

LARISSA CARVALHO SANTOS

**PROPRIEDADES DA MADEIRA E ESTIMATIVAS DE MASSA, CARBONO E ENERGIA DE
CLONES DE *Eucalyptus* PLANTADOS EM DIFERENTES LOCAIS**

Monografia apresentada ao Departamento
de Engenharia Florestal da Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do curso de Engenharia Florestal

VIÇOSA
MINAS GERAIS - BRASIL
AGOSTO 2013

LARISSA CARVALHO SANTOS

**PROPRIEDADES DA MADEIRA E ESTIMATIVAS DE MASSA, CARBONO E ENERGIA DE
CLONES DE *Eucalyptus* PLANTADOS EM DIFERENTES LOCAIS**

Monografia apresentada ao Departamento
de Engenharia Florestal da Universidade
Federal de Viçosa, como parte das
exigências do curso de Engenharia Florestal

APROVADA em agosto de 2013

Prof^ª. Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho
(ORIENTADORA)

AGRADECIMENTOS

A Deus, por proporcionar tantas coisas boas em minha vida.

Aos meus pais, Sebastião de Moura Santos e Juliana Carvalho Moura Santos e à minha irmã Lívia Carvalho Santos pelo em todos os momentos.

À professora Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho pela orientação e oportunidades concedidas.

Aos co-orientadores, doutorandos e amigos Bárbara Luísa Corradi Pereira e Aylson Costa Oliveira pelos ensinamentos, orientação, compreensão, paciência e ajuda de sempre.

Aos funcionários do Laboratório de Propriedades da Madeira (LPM) e Laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM).

Ao Departamento de Engenharia Florestal (DEF) e à Universidade Federal de Viçosa (UFV) pelos recursos.

Aos meus amigos e familiares pelo incentivo e amizade.

BIOGRAFIA

Larissa Carvalho Santos, filha de Sebastião de Moura Santos e Juliana Carvalho Moura Santos, nasceu em 26 de fevereiro de 1989, em João Monlevade, Minas Gerais.

Em 2006 concluiu o 2º grau no Centro Municipal de Educação Nossa Senhora do Rosário (CMENSR), em Barão de Cocais, Minas Gerais.

Em 2008, iniciou o curso de Engenharia Florestal na Universidade Federal de Viçosa, estagiando nas áreas de Tecnologia da Madeira, Fomento Florestal e Propagação Vegetativa.

Concluiu a graduação em setembro de 2013.

CONTEÚDO

EXTRATO	vi
1. INTRODUÇÃO.....	8
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	10
2.1. Florestas de Eucalipto para Produção de Energia	10
2.2. Propriedades da Madeira para Produção de Energia	12
2.3. Densidade da Madeira.....	12
2.4. Poder Calorífico.....	14
2.5. Teor de Carbono	15
2.6. Influência do Local	16
3. OBJETIVOS	18
4. MATERIAL E MÉTODOS	19
4.1. Material Biológico.....	19
4.2. Preparo das Amostras	20
4.3. Densidade Básica da Madeira	20
4.4. Poder Calorífico Superior da Madeira.....	21
4.5. Teor de Carbono na Madeira	21

4.6.	Estimativas de Massa Seca de Madeira, Carbono e Energia.....	22
4.7.	Análise Estatística dos Dados	23
5.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	24
5.1.	Incremento Médio Anual (IMA)	24
5.2.	Propriedades da Madeira	25
5.2.1.	Densidade Básica	27
5.2.2.	Poder Calorífico Superior	28
5.2.3.	Teor de Carbono.....	29
5.3.	Massa Seca de Madeira (MSM), Massa de Carbono e Energia	30
5.3.1.	Massa Seca de Madeira	31
5.3.2.	Massa de Carbono.....	31
5.3.3.	Energia Disponível.....	32
6.	CONCLUSÕES	34
7.	REFERÊNCIAS	36

EXTRATO

SANTOS, Larissa Carvalho. Monografia de graduação. Universidade Federal de Viçosa, abril de 2006. **Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais.** Orientadora: Ana Márcia Macedo Ladeira Carvalho.

As diferentes espécies de *Eucalyptus* são aptas para as mais diversas utilizações, sendo uma delas o emprego de sua madeira para geração de energia, a partir da sua queima direta, na forma de lenha, ou da sua conversão em carvão vegetal. Além das propriedades da madeira, informações a respeito da estimativa de massa, carbono fixado e quantidade de energia disponível por área de plantio são importantes para a previsão da quantidade de produtos a ser gerada por material genético em dado local. Diante da importância da matéria-prima, no caso a madeira, na produção de energia, a presente monografia teve como objetivo principal estimar massa, carbono e energia na madeira de três clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais, com o intuito de direcionar quais clones melhor se adaptam a cada local avaliado. Foi observado que existe uma grande relação entre o incremento médio anual e acúmulo de massa seca de madeira, de massa de carbono e de energia. No estudo realizado, não se observou relação entre o local e a densidade, e não houve diferenças significativas entre o poder

calorífico superior dos diferentes materiais. Os clones 1 e 3 apresentaram melhor desenvolvimento em Turmalina; já em Itacambira os melhores resultados foram obtidos para o clone 2.

1. INTRODUÇÃO

O gênero *Eucalyptus*, de ocorrência natural na Austrália, possui cerca de 600 espécies adaptadas às diversas condições de clima e solo e utilizadas para os mais diversos fins. Introduzido em nosso país em 1903, a eucaliptocultura no Brasil é hoje uma das mais avançadas do mundo, servindo de exemplo para outros países, inclusive para a Austrália.

As diferentes espécies de eucaliptos são aptas para as mais variadas utilizações: sua madeira é amplamente empregada como matéria prima em serrarias, usinas de preservação, indústrias de painéis, de chapas de madeira reconstituída e de celulose e papel. Outro emprego é a geração de energia a partir da sua queima direta (na forma de lenha), ou da sua conversão em subprodutos de maior valor energético (como o carvão vegetal).

Na geração de energia, a madeira do gênero *Eucalyptus* tem grande importância nos setores comercial, industrial e residencial. O carvão vegetal é uma excelente matéria-prima para a siderurgia brasileira, devido ao seu valor como combustível e termorreduzidor, elevado grau de pureza e baixo custo de produção, além de ser um produto renovável e ambientalmente correto, quando oriundo de florestas plantadas.

Com a intenção de produzir um maior volume de biomassa por área, em menor espaço de tempo, surgiu, na década de 80, o conceito de florestas energéticas, que define as plantações florestais com grande número de árvores por hectare e, conseqüentemente, de curta rotação (MAGALHÃES, 2001). Nesse contexto, os estudos que visam à seleção de espécies em florestas energéticas de eucalipto propõem homogeneizar as propriedades da madeira e melhorar, além da eficiência na queima direta, rendimentos em carvão, teor de carbono e outras propriedades desejáveis na sua utilização como termorreductor.

Segundo Trugilho et al. (2010) a produtividade do plantio é uma informação que deve se avaliada através da estimativa de massa de madeira por área, para fazer a previsão da quantidade produzida e da quantidade de carbono fixado por um material genético em dado local. Para Vale et al. (2000), a utilização de uma determinada madeira para fins energéticos deve basear-se, também, no conhecimento do seu poder calorífico e no seu potencial para produção de biomassa.

O local de plantio, o ambiente no qual a floresta é implantada, também interfere na produção. Em Minas Gerais, os plantios estão distribuídos em diferentes regiões e apresentam diferentes taxas de incremento volumétrico, o qual sofre influência do material genético, do ambiente e da interação genótipo x ambiente (ZOBEL e JETT, 1995, citado por TRUGILHO, 2010).

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Florestas de Eucalipto para Produção de Energia

Nas últimas décadas o setor florestal brasileiro de florestas plantadas vem aprimorando suas técnicas relacionadas ao aumento da produtividade florestal e da qualidade final da madeira para suas diferentes aplicações (FREDERICO, 2009). Investimentos em pesquisas, aplicação de técnicas de manejo específicas, melhoramento genético de sementes e clonagem têm aumentado consideravelmente a produtividade das florestas plantadas das empresas no país (PALUDZYSYN FILHO, 2008).

No Brasil, a madeira quando empregada para geração de energia, é dividida entre a produção de carvão vegetal e o consumo direto da lenha para a produção de calor e energia. Em outros países, sistemas bioenergéticos avançados já são utilizados para produzir calor e gerar energia elétrica, contudo, na maioria dos países em desenvolvimento, inclusive no Brasil, apesar de o uso de madeira para energia ser importante, prevalece o uso tradicional de lenha e carvão vegetal (VITAL et al., 2013).

De acordo com ABRAF (2013), em 2012 no Brasil foram consumidos 17,8 milhões de m³ e produzidos 52,2 milhões de m³ de lenha a partir de florestas

plantadas. O estabelecimento de florestas para a produção de energia envolve a seleção de material genético superior, aliando a produtividade das florestas com a qualidade desejada da madeira para fins energéticos: eucaliptos com elevado potencial produtivo, madeira densa e alto teor de lignina (PALUDZYSYN FILHO, 2008).

Segundo a FAO (2011), citada por Vital et al. (2013), nos países em desenvolvimento, a madeira é um componente de grande importância no suprimento de energia primária, especialmente no uso doméstico e industrial, que consome mais de 50% do volume total da madeira mundialmente utilizada. Também nos países desenvolvidos a madeira é fonte de energia primária, porém, consumida em menor volume.

Um importante consumidor de madeira para energia no Brasil é o setor residencial, em que a madeira é usada principalmente para cocção. Outra parte significativa da biomassa é destinada à produção de carvão vegetal, sendo o Brasil o maior produtor mundial. Os principais consumidores são os produtores de ferro gusa, de aço e de ferros-liga e, em menor escala, o comércio e o consumidor residencial. O carvão vegetal apresenta diversas vantagens em relação ao carvão mineral: é renovável, menos poluente, tem baixo teor de cinzas, enxofre e fósforo, e a tecnologia para sua fabricação está consolidada no Brasil. Em 2012, foram produzidos 17,8 milhões de m³ de carvão vegetal com madeira oriunda de florestas plantadas, dos quais 72% foram consumidos pelos produtores de ferro gusa independentes (ABRAF, 2013). Infelizmente, em torno de 55,0% da produção brasileira de carvão vegetal ainda é proveniente de florestas nativas (MME, 2011), mas a tendência é que a cada ano este consumo diminua, sendo substituído por madeira de florestas plantadas, em função do maior controle exercido pelos órgãos fiscalizadores e também pelo aumento das pressões sociais na preservação dos recursos naturais (VITAL et al., 2013).

Ainda segundo Vital et al. (2013), outro setor consumidor de madeira para energia no Brasil são os vários empreendimentos industriais do ramo do cimento, químico, alimentos e bebidas, papel e celulose e cerâmicas. O setor agrícola é também grande demandador de madeira para energia no país e, apesar da inexistência de

diagnóstico preciso sobre a distribuição desse consumo, acredita-se que a dependência se concentre na secagem de grãos.

2.2. Propriedades da Madeira para Produção de Energia

Conforme afirmam Vital et al. (2013), o uso racional e mais econômico da madeira depende da identificação e adequação de algumas de suas propriedades, de modo que estas atendam às características relacionadas com seu produto final. O eucalipto, por ser uma madeira de elevadas versatilidade e produtividade, atende, na maioria dos casos, à necessidade energética do país.

O uso da madeira como fonte energética depende da identificação dos índices de qualidade mais importantes, das interações entre eles, e da quantificação da sua importância. As propriedades da madeira destinada à produção de carvão vegetal são diferentes daquelas necessárias para a geração de energia por meio da queima direta: para a queima direta, é melhor utilizar madeiras com maior poder calorífico, porque o rendimento energético será maior; para a produção de carvão vegetal, a madeira deve conter maior teor de lignina e menor teor de holoceluloses, bem como maior densidade (VITAL et al., 2013).

2.3. Densidade da Madeira

De acordo com Vital et al. (2013), a densidade básica da madeira é um parâmetro referencial para a seleção de espécies florestais indicadas para a produção de energia, sendo um dos mais importantes índices de qualidade nas suas mais diversas aplicações. Sua importância é observada desde o plantio até o processamento final: no plantio, espécies de maior densidade resultam em maior produtividade em massa de madeira por unidade de área; na colheita, madeiras de maior densidade propiciam a redução dos custos de transporte, uma vez que será transportada maior massa de madeira para a mesma unidade de volume.

Segundo Shimoyama (1990), a densidade básica é uma quantificação direta do material lenhoso por unidade de volume, estando relacionada com muitas propriedades e características tecnológicas importantes para a produção e a utilização dos produtos florestais. Também é referenciada por vários autores como índice de qualidade da madeira, já que influencia outras propriedades da mesma e dos produtos que são gerados, porém, por ser influenciada por diversos fatores inerentes a cada gênero, espécie e árvore, não é aconselhável sua utilização isolada como parâmetro de qualidade (Lelles & Silva 1997).

É uma propriedade fácil de ser determinada (é obtida a partir da relação entre massa absolutamente seca e volume saturado, sendo expressa em g/cm^3 ou kg/m^3) (PANSIN; DeZEEUW, 1980). É o resultado de uma complexa combinação dos seus constituintes anatômicos, e pode variar entre espécies e dentro da mesma espécie, o que pode ocorrer devido à idade da árvore, genótipo, índice de sítio, clima, localização geográfica e tratamentos culturais, entre outros (VITAL et al., 2013). Normalmente, a densidade tende a aumentar com a idade, como consequência do aumento da espessura da parede celular e diminuição da largura das células (VITAL et al., 1984).

De acordo com Silva (2001) a densidade básica da madeira de eucalipto varia desde “leves” a “pesadas”, com valores entre 0,4 e 1,2 g/cm^3 . Segundo Frederico (2009), no emprego direto para a geração de energia a partir da queima na forma de lenha, a madeira de maior densidade resulta num combustível de maior energia concentrada, devido à maior massa de combustível contida na mesma unidade de volume, e, na produção de carvão, a madeira de maior densidade leva a um maior rendimento em massa de carvão para o mesmo volume do forno; além disso, madeira mais densa produz carvão com densidade mais elevada, com vantagens para alguns de seus usos. O aumento da densidade da madeira, associado a maiores teores de lignina, produz um carvão de melhor qualidade, com aumento do rendimento gravimétrico, do teor de carbono fixo e da densidade aparente do carvão (PEREIRA et al., 2000).

Vital et al. (2013) afirmam que essas correlações são importantes, pois ajudam a selecionar a madeira e tomar os devidos cuidados no manejo das árvores a serem utilizadas para quaisquer fins, inclusive para produção de energia.

2.4. Poder Calorífico

Quirino et al. (2004), citando Jara (1989), definem poder calorífico como a quantidade de energia, na forma de calor, liberada pela combustão de uma unidade de massa da madeira. Expresso em kcal/kg para combustíveis sólidos e líquidos e kcal/m³ para combustíveis gasosos, divide-se em superior e inferior (VITAL, 2013).

O poder calorífico superior (PCS) é aquele no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor que é derivado desta condensação é recuperado (BRIANE & DOAT, 1985). O poder calorífico inferior (PCI) é a energia efetivamente disponível por unidade de massa de combustível após deduzir as perdas com a evaporação da água (JARA, 1989).

Como já dito anteriormente, segundo Vital et al. (2013), quando o objetivo é a queima direta, o melhor é utilizar madeiras com maior poder calorífico, pois o rendimento energético será maior. O poder calorífico das várias espécies de dicotiledôneas lenhosas varia entre 4.415,3 e 4.534,6 kcal/kg. As coníferas geralmente possuem um poder calorífico cerca de 2% maior do que as folhosas. Essa diferença se deve ao maior teor de lignina das coníferas e teores mais elevados de resina, óleos e ceras. Comparado com a celulose (4.105 a 4.176,6 kcal/kg) e hemiceluloses (3.818,6 kcal/kg) o poder calorífico da lignina é maior (5.011,9 a 6.443,9 kcal/kg) devido ao seu teor de carbono mais elevado.

Variações do poder calorífico da biomassa podem ocorrer, ainda, devido às pequenas variações em seus teores de carbono, hidrogênio, oxigênio e cinzas: um aumento de 1% na concentração de carbono eleva em cerca de 93,8 kcal/kg o poder calorífico; para cada grama de oxigênio consumido, são 3,4 kcal/kg (JENKINS et al., 1998); para cada 1% no teor de cinza, há redução de cerca de 47,7 kcal/kg (as cinzas não contribuem para a geração de calor, embora alguns de seus componentes possam atuar como catalisadores da decomposição térmica) (QUIRINO et al., 2004).

Vital et al. (2013) citam que o PCS pode ser determinado experimentalmente em uma bomba calorimétrica, ou teoricamente pela composição química elementar da biomassa em percentagem da massa anidra, através da Fórmula de Dulong:

$$PCS = 33774 C + 141744(H-O/8) + 9238S \text{ kg/kg}$$

Em que: C, H, O e S são os percentuais de carbono, hidrogênio, oxigênio e enxofre, respectivamente.

2.5. Teor de Carbono

De acordo com Unger et al. (2001), ignorando pequenas quantidades de nitrogênio e outros elementos tais como o enxofre, a madeira é constituída por aproximadamente 50% de carbono, 6% de hidrogênio e 44% de oxigênio. Trugilho et al. (2012) determinaram a composição química elementar da madeira de 15 clones de eucalipto para a bioenergia, e encontraram os seguintes teores: 47,21 - 49,93% de carbono, 4,88 - 6,12% de hidrogênio, 0,30 - 2,43% de nitrogênio, e 43,11 - 46,02% de oxigênio.

Dos componentes da biomassa, a lignina é o polímero de maior teor de carbono, e este teor varia em função do tipo de madeira, da sua forma de extração, entre outros fatores (FREDERICO, 2009). Para a lignina de folhosas, o teor de carbono é de 59 a 60%, enquanto para a celulose é de cerca de 45% (KLOCKL et al., 2000). Ademais, diversos extrativos possuem elevado teor de carbono, como os de origem fenólica, e contribuem significativamente para o aumento do poder calorífico da madeira e do carvão (FREDERICO, 2009).

Segundo Pereira et al. (2013), mesmo quando as diferenças são mínimas, quando o objetivo é a produção de energia a partir da madeira, deve-se dar preferência às espécies com maiores percentagens de carbono e hidrogênio. Para Trugilho et al. (2012), Demirbas e Demirbas (2004) e Protássio et al. 2011, a composição elementar é importante para a caracterização do combustível, pois a

energia gerada pela degradação térmica está associada com a entalpia de carbono, hidrogênio, e enxofre, já que o carbono e o hidrogênio são os elementos que mais contribuem para o poder calorífico do combustível.

2.6. Influência do Local

O potencial energético da madeira sofre influência de diversos fatores, como a espécie ou clone, idade, local de plantio e interações, podendo afetar de forma considerável a qualidade do carvão vegetal (NEVES et al., 2011). Além disso, a constituição química e anatômica da madeira sofre influência do ritmo de crescimento da árvore, sendo este dependente de fatores intrínsecos à sua estrutura, representado pelo genótipo e, de fatores do ambiente, representados pela luz, temperatura, água, nutrientes e gás carbônico (FINGER & SCHNEIDER, 1999).

As propriedades físicas e químicas da madeira são diretamente afetadas pelas diferenças nas taxas de crescimento das árvores, resultando em uma alta variabilidade em qualidade da matéria-prima (VIDAURRE et al., 2011, citado por REIS et al., 2012), que por sua vez, influenciam diretamente a qualidade e produção do carvão vegetal (REIS et al., 2012).

Frederico (2009), estudando o efeito da madeira e do local nas propriedades do carvão vegetal, observou que as propriedades físicas e químicas da madeira apresentaram diferenças significativas entre os clones e as regiões e interação entre eles: em seu trabalho, solos que apresentaram maior fertilidade e boas características físicas, porém menor precipitação e maior déficit hídrico influenciaram no aumento do teor de extrativos na madeira dos clones, como resposta a condições adversas do ambiente; também verificou que a densidade aparente dos carvões não teve efeito significativo da interação entre os clones e as regiões, e no seu estudo, independentemente do clone, uma região específica apresentou as características favoráveis para que todos os clones apresentassem maior densidade aparente quando lá desenvolvidos.

Nesse sentido, Neves et al. (2011) observaram dependência dos fatores clone x local para características da madeira de Eucalyptus, como a densidade básica e o teor de lignina total, evidenciando assim a necessidade de seleção de clones específicos para determinado sítio (REIS et al., 2012).

3. OBJETIVOS

Considerando a importância exercida pela matéria-prima sobre as características e propriedades do produto final, neste caso, madeira para queima direta na forma de lenha e carvão vegetal, a presente monografia teve como objetivo principal determinar a densidade básica e poder calorífico, além de estimar massa, carbono e energia disponíveis na madeira de diferentes clones de *Eucalyptus* plantados em diferentes locais, com o intuito de direcionar os clones que melhor se desenvolverem em cada ambiente.

4. MATERIAL E MÉTODOS

4.1. Material Biológico

Foram utilizados três clones híbridos de *Eucalyptus urophylla* (Quadro 1), provenientes de plantios comerciais da empresa Plantar S.A., nos municípios de Turmalina e Itacambira, ambos localizados em Minas Gerais. Selecionaram-se árvores com diâmetro médio representativos de cada povoamento. Foram colhidas quatro árvores, por clone e local, totalizando 24 amostras. Os clones foram coletados em plantios comerciais com espaçamento de 3,0 x 3,0 m, aos 6 anos de idade, aproximadamente.

Itacambira faz parte da mesorregião Norte de Minas, o clima característico é tropical de altitude e está localizada a 17° 3' 54" S, 43° 18' 32" W. Turmalina compõe a mesorregião Jequitinhonha, o clima é tropical e ela se localiza a 17° 17' 9" S, 42° 43' 48" W. Estas cidades se distanciam em 97 km.

QUADRO 1 - Clones híbridos *Eucalyptus urophylla* utilizados no experimento, locais e suas respectivas características e climáticas.

Local	Material genético	Altitude (m)	Pluviosidade (mm/ano)	Temperatura média (°C)
Itacambira	Clone 1	765/1480	1082	22
	Clone 2			
	Clone 3			
Turmalina	Clone 1	450/1.020	1028,5	23
	Clone 2			
	Clone 3			

4.2. Preparo das Amostras

Foram retirados toretes de 0,1 m na base, a 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco, considerada até um diâmetro mínimo de 7 cm. De cada torete foi retirado um disco de faces paralelas, e dele obtidas duas cunhas opostas, utilizadas para a determinação da densidade básica da madeira. O restante do disco foi utilizado para a produção de serragem, visando às análises da composição elementar e poder calorífico superior dos diferentes materiais genéticos estudados. As análises foram realizadas sob amostragem composta.

4.3. Densidade Básica da Madeira

Dos discos referentes às alturas amostradas, retiraram-se duas amostras opostas, em forma de cunha, passando pela medula, as quais foram identificadas e destinadas à determinação da densidade básica da madeira. Os procedimentos utilizados para a análise estão de acordo com o método de imersão em água, descrito por Vital (1984) e pela NBR 11941 (2003), utilizando-se uma balança hidrostática. Os valores foram calculados a partir da média aritmética das densidades das respectivas cunhas.

4.4. Poder Calorífico Superior da Madeira

O poder calorífico superior da madeira foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela norma da ABNT NBR 8633 (2003), utilizando-se uma bomba calorimétrica adiabática.

4.5. Teor de Carbono na Madeira

Este teste foi feito conforme metodologia descrita por Ramos e Paula et al. (2011). O teor de carbono foi calculado aferindo-se uma massa equivalente a 2,0 mg ($\pm 0,5$) de serragem seca à temperatura de 105 °C (± 2), em um porta-amostra de estanho, previamente selecionada em peneiras sobrepostas de 200 e 270 mesh, sendo utilizada a fração retida nessa última. Em seguida, as amostras foram colocadas no carrossel do equipamento da marca Elementar®, modelo Vario Micro Cube CHNS-O. A análise foi realizada em uma amostra por vez. Os gases necessários para a operação foram o hélio, que é o gás de arraste, e o oxigênio, gás de ignição. A temperatura do tubo de combustão, localizado no interior do equipamento, no momento da queda da amostra do carrossel, foi de 1.150°C. Após a combustão os gases foram transportados por arraste para o tubo de redução e dele seguiram para a coluna de detecção. O carbono, assim como os outros elementos, foi detectado através de um detector de termocondutividade, onde cada elemento tem interação e pico específico. O computador que estava acoplado ao equipamento realiza o cálculo da porcentagem de cada elemento, sendo considerado, no presente estudo, somente o teor de carbono.

4.6. Estimativas de Massa Seca de Madeira, Carbono e Energia

A massa seca de madeira sem casca por hectare/ano foi obtida multiplicando-se o incremento médio anual ($\text{m}^3 \cdot \text{ha} \cdot \text{ano}$) da madeira sem casca pela densidade básica da madeira (kg/m^3), conforme equação:

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

Onde:

MSM = massa seca de madeira (t);

IMA = incremento médio anual ($\text{m}^3/\text{ha} \cdot \text{ano}$);

Dbm = densidade básica da madeira (kg/m^3);

A massa de carbono (expressa em tonelada) foi obtida multiplicando-se a massa seca de madeira pela porcentagem de carbono presente na madeira, conforme a equação abaixo:

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

Onde:

MC = massa de carbono;

MSM = massa seca da madeira;

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 pelo poder calorífico superior, fazendo-se a equivalência de 1 kWh a 859,85 kcal.

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

Onde:

Energia (kW.h) = energia por hectare;

MSM = massa seca da madeira;

PCS mad = poder calorífico superior da madeira.

4.7. Análise Estatística dos Dados

Para avaliar o efeito das diferentes regiões e dos clones nas propriedades da madeira e nas estimativas de massa e energia, instalou-se um fatorial completo no delineamento inteiramente casualizado, onde foram comparadas duas regiões de plantio e três clones, com quatro repetições (árvores), totalizando 6 tratamentos e 24 observações.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA) e, quando estabelecidas diferenças significativas, foram feitos os devidos desdobramentos e os tratamentos foram comparados entre si por meio do teste de Tukey, a 5% de probabilidade e 95% de significância.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Incremento Médio Anual (IMA)

O Quadro 2 apresenta os incrementos médios anuais (IMAs), observados para cada clone, nos diferentes locais.

QUADRO 2 – Incrementos Médios Anuais (IMAs), em m³/ha.ano, observados para os três clones, desenvolvidos em Turmalina e Itacambira, Minas Gerais, considerando a madeira sem casca.

Clone	Turmalina	Itacambira
1	43,40	31,95
2	39,18	39,07
3	44,51	31,68

Verificou-se que Turmalina apresentou condições mais favoráveis ao desenvolvimento dos clones, uma vez que o incremento médio anual de todos eles foi

superior neste local. Em ordem decrescente, os maiores IMAs observados em Turmalina foram: clone 3, clone 1, clone 2. Em Itacambira: clone 2, clone 1 e clone 3. De acordo com Gomide et al. (2005), nas últimas décadas, no Brasil houve uma ampla evolução no aspecto de produtividade das florestas de *Eucalyptus*, alcançando-se os mais elevados níveis mundiais de incremento médio anual (IMA). Neste estudo, Turmalina apresentou melhores condições ao desenvolvimento dos clones e uma hipótese para justificar o maior valor de IMA apresentado é o índice pluviométrico superior deste local, que favoreceu o desenvolvimento dos indivíduos estudados.

5.2. Propriedades da Madeira

O Quadro 3 apresenta o resumo da análise de variância (ANOVA) das propriedades da madeira (densidade básica e poder calorífico superior) e das estimativas de massa de madeira seca, massa de carbono e quantidade de energia por hectare/ano.

QUADRO 3 – Resumo da análise de variância dos dados referentes à densidade básica e poder calorífico superior da madeira, estimativas de massa de madeira seca, massa de carbono e quantidade de energia por hectare/ano.

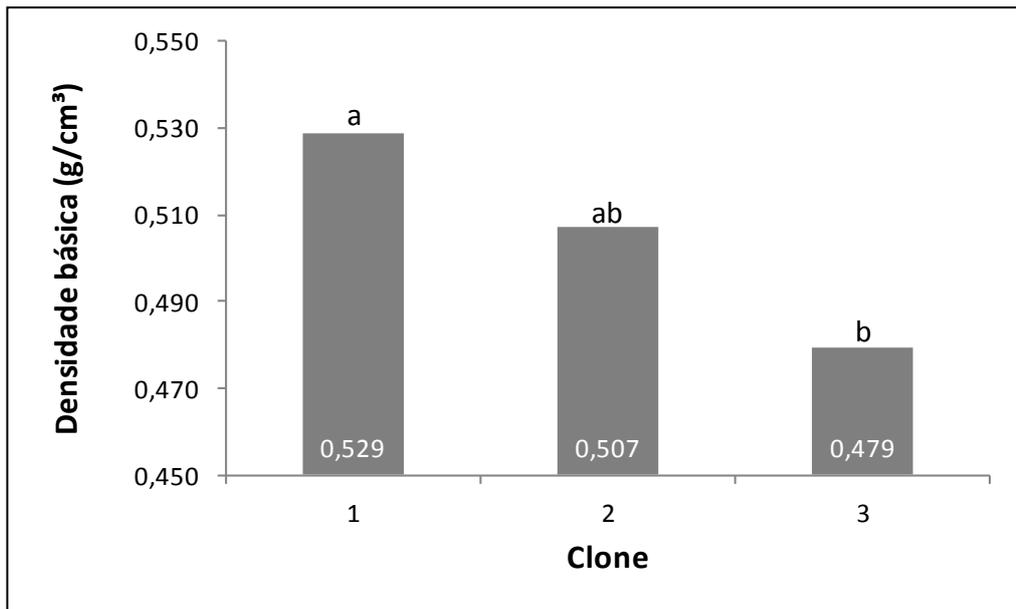
Fonte de Variação	Quadrado Médio						
	GL	Densidade	PCS	C (%)	MSM	MC	Energia
Clone	2	0,004863*	5657,70 ^{NS}	0,40 ^N _S	6,202*	1,268*	165826830,00*
Local	1	0,000000 ^N _S	4830,84 ^{NS}	0,95 ^N _S	99,453*	20,229*	2870461556,95*
Clone*Local	2	0,000611 ^N _S	14910,59 ^N _S	9,66*	34,209*	5,201*	893682756,28*
Erro	18	0,000607	4984,98	2,57	0,941	0,349	28561020,22
Total	23						

GL= graus de liberdade; PCS= poder calorífico superior da madeira; C(%)= porcentagem de carbono na madeira; MSM= Massa seca de madeira; MC= Massa de carbono; * = significativo a 5% de probabilidade pelo teste F; ^{NS}=não significativo ao nível de 5% de probabilidade pelo teste F.

Observou-se que para a densidade básica, apenas o fator clone foi significativo a 5% de probabilidade e que não há interação entre os fatores clone e local de plantio; para o poder calorífico superior nenhum dos fatores analisados (clone e local) foi significativo, ou seja, não há diferença significativa de poder calorífico superior (PCS) para os diferentes materiais avaliados, a 5% de probabilidade; já para a porcentagem de carbono e estimativas de massa seca de madeira, massa de carbono e energia disponível, foi significativo o efeito dos fatores clone e local e verificou-se também a interação significativa entre eles pelo teste F ($P < 0,05$), necessitando-se do desdobramento das interações.

5.2.1. Densidade Básica

Os valores médios da densidade básica da madeira dos diferentes materiais genéticos de eucalipto são mostrados na FIGURA 1.



Médias seguidas de mesma letra não diferem entre si, pelo Teste de Tukey, a 5% probabilidade.

FIGURA 1 – Densidade básica média da madeira, em g/cm³, dos diferentes clones de *Eucalyptus*.

A densidade básica da madeira dos diferentes clones não foi afetada pelas regiões analisadas. Houve somente diferenças significativas de densidade básica da madeira entre clones, a 5% de probabilidade. Verificou-se, pelo gráfico da Figura 1, que a densidade dos clones 1 e 3 diferiram entre si, mas que o clone 2 não diferiu significativamente dos demais. A maior densidade básica da madeira foi observada para o clone 1 (0,529 g/cm³), seguido pelo clone 2 (0,507 g/cm³) e a menor densidade foi apresentada pelo clone 3 (0,479 g/cm³).

Como apenas o fator clone foi significativo, podemos inferir que a densidade da madeira é uma característica muito mais influenciada pela herança genética que pelo ambiente, como foi dito por Trugilho et al. (2010), ao afirmarem que tanto o volume individual da árvore como a densidade básica e a estimativa de massa seca estão sob um forte controle genético.

Trugilho et al. (2001), analisando clones de *Eucalyptus* aos 7 anos, referem-se à densidade básica da madeira como a propriedade que mais influencia a qualidade do carvão vegetal. Os autores concluíram que os clones que apresentaram densidade variando de 0,52 a 0,59 g/cm³ foram potenciais para a produção de carvão. Os valores observados no presente trabalho variaram entre 0,479 e 0,529 g/cm³, semelhantes aos encontrados na literatura para clones do gênero *Eucalyptus* para este mesmo fim (SANTOS, 2010; ROCHA, 2011).

Para a produção de carvão vegetal, também é favorável o uso de madeiras de alta densidade básica, fator que afeta sobremaneira os custos da operação. Isso porque madeira de alta densidade gera carvão de alta densidade, o que reduz o custo de transporte, além de fornecer maior rendimento, já que para um mesmo volume do forno madeiras mais densas representam maior massa enforada, quando comparadas com madeiras menos densas. Além disso, no emprego direto para a geração de energia a partir da queima na forma de lenha, a madeira de maior densidade resulta num combustível de maior energia concentrada, devido à maior massa de combustível contida na mesma unidade de volume (FREDERICO, 2009).

5.2.2. Poder Calorífico Superior

Não houve diferenças significativas a 5% de probabilidade para o PCS, sendo, este, em média, 4.455,77 Kcal/Kg. Uma hipótese para explicar estes valores não discrepantes é a de que o poder calorífico superior é uma característica genética da espécie, não variando entre clones ou entre os locais onde foram plantados. Quirino et al. (2004) avaliaram o poder calorífico superior de algumas espécies florestais, dentre elas alguns eucaliptos, e obtiveram como valor médio para *Eucalyptus urophylla*

4.499,0 kcal/kg. Brito et al (1987), comparando algumas variedades de bambu com espécies de eucalipto, encontraram valores de poder calorífico superior de 4.531 kcal/kg, para *Eucalyptus urophylla*. Vale et al. (2000) encontraram valores para o poder calorífico de *Eucalyptus grandis* variando de 4.601,0 a 4.667,0 kcal/kg e Jará (1989) encontrou 4.790 kcal/kg para o *Eucalyptus grandis* aos dez anos de idade.

Vale et al (2000), estudando diferentes doses de fertilizantes em *Eucalyptus grandis* e *Acacia mangium* concluiu que não houve influência da adubação no poder calorífico superior das duas espécies. Podemos extrapolar este resultado para o caso estudado neste trabalho, e concluir que o local não exerce influência sobre o PCS das espécies, sendo esta uma característica genética.

5.2.3. Teor de Carbono

Os valores médios do teor de carbono da madeira dos diferentes clones e locais são mostrados no Quadro 4. Não foram observadas diferenças significativas entre clones ou locais, porém, houve interação significativa entre clone e local de plantio, a 5% de probabilidade, ou seja, o comportamento do fator clone depende do local, havendo uma dependência entre os fatores.

Apenas o clone 1 apresentou diferença de comportamento entre os locais, tendo os indivíduos de Itacambira maior teor de carbono.

De modo geral, o percentual de carbono elementar tem relação positiva com o rendimento em carvão, devido à degradação térmica do mesmo. Espera-se para as madeiras que têm maiores teores de carbono, maior capacidade térmica em função da maior energia liberada na reação de combustão. Arantes (2009), ao determinar a variabilidade existente nas características da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, aos seis anos de idade, encontrou valores para teores de carbono variando entre 49,51% e 49,84%; Os valores encontrados no presente trabalho variam entre 45,81% a 48,59%.

Quadro 4 – Valores médios do teor de carbono presente na madeira, em %, para os diferentes clones estudados, desenvolvidos em Turmalina e Itacambira, Minas Gerais.

Clone	Turmalina	Itacambira
1	45,81 bA	48,59 aA
2	47,53 aA	45,99 aA
3	47,06 aA	47,01 aA

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na linha, ou pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey a 5% probabilidade.

5.3. Massa Seca de Madeira (MSM), Massa de Carbono e Energia

No Quadro 5 são apresentados os valores médios das estimativas da massa seca, massa de carbono e energia, em função dos clones e locais.

QUADRO 5 – Valores médios das estimativas de massa seca de madeira, massa de carbono e energia para os diferentes clones estudados, desenvolvidos em Turmalina e Itacambira, Minas Gerais.

Clone	Turmalina	Itacambira
	Massa seca de madeira (t/ ha.ano)	
1	23,28 aA	16,5 bB
2	19,49 aC	20,18 aA
3	21,40 aB	15,27 bB
Clone	Carbono (t/ ha.ano)	
	Turmalina	Itacambira
1	10,66 aA	8,02 bB
2	9,27 aB	9,29 aA
3	10,07 aAB	7,18 bB
Clone	Energia Disponível (kw.h/ha.ano)	
	Turmalina	Itacambira
1	122428,60 aA	84971,36 bB
2	100980,57 aB	103169,31 aA
3	110302,95 aB	79953,66 bB

Médias seguidas pela mesma letra minúscula, na linha, ou pela mesma letra maiúscula, na coluna, não diferem entre si, pelo Teste de Tukey a 5% probabilidade.

5.3.1. Massa Seca de Madeira

Comparando-se os clones, em Turmalina todos diferiram significativamente entre si, acompanhando o incremento médio anual destes clones neste local, sendo a massa seca de madeira do clone 1 estatisticamente superior aos clones 2 e 3. Em Itacambira, os clones 1 e 3 diferiram significativamente do clone 2, tendo este apresentado maior valor estimado de massa seca, acompanhando o maior IMA deste clone em comparação aos demais.

Em termos de local, os clones 1 e 3 diferiram significativamente entre Turmalina e Itacambira, ambos apresentando maior massa seca em Turmalina. Estes mesmo clones apresentaram maior IMA em Turmalina, evidenciando dependência entre a produtividade, dada pelo IMA, e a massa seca de madeira. Dentre todos os clones, o clone 1, em Turmalina, foi o que apresentou maior massa seca de madeira, e vale lembrar que além de seu alto IMA, a densidade básica da sua madeira foi, também, superior aos clones 2 e 3.

Segundo Oliveira, Lima e Rosado (1991), a quantificação de massa de madeira é preferível para fins energéticos, mais que a utilização dos parâmetros dendrométricos, como, por exemplo, o diâmetro, a altura e o volume de madeira.

Os valores encontrados neste estudo são superiores aos encontrados por Rocha (2011), que, analisando um híbrido de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis* em diferentes idades e espaçamentos, obteve para o espaçamento de 3,0 x 3,0 m e idade de 77 meses (aproximadamente 6,5 anos), uma produção de massa seca de madeira de 17,31 ton/ha.ano.

5.3.2. Massa de Carbono

Analisando-se os diferentes clones, em Turmalina o maior valor médio foi encontrado no clone 1, tendo este não se diferenciado estatisticamente do clone 3, que por sua vez também não se diferenciou do clone 2, que obteve menor massa de carbono/ha.ano. Em Itacambira, porém, um maior valor foi obtido para o clone 2, a

exemplo da MSM, diferindo estatisticamente dos clones 1 e 3, que apresentaram o menores valores.

Comparando-se os diferentes locais, apenas o clone 2 não apresentou diferenças em acúmulo de massa de carbono. Os clones 1 e 3 tiveram maior massa de carbono acumulada em Turmalina.

Esses valores foram determinados considerando os valores médios de porcentagem de carbono na madeira e os valores médios das estimativas de massa seca e incremento em massa seca do clone. Os valores aqui encontrados são próximos aos de Rocha (2011), que obteve uma massa de carbono correspondente a 8,66 ton/ha.ano para a idade de 77 meses.

5.3.3. Energia Disponível

Quanto à estimativa de energia estocada por hectare/ano, verificou-se que o clone 1, em Turmalina, apresentou maior quantidade de energia. Vale et al (2000) atribui a superioridade energética à maior produção de massa seca, justificativa que pode ser aplicado ao clone 1. Os demais clones não apresentaram, neste local, diferenças significativas. Em Itacambira, também acompanhando os resultados de massa seca, o clone 2 destacou-se estatisticamente dos demais, apresentando maior quantidade de energia disponível por hectare/ano.

Comparando-se os diferentes locais, os clones 1 e 3 apresentaram diferenças significativas, ambos com maior quantidade de energia/ha em Turmalina, corroborando os resultados de massa de carbono e massa seca.

Para a estimativa de energia, deve-se considerar, ainda, que o poder calorífico superior da madeira não apresentou diferenças significativas para os clones e locais analisados, ou seja, este parâmetro não influenciou na quantidade de energia disponível, ficando esta somente dependente da massa seca de madeira, em uma relação diretamente proporcional. Considerando a produção de energia, fica evidente a importância da produtividade volumétrica e da densidade básica, uma vez que estes dois parâmetros determinam a produção de massa seca de madeira (ROCHA, 2011).

O efeito significativo encontrado para clone, local, e para a interação dos mesmos, para a porcentagem de carbono e estimativas de massa seca de madeira, massa de carbono e energia disponível, sugere que estes aspectos são dependentes e ainda, que sofrem influência da carga genética, o que explica a variação entre os clones, mas também do ambiente, que podem oferecer condições mais ou menos favoráveis para o desenvolvimento do indivíduo. Este aspecto é o responsável pela diferença entre os locais, quando analisamos o mesmo clone, e também pela interação entre os fatores.

6. CONCLUSÕES

A densidade básica da madeira dos diferentes clones não foi afetada pelas regiões analisadas, apresentando variações apenas no nível de clone, o que permite inferir que esta é uma característica determinada pela carga genética do material estudado;

Em relação ao teor de carbono, apenas o clone 1 apresentou diferenças significativas quanto ao local, com maiores valores observados em Itacambira;

Quando houve diferenças significativas para acúmulo de massa seca, massa de carbono e energia/ha, os clones com melhor desempenho foram aqueles que se desenvolveram em Turmalina; com relação a esses mesmos parâmetros, o clone 1 sobressaiu-se em relação aos demais, na localidade de Turmalina; em termos de acúmulo de massa seca, o clone 2 apresentou o pior desempenho em Turmalina; em Itacambira, o melhor desempenho em termos de acúmulo de massa seca, massa de carbono e energia foram observados para o clone 2;

Os clones 1 e 3 apresentam melhor desenvolvimento em Turmalina. Em Itacambira, os melhores resultados foram obtidos para o clone 2;

Recomenda-se, para a produção de energia, seja pela combustão direta ou conversão em carvão vegetal, o plantio do clone 1 na localidade de Turmalina e do clone 2 em Itacambira.

7. REFERÊNCIAS

ARANTES, M. D. C. **Variação nas características da madeira e do carvão vegetal de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W.Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake.** 2009. 158 p. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Normas técnicas NBR 11941. Brasília, 2003. 6p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário Estatístico da ABRAF 2013 ano Base 2012.** Brasília: ABRAF, 2012. 147 p.

BRIANE, D.; DOAT, J. **Guide technique de la carbonisation:** la fabrication du charbon de bois. Aixen-Provence: ÉDISUD, 1985. 180 p.

BRITO, J. O.; TOMAZELLO FILHO, M.; SALGADO, A. L. B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de Bambu. IPEF, nº 36, p. 13-17, 1987.

DEMIRBAS, A; DEMIRBAS, H. A. Estimating the calorific values of lignocellulosic fuels. **Journal Energy, Exploration & Exploitation**, v.20, n.1, p. 105-111, 2004.

FINGER, C. A. G.; SCHNEIDER, P. R. Determinação do peso do desbaste para florestas de *Eucalyptus grandis* hill ex Maiden, com base no índice de espaçamento relativo. **Ciência Florestal**, Santa Maria, RS, v. 9, n. 1, p. 79-87, 1999.

FOOD AND AGRICULTURAL ORGANIZATION OF THE UNITED NATIONS – FAO. **State of World's Forests 2011**. Food and Agricultural Organization of the United Nations, Rome, 2011, 164p.

FREDERICO, P. G. U.; **Efeito da Região e da Madeira de Eucalipto nas Propriedades do Carvão Vegetal**. 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. UFV, 2009. 73p.

FREDERICO, P. G. U.; **Influência da densidade e composição química da madeira sobre a qualidade do carvão de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e de híbridos de *Eucalyptus grandis* X *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake** 2009. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. UFV, 2009. 66p.

GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C.; SILVA, C. M. Caracterização tecnológica, para produção de celulose, da nova geração de clones de *Eucalyptus* no Brasil. **Revista Árvore**, Viçosa, v.29, n.1, p.129-137, 2005.

JARA, E. R. P. O poder calorífico de algumas madeiras que ocorrem no Brasil. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1989. 6 p. (Comunicação Técnica, 1797).

JENKINS, B.M.; BAXTER, L.L.; MILES JR T.R.; MILES, C, T.R. Combustion properties of biomass. **Fuel Processing Technology**, v. 54, p.17-46,1998.

KLOCK, U. Qualidade da madeira juvenil de *Pinus maximinoi* H. E. Moore. Curitiba, 275f. 2000. Tese (Doutorado em Ciências Florestais, Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná).

LATORRE, F.L.; HENRIQUES, E.P. Melhoramento genético do eucalipto visando a produção de carvão vegetal para siderurgia. In: Fórum nacional de carvão vegetal, 2008, Belo Horizonte. Disponível em: <painelflorestal.com.br/exibeNews.php?id=1784>. Acesso em: 26 julho 2013.

LELLES, J. G.; SILVA, J. C. **Problemas e soluções sobre rachaduras de topo de madeiras de *Eucalyptus* sp. nas fases de desdobro e de secagem**. Informe Agropecuário, Belo Horizonte, v. 18, n. 186, p. 62-69, 1997.

MAGALHAES, J. G. R. A energia que vem da floresta. In: **Biomassa: Energia dos Trópicos em Minas Gerais**, Editora UFMG, Belo Horizonte, M.G. – 1ª Edição, p.133-144, 2001.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME 2011. **Balanço Energético Nacional 2011: Ano base 2010**. Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro; EPE, 2011. 180p.

NEVES, T. A.; PROTÁSSIO, T. P.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; SILVA, V. O.; VIEIRA, C. M. M. Avaliação de Clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando à produção de carvão vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n.68, p.319-330, 2011.

OLIVEIRA, A. D.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S. Estimativa de massa lenhosa em povoamentos de *Eucalyptus spp*. *Ciência e Prática*, Lavras, v. 15, n. 4, p. 345-348, out./dez. 1991.

PALUDZYSYN FILHO, E. Melhoramento do eucalipto para a produção de energia. **Revista Opiniões**, Ribeirão Preto, jun-ago 2008. Disponível em: <www.revistaopinioes.com.br/cp/edicao_materias.php?id=15> Acesso em: 26 Julho 2013.

PANSHIN, A.J. & DeZEEUW, C. Textbook of wood technology. 3ª ed., New York, **McGraw Hill**, 1980. 722p.

PEREIRA, B. L. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CARVALHO, A. M. M. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, A. C.; FONTES, M. P. F. Influence of chemical composition of *Eucalyptus* wood on gravimetric yield and charcoal proprieties. **BioResources**, v.8, n.3, p. 4574-4592, 2013.

PEREIRA, J. C. D.; SCHAITZA, E. G.; BAGGIO, A. J. **Propriedades físicas e químicas e rendimentos da destilação seca da madeira de *Grevillea robusta***. Colombo: Embrapa Florestas, 2000 (Embrapa Florestas. Circular técnica, 40).

PROTÁSSIO, T. P.; BUFALINO, L.; TONOLI, G. H. D.; COUTO, A. M.; TRUGILHO, P. F.; GUIMARÃES JÚNIOR, M. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.31, n.66, p. 113-122, 2011.

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.

RAMOS E PAULA, L; TRUGILHO, P. F.; NAPOLI, A.; BIANCHI, M. L. Characterization of residues from plant biomass for use in energy generation. **Revista Cerne**, v. 17, n. 2, p.237-246, 2011.

REIS, A. A.; PROTÁSSIO, T. P.; MELO, I. C. N. A.; TRUGILHO, P. F.; CARNEIRO, A. C. O. Composição da Madeira e co Carvão Vegetal de *Eucalyptus urophylla* em diferentes locais de plantio. **Pesquisa Florestal Brasileira**, Colombo, v.32, n.71, p. 277-290, 2012.

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

SANTOS, R. C.; **Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto**. 2010. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal). Universidade Federal de Viçosa. UFV, 2010. 159p.

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

SILVA, J. C. **Caracterização da madeira de *Eucalyptus grandis* HILL ex. MAIDEN, de diferentes idades, visando a sua utilização na indústria moveleira**. 2001. 160 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

TRUGILHO, P. F.; ARANTES, M. D. C.; PÁDUA, F. A.; ALMADO, R. P.; BALIZA A.E.R. Estimativa de carbono fixado na madeira de um clone híbrido *Eucalyptus urophylla* e *Eucalyptus grandis*. **Cerne**, Lavras, v.16, Suplemento, p. 33-40, jul.2010.

TRUGILHO, P. F.; BIANCHI, M. L.; ROSADO, S. C. S.; LIMA, J. T.; NAPOLI, A. Elemental analysis of clones of *Eucalyptus* wood. **Biomassa & Energia**, v.5, n.1, p. 53-58, 2012.

UNGER, A.; UNGER, W.; WAGNER, G; SCHNIEWIND, A. P. *Conservation of wood artifacts*. Herrmann, B (ed), Springer Verlag, Berlin, 2001.

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.

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

VITAL, B. R. Métodos de determinação de densidade da madeira. Viçosa: SIF, 1984. 21p. (Boletim técnico, 1).

VITAL, B. R.; CARNEIRO, A. C. O.; PEREIRA, B. L. C. **Qualidade da madeira para fins energéticos**. In: Bioenergia & Biorrefinaria – Cana-de-Açúcar & Espécies Florestais. SANTOS, F.; COLLODETTE, J.; QUEIROZ, J. H. (Ed.). Viçosa: Os editores, 2013. p. 321-354.