porcentagem de extrativos presentes na madeira, que de acordo com Raymond (2000), tem o seu teor maior à medida que se aumenta a idade das árvores.

A presença de extrativos em maiores quantidades na madeira causa reflexo direto nos valores da densidade básica da mesma, o que pode ser explicado por Zobel & Bujtenen (1989), Gonzalez (1993) e Chafe (1994) que afirmam que durante a formação do cerne existe uma ampla variedade de substâncias extrativas, entre elas, corantes, taninos, óleos, gomas, resinas e sais de ácidos orgânicos, que se acumulam nos lumes das células e paredes celulares, resultando, muitas vezes, na coloração mais escura da madeira, além de causar um aumento significativo nos valores encontrados para a densidade básica da madeira.

Avaliando-se a variação da densidade básica da madeira em relação aos espaçamentos de plantio, pode-se observar, ainda na Tabela 2, que, de modo geral, não houve diferença significativa entre a densidade básica nos diversos espaçamentos, como também foi observado por Brasil & Ferreira (1971), que não encontraram diferenças significativas entre o aumento do espaçamento para a densidade básica da madeira de algumas espécies do gênero *Eucalyptus*. Isso também foi observado por Sturion et al. (1988), onde trabalhando com diferentes idades de corte não constatou efeito do espaçamento na densidade básica da madeira e em outras propriedades relacionadas à qualidade da madeira e do carvão. Na Figura 2, verifica-se uma tendência de aumento nos valores médios da densidade básica obtidos à medida que se aumenta os espaçamentos, o que foi também observado por Lima et al. (2009) e Haselein et al. (2002), que verificaram uma tendência de acréscimo para a densidade básica de acordo com o aumento do espaçamento.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Figura 2 Densidade básica média das madeiras por espaçamento

Os maiores valores médios da densidade foram encontrados nos maiores espaçamentos, o que pode estar relacionado à maior disponibilidade de nutrientes para a árvore, ocasionando em maior volume de copa, que resultou em maior produção de fotoassimilados e conseqüentemente contribuiu de forma direta para o aumento na densidade básica da madeira. De acordo com De Souza et al. (2008), a competição por nutrientes ocasiona redução do incremento de biomassa das plantas, desta forma, árvores plantadas em maiores espaçamentos terão maior disponibilidade de nutrientes e maior espaço aéreo disponível, o que irá contribuir para o aumento da capacidade de armazenar carbono, retirando-o da atmosfera e compactando-o na forma de celulose.

Visando o uso destas madeiras para produção de carvão vegetal, o valor médio de densidade para as quatro idades analisadas dentro dos cinco espaçamentos, de acordo com Queiroz et al., (2004) e Cardoso et al., (2002), está dentro de um limite considerável, uma vez que a densidade da madeira tem influência direta sobre a densidade do carvão vegetal produzido. Mello et al. (1976), encontraram resultados semelhantes para a densidade básica média para algumas espécies de *Eucalyptus* aos 85 meses de idade, sendo os valores médios iguais a 0,5 g/cm³, 0,56 g/cm³ e 0,51 g/cm³ para *Eucalyptus urophylla*, *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus grandis*, respectivamente.

De acordo com Valente (1986), a madeira com densidade mais elevada produz carvão vegetal com densidade aparente maior. Desta forma, o carvão vegetal produzido terá maior resistência e maior capacidade calorífica por volume. Na siderurgia, também, tem-se uma vantagem no uso do carvão mais denso, pois o volume requerido pelo termorreductor será menor. Assim, o carvão obtido da madeira com maior densidade,

além de melhor qualidade, proporciona maiores vantagens operacionais. Além disso, madeiras com maiores densidades irão proporcionar ganhos nos processos de colheita e transporte florestal, uma vez que em um mesmo volume de madeira colhido e transportado se teria uma maior massa específica. De acordo com Botrel et al. (2007), quanto maior a densidade da madeira, menores serão os custos de transporte e consequentemente de armazenamento do carvão vegetal.

3.2. Poder Calorífico Superior da Madeira

Os valores médios do poder calorífico superior da madeira por idade e por espaçamento são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 - Poder Calorífico Superior, em kcal . kg⁻¹, das madeiras por espaçamento e idade

Idade (meses)	Espaçamento (m)					Média
	3,0 x 0,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5	3,0 x 2,0	3,0 x 3,0	
48	4374 Bb	4489 ABa	4554 ABab	4650 Aa	4634 Aa	4540 AB
61	4554 Aab	4520 Aa	4451 Abc	4451 Abc	4487 Aab	4473 B
77	4666 Aa	4487 Aa	4666 Aa	4636 Aab	4630 Aa	4617 A
85	4424 Ab	4393 Aa	4336 Ac	4378 Ac	4425 Ab	4391 C
Média	4504 a	4472 a	4502 a	4529 a	4544 a	4505

Mesmas letras maiúsculas em cada linha e minúsculas em cada coluna não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste Tukey.

Verifica-se na Tabela 3, que o espaçamento entre árvores não afetou o poder calorífico superior (PCS) das madeiras, exceto na idade de 48 meses, onde se observa que as madeiras provenientes dos espaçamentos 3,0 x 2,0 e 3,0 x 3,0 metros apresentaram PCS significativamente superior aos obtidos da madeira no menor espaçamento (3,0 x 0,5 metros). Essas diferenças, provavelmente, foram causadas por variações nas proporções dos constituintes químicos da madeira nos diferentes espaçamentos, a exemplo do percentual de extrativos e lignina que são dois fatores que afetem diretamente o poder calorífico da madeira.

Observa-se que de modo geral à medida que se aumenta o espaçamento entre árvores o PCS as madeira também aumenta, exceto para o espaçamento 3,0 x 1,0 metros. Isso pode ser explicado observando as alturas encontradas para cada espaçamento (Anexo-Tabela 1).

Verifica-se que à medida que se aumenta o espaçamento ocorre um acréscimo na altura das árvores. De acordo com Zobel (1984), árvores mais altas têm uma porcentagem maior de lenho juvenil, que, de modo geral, possui maior conteúdo de lignina em relação à madeira mais adulta.

Ainda na Tabela 3, pode-se observar que apenas o PCS das madeiras provenientes dos espaçamentos 3,0 x 1,0 metros não foram afetados pelo acréscimo da idade das árvores. No espaçamento 3,0 x 0,5 m, os maiores valores de PCS foram obtidos nas idades de 61 e 77 meses, que não diferiram significativamente entre si. No espaçamento 3,0 x 2,0 m, pode-se observar valores menores de PCS para as árvores com 85 meses e maiores para as árvores com 48 e 77 meses de idade. O mesmo foi observado para as árvores plantadas no espaçamento 3,0 x 2,0 m e 3,0 x 3,0 metros.

Não houve uma tendência expressiva do efeito da idade no poder calorífico das madeiras, independentemente do espaçamento. O menor PCS médio foi obtido para as madeiras na idade de 85 meses, e isso se deve, conforme Vital et al.(1984), ao teor de lignina que tende a diminuir com o aumento da idade, pois as árvores mais jovens, de modo geral, possuem uma maior proporção de madeira juvenil, que é mais rica em lignina do que a madeira madura. Morais (2008) também observou uma boa correlação entre a quantidade de lignina e a idade da árvore, com tendência de queda com o aumento da idade.

Quirino et al. (2004) avaliaram o poder calorífico superior de algumas espécies florestais, dentre elas alguns eucaliptos, e obtiveram como valor médio para *Eucalyptus grandis* 4650,0 kcal/kg. Os valores encontrados neste trabalho variam de 4336,96 a 4666,4 kcal/kg. Esse resultado se aproxima dos valores citados por Vale et al., (2000), que encontrou valores para o poder calorífico de *Eucalyptus grandis* variando de 4601,0 a 4667,0 kcal/kg. Já para Brito (1993), o valor para folhosas tropicais está entre 3.500 a 5.000 kcal/kg.

3.3. Estimativas da massa seca, massa de carbono e energia por hectare

Na Tabela 4 são apresentados os valores médios das estimativas da massa seca, massa de carbono na madeira e a energia por hectare em função dos tratamentos.

Tabela 4 – Valores médios da massa seca, massa de carbono e energia disponível referentes aos diferentes espaçamentos dentro das quatro idades

Idade (meses)	Espaçamento (metros)				
	3,0 x 0,5	3,0 x 1,0	3,0 x 1,5	3,0 x 2,0	3,0 x 3,0
	Massa seca (t/ha.ano)				
48	27,76 Aa	22,89 Ab	22,33 Bb	20,37 Ac	17,66 Bd
61	23,08 Bab	22,27 Ab	24,52 Aa	18,74 Ac	19,32 Ac
77	20,61 Ca	19,93 Ba	18,67 Cab	18,65 Aab	17,31 Bb
85	18,27 Dbc	19,44 Bab	20,02 Ca	18,64 Ab	17,23 Bc
	Massa carbono (t/ha.ano)				
48	13,88 Aa	11,45 Ab	11,17 Bb	10,19 Ac	8,83 Bd
61	11,94 Bab	11,14 Ab	12,27 Aa	9,37 Ac	9,67 Ac
77	10,31 Ca	9,97 Ba	9,34 Cab	9,32 Aab	8,66 Bb
85	9,14 Dbc	9,73 Bab	10,01 Ca	9,32 Ab	8,61 Bc
	Energia (kw.h)/ha.ano				
48	121388,7 Aa	102758,8 Ab	101719,0 Bb	94719,8 Ab	81836,4 ABc
61	108764,2 Ba	100672,9 Aa	109198,6 Aa	83374,3 Bb	86682,8 Ab
77	96123,7 Ca	89374,7 Bab	87011,5 Cbc	86420,8 ABbc	80093,0 Bc
85	80799,5 Dab	85406,1 Ba	86815,1 Ca	81592,5 Bab	76223,6 Bb

Mesmas letras maiúsculas em cada coluna e minúsculas em cada linha não diferem entre si, a 5% de significância pelo teste Tukey.

Observa-se que a produção de massa seca, massa de carbono e energia por hectare/ano, nos maiores espaçamentos foram significativamente menores em relação aos demais. Isso se deve aos menores valores de volume obtidos à medida que se aumentou o espaçamento do plantio (Anexo – Tabela 2).

Observando-se ainda os valores médios obtidos para a energia estocada por hectare/ano, pode-se constatar que, como para a massa seca e massa de carbono, os valores obtidos também aumentaram à medida que o espaçamento entre as árvores foi reduzido. Isso pode ser explicado pelos maiores valores obtidos de massa seca nos menores espaçamentos, e também, considerando que, de maneira geral, não houve efeito significativo do espaçamento sobre o poder calorífico superior da madeira.

De modo geral, nas quatro idades analisadas, pode-se observar que na medida em que se aumenta a idade ocorre um decréscimo nos valores obtidos para massa seca, massa de carbono e energia, o que pode ser em grande parte explicado pelos valores encontrados para o IMA.

Na Figura 3 pode-se observar os valores médios de volume por hectare e energia produzida por hectare nas quatro idades.

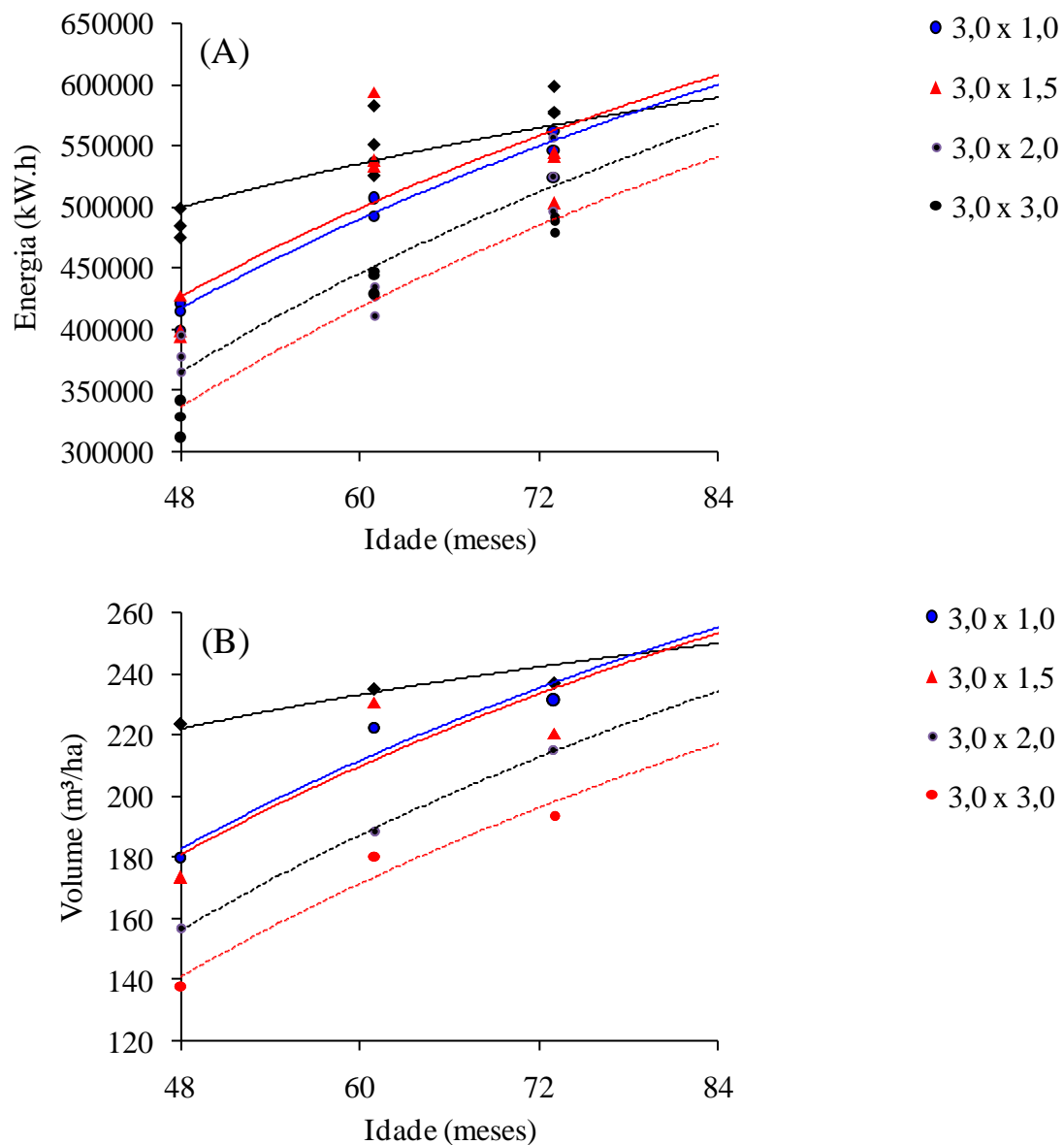


Figura 3 - 3A -Volume médio por hectare em relação à idade. 3B – Energia por hectare em relação à idade

Em termos de volume, na idade de 85 meses os espaçamentos 3,0 x 0,5; 3,0 x 1,0 e 3,0 x 1,5 metros foram semelhantes. Essa mesma análise, em termos de estoque energético também foi observada. Porém, esses três espaçamentos, apresentaram, nesta idade, estagnação do crescimento.

A partir desta análise, conclui-se que, para este plantio e esta espécie utilizada, em idades inferiores o espaçamento 3,0 x 0,5 metros foi superior em termos de volume e energia, sendo portanto considerado o melhor espaçamento. Isso evidencia a importância da produtividade volumétrica e da densidade básica sobre a massa seca de madeira, visto que essa variável é uma função direta destes dois parâmetros. Porém,

vale salientar que em espaçamentos menores, o número de árvores é superior aos demais, e mesmo com a competitividade entre árvores o volume de madeira foi maior, contribuindo para o incremento em massa seca e conseqüentemente incrementando os demais parâmetros. No entanto, análises econômicas de custo de implantação, manutenção, colheita e transporte florestal devem ser feitas para verificar a viabilidade dos projetos de plantios adensados, para avaliar se as receitas com massa seca de biomassa superam as despesas com os custos acima mencionados.

4. Conclusões

Considerando os valores de massa seca, massa de carbono e energia por hectare/ano e volume da madeira, nota-se que, de maneira geral, nas menores idades e nos menores espaçamentos foram obtidos os maiores valores de produção, em volume e em energia por hectare. Desta forma, a utilização de plantios adensados para a produção de energia se mostra uma alternativa bastante viável, uma vez que, levando em consideração os valores obtidos para todas variáveis analisadas, o espaçamento 3,0 x 0,5 metros na idade de corte de 61 meses, apresentou-se como melhor alternativa para a utilização da madeira para produção de energia.

5. Referências bibliográficas

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard method for chemical analysis of charcoal**. Philadelphia: 1982. 1042 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT, **NBR 8633**. Brasília, 1983. n. p.

BARCELLOS, D. C.; COUTO, L. C.; MULLER, M. D.; COUTO, L. O Estado-da-Arte da Qualidade da Madeira de Eucalipto para produção de Energia: Um enfoque nos Tratamentos Silviculturais. **Biomassa & Energia**, v. 2, n. 2, p. 141-158, 2005.

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

BOTREL, M. C. G.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. da S.; SILVA, R. M. da. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **R. Árvore**. Viçosa-MG, v. 31, n. 3, p. 391-398, 2007.

BRASIL, M. A. M., FERREIRA, M. Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus alba*, *E. saligna* e *E. grandis* aos 5 anos de idade, em função do espaçamento. **IPEF**, Piracicaba, n. 2/3, p. 129-149, 1971.

BRITO, J. O. Reflexões sobre a qualidade do carvão vegetal para uso siderúrgico. Piracicaba: **IPEF**, 1993. 6 p. (Circular Técnica, 181).

CARDOSO, G. V.; FRIZZO, S. M. B.; ROSA, C. A. B. da; FOELKEL, C. E. B.; ASSIS, T. F. de; OLIVEIRA, P. de. **Variação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus globulus* no sentido longitudinal da árvore**. 35º Congresso e Exposição Anual de Celulose e Papel. Outubro, 2002 - São Paulo – Brasil.

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

COUTO, L.; MULLER, M. D.; DIAS, A. N.; TSUKAMOTO, A. A.; FONSECA, E. M. B.; CORRÊA, M. R. **Espaçamento de plantio de espécie de rápido crescimento para dendroenergia**. Belo Horizonte: CEMIG, 2002. 66 p.

DE SOUZA, GASPAR, M., TINÉ, M.A.S. & BUCKERIDGE, M.S. (2008b). **Ajustando os botões: como as plantas lidam com o aumento do CO2 atmosférico?** In: *Biologia & Mudanças Climáticas no Brasil* (Ed. Buckeridge, M.S.) Cap. 6 pg. 101-113.

GARCIA, C. H., CORRADINE, L., ALVARENGA, S. F. Comportamento florestal do *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em diferentes espaçamentos. **IPEF**, 1991 (Circular Técnica nº179).

GONÇALEZ, J. C. **Caracterization technologique de quatre espèces peu connues de la Forêt Amazonienne: anatomie, chimie, couleur, propriétés physiques et mécaniques.** 1993. 444f. Thèse (Doctorat- Technologie du Bois) École Nationale du Gêne Rural des Eaux et des Forêts. Nancy, 1993.

HASELEIN, C. R.; BERGER, R.; GOULART, M. Propriedades de flexão estática da madeira e umidade e a 12% de umidade de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith sob efeito do espaçamento e da adubação. **Ciência Florestal**, v. 12, n. 2, p. 147-152, 2002.

KOKUTSE, A. D.; BAILLÉRES, H.; STOKES, A.; KOKOU, K. Proportion and quality of heartwood in Togolese teak (*Tectona grandis* L.f.). **Forest Ecology and Management**, v. 189, p. 37-48, 2004.

LARSON, Philip R.; KRETSCHMANN, David E.; CLARK, Alexander III; ISEBRANDS, J.G. 2001. **Formation and properties of juvenile wood in southern pines: a synopsis.** Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-129. Madison: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory, Sep/2001. 42 p.

LEITE, H. L.; NOGUEIRA, G. S.; MOREIRA, A. M. Efeito do espaçamento e da idade sobre variáveis de povoamentos de *Pinus taeda* L. **Revista Árvore**, v. 30, n. 4, p. 603-612, 2006.

LIMA, I. L.; MONTEIRO, B. F. S.; LONGUI, E. L. Influência do espaçamento em algumas propriedades físicas da madeira de *Tectona grandis* Linn, **Revista Cerne**, v. 15, n. 2, p. 244-250, 2009.

MELLO, H. A.; SIMÕES, J. W.; FERREIRA, C. A.; BRASIL, U. M. Influência do espaçamento e da idade de core na produção de madeira de eucalipto em solo de cerrado. **IPEF**, n. 13, p. 143-162, 1976.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Vale do Jequitinhonha.** Diagnóstico do Município de Itamarandiba-MG, 2005.

MORAIS, P. H. D. **Efeito da idade da madeira de eucalipto na sua química e polpabilidade, e branqueabilidade e propriedades físicas da polpa.** 2008. 65 f. Tese (Mestrado em Agroquímica) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MOURA, L. F. de; BRITO, J. O. Influência da desrama artificial sobre a densidade básica, a composição química e as características dos traqueídeos da madeira de *Pinus caribaea* Morelet var. *hondurensis* Barr. Et Golf. **Rev. Árvore**, Viçosa – MG, v. 25, n.3, p. 369-374, 2001.

MÜLLER , M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG.** 2005. 94 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Atlas de Desenvolvimento Humano para o Brasil.** 2000 Disponível em: <www.pnud.org.br/atlas> acesso em:21 fev.2011.

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

QUIRINO, W. F.; VALE, A. T.; ANDRADE, A. P. A.; ABREU, V. L. S.; AZEVEDO, A. C. S. Poder Calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 173-182, 2004.

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

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**, n. 16, p. 55-59, 1988.

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**, v. 2, n. 1, 1996.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M.; VEIGA, R. A. A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* HILL EX-MAIDEN e *Acacia mangium* WILLD em diferentes níveis de adubação. **Revista Cerne**, v. 6, n. 1, p. 83-88, 2000.

VALENTE, O.F. Carbonização de madeira de eucalipto. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, (141):74-9, 1986.

VITAL, B. R.; PEREIRA, A. R.; DELLA LUCIA, R. M.; ANDRADE, D. C. de. **Efeito da idade da árvore na densidade da madeira de Eucalyptus grandis cultivado da região do cerrado de Minas Gerais**. Brasília: IBDF, 1984. p. 41-52.

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

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

ZOBEL, J. B.; BUJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. New York: Springer-Verlag, 1989. 363p.

Artigo 2

Efeito do espaçamento nas propriedades energéticas da madeira e do carvão vegetal

Resumo: O objetivo do estudo foi verificar a influência do espaçamento no plantio de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* aos 85 meses de idade no rendimento gravimétrico e nas propriedades do carvão vegetal. Essa influencia foi baseada na determinação da composição química, na densidade e no poder calorífico da madeira, da casca e do carvão. Os teores de minerais presentes na madeira e na casca também foram analisados. Foram utilizados clones de eucalipto da empresa ArcelorMittal Jequitinhonha, localizada em Itamarandiba, Minas Gerais. O experimento foi instalado em dezembro de 2002 e foram avaliados cinco espaçamentos distintos, 3,0 x 0,5; 3,0 x 1,0; 3,0 x 1,5; 3,0 x 2,0 e 3,0 x 3,0 metros. As árvores colhidas em janeiro de 2010. Foram retirados discos das árvores a 0, 25, 50, 75 e 100% da altura comercial do tronco. De cada disco foram obtidas duas cunhas opostas as quais foram utilizadas para determinação da densidade básica da madeira e da casca. O restante do material foi destinado às demais análises da madeira assim como à carbonização para posterior estudo das propriedades do carvão vegetal. Os resultados encontrados mostram que para a madeira aos 85 meses de idade, levando em consideração o volume e as propriedades da madeira, casca e do carvão vegetal, o melhor espaçamento foi o de 3,0 x 1,5 metros.

Palavras-chave: espaçamento; carvão vegetal; eucalipto.

Effect of spacing on the energetic properties of wood and charcoal

Abstract: The purpose of this study was to evaluate the influence of spacing in planting a hybrid of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* to 85 months in the gravimetric yield and properties of charcoal. This influence was based in the chemical composition, in density and in calorific value of wood, bark and coal. The levels of minerals found in the bark and wood were also analyzed. We used clones of eucalyptus company ArcelorMittal Jequitinhonha, located in Itamarandiba, Minas Gerais. The experiment was installed in December 2002 and were evaluated five different spacings, 3,0 x 0,5; 3,0 x 1,0; 3,0 x 1,5; 3,0 x 2,0, and 3,0 x 3,0 meters. The trees were harvested in January 2010. Disks were taken from trees at 0, 25, 50, 75 and 100% of the commercial height of the trunk. Of each disc were obtained two opposing wedges which were used to determine the basic density of wood and bark. The remaining material was intended for other analysis of wood as well as carbonization and to posterior study the properties of charcoal. The results show that for wood with 85 months of age, considering the volume and properties of wood, bark and charcoal, the best spacing was 3,0 x 1,5 meters.

Keywords: spacing; charcoal, eucalyptus.

1. Introdução

O Brasil possui uma área total de 851,5 milhões de hectares, sendo que 6,5 milhões são de florestas plantadas, dos quais 4,26 milhões de hectares são florestas de eucalipto, 1,87 milhões com pinus e 0,37 milhões correspondem às áreas com plantações de seringueiras, araucárias, acácias, teca, dentre outras (SBS, 2009).

As florestas plantadas para a produção de energia, também chamadas de florestas energéticas, contribuem para o fornecimento de biomassa florestal, lenha e carvão de origem vegetal. Além disso, o plantio para uso energético evita a utilização ilegal de produtos extraídos de florestas naturais, diminuindo assim a pressão sobre as florestas nativas.

Desta forma, o setor florestal tem passado por processos evolutivos constantes, procurando desenvolver técnicas que contribuam para uma melhora na qualidade e no rendimento de todo o processo de produção de energia.

Sob o aspecto da silvicultura e do manejo das florestas plantadas, a análise do espaçamento de plantio, feito através de estudos de crescimento das árvores em diferentes espaçamentos, é um dos parâmetros mais importantes a ser decidido, pois a densidade de árvores de um povoamento florestal influencia a taxa de crescimento, qualidade da madeira, idade de corte e, conseqüentemente, os aspectos econômicos do investimento (MAGALHÃES et al., 2007). Além disso, através do espaçamento de plantio, pode-se ter alterações no volume final da madeira produzida, na taxa de mortalidade e dominância, na idade de estagnação do crescimento, nas práticas de implantação, no manejo e exploração e no volume da copa (SANQUETA et al., 2003).

Em princípio a escolha do espaçamento depende da qualidade do sítio, da espécie a ser plantada e do objetivo do plantio. No caso das florestas de produção, onde o objetivo principal é de exploração econômica da floresta, quanto pior a qualidade do sítio, maior deve ser o espaçamento, evitando, assim, uma competição muito intensa entre as plantas (REIS & REIS, 1993).

Sendo assim, vem cada vez mais sendo utilizada a técnica de plantios adensados, que consiste basicamente em se plantar uma floresta utilizando um menor espaçamento entre as árvores, o que irá resultar em um maior número de árvores por hectare. Alguns clones, altamente desenvolvidos especificamente para a área de energia, estão mais bem adaptados para essas condições, permitindo técnicas silviculturais que até tempos atrás eram inadequadas para atingir uma boa produtividade.

Deve-se ressaltar ainda, que um espaçamento menor diminui os custos de manutenção porque o rápido fechamento das copas proporciona uma eliminação natural da vegetação competidora (BOTELHO & DAVIDE, 2002).

As técnicas silviculturais aplicadas a um plantio florestal agem de forma direta sob a qualidade da madeira produzida, assim, torna-se ideal definir os tratamentos ideais que deverão ser aplicados com base no produto ao qual se destina o plantio. Diante disto, efeitos causados pelos diversos espaçamentos dos povoamentos florestais sobre o desenvolvimento e a qualidade da madeira vêm despertando o interesse de pesquisadores e de empresas florestais.

A espécie ou material genético deve ser considerada na escolha do espaçamento de plantio, pois, o ritmo de crescimento, bem como a tolerância a competição por recursos de crescimento é muito variável. Dentre as espécies utilizadas para plantio, destacam-se os eucaliptos cujas madeiras, produzidas sob ciclos curtos de rotação, destinam-se, principalmente, ao uso industrial, na produção de celulose para papel, de carvão para siderurgia e de chapas prensadas.

Além de todos os fatores citados, antes de escolher o espaçamento de plantio deve-se fazer uma análise sobre as condições de mercado, pois, como toda atividade econômica o plantio florestal deve atender ao um mercado consumidor.

Este trabalho teve como objetivo verificar a influência do espaçamento no plantio de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* aos 85 meses de idade a partir da composição química, densidade, poder calorífico e teor de minerais da madeira e da casca, do rendimento gravimétrico e das propriedades do carvão vegetal. E como objetivos específicos estimar a massa seca da madeira sem casca, massa de carbono, massa de lignina e massa de carvão vegetal, além da energia por hectare/ ano, relacionando essas características ao incremento médio anual.

2. Materiais e métodos

Foram utilizados clones de eucalipto (híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*), com 85 meses, da empresa ARCELORMITTAL JEQUITINHONHA, localizada no município de Itamarandiba-MG.

O município está localizado na região do vale do Jequitinhonha, estado de Minas Gerais, com sede nas coordenadas geográficas 17,86°S de latitude e 42,86°W de longitude (PNUD, 2000). A temperatura média chega 21,2°C e o clima é tropical de altitude, com duas estações bem definidas. O índice médio pluviométrico é de 1.130 mm anuais e a altitude máxima é de 1.658 m e a mínima de 645 m. O cerrado representa o principal tipo de vegetação. (MME, 2005). A umidade relativa do ar média anual é de 60 a 70% e os solos predominantes na região são luvisolos férricos, ferralsolos ácidos e arenosolos. (MULLER, 2005).

O experimento foi instalado em dezembro de 2002 em um delineamento inteiramente casualizado e as árvores foram colhidas em janeiro de 2010. Foram feitas três repetições por tratamento, que foram divididas em três blocos. Cada bloco foi constituído por seis linhas de plantio (distância entre as linhas igual a 3 m), e em cada linha foram plantadas 28 árvores (a distância entre as árvores variou de acordo com o tratamento, ou seja, 0,5; 1,0; 1,5; 2,0; e 3,0 m), totalizando 168 árvores. Em cada bloco, as duas primeiras e as duas últimas linhas de plantio e as duas primeiras e as duas últimas árvores de cada linha foram consideradas como bordas. O que resultou em 120 árvores de bordas e 48 árvores localizadas no interior do bloco, consideradas como pertencentes à unidade de amostra ou parcela. A caracterização do experimento é apresentada na Tabela 1.

Tabela 4 – Características do povoamento experimental

Tratamento	Espaçamento (m)	Área planta	Árvore por Bloco	Árvore da Borda	Árvore por Parcela	Área parcela
1	3,0 x 0,5	1,5	168	120	48	72
2	3,0 x 1,0	3,0	168	120	48	144
3	3,0 x 1,5	4,5	168	120	48	216
4	3,0 x 2,0	6,0	168	120	48	288
5	3,0 x 3,0	9,0	168	120	48	432

Área planta= Área útil por planta (m²), Árvore por bloco = N° de árvores por bloco, Árvore da borda= N° de árvores da borda, Árvore por parcela = N° de árvores por parcela, Área Parcela = Área útil de parcela (m²).

2.1. Preparo das amostras

Foram retirados discos de 6,0 cm de espessura das árvores a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco. De cada disco foram obtidas duas cunhas opostas as quais foram utilizadas para a determinação da densidade básica da madeira e da casca.

O restante do material foi destinado à carbonização e às demais análises, juntamente com a casca. Para determinação do poder calorífico superior, teor de minerais e análise química da madeira, as amostras foram moídas, utilizando-se um moinho de laboratório tipo Wiley, de acordo com a norma TAPPI 257 om-52 (Tappi Technical Divisions and Committees - TAPPI, 1998), formando uma amostra composta por árvore.

Para as amostras de madeira carbonizadas foram determinados os rendimento gravimétrico, composição química imediata, poder calorífico e densidade aparente do carvão.

2.2. Densidade básica da madeira e da casca

A densidade básica foi determinada de acordo com o método de imersão em água, descrito por Vital (1984). Os valores foram calculados a partir da média aritmética das densidades obtidas das respectivas cunhas e cascas.

2.3. Poder calorífico superior da madeira e da casca

O poder calorífico superior da madeira e da casca foram determinados de acordo com a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (ABNT, 1983), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática. 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, (American Society for Testing and Materials - ASTM, 1982). As amostras foram secas em estufa a $103\pm 2^{\circ}\text{C}$, até peso constante, para a determinação do poder calorífico superior.

2.4. Teor de minerais presentes na madeira e na casca

Para determinação dos teores de P, K, Ca, Mg, S, Zn, Cu, Mn e Fe, foram utilizadas 0,5 de serragem, absolutamente seca. A serragem foi colocada em tubos de digestão onde foram adicionados 10 ml da mistura de ácido nítrico e ácido perclórico na proporção de 4:1 em uma capela de exaustão. Este conjunto foi colocado sobre uma chapa pré-aquecida a 80°C e a temperatura foi aumentada gradativamente até 200°C. Quando o extrato ficou cristalino, retirou-se da chapa e deixou resfriando até atingir temperatura ambiente. Em seguida completou-se o volume para 25 ml com água deionizada.

Para determinação do Fósforo (P) foram utilizados 1 ml do extrato acrescidos de 9 ml de reagente de trabalho (1 g de subcarbonato de bismuto, acrescido de 138,8 ml de H₂SO₄ concentrado, completando o volume para 1000 ml). Após 20 minutos foi feita a leitura em espectrofotômetro a 725 nm. Foi utilizada a curva padrão de calibração, tendo como concentração máxima 1mg/L de P.

Para determinação do teor de Potássio (K) foi retirada uma alíquota de 1 ml do extrato, ao qual foram adicionados 24 ml de água deionizada, agitou-se e em seguida determinou-se a emissão de luz no fotômetro de chama. A curva padrão de calibração utilizada foi com solução de até 10 mg/L de K.

As determinações de Cálcio e Magnésio (Ca e Mg) foram realizadas com 1 ml do extrato transferido para o tubo de ensaio, onde foram acrescidos 1,5 ml de solução de SrCl₂ a 16.000 mg/L. O volume foi completado para 15 ml com água deionizada. Em seguida o material foi agitado para que se pudesse determinar a emissão de luz no espectrômetro de absorção atômica. A curva padrão de calibração para Ca foi até 20 mg/L e para Mg até 4 mg/L.

Para determinação do teor de Enxofre (S) foram utilizados 5 ml do extrato, com um acréscimo de 2,5 ml de solução tampão de trabalho (80 g de cloreto de magnésio hexahidratado, 7,7 g de acetato de amônio, 1,68 g de nitrato de potássio, 700 ml de água deionizada, 56 ml de álcool etílico a 95% e 1000 ml de água deionizada. Foi adicionado 200 ml dessa solução e em seguida completou-se para 1000 ml com água deionizada) mais 2,5 ml de reagente de trabalho (26,6 g de cloreto de bário, 140 ml de água deionizada, 0,266 g de goma arábica e completar o volume para 1000 ml). Aguardou-se 20 minutos e em seguida foi feita a leitura em espectrofotômetro a 420 nm. A curva padrão de calibração utilizada foi de até 1 mg/L.

Para a determinação do teor de Nitrogênio (N) foi feita a digestão sulfúrica. Foram utilizadas para esta análise 0,2 g do material moído, que em seguida foram colocados em tubos de digestão. Foram adicionados ao material 5 ml da mistura de ácido sulfúrico e em seguida este foi levado ao bloco digestor pré-aquecido a 120°C, elevando-se a temperatura até atingir 350°C. Assim que o extrato ficou cristalino, retirou-se e esperou esfriar. O volume foi completado para 50 ml com água deionizada. Para determinar a concentração de nitrogênio, o tubo do bloco digestor com o extrato foi levado ao destilador Kejdhal onde foram adicionados 25 ml de NaOH e iniciou-se o processo de destilação. Na reação do NH_4^+ com a base, há liberação de NH_3 , que é arrastado pelo vapor d'água para um erlenmeyer de 50 ml contendo 20 ml de indicador de ácido bórico, que fornece um H^+ para recompor o NH_4^+ , que é dosado com uma solução de HCl 1 N, usando-se uma microbureta.

O teor de Boro (B) foi determinado via digestão seca, onde utilizou-se 0,25 g do material moído, colocado em cadinho de porcelana. O cadinho foi vedado com papel alumínio e em seguida colocado na mufla à 550°C por 3 horas. Em seguida a cinza foi dissolvida com 10 ml de HCl 0,1N. Depois, colocou-se 2 ml do extrato em copo plástico acrescidos de 2 ml de solução tampão (500g de acetato de amônio, 30 g de EDTA (sal dissódico) em 800 ml de água deionizada. Adicionou-se vagarosamente 250 ml de ácido acético glacial) mais 2 ml de solução de azomethina – H 0,45% (1g de ácido ascórbico, 60 ml de água deionizada, 0,45 g de azomethina-H e completou-se o volume para 100 ml). Aguardou-se 30 minutos para a leitura em espectrofotômetro a 420 nm. A curva padrão de calibração utilizada foi de até 3 mg/L.

Para determinação dos teores dos micronutrientes utilizou-se 5 ml do extrato nítrico-perclórico e se transferiu para um tubo de ensaio. Adicionou-se 15 ml de água deionizada e agitou-se. Em seguida se fez a leitura da emissão de luz no espectrômetro de absorção atômica. A curva padrão de calibração para Fe foi de até 20 mg/L, para o Mn foi de até 5 mg/L, para o Cu de até 5 mg/L e para o Zn de até 2 g/L.

2.5. Composição química da madeira

Para a determinação da composição química da madeira foram utilizadas as amostras de madeira já moídas, formando uma amostra composta por árvore, pegando-se 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, (American Society for

Testing and Materials - ASTM, 1982). A determinação do teor absolutamente seco da madeira foi realizada conforme a norma TAPPI 264 0m-88. Os teores de extrativos da madeira foram determinados em duplicatas, de acordo com a norma TAPPI 264 om-88 (Tappi Technical Divisions and Committees - TAPPI, 1998), 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 & Demuner (1986), derivado da norma TAPPI 222 om-88 (Tappi Technical Divisions and Committees - TAPPI, 1998). A lignina solúvel foi determinada por espectrometria, conforme Goldschimid (1971), e foi considerado teor de lignina total a soma dos dois valores. O teor de holocelulose foi obtido pelo somatório dos teores de extrativos e lignina totais, decrescido de 100.

2.6. Rendimento gravimétrico em carvão vegetal

Para a carbonização, foram retiradas amostras de cada disco ao longo da altura comercial da árvore, obtendo-se uma amostra composta. Esta amostra foi, então, seca em estufa, a $103\pm 2^\circ\text{C}$, por 24 horas até peso constante.

As carbonizações foram realizadas em mufla de laboratório com aquecimento elétrico, utilizando-se cerca de 350 g de madeira, as quais foram inseridas em um container metálico com dimensões nominais de 30 cm de comprimento e 12 cm de diâmetro. A recuperação dos gases condensáveis foi feita através de um condensador tubular adaptado à porta da mufla.

O tempo total de carbonização da madeira foi de 3,5 horas, com taxa de aquecimento média de $1,67^\circ\text{C}\cdot\text{min}^{-1}$. Após as carbonizações, foram determinados, com base na massa seca da madeira, os rendimentos gravimétricos em carvão, gases condensáveis e não condensáveis, sendo esse último obtido por diferença.

O rendimento gravimétrico em carbono fixo foi obtido multiplicando-se o rendimento gravimétrico em carvão vegetal pelo teor de carbono fixo.

Na Tabela 2 encontra-se a marcha de carbonização utilizada para a produção do carvão vegetal.

Tabela 2 - Marcha da carbonização da madeira empregada no experimento

Tempo (minutos)	Temperatura (°C)
30'	150
30'	200
30'	250
30'	300
30'	350
30'	400
30'	450
Tempo total: 3,5 horas	

2.6.1. Propriedades do carvão vegetal

A densidade aparente do carvão foi determinada através da imersão das peças de carvão em mercúrio e sua posterior pesagem, de acordo com Vital (1984).

O poder calorífico superior (PCS) do carvão vegetal foi determinado por meio da bomba calorimétrica adiabática, de acordo com a norma ABNT NBR 8633 (1983).

A composição química imediata do carvão vegetal foi obtida em amostras moídas e peneiradas a uma granulometria de, aproximadamente, 0,2 mm, seguindo os procedimentos preconizados nas normas ABNT NBR 6923 e ABNT NBR 8112, com algumas adaptações, para a determinação dos teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo, em base seca (Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, 1986).

2.7. Estimativas de massa seca, massa de carbono, massa de lignina, massa de carvão vegetal e energia por hectare

A massa seca da madeira sem casca por hectare/ano foi obtida multiplicando o incremento médio anual da madeira sem casca pela densidade básica da madeira (kg/m^3), conforme equação:

$$\text{MSM} = \text{IMA} \times \text{Dbm}$$

em que MSM = massa seca de madeira (t); IMA = incremento médio anual e Dbm = densidade básica da madeira.

A massa de carbono, expressa em tonelada, foi obtida multiplicando-se a massa seca de madeira pelo fator 0,5, recomendado pelo IPCC (Intergovernmental Panel on

Climate Change), que considera o percentual de carbono fixado na madeira de 50% do peso da biomassa seca.

$$MC \text{ (ton)} = Msm \times \%C$$

em que MC = massa de carbono; Msm = massa seca da madeira e %C = porcentagem de carbono/100.

As massas de lignina e de carvão vegetal, expressas em tonelada, foram determinadas multiplicando-se a massa seca de madeira pelo percentual de lignina total e rendimento gravimétrico em carvão vegetal, respectivamente, conforme as seguintes equações:

$$ML \text{ (ton)} = Msm \times LT$$

em que ML = massa de lignina; Msm = massa seca da madeira (t) e LT = lignina total/100.

$$MCV \text{ (ton)} = Msm \times RCV$$

em que MCV = massa de carvão vegetal; Msm = massa seca da madeira e RRCV = rendimento gravimétrico em carvão vegetal/100.

Para o cálculo da quantidade de energia por hectare/ano, expressa em kW.h, multiplicou-se a massa seca da madeira (t) pelo poder calorífico superior.

$$\text{Energia/ha (KW.h)} = Msm \times PCS \text{ mad}$$

em que: energia (kW.h) = energia por hectare; Msm = massa seca da madeira e PCS mad = poder calorífico superior da madeira.

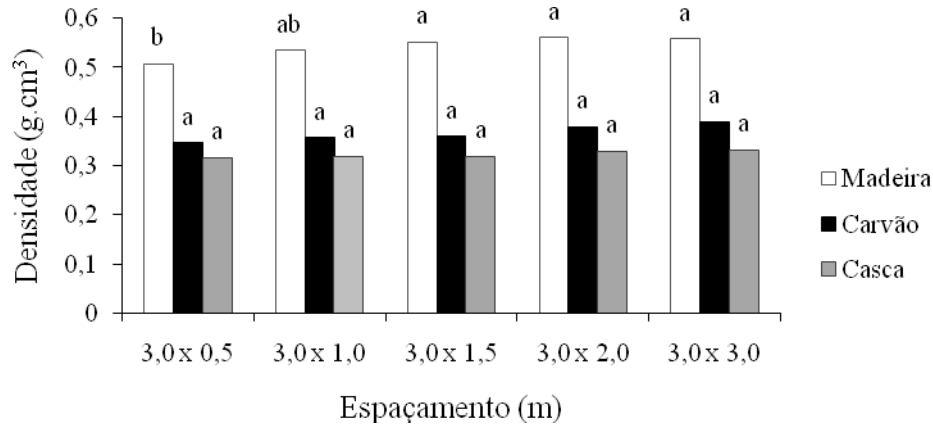
2.8. Análise estatística do experimento

O delineamento experimental foi inteiramente casualizado com cinco tratamentos (espaçamentos). Para cada tratamento foram realizadas três repetições.

Os dados dos parâmetros avaliados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), aplicando-se o teste F, no nível de 5% de probabilidade, e posteriormente as médias foram comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3. Resultados e discussão

Na Figura 1 são apresentados os valores médios de densidade básica da madeira, casca e carvão em função do espaçamento entre árvores.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Figural -Densidade básica média da madeira, casca e carvão vegetal por espaçamento

Observou-se que a madeira proveniente do espaçamento de 3,0 x 0,5 m apresentou uma densidade de 0,507 g/cm³, sendo numericamente inferior em 5,06 % àquela obtida do espaçamento de 3,0 x 1,0 m, porém a diferença não foi significativa. Para os espaçamentos de 3,0 x 1,5 m, 3,0 x 2,0 m e 3,0 x 3,0 metros não se observou diferença significativa, sendo o valor médio para os três tratamentos igual a 0,551 g/cm³. Vital & Della Lucia (1987) estudando madeira de eucalipto também não observaram efeito significativo do espaçamento na densidade básica da madeira.

Ferreira (1997) afirmam que com o tempo a quantidade de madeira estocada em um determinado sítio tende a se igualar em diferentes espaçamentos, sendo que nos plantios mais densos ocorre a estagnação do crescimento em idades mais jovens e nos plantios com espaçamentos mais amplos a estagnação do crescimento ocorre em idades mais avançadas. Isto pode ser muito importante do ponto de vista econômico, visto que, pode-se economizar no custo de implantação, na colheita e transporte de madeira nos espaçamentos maiores.

O espaçamento pode afetar o desenvolvimento de florestas plantadas, principalmente no caso das espécies de rápido crescimento. O espaçamento inadequado pode acentuar os efeitos da deficiência hídrica sobre as plantas, diminuindo a produtividade da floresta, em razão da intensa competição intra-específica por água, luz,

nutrientes e espaço (LELES et al., 1998). Teoricamente, a competição entre plantas em busca de luz é muito mais intensa nos espaçamentos mais reduzidos, em função da necessidade da árvore ampliar ao máximo a superfície foliar e cobrir sua necessidade de assimilação (SILVA, 1990).

De acordo com Vital (1986), quando se visa a produção de carvão vegetal, a utilização de madeiras com maiores densidades resultam em um carvão mais denso, o que permite uma maior produção gravimétrica por unidade de forno. Isto foi observado por Trugilho et al.(2001), onde trabalhando com clones de eucalipto aos sete anos de idade, concluíram que aqueles que apresentaram densidade variando de 0,52 a 0,59 g/cm³ produziram um carvão de melhor qualidade. Os valores observados no presente trabalho variam entre 0,51 e 0,56 g/cm³.

Ainda na Figura 1, pode-se verificar que a densidade básica da madeira foi menor nos espaçamentos 3,0 x 0,5 e 3,0 x 1,0 metros, tendo um incremento à medida que a área útil ocupada por cada árvore foi aumentando, o que foi observado para a densidade da casca e do carvão vegetal, porém, não foram observadas diferenças significativas entre as mesmas. Isto pode ser explicado pelo número de árvores plantadas por área que irá resultar em intensa competição entre elas. Árvores plantadas em maiores espaçamentos possuem uma maior disponibilidade de água e nutrientes, o que irá resultar em maior copa e maior quantidade de fotoassimilados produzidos que irão regular o espessamento da parede celular. e, conseqüentemente, ocasionar um aumento nos teores de densidade da madeira.

Os valores médios de poder calorífico superior da madeira, casca e carvão nos diferentes espaçamentos são mostrados na Figura 2.

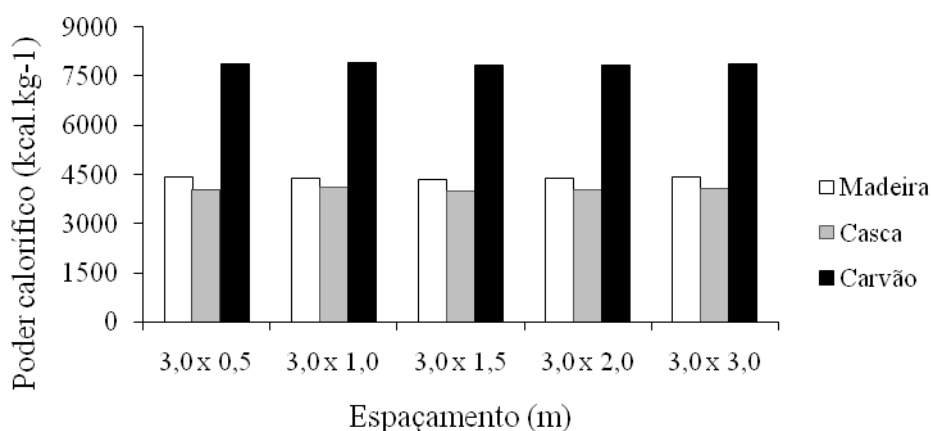
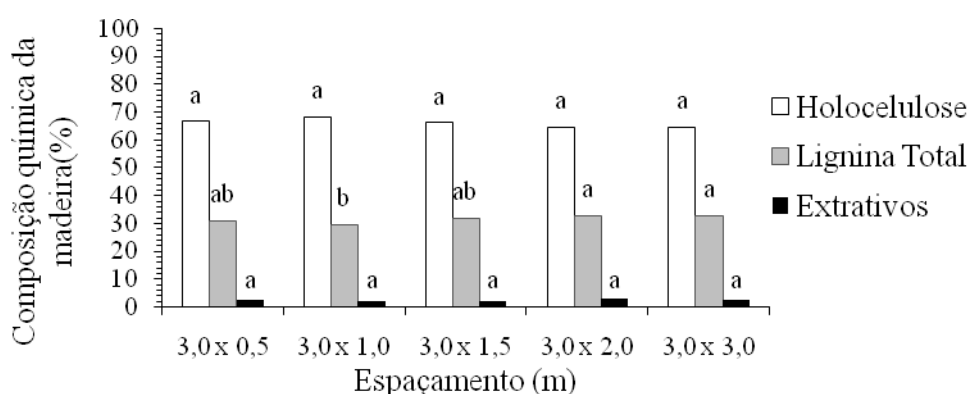


Figura 2 – Poder calorífico superior da madeira, casca e carvão vegetal por espaçamento

Tanto para a madeira, casca e carvão vegetal não foram observados efeitos significativos do espaçamento nos valores do poder calorífico. Os valores encontrados para madeira, casca e carvão situaram-se na faixa de 4.336 a 4.425, 3.978 a 4.091 e 7.834 a 7.900 kcal/kg, respectivamente.

De acordo com Santos (2010), a quantidade de calor desprendida da madeira é muito importante para conhecer a capacidade energética de uma determinada espécie, é influenciada por diversos fatores, entre eles a densidade e a composição química da madeira, especialmente, teores de extrativos, cinzas, lignina.

Os valores médios da composição química da madeira em função dos espaçamentos de plantio se encontram na Figura 3.



Médias seguidas da mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Figura 3 - Composição química da madeira por espaçamento

Observa-se que para os valores de holocelulose e extrativos presentes na madeira que não houve diferença significativa em relação aos espaçamentos, porém esse comportamento não foi observado para os teores de lignina total.

Os valores médios observados para as características químicas da madeira nos diferentes espaçamentos foram de 2,47% para extrativos totais, 31,56% para o teor de lignina total e 65,97% de holocelulose. Segundo Trugilho et al. (2003) para as espécies *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* o valor médio de holocelulose apresenta-se na ordem de 61,52%, lignina 31,77% e extrativos 6,71%.

Os teores de lignina foram mais elevados para os maiores espaçamentos, onde se pode observar uma diferença de 10,6% do espaçamento com maiores (3,0 x 3,0 m) para os com menores teores (3,0 x 1,0 m) deste componente. Isso se deve provavelmente ao maior incremento em altura (Anexo – Tabela 1) das árvores plantadas nos maiores

espaçamentos, que possivelmente apresentam uma maior porcentagem de madeira juvenil no seu fuste. Zobel & Van Buijtenen (1989) afirmam que a madeira juvenil apresenta maiores teores de lignina quando comparada à madeira adulta, o que está de acordo com os resultados encontrados.

Visando a produção de carvão, os valores médios encontrados para o teor de lignina são adequados, pois de acordo com Santos (2010) a lignina é um dos componentes químicos que mais contribui para o rendimento gravimétrico, devido à sua maior resistência à degradação térmica, além de contribuir para maiores teores de carbono fixo, devido às maiores porcentagens de carbono elementar em sua composição.

Na Figura 4 são apresentados os valores médios da análise química imediata do carvão vegetal em função dos espaçamentos entre árvores.

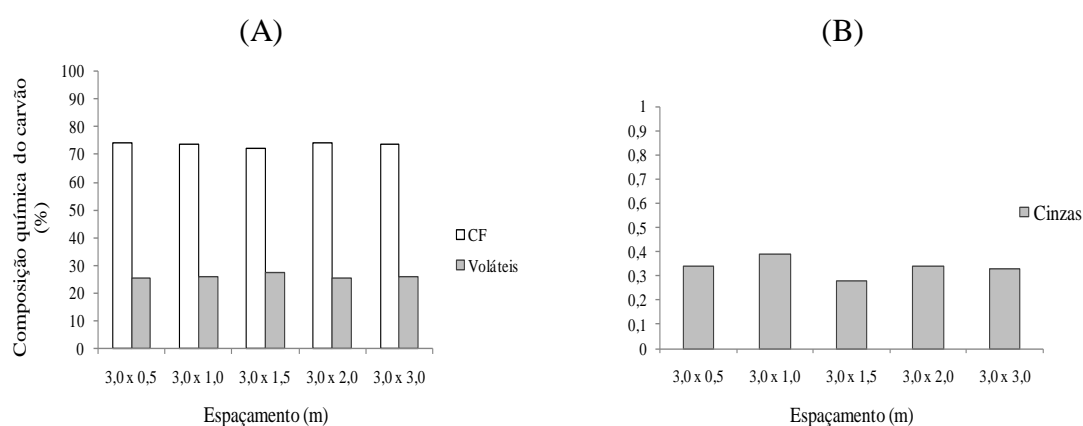


Figura 4 – Análise química imediata do carvão vegetal por espaçamento (A) Carbono Fixo e Materiais Voláteis (B) Teor de cinzas

Para os valores encontrados para a análise química do carvão vegetal não foram observados efeitos dos espaçamentos de plantio.

De maneira geral, a partir da análise química imediata do carvão obtido dos diferentes espaçamentos, os teores carbono fixo observados variaram entre 72,16% e 74,22%, os teores de materiais voláteis entre 25,44% e 27,56 e os teores de cinzas entre 0,28% e 0,39%. Esses valores foram semelhantes aos encontrados por Botrel et al. (2007), que avaliou a composição química imediata do carvão de clones de *Eucalyptus* ssp. aos 78 meses de idade e encontrou, para o carbono fixo, valores entre 71,74% e

76,93%, para materiais voláteis, valores entre 22,86% e 27,98% e para cinzas, valores entre 0,16% e 0,34%.

Na Figura 5 são apresentados os valores médios para o rendimento gravimétrico do carvão, dos gases condensáveis e gases não condensáveis, e na Figura 6 os valores médios do rendimento em carbono fixo obtidos a partir das madeiras plantadas nos diferentes espaçamentos.

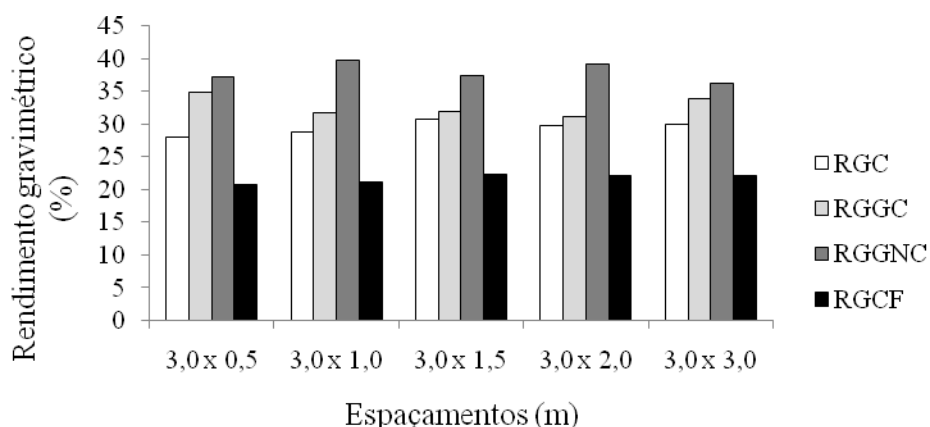


Figura 5 – Rendimento gravimétrico do carvão vegetal (RGC), Rendimento gravimétrico dos gases condensáveis (RGGC), Rendimento gravimétrico dos gases não condensáveis (RGGNC) e Rendimento gravimétrico em carbono fixo (RGCF) por espaçamento

Para os valores encontrados para o rendimento gravimétrico do carvão, dos gases condensáveis e gases não condensáveis, não foram observados efeitos dos espaçamentos.

Os valores médios encontrados para o rendimento gravimétrico do carvão variam entre 28,01% e 30,08%, para o rendimento dos gases condensáveis entre 31,12% e 34,82% e para o rendimento dos gases não condensáveis entre 36,20% e 39,63%.

As médias de densidade relativa aparente e poder calorífico do carvão, teor de voláteis, cinzas, carbono fixo, rendimento gravimétrico do carvão e rendimento gravimétrico dos gases condensáveis e não condensáveis neste estudo não diferiram entre os espaçamentos, e os resultados encontrados estão coerentes com aqueles encontrados por Trugilho et al.(2001) que trabalhou com a avaliação de dez clones de *Eucalyptus*, com sete anos de idade, para produção de carvão vegetal, e por Brito et al. (1984), que trabalharam com várias espécies do gênero.

Para os valores encontrados para o rendimento gravimétrico em carbono fixo também não foi observado efeito do espaçamento. O valor médio obtido para os cinco espaçamentos foi de 21,66 %. Botrel et al. (2007), trabalhando com clones de *Eucalyptus* aos 78 meses, encontrou o valor médio para o rendimento gravimétrico em carbono fixo igual a 25,97%.

Valores elevados do rendimento em carbono fixo são importantes quando se pretende indicar um material genético potencial para produção de carvão vegetal, uma vez que o rendimento em carbono fixo envolve, simultaneamente, características de produtividade e de qualidade relacionadas ao carvão vegetal (ANDRADE, 1993).

Na Tabela 4 se encontram os valores médios dos minerais presentes na madeira e na casca do material em estudo.

Tabela 4 - Valores médios de minerais presentes na madeira e na casca

	N	P	K	Ca	Mg	S	Zn	Fe	Mn	Cu	B
	dag/kg (%)						mg/kg				
Madeira	0,083	0,005	0,092	0,033	0,009	0,015	3,773	17,207	16,400	1,093	2,833
Casca	0,292	0,029*	0,196	0,462	0,128	0,023	16,287*	27,080	236,113*	3,200	10,433

*Médias com diferença significativa entre os espaçamentos a 5% de significância pelo teste Tukey.

Observa-se que os teores médios de minerais das madeiras não foram afetados pelo espaçamento entre árvores, o que pode ter contribuído para que não houvesse diferença significativa entre os teores médios de cinzas dos carvões. Silva et al. (1983) afirma que a idade fisiológica e o tamanho das árvores afetam a concentração e o conteúdo de minerais nas plantas. Já para Schumacher (1992), além da idade da floresta, o acúmulo de nutrientes na biomassa varia conforme o elemento, o solo e as características nutricionais de cada espécie. Segundo Pritchett (1979) nas idades mais jovens do povoamento se tem uma maior taxa de absorção de nutrientes, sendo a maior parte dos nutrientes absorvidos anualmente pelas espécies florestais devolvida para o solo. Esta redução e estabilização do teor de minerais com o aumento da idade também podem ser explicadas pela mobilidade desses na planta. São minerais que possuem alta mobilidade: N, P, K, Mg e Cl; B, Fe e Ca são relativamente imóveis, enquanto S, Zn, Mn, Cu, Mo e Ni apresentam grau de mobilidade intermediário (MATTA & LOUREIRO, 2007).

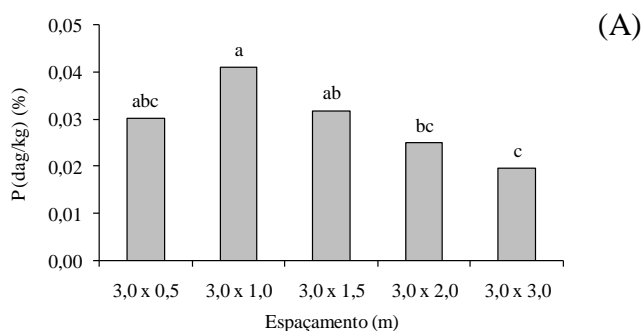
Aos 85 meses de idade as árvores já possuem uma estagnação do seu crescimento, desta forma, o decréscimo nas suas atividades fisiológicas ocorre em todos

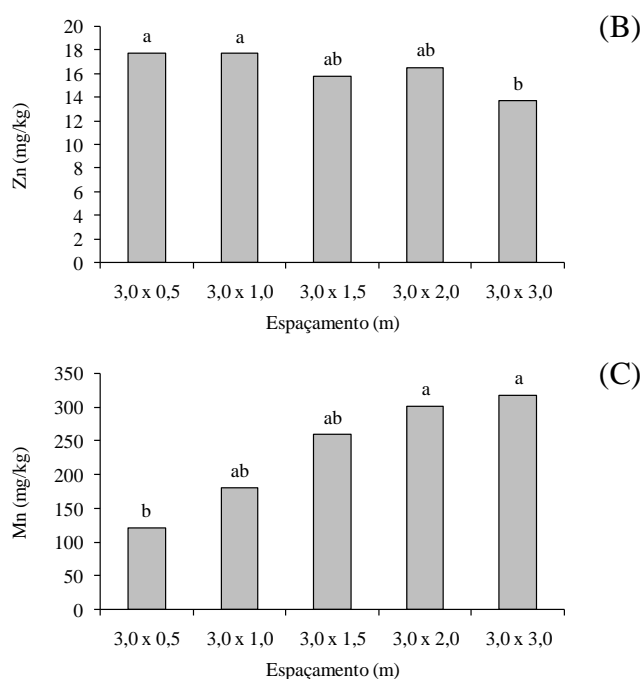
os espaçamentos. De acordo com Kaka & Goring (1983), citado por Andrade (1989), existe um maior conteúdo de minerais no lenho inicial em relação ao lenho tardio em razão da primeira ser uma área de intensas atividades fisiológicas.

Segundo Barros & Novais (1990), a madeira, sem casca, é o componente que representa a maior proporção da biomassa, porém, o conteúdo de minerais na madeira é relativamente baixo. O teor de nutrientes na madeira decresce com a idade devido à ocorrência de ciclagem interna de alguns nutrientes no processo de transformação do alburno em cerne. O alburno, localizado nas camadas mais periféricas do tronco constitui-se em tecido mais ativo, fisiologicamente, que o cerne. O alburno é responsável pelo transporte ascendente de líquidos na árvore e constituído por células parenquimáticas vivas que armazenam substâncias nutritivas como amido, açúcares, proteínas etc.

Ainda na Tabela 4, pode-se observar que os teores de minerais na casca foram superiores aos encontrados na madeira, o que era esperado uma vez que, de acordo com Schumacher & Poggiani (1993), a distribuição de nutrientes nas diversas partes da árvore segue a seguinte tendência: folhas, casca, ramos e lenho. O conteúdo de nutrientes das folhas, ramos e casca, representa quase 80% do total de nutrientes que serão exportados do sítio, se a exploração for total (SILVA et al,1983).

Na Figura 6 são apresentados os valores médios de fósforo, zinco e manganês, respectivamente, presentes nas cascas, em função do espaçamento entre árvores.





Médias seguidas da mesma letra e fonte não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Figura 6 – (A) Valores médios dos teores de Fósforo (P), (B) Valores médios do teor de Zinco (Zn) e (C) Valores médios dos teores de Manganês (Mn) da casca por espaçamento

Os menores teores de fósforo e de zinco na casca ocorreram nos maiores espaçamentos, o que, de acordo com Muller (2005) pode ser explicado pelos baixos valores encontrados destes nutrientes, nos menores espaçamentos, na análise química do solo aos 24 meses. Para os valores de fósforo nota-se que no espaçamento 3,0 x 1,0 m foram obtidos os seus maiores teores na casca, porém, esses valores não diferiram significativamente dos encontrados nos espaçamentos 3,0 x 0,5 e 3,0 x 1,5 m. Já para os valores de zinco, pode-se observar uma diferença de 22,89% do espaçamento 3,0 x 3,0 m para o espaçamento 3,0 x 0,5 m, onde foi constatado o maior teor deste nutriente, que no entanto não diferiu significativamente dos espaçamentos 3,0 x 1,0; 3,0 x 1,5 e 3,0 x 2,0 m. Para os valores de manganês, pode-se verificar um comportamento diferente do observado para o fósforo e para o zinco. Nos maiores espaçamentos (3,0 x 2,0 m e 3,0 x 3,0 m) foram obtidos os maiores teores do nutriente, que no entanto, não diferiu significativamente dos encontrados nos espaçamentos 3,0 x 1,0 m e 3,0 x 1,5 m. Isso pode estar relacionado ao alto teor deste mineral no local. No espaçamento 3,0 x 0,5 m

pode-se notar uma diferença de 61,81% em relação ao maior espaçamento, onde se encontrou a maior concentração de manganês.

Assim, pode-se considerar que a casca, de modo geral, é a principal fonte de minerais encontrados no carvão vegetal, e mesmo em pequenas quantidades, é indesejável.

De acordo com Collet (1955), citado por Vital et al. (1989), todos os componentes minerais encontrados na madeira e, em maior concentração, na casca, são repassados para o carvão. Se este for destinado para a produção de alguns tipos de ferro-ligas, a presença de alguns componentes minerais pode ser indesejável. Tem-se como exemplo o fósforo, que é um mineral que quando presente no carvão se incorpora às ligas metálicas e as tornam quebradiças, menos maleáveis e com campos favoráveis à propagação de trincas e fissuras.

Muller (2005) afirma que quando se faz a colheita das árvores e a casca é deixada no campo, o aporte de nutrientes ao solo é maior. Isto evidencia a importância, do ponto de vista de fertilidade do solo, da exploração da madeira sem a casca em sistemas de curta rotação para geração de energia.

Na Tabela 5 são apresentados os valores médios das estimativas da massa seca, massa de lignina total, massa de carvão vegetal, massa de carbono na madeira e a energia por hectare.

Tabela 5 – Valores de massa seca, massa de carbono, massa de lignina, massa de carvão vegetal e energia disponível em função do espaçamento

Espaçamento (m)	Massa Seca (ton/ha.ano)	Massa de Carbono (ton/ha.ano)	Energia (KW.h/ha.ano)	Massa de lignina (ton/ha.ano)	Massa de Carvão vegetal (ton/ha.ano)
3,0 x 0,5	18,27 bc	9,14 bc	80799,50 ab	5,65 b	5,11 b
3,0 x 1,0	19,44 ab	9,73 ab	85406,11 a	5,71 b	5,59 ab
3,0 x 1,5	20,02 a	10,01 a	86815,08 a	6,36 a	6,16 a
3,0 x 2,0	18,64 b	9,32 b	81592,54 ab	6,12 ab	5,54 a
3,0 x 3,0	17,23 c	8,61 c	76223,63 b	5,66 b	5,17 a

Médias seguidas da mesma letra e fonte não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste Tukey.

Quanto à massa seca por hectare/ano, pode-se observar que o maior valor foi observado no espaçamento 3,0 x 1,5 metros, o que pode estar relacionado aos valores obtidos para a densidade básica da madeira, assim como ao Incremento médio anual (Anexa – Tabela 3).

A maior massa de carbono foi observada no espaçamento 3,0 x 1,5 metros, que diferiu estatisticamente dos espaçamentos 3,0 x 0,5; 3,0 x 2,0 e 3,0 x 3,0 metros.

Quanto à massa de carvão vegetal estimada por hectare/ano, pode-se observar que o espaçamento que apresentou melhores resultados foi o 3,0 x 1,5 metros, o que está relacionado à maior massa seca de madeira e ao maior rendimento gravimétrico em carvão vegetal obtido por esse material.

Em relação aos valores encontrados para massa de lignina total por hectare/ano, nota-se que os menores valores foram obtidos nos espaçamentos 3,0 x 0,5; 3,0 x 1,0 e 3,0 x 3,0 metros. As árvores plantadas no espaçamento 3,0 x 1,5 metros apresentaram melhores resultados, o que é devido à sua maior massa seca por hectare/ano.

Para os valores encontrados para a estimativa de energia estocada por hectare/ano, pode-se notar que o espaçamento 3,0 x 1,5 metros, em função da sua maior massa seca, apresentou maior quantidade de energia.

A partir desta análise pode-se concluir que o espaçamento ideal para esta espécie utilizada é o 3,0 x 1,5 metros, no entanto, devem ser feitas análises econômicas dos custos que envolvem toda a produção florestal.

4. Conclusões

Os resultados mostraram que não houve diferença significativa nas propriedades da madeira e da casca em função do espaçamento de plantio. Somente a densidade básica e os teores de lignina da madeira sofreram influência.

De modo geral, as propriedades do carvão vegetal não foram afetadas pelos espaçamentos, exceto os teores dos minerais: fósforo, zinco e manganês provenientes da casca, que apresentaram diferenças significativas nos seus valores.

Desta forma, tomando como base o volume de madeira com casca, os valores de massa seca, massa de carbono, massa de lignina, massa de carvão vegetal e energia estocada por hectare/ano, pode-se concluir que o melhor resultado foi obtido no espaçamento 3,0 x 1,5 metros, o que aliado às demais características da madeira pôde-se definir este espaçamento o ideal para o híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*, visando a produção de energia, além disto, devido ao alto teor de minerais presentes na casca, sugere-se sua retirada em campo para aumentar a ciclagem de nutrientes no solo.

5. Referências bibliográficas

- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **Standard method for chemical analysis of charcoal**. Philadelphia, 1982. 1042 p.
- ANDRADE, A. M. **Efeitos da fertilização mineral e da calagem na produção e na qualidade da madeira e do carvão de eucalipto**. 1993. 105 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- ANDRADE, A. M. **Influência da casca de *Eucalyptus grandis* W. HILL ex MAIDEN no rendimento e qualidade de carvão vegetal**. 1989. 86 f. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1989.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – **NBR 6923**. Carvão vegetal amostragem e preparação da amostra, Out/1981.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT, **NBR 8633**. Brasília, 1983.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS-ABNT, **NBR8112**, Análise imediata do carvão vegetal – Teor de carbono fixo, voláteis e cinzas. Brasília, 1983.
- BARROS, N. F. de; NOVAIS, R. F. de; **Relação Solo-Eucalipto**. Viçosa-MG: UFV, 1990. 330p.
- BOTELHO, S. A.; DAVIDE, A. C. Métodos silviculturais para recomposição de nascentes e recomposição de matas ciliares. In: SINRAD – SIMPÓSIO NACIONAL DE RECUPERAÇÃO DE ÁREAS DEGRADADAS, 2002, Lavras. **Anais ...** Lavras: CEMAC/ UFLA, 2002. p.194-211.
- BOTREL, M. C. G.; TRUGILHO, P. F.; ROSADO, S. C. da S.; SILVA, R. M. da. Melhoramento genético das propriedades do carvão vegetal de *Eucalyptus*. **R. Árvore**. Viçosa-MG, v. 31, n. 3, p. 391-398, 2007.
- BRITO, J. O.; BARRICHELO, L. E. G.; COUTO, H. T. Z. do; MENDES, C. J.; RESENDE, G. C. de. **Estudo do comportamento de madeiras de eucalipto frente ao processo de destilação seca**. Brasília: IBDF, 1984. p. 5-36 (IBDF. Boletim técnico, 8).
- FERREIRA, G. W. Qualidade da celulose Kraft-antraquinona de *Eucalyptus dunnii* plantado em cinco espaçamentos em relação ao *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Ciência Florestal**, v. 7, n. 1, p. 41-63, 1997.
- GOLDSCHIMID, O. Ultraviolet spectra. In: SARKANEN, K. V.; LUDWING, C. H. (Eds) **Lignins**. New York: Wiley Interscience, 1971. p. 241-266.
- 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.

LELES, P. S. S.dos; REIS, G. G.; REIS, M. G. F.; MORAIS, E. J. Relações hídricas e crescimento de árvores de *Eucalyptus camaldulensis* e *Eucalyptus pellita* sob diferentes espaçamentos na região de cerrado. **Revista Árvore**, v. 22, n. 1, p. 41-50, 1998.

MAGALHÃES, W. M.; MACEDO, R. L. G.; VENTURIN, N.; HIGASHIKAWA, E. M.; JÚNIOR, M. Y. Desempenho silvicultural de clones e espécies/procedências de *Eucalyptus* na região noroeste de Minas Gerais. **Revista Cerne**, v. 13, n. 4, p. 368-375, 2007.

MATTA, F.M.; LOUREIRO, M.E. **Nutrição mineral de plantas - Material Didático de apoio a disciplina BVE 270**. Viçosa: UFV, 2007. 13 p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Projeto Cadastro de Fontes de Abastecimento por Água Subterrânea Vale do Jequitinhonha**. Diagnóstico do Município de Itamarandiba-MG, 2005.

MÜLLER , M. D. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em Itamarandiba, MG**. 2005. 94 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

PNUD – PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O DESENVOLVIMENTO. **Atlas de Desenvolvimento Humano para o Brasil**. 2000 Disponível em: <www.pnud.org.br/atlas> acesso em:21 fev.2011.

PRITCHETT, W.L. **Properties and mangement of forest soils**. New York: John Wiley, 1979. 500p.

REIS, G. G.; REIS, M. G. F. Competição por luz, água e nutrientes em povoamentos florestais. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE PESQUISA FLORESTAL, 1, 1993, Belo Horizonte. **Anais...** Belo Horizonte: SIF, 1993. p. 161-172.

SANQUETTA, C. R; MORA, A. L.; BORSATO, R.; VIDAL, M. A. S.; PEIXOTO, A. M.; CHIARANDA, R. Efeito do espaçamento de plantio em reflorestamentos - II. *Pinus taeda* L. em Jaguariaíva, PR. **Ciências Agrárias e Ambientais**, v. 1, n. 1, p. 55-61, 2003.

SANTOS, R. C. dos. **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. 122 f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

SBS - SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA, 2009. Disponível em: <www.sbs.org.br>. Acesso em: 10/02/2011.

SCHUMACHER, M. V. **Aspectos da ciclagem de nutrientes e do microclima em talhões de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F. Mesell**. Piracicaba – SP, 1992, 87 p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” – Universidade de São Paulo, 1992.

SCHUMACHER, M.V.; POGGIANI, F. Produção de biomassa e remoção de nutrientes em povoamentos de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh, *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden e *Eucalyptus torelliana* F Muell, plantados em Anhembi, SP. **Ciência Florestal**, v.3, n.1, p9-18, 1993.

SILVA, H. D. da; POGGIANI, F.; COELHO, L. C. Biomassa, concentração e conteúdo de nutrientes em cinco espécies de *Eucalyptus* plantadas em solos de baixa fertilidade. **Boletim de Pesquisa Florestal**, Colombo, n. 6/7, p. 9-25, Jun./Dez. 1983.

SILVA, J. F. **Variabilidade genética em progênies de *Eucalyptus camaldulensis* Dehnh e sua interação com espaçamentos**. Viçosa: UFV, 1990. 126p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, 1990.

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

TRUGILHO, P. F.; LIMA, J. T.; MORI, F. A.; LINO, A. L. Avaliação de clones de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal. **Revista Cerne**, v. 7, n. 2, p. 114-201, 2001.

TRUGILHO, P.F., LIMA, J.T., e MORI, F.A., 2003. Correlação canônica das características químicas e físicas de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna*. **Cerne**. v.9, n.1, p.066-080, 2003.

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

VITAL, B. R. Efeito da constituição química e da densidade da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* na produção de carvão vegetal. **Revista Árvore**, v. 10, n. 2, p. 151-160, 1986.

VITAL, B. R.; DELLA LUCIA, R. M. Efeito do espaçamento na produção em peso e na quantidade de madeira de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* aos 52 meses de idade. **Revista Árvore**, v. 11, n. 2, p. 132-145, 1987.

VITAL, B. R., ANDRADE, A. M., VALENTE, O.F.,CAMPOS, J.C.C., Influência da casca no rendimento e na qualidade do carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*. **IPEF**, 1989, n.41/42, p.44-49.

ZOBEL, J. B.; BUJTENEN, J. P. **Wood variation: its causes and control**. New York: Springer-Verlag, 1989. 363p.

4. CONCLUSÕES GERAIS

Analisando a relação das quatro idades (48, 61, 77 e 85 meses) e dos cinco espaçamentos (3,0 x 0,5 m, 3,0 x 1,0 m, 3,0 x 1,5 m, 3,0 x 2,0 m e 3,0 x 3,0 m), pode-se concluir que considerando a densidade básica, poder calorífico superior, massa seca, massa de carbono, energia por hectare/ano e volume com casca, a idade ideal de corte para uso da madeira para energia seria aos 61 meses no espaçamento 3,0 x 0,5 metros.

Ao se analisar o efeito dos cinco espaçamentos nas propriedades energéticas da madeira aos 85 meses de idade, pode-se observar que, tomando como base o volume de madeira com casca, as características da madeira, da sua casca e do carvão vegetal, o melhor espaçamento de um plantio visando a produção de energia é o 3,0 x 1,5 metros.

Desta forma, conclui-se que a utilização de plantios adensados em povoamentos florestais destinados à produção de energia vem se apresentando como uma forma eficiente de aumentar a produtividade de todo o processo, portanto, para decisão final da condução do povoamento mais ou menos adensado, além de todas as características avaliadas neste estudo, deve-se levar em consideração os demais custos que envolvem todo o processo de produção florestal, como plantio, manutenção, colheita e transporte florestal.

5. Anexos

Altura das árvores nas quatro idades e nos cinco espaçamentos

Tabela 1 – Valores médios da altura das árvores nas quatro idades

Idade (meses)	Espaçamento (metros)	Altura média (metros)
48	3,0 x 0,5	16,75
48	3,0 x 1,0	18,50
48	3,0 x 1,5	19,99
48	3,0 x 2,0	20,99
48	3,0 x 3,0	21,80
61	3,0 x 0,5	17,77
61	3,0 x 1,0	20,64
61	3,0 x 1,5	22,98
61	3,0 x 2,0	23,69
61	3,0 x 3,0	24,47
77	3,0 x 0,5	18,01
77	3,0 x 1,0	21,64
77	3,0 x 1,5	23,86
77	3,0 x 2,0	25,47
77	3,0 x 3,0	26,88
85	3,0 x 0,5	17,13
85	3,0 x 1,0	21,19
85	3,0 x 1,5	22,69
85	3,0 x 2,0	25,31
85	3,0 x 3,0	26,02

Volume médio com casca e sem casca nas quatro idades e nos cinco espaçamentos

Tabela 2 – Valores médios do volume com casca e sem casca nas quatro idades e nos cinco espaçamentos

Idade (meses)	Espaçamento (metros)	Vcc/ha (m³)	Vsc/ha (m³)
48	3,0 x 0,5	223,50	194,02
	3,0 x 1,0	179,75	154,47
	3,0 x 1,5	173,57	148,89
	3,0 x 2,0	156,82	134,38
	3,0 x 3,0	138,12	118,04
61	3,0 x 0,5	234,71	199,63
	3,0 x 1,0	222,06	189,26
	3,0 x 1,5	230,76	195,67
	3,0 x 2,0	188,66	160,99
	3,0 x 3,0	180,66	153,84
77	3,0 x 0,5	249,6	249,60
	3,0 x 1,0	244,08	244,08
	3,0 x 1,5	234,64	232,64
	3,0 x 2,0	227,07	227,07
	3,0 x 3,0	204,33	204,33
85	3,0 x 0,5	255,23	250,26
	3,0 x 1,0	257,9	260,56
	3,0 x 1,5	257,55	241,50
	3,0 x 2,0	235,84	235,50
	3,0 x 3,0	219,18	217,99

Incremento médio anual nas quatro idades e nos cinco espaçamentos

Tabela 3 – Valores médios do Incremento médio anual para as quatro idades

Idade (meses)	Espaçamento (m)	IMA (m³/ha.ano)
48	3,0 X 0,5	55,87
48	3,0 X 1,0	46,17
48	3,0 X 1,5	38,9
48	3,0 X 2,0	36,03
48	3,0 X 3,0	44,94
61	3,0 X 0,5	43,68
61	3,0 X 1,0	38,04
61	3,0 X 1,5	36,41
61	3,0 X 2,0	43,39
61	3,0 X 3,0	45,4
77	3,0 X 0,5	36,26
77	3,0 X 1,0	36,36
77	3,0 X 1,5	39,2
77	3,0 X 2,0	37,11
77	3,0 X 3,0	35,39
85	3,0 X 0,5	33,29
85	3,0 X 1,0	34,53
85	3,0 X 1,5	35,54
85	3,0 X 2,0	31,84
85	3,0 X 3,0	30,94