

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ  
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA FLORESTAL  
CÂMPUS DOIS VIZINHOS

DANIELI CRISTINA BUENO DE OLIVEIRA

**ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DA MADEIRA DE CLONE DE  
EUCALIPTO GFMO-27**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

DOIS VIZINHOS

2015

**DANIELI CRISTINA BUENO DE OLIVEIRA**

**ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DA MADEIRA DE CLONE DE  
EUCALIPTO GFMO-27**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso II, do Curso Superior de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Florestal.

Orientadora: Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Flavia Alves Pereira

Coorientador: Prof. Dr. Gilberto Santos de Andrade

DOIS VIZINHOS

2015

O48a Oliveira, Danieli Cristina Bueno de  
Análise física e química da madeira de clone de eucalipto  
GFMO-27 / Danieli Cristina Bueno de Oliveira – Dois  
Vizinhos : [s.n], 2015.  
33f.:il.

Orientadora: Flávia Alves Pereira  
Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curso de  
Engenharia Florestal. Dois Vizinhos, 2015.  
Bibliografia p.30-33

1. Eucalipto 2. Madeira- Química I.Pereira, Flávia Alves,  
orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná –  
Dois Vizinhos.III.Título

CDD: 634.9

Ficha catalográfica elaborada por Rosana Oliveira da Silva CRB: 9/1745

Biblioteca da UTFPR-Dois Vizinhos



---

## TERMO DE APROVAÇÃO

### ANÁLISE FÍSICA E QUÍMICA DA MADEIRA DE CLONE DE EUCALIPTO GFMO-27

por

DANIELI CRISTINA BUENO DE OLIVEIRA

Este Trabalho de Conclusão de Curso II foi apresentado em 24 de novembro de 2015 como requisito parcial para a obtenção do título de Engenheiro Florestal. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

---

Prof. Dr. Flávia Alves Pereira  
Orientadora

---

Prof. Dr. Marcos Aurélio Mathias de Souza  
Membro titular (UTFPR)

---

Prof. Dr. Maurício Romero Gorenstein  
Membro titular (UTFPR)

*Às mulheres da minha vida, mãe e Nita,  
eu ofereço!*

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, por permitir tantas bênçãos em minha vida!

Agradeço à minha mãe, Dona Amélia, por sempre ter força e lutar por todos os meus sonhos. À minha irmã, Joanita, por todo apoio e sempre acreditar em mim. Vocês formam o meu alicerce! Obrigada por todo amor, carinho, dedicação e por me tornarem a mulher que sou.

Ao Mayco, meu namorado, meu amigo, meu grande amor. Agradeço por todo amor, carinho, paciência, ajuda e compreensão em todos os momentos.

À minha orientadora, Flávia, que com muita paciência e carinho sempre me auxiliou. Obrigada pelos ensinamentos, pelas conversas, risadas e todo conhecimento transmitido. Muito obrigada!

Agradeço aos meus amigos. Aos antigos agradeço pela compreensão nos momentos de afastamento, pelo carinho e amizade de sempre. Aos novos, os quais a graduação me concedeu, agradeço por toda convivência e paciência diária, vocês tornaram essa caminhada mais doce e alegre!

À todos que contribuíram de alguma forma para que essa jornada fosse realizada.

**MUITO OBRIGADA!**

## RESUMO

OLIVEIRA, Danieli, C. B. **Análise física e química da madeira de clone de eucalipto GFMO-27**. 2015. 33f. Trabalho de Conclusão de Curso - Graduação em Engenharia Florestal, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Dois Vizinhos, 2015.

Considerando a ampla variedade de espécies e clones de *Eucalyptus* cultivados no Brasil, informações sobre as propriedades da madeira tornam-se cada vez mais necessárias. A análise química imediata fornece a quantidade de material volátil, teores de cinzas e carbono fixo presentes no material. O objetivo deste trabalho foi determinar as propriedades físico-químicas da madeira do clone GFMO-27 em diferentes alturas do tronco. Determinou-se o teor de cinza, materiais voláteis, carbono fixo e massa específica. Foi realizada a análise química imediata nos discos de madeira de eucalipto, baseada na metodologia descrita na norma ABNT/NBR 8112/83, com adaptações. A massa específica básica foi determinada pelo método de imersão em água, de acordo com a norma ABNT NBR 11941. A quantidade de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo nas alturas avaliadas do clone GFMO-27 foram semelhantes. A massa específica básica não apresentou diferença significativa nas alturas avaliadas e não apresentou correlação significativa com a análise química imediata. A madeira do clone GFMO-27 proveniente de qualquer posição do fuste fornecerá um produto com características semelhantes.

**Palavras-chave:** Madeira. Carbonização. Massa Específica. Propriedades.

## ABSTRACT

OLIVEIRA, Danieli, C. B. **Physical and chemical analysis of eucalyptus clone wood GFMO-27**. 2015. 33f. Work End of Course - Degree in Forestry, Federal Technological University of Paraná. Two Neighbors, 2015.

Considering the wide variety of species and Eucalyptus clones grown in Brazil, information about the properties of wood become increasingly necessary. The chemical analysis provides the amount of volatile material, ash content, fixed carbon present in the material. The objective of this study was to determine the physical and chemical properties of wood GFMO-27 clone at different times of the trunk. It was determined by the ash content, volatiles, fixed carbon and density. The chemical analysis in eucalyptus wood discs, based on the methodology described in ABNT / NBR 8112/83, with adaptations took place. The specific gravity was determined by immersion in water, according to ABNT NBR 11941. The standard amount of volatiles, fixed carbon and ashes in the measured heights GFMO-27 clone were similar. The basic density showed no significant difference in the measured heights and did not correlate significantly with the chemical analysis. The wood GFMO-27 clone from any position of the shaft will provide a product with similar characteristics.

**Keywords:** Wood. Carbonization. Especific mass. Properties.

## LISTA DE TABELAS

|  |    |
|--|----|
| Tabela 1 - Valores médios de materiais voláteis nas posições 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial em clones GFMO-27.....       | 23 |
| Tabela 2 - Valores médios para cinzas nas posições 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial em clone GFMO-27.....                  | 25 |
| Tabela 3 - Valores médios para carbono fixo nas posições 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial em clone GFMO-27.....            | 26 |
| Tabela 4 - Valores médios para massa específica básica nas posições 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial em clone GFMO-27..... | 27 |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1 - Esquema demonstrativo da posição de retirada dos discos da árvore e divisão das cunhas no disco..... | 19 |
|---|----|

## LISTA DE GRÁFICOS

|  |    |
|--|----|
| Gráfico 1: Teor de carbono fixo na madeira x massa específica básica.....        | 28 |
| Gráfico 2: Teor de cinzas na madeira x massa específica básica.....              | 29 |
| Gráfico 3: Teor de materiais voláteis na madeira x massa específica básica ..... | 29 |

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1 INTRODUÇÃO .....</b>                       | <b>10</b> |
| 1.1 OBJETIVO GERAL .....                        | 11        |
| 1.1.2 Objetivos Específicos .....               | 11        |
| <b>2 REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>               | <b>12</b> |
| 2.1 O GÊNERO <i>Eucalyptus</i> .....            | 12        |
| 2.2 CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DA MADEIRA..... | 13        |
| 2.2.1 Poder Calorífico.....                     | 13        |
| 2.2.2 Massa Específica Básica.....              | 14        |
| 2.2.3 Análise Química Imediata.....             | 15        |
| 2.2.3.1 Materiais voláteis.....                 | 15        |
| 2.2.3.2 Teor de cinzas.....                     | 15        |
| 2.2.3.3 Teor de carbono fixo.....               | 16        |
| 2.2.3.4 Estudos realizados .....                | 17        |
| <b>3 MATERIAL E MÉTODOS .....</b>               | <b>18</b> |
| 3.1 ÁREA DE ESTUDO.....                         | 18        |
| 3.2 PREPARO DAS AMOSTRAS .....                  | 18        |
| 3.3 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA .....              | 19        |
| 3.3.1 Teor de Materiais Voláteis.....           | 20        |
| 3.3.2 Teor de Cinzas .....                      | 20        |
| 3.3.3 Teor de Carbono Fixo.....                 | 21        |
| 3.3.4 Massa Específica Básica Aparente .....    | 21        |
| 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....          | 22        |
| <b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>           | <b>23</b> |
| 4.1 MATERIAIS VOLÁTEIS.....                     | 23        |
| 4.2 CINZAS .....                                | 24        |
| 4.3 CARBONO FIXO.....                           | 26        |
| 4.4 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA .....               | 27        |
| <b>5 CONCLUSÕES .....</b>                       | <b>30</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                         | <b>31</b> |

## 1 INTRODUÇÃO

Com o passar dos anos, a madeira vem se intensificando como potencial fonte produtora de energia renovável, participando na matriz energética mundial. No Brasil, o setor de florestas plantadas está desempenhando um forte papel para o cenário socioeconômico do país, tornando-se um vetor de desenvolvimento sustentável devido ao tratamento responsável, em termos ambientais, econômicos e sociais, sendo que a importância do país para a produção de energia renovável é bastante expressiva.

As fontes renováveis representam 43,8% da matriz energética no Brasil e destes, 14,6% correspondem à energia hidráulica e 29,2% à biomassa, sendo que aproximadamente 12,9% são de origem florestal: madeira e carvão vegetal. O eucalipto é a principal espécie produzida para este fim, por apresentar rápido crescimento, alta produtividade e facilidade de adaptação. Com isso, os investimentos nestas plantações crescem rapidamente, ocupando cerca de 5,5 milhões de hectares no Brasil (IBA, 2015). Estas plantações são de alta produtividade e com elevado nível tecnológico em função das pesquisas desenvolvidas nas últimas décadas.

Na geração de energia, a madeira do gênero *Eucalyptus* tem grande importância nos setores industrial, comercial e residencial. É uma excelente fonte de matéria-prima para a siderurgia brasileira, devido seu alto valor como combustível, atuando como termorredutor, além de ser um produto ambientalmente correto, por ser proveniente de plantios florestais sustentáveis.

Ao utilizar a madeira para fins energéticos, é importante que determinadas propriedades sejam avaliadas como o poder calorífico, o teor de umidade, a massa específica e a análise química imediata, a qual fornece a quantidade de material volátil, teores de cinzas e carbono fixo presentes no material.

Considerando a ampla variedade de espécies e clones de *Eucalyptus* cultivados no Brasil, informações sobre as propriedades da madeira tornam-se cada vez mais necessárias, visando à seleção de materiais genéticos superiores. Com isso, este trabalho poderá fornecer subsídio para à análise química imediata da madeira e à utilização do clone GFMO-27.

## 1.1 OBJETIVO GERAL

Determinar as propriedades físicas e químicas da madeira do clone GFMO-27 em diferentes alturas do tronco.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

- ✓ Determinar os teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo do clone GFMO-27 em diferentes alturas;
- ✓ Determinar a massa específica básica da madeira do clone GFMO-27 em diferentes alturas;
- ✓ Avaliar a influência da massa específica básica da madeira na análise química imediata;
- ✓ Determinar em que altura há maior teor de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

### 2.1 O GÊNERO *Eucalyptus*

Pertencente à família das Mirtáceas, o gênero *Eucalyptus* tem ocorrência natural na Austrália, Nova Zelândia, e Tasmânia possuindo cerca de 600 espécies adaptadas às mais diversas condições climáticas (SANTOS et al., 2012). Sua copa possui folhagem persistente, cujas folhas são cobertas por glândulas que segregam óleo e, quando jovens, são opostas, entre arredondadas e ovais. Com um ou dois anos de crescimento, essas folhas passam a apresentar uma nova forma, alternando entre lanceoladas e falciformes. A casca destas árvores possui um ciclo anual e pode ser classificada como lisa ou enrugada. A troca desta casca se diferencia de acordo com o tipo sendo que, enquanto a casca lisa cai praticamente por inteiro, deixando uma superfície plana e manchada, a casca enrugada seca lentamente agarrada ao caule persistentemente (FERREIRA, 1979).

O eucalipto foi introduzido no Brasil como cultura florestal em 1903, e hoje, no país é uma das mais avançadas do mundo, servindo de referência para outros países, inclusive para a Austrália. Segundo dados da IBA (2015), em 2014 a área ocupada no Brasil por plantios florestais de eucalipto totalizava 5,5 milhões de hectares.

As diferentes espécies são aptas para as mais distintas utilizações, sendo sua madeira vastamente empregada como matéria-prima no segmento de celulose e papel, além de chapas de madeira, serrarias e usinas de preservação. Outro emprego importante 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 (SANTOS et al., 2012).

Além das excelentes qualidades mecânicas, o eucalipto apresenta também um fuste reto permitindo bom acabamento. Apresenta características desejáveis como rápido crescimento volumétrico e potencialidade para produzir árvores com boa forma, facilidade com programas de manejo e melhoramento, elevada produção de sementes e facilidade de propagação vegetativa, aliado a uma ótima adequação

aos mais diferentes usos industriais e ampla aceitação no mercado. Por ter raízes profundas é considerado como uma cultura recuperadora de solo, pois procura nas camadas inferiores do solo, nutrientes minerais que já estão fora do alcance de raízes superficiais (GAMA, 2006).

O uso da madeira de clones de eucalipto para produção de energia, seja na forma direta ou transformada em carvão vegetal, apresenta vantagens em relação aos problemas de poluição ambiental quando comparada aos combustíveis fósseis (CUNHA et al., 1989).

## 2.2 CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES DA MADEIRA

### 2.2.1 Poder Calorífico

Segundo Jara (1989), o poder calorífico pode ser definido como a quantidade de energia liberada na forma de calor de uma unidade de massa da madeira, durante sua combustão. Este se relaciona negativamente com o seu teor de umidade e divide-se em superior ou inferior, conforme o calor liberado pela condensação da água de constituição do combustível. Pode ser expresso em calorias por grama (cal/g) ou quilocaloria/quilograma (kcal/kg), sendo que quanto maior for este parâmetro, maior será a energia contida no combustível (CARVALHO JUNIOR, 2010). O poder calorífico da madeira pode variar em torno de 3.000 kcal/kg até 5.400 kcal/kg

O poder calorífico superior (PCS) é aquele em que a combustão é efetuada a volume constante, no qual a água formada durante a combustão é condensada e o calor proveniente desta condensação é readquirido. Representa a condição de queima ideal de um material, considerando como se o mesmo se encontrasse absolutamente seco. A constituição química da madeira, como a lignina e extrativos, elevam seu potencial energético, pois madeiras com maiores teores desses extrativos apresentam maior poder calorífico em relação às madeiras com menores

quantidades dos mesmos (QUIRINO et al., 2004). Cunha et al. (1989), afirmaram que quanto mais alto o teor de lignina e extrativos, maior será o poder calorífico do material, porque o mesmo contém menos oxigênio que os polissacarídeos presentes na holocelulose (celulose e hemicelulose).

Por sua vez, o poder calorífico inferior (PCI) é obtido quando a queima é realizada a pressão constante, o seja, ao ar livre. Nesse caso, a água de combustão não é condensada e é a situação que ocorre com a queima direta da madeira (QUIRINO et al., 2005).

### 2.2.2 Massa Específica Básica

A massa específica é uma das principais características físicas da madeira, pois relaciona aspectos econômicos e tecnológicos, como a contração e o inchamento, a resistência mecânica das peças, o rendimento e a qualidade da polpa celulósica, a produção e a qualidade da madeira e os custos operacionais de transporte e armazenamento (PEREIRA et al., 2000).

Segundo Pereira et al. (2000), madeiras mais densas possuem um maior poder calorífico por unidade de volume. Enquanto que, madeiras com menor densidade apresentam aproximadamente o mesmo poder calorífico por unidade de peso, porém menor poder calorífico por unidade volumétrica.

A massa específica da madeira pode variar entre espécies, indivíduos e dentro da árvore, tanto no sentido longitudinal como no sentido radial (MENDES et al., 2004). Ferreira (1972), afirmou que a massa específica média da madeira cresce no sentido da base para a copa da árvore. Já em relação à massa específica da árvore ao nível do diâmetro a altura do peito (DAP), esta cresce no sentido da medula para a casca.

### 2.2.3 Análise Química Imediata

A análise química imediata fornece os teores de materiais voláteis, carbono fixo e cinzas da madeira. Os materiais voláteis são aqueles que queimam no estado gasoso, as cinzas representam a quantidade de material residual e o carbono fixo é originado através da queima dos materiais no estado sólido (BARRICHELLO E BRITO, 1978). Esta é uma das características mais importantes da madeira para sua utilização como combustível, estando entre as mais empregadas para a diferenciação da mesma.

#### 2.2.3.1 Materiais voláteis

Os materiais voláteis abrangem a parte do combustível que evapora quando ele é submetido a elevadas temperaturas. Isso é importante para a combustão do material. Após a evaporação, estes se misturam com o oxigênio e entram em combustão. Madeiras com altos teores de voláteis queimam mais rapidamente (PEREIRA, 2000), pois estes voláteis se relacionam com a reatividade do material e ignição (KLAUTAU, 2008).

Esses materiais são oriundos de compostos orgânicos presentes na madeira como terpenos, álcoois, ésteres, aldeídos, cetonas, ácidos orgânicos, hidrocarbonetos alifáticos e fenóis, os quais são normalmente separados em óleos voláteis ou essenciais e terebintina ou turpentina (KLOCK, 2005).

#### 2.2.3.2 Teor de cinzas

Segundo Vieira (2012), os resíduos resultantes da queima dos componentes orgânicos e oxidações dos inorgânicos são caracterizados como teor de cinzas. As

cinzas resultam da combustão da biomassa, a qual é processada em altas temperaturas. Esse teor pode variar de 0,5% a mais de 5%, dependendo da espécie, da quantidade de casca e da presença de terra e areia na madeira. Uma madeira de boa qualidade para a produção de energia deve apresentar teores de cinzas inferiores a 3% (PEREIRA et al., 2000).

As cinzas são constituídas por elementos minerais como cálcio, potássio, sódio, fósforo, cobre, zinco, magnésio, boro e outros elementos (DAROLT et al., 1991). Estes, em alta concentração, podem diminuir o poder calorífico e causar perda de energia, afetando a transferência de calor (VIEIRA, 2012).

### 2.2.3.3 Teor de carbono fixo

O percentual de carbono fixo indica à fração de madeira que é queimada no estado sólido, sendo que este tem relação direta com o poder calorífico, pois quanto maior o teor de carbono fixo em um material, maior será o tempo de residência dentro do aparelho de queima. Ou seja, madeiras com elevados teores de carbono fixo são mais requeridas quando utilizadas como combustível, pois queimam mais lentamente (PEREIRA et al., 2000).

O teor de carbono fixo depende principalmente do teor de material volátil da madeira, já que os teores de cinzas para madeiras de eucalipto são baixos. Desta forma, madeiras com maiores teores de material volátil apresentam menores teores de carbono fixo (CHAVES et al., 2013). Segundo Castro (2011), o teor de carbono é muito importante, seja para a queima direta da madeira, ou para produção de carvão, onde, na produção de carvão ele é convertido em carbono fixo, sendo o principal responsável pela energia estocada do material.

A qualidade de um material combustível pode ser determinada utilizando os teores de carbono fixo presentes no mesmo. Tendo em vista que quanto maior for o teor de carbono fixo, melhor será a qualidade do material (BRITO et al., 1987).

#### 2.2.3.4 Estudos realizados

Segundo Castro (2011), no Brasil o gênero *Eucalyptus* é o mais estudado e implantado comercialmente para diversas finalidades. As espécies de eucalipto mais utilizadas em pesquisas são: *Eucalyptus urophylla*, *E. camaldulensis*, *E. grandis*, *E. pellita*, *E. saligna*, *E. cloeziana*, híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla*, híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus camaldulensis*.

Vários pesquisadores vêm caracterizando a madeira de eucalipto para diversos fins, como por exemplo: Brito e Barrichelo (1977) avaliaram as correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal da madeira de eucalipto; Buttini et al. (2013), avaliaram a influência da posição do tronco nas características do carvão de *Eucalyptus benthamii*. Oliveira et al. (2010), trabalharam com parâmetros de qualidade da madeira de *Eucalyptus pellita*. Trugilho et al. (2003), pesquisaram as propriedades de dez clones de *Eucalyptus grandis* e três clones de *Eucalyptus saligna* cultivados em Bom Despacho – MG. Santos et al. (2011) avaliaram as correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto.

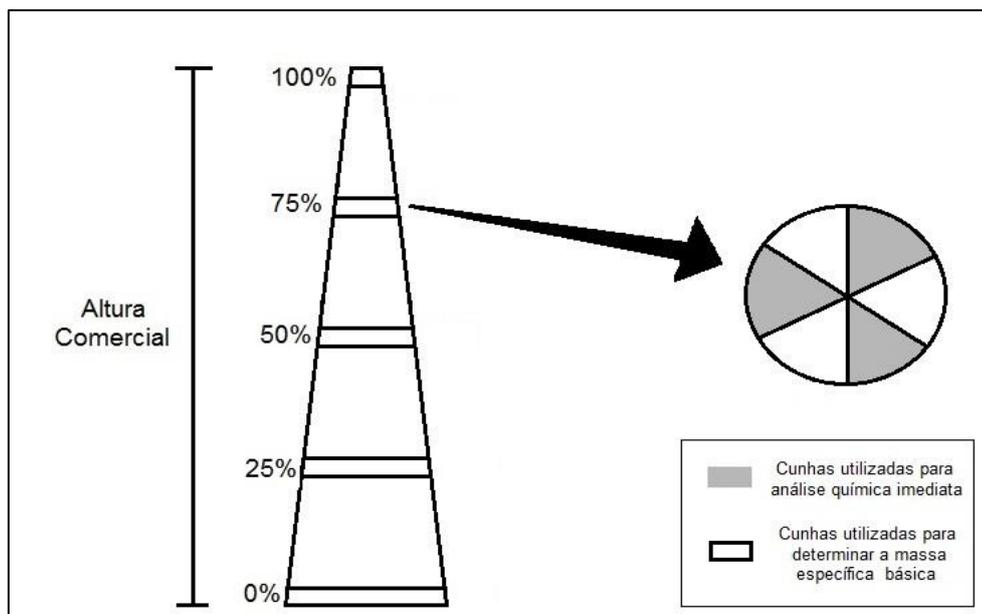
### 3 MATERIAL E MÉTODOS

#### 3.1 ÁREA DE ESTUDO

O experimento foi conduzido no Laboratório de Tecnologia da Madeira, do curso de Engenharia Florestal da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR – *Câmpus* Dois Vizinhos, na cidade de Dois Vizinhos - PR. Localizada no sudoeste do Paraná, a região faz parte do terceiro planalto paranaense, com altitude de 520 m, latitude de "25 °44" Sul e longitude de "53 °04" Oeste. O clima é classificado como subtropical úmido mesotérmico (Cfa), segundo a classificação de Köppen, com chuvas bem distribuídas durante o ano e verões quentes (MAAK, 1968).

#### 3.2 PREPARO DAS AMOSTRAS

Foram utilizadas cinco árvores com variedade clonal de eucalipto (híbrido *E. urophylla* x *E. grandis*), denominada de GFMO-27, provenientes de plantio do Projeto TUME (Teste de Uso Múltiplo de *Eucalyptus*). Este plantio foi instalado em uma área demonstrativa na Unidade de Ensino e Pesquisa em Silvicultura da UTFPR - *Câmpus* Dois Vizinhos, há 5 anos. Cinco discos de madeira foram retirados de cada árvore, com aproximadamente dez centímetros de espessura, os quais correspondem a 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco, até o diâmetro mínimo de sete centímetros (Figura 1), conforme metodologia adaptada por PEREIRA (2012).



**Figura 1: Esquema demonstrativo da posição de retirada dos discos da árvore e divisão das cunhas no disco.**

**Fonte: A autora (2015)**

Após a retirada dos discos, estes foram divididos em seis partes. Três deles, alternados, foram utilizados para a análise química imediata e o restante para determinação da massa específica aparente (Figura 1). As cunhas utilizadas na análise química imediata foram secas ao ar ambiente, moídas e peneiradas, e utilizou-se a fração que passou pela peneira com malha de 40 mesh e ficou retida na de 60 mesh.

### 3.3 ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA

A determinação dos materiais voláteis, teor de cinzas e carbono fixo foi baseada na metodologia descrita na norma ABNT/NBR 8112/83 ABNT (1983), com adaptações.

### 3.3.1 Teor de Materiais Voláteis

Frações contendo 1,0 grama do material foram colocadas em cadinhos de porcelana e levadas para a estufa com ventilação forçada, a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$ , durante 4 horas. Em seguida, as amostras permaneceram no dessecador por aproximadamente 30 minutos, aferindo-se o peso novamente. A mufla foi aquecida, previamente, a  $950^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ .

Para a determinação do teor de materiais voláteis, os cadinhos foram tampados e levados para a mufla pré-aquecida a  $950^\circ\text{C}$ . Estes foram colocados num primeiro momento na porta da mufla, permanecendo por 2 minutos. Após esse tempo, foram colocados no seu interior, por 9 minutos, com a porta fechada. Posteriormente, os cadinhos foram colocados em dessecador e então pesados novamente, anotando-se o valor. O teor de materiais voláteis foi calculado através da Fórmula 1:

$$MV = \frac{P_1 - P_2}{P_1} \times 100 \quad (\text{Equação 1})$$

Onde:

MV= Teor de materiais voláteis da madeira, em %;

P1= Massa inicial do cadinho + amostra, em gramas;

P2= Massa final do cadinho + amostra, em gramas;

### 3.3.2 Teor de Cinzas

Para determinar o teor de cinzas, a mufla foi aquecida a  $600^\circ\text{C} \pm 10^\circ\text{C}$ . As amostras foram colocadas em cadinhos sem tampa no interior da mufla e calcinadas por um período de 6 horas. Após serem retiradas da mufla, as amostras permaneceram por aproximadamente uma hora no dessecador e então foram pesadas. O teor de cinzas foi obtido através da Fórmula 2:

$$CZ = \frac{PR}{P} \times 100 \quad (\text{Equação 2})$$

Onde:

CZ= Teor de Cinzas na madeira, em %;

PR= Massa do resíduo, em gramas;

P= Massa da amostra seca, em gramas;

### 3.3.3 Teor de Carbono Fixo

O teor de carbono fixo foi determinado indiretamente e obtido através da Fórmula 3:

$$CF = 100 - (MV + CZ) \quad (\text{Equação 3})$$

Onde:

CF= Teor de Carbono Fixo, em %;

CZ= Teor de cinzas, em %;

MV= Teor de materiais voláteis em %;

### 3.3.4 Massa Específica Básica Aparente

A massa específica básica aparente da madeira foi determinada pelo método de imersão em água, de acordo com a norma ABNT NBR 11941 (ABNT, 2003).

### 3.4 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

A análise estatística foi realizada de acordo com um delineamento inteiramente casualizado (DIC), com cinco árvores, sendo cinco discos por árvore, os quais representam as diferentes alturas (0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial do tronco, até o diâmetro mínimo de sete centímetros) com cinco repetições cada, totalizando 125 unidades amostrais.

Os resultados foram submetidos à análise de variância (ANOVA), para verificar se houve diferença entre as alturas avaliadas e, posteriormente, foi realizado o teste de Tukey para as variáveis cujas médias diferiram significativamente ao nível de 5% de probabilidade.

As análises dos dados foram processadas no software estatístico Assistat®, sendo considerado como tratamento as alturas do tronco.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise química imediata de compostos vegetais proporcionou quantificar os teores de materiais voláteis, cinzas e carbono fixo da madeira. Nas tabelas abaixo estão dispostos os valores médios encontrados para a análise química imediata e massa específica básica, na madeira do clone GFMO-27 em diferentes posições do tronco.

### 4.1 MATERIAIS VOLÁTEIS

Os valores médios de materiais voláteis obtidos para as cinco alturas avaliadas estão dispostos na tabela 1.

**Tabela 1: Valores médios de materiais voláteis nas posições 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial em clones GFMO-27**

| <b>Posição (%)</b> | <b>Médias de tratamento (%)<sup>NS</sup></b> |
|--------------------|--|
| 100                | 84,51 a                                      |
| 75                 | 85,42 a                                      |
| 50                 | 86,37 a                                      |
| 25                 | 85,86 a                                      |
| 0                  | 85,86 a                                      |
| <b>CV%</b>         | <b>1.27</b>                                  |

**Fonte: A autora (2015).**

**Notas:**

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

CV%: coeficiente de variação em %

NS: não significativo pelo teste F da análise de variância ao nível de 5% de probabilidade

Os resultados obtidos para materiais voláteis não apresentaram diferença significativa entre as alturas avaliadas, o que significa que não há interferência da altura na concentração dos materiais voláteis. Os materiais voláteis são aqueles

liberados quando a madeira é exposta a elevadas temperaturas, os quais evaporam e se juntam com o oxigênio da atmosfera originando a combustão.

No topo do caule há uma maior quantidade de madeira juvenil e, conseqüentemente, uma menor proporção de cerne, comparado às posições mais baixas. Segundo Silva e Trugilho (2003), quanto maior a porcentagem de cerne na madeira maior será a porcentagem de extrativos, os quais contribuem para o aumento do teor de materiais voláteis.

As porcentagens de materiais voláteis ficaram entre 84,5 e 86,4%. Resultados semelhantes foram observados por Chaves et al. (2013) que, estudando clones de eucalipto, avaliaram o teor de materiais voláteis em três posições do fuste (base, meio e topo) e obtiveram valores entre 83 e 85%. Os autores, assim como no presente trabalho, não observaram diferença significativa entre as posições avaliadas. Arola (1976) sugere que os valores de material volátil aceitável para biomassa devem estar entre 75 e 85%.

Buttini et al. (2013), pesquisaram a influência da madeira de *Eucalyptus benthamii*, em diferentes alturas do tronco, nas características do carvão vegetal. Os autores afirmam que não houve diferenças significativas entre os resultados e concluíram que a madeira proveniente de qualquer posição no fuste fornecerá um produto com características semelhantes.

## 4.2 CINZAS

Uma característica comum entre espécies de eucalipto são os baixos teores de cinzas na madeira, em geral abaixo de 1%. Na Tabela 2 estão discriminados os teores médios de cinzas da madeira do clone GFMO-27, em diferentes alturas do tronco.

**Tabela 2: Valores médios para cinzas nas posições 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial em clone GFMO-27**

| <b>Posição (%)</b> | <b>Médias de tratamento (%)<sup>NS</sup></b> |
|--------------------|--|
| 100%               | 0,57 a                                       |
| 75%                | 0,63 a                                       |
| 50%                | 0,58 a                                       |
| 25%                | 0,59 a                                       |
| 0%                 | 0,63 a                                       |
| <b>CV%</b>         | 20.30  |

**Notas:**

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

CV%: coeficiente de variação em %

NS: não significativo pelo teste F da análise de variância ao nível de 5% de probabilidade

As cinzas são substâncias compostas de material inorgânico e resultam da combustão da biomassa, a qual é processada em altas temperaturas. Os teores médios de cinzas não apresentaram diferença significativa entre as posições do tronco avaliadas.

Os teores de cinzas observados nas amostras estão abaixo de 0,63%. Estes resultados são próximos aos observados por Neves et al. (2011). Estes autores analisaram as características energéticas de três clones cultivados em duas localidades de Bom Jardim de Minas - MG, e obtiveram teores de cinzas da madeira variando de 0,65 a 0,88%.

Botrel et al. (2010), pesquisaram o teor de cinzas de oito clones de eucalipto e obtiveram resultados que variaram entre 0,11 a 0,25%. Resultados semelhantes foram observados por Trugilho et al. (2003) onde, trabalhando com dez clones de *Eucalyptus grandis* e três clones de *Eucalyptus saligna* encontraram teores de cinzas variando de 0,10 a 0,25%. Buttini et al. (2013), trabalhando com a madeira de *Eucalyptus benthamii* para a produção de carvão, avaliaram o teor de cinzas em três posições (0%, 50% e 100% da altura comercial) e não observaram diferença significativa entre as alturas estudadas.

### 4.3 CARBONO FIXO

O teor de carbono fixo foi obtido de maneira indireta e os resultados foram descritos na Tabela 3.

**Tabela 3: Valores médios para carbono fixo nas posições 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial em clone GFMO-27**

| <b>Posição (%)</b> | <b>Médias de tratamento (%)</b> |
|--------------------|---------------------------------|
| 100%               | 14,92 a                         |
| 75%                | 13,95 ab                        |
| 50%                | 13,04 b                         |
| 25%                | 13,54 ab                        |
| 0%                 | 13,72 ab                        |
| CV%                | 6.98                            |

**Fonte: A autora (2015).**

**Notas:**

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

CV%: coeficiente de variação em %

A quantidade de carbono fixo do clone GFMO-27 diferiu apenas entre as alturas de 50 e 100%, sendo o maior valor observado na altura 100%. Possivelmente, esse resultado deve-se ao fato do experimento ter sido conduzido com um pequeno número de indivíduos e estes serem jovens. Acredita-se que aumentando o número de indivíduos analisados essa diferença poderá diminuir.

O teor de carbono fixo presente em uma madeira indica à fração de matéria que foi queimada no estado sólido, sendo que este tem relação direta com o poder calorífico da madeira, pois quanto maior o teor de carbono fixo, maior o tempo de residência dentro do aparelho de queima.

Os valores de carbono fixo para a madeira do clone GFMO-27 ficaram entre 13 e 14,9%. Resultados semelhantes foram observados por Chaves et al. (2013), estudando clones de eucalipto, com teores de carbono fixo variando entre 15 e 16%. Estes autores também afirmam que o teor de carbono fixo não diferiu entre as

diferentes alturas pesquisadas e que esta característica depende, principalmente, do material volátil, visto que as cinzas para madeira de eucalipto são baixas.

Brito e Barrichello (1982) indicam que valores ideais para carbono fixo, objetivando melhores rendimentos do material, devem estar entre 15% e 25%. Vale *et al.* (2000), trabalharam com 47 espécies lenhosas do cerrado e verificaram teor médio de carbono fixo igual a 20,73%. Estes valores foram maiores daqueles observados no presente estudo e, possivelmente, isso se deve a diferença entre as espécies pesquisadas.

#### 4.4 MASSA ESPECÍFICA BÁSICA

A massa específica básica da madeira do clone GFMO-27, em diferentes posições do tronco, foi semelhante entre si (Tabela 4). Os resultados variaram entre 0,50 e 0,53 g/cm<sup>3</sup>.

**Tabela 4: Valores médios para massa específica básica nas posições 0%, 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial em clone GFMO-27**

| <b>Posição (%)</b> | <b>Médias de tratamento (g/cm<sup>3</sup>)<sup>NS</sup></b> |
|--------------------|---|
| 100%               | 0,50 a  |
| 75%                | 0,49 a  |
| 50%                | 0,53 a  |
| 25%                | 0,46 a  |
| 0%                 | 0,51 a  |
| <b>CV%</b>         | 11.84   |

**Fonte: A autora (2015).**

**Notas:**

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

CV%: coeficiente de variação em %

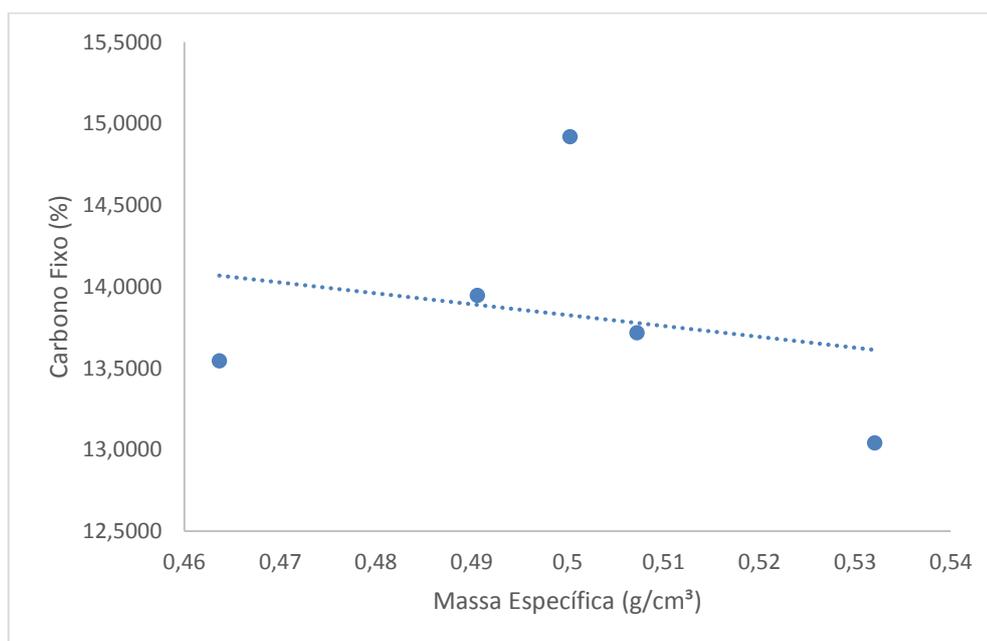
NS: não significativo pelo teste F da análise de variância ao nível de 5% de probabilidade

Castro (2011), avaliando três clones de *Eucalyptus* aos cinco anos de idade verificou valores para massa específica básica variando entre 0,46 e 0,53 g/cm<sup>3</sup>,

sendo que estes valores são condizentes com os observados neste trabalho. Brito e Barrichello (1977), avaliaram dez clones de *Eucalyptus* e observaram valores variando entre 0,51 e 0,77 g/cm<sup>3</sup>.

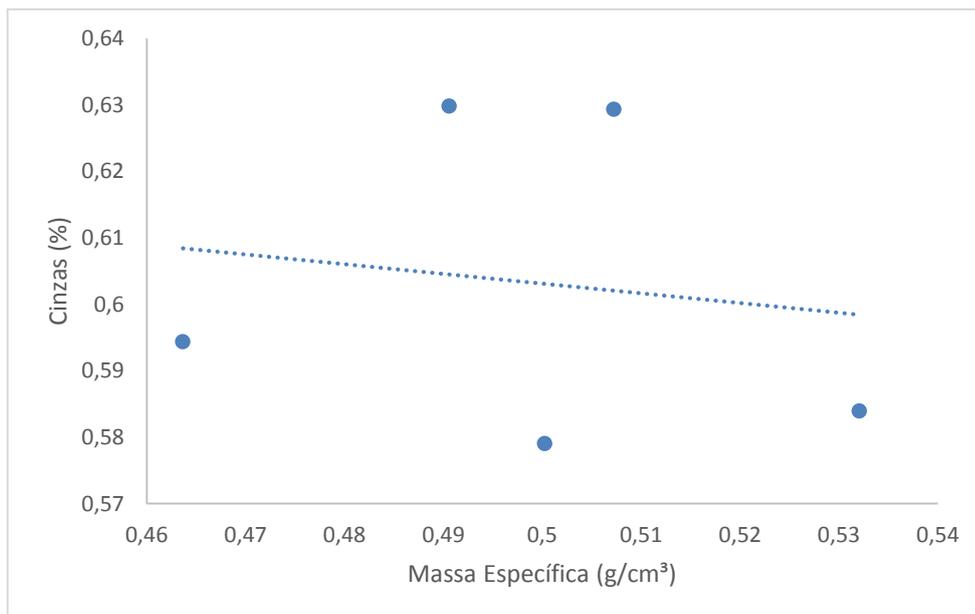
Arruda et al. (2013), avaliaram as propriedades do híbrido *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* em diferentes posições do tronco (0% (base), 25%, 50%, 75% e 100% da altura comercial), verificaram resultados contrários aos obtidos neste trabalho, sendo que, os maiores valores foram observados nas extremidades (0% e 100% da altura) e os menores valores na posição 50% da altura.

A massa específica básica não apresentou correlação com os teores de carbono fixo, material volátil e cinzas como pode ser observado nos gráficos abaixo. Estes resultados também foram observados por Brito e Barrichello (1977).



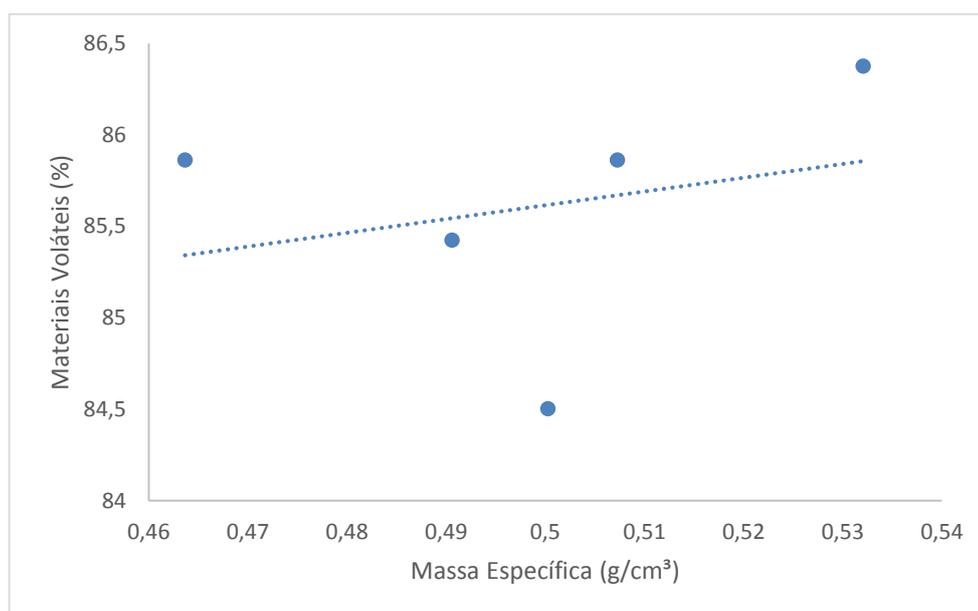
**Gráfico 1. Teor de carbono fixo na madeira x massa específica básica.**

**Fonte: A Autora (2015)**



**Gráfico 2. Teor de cinzas na madeira x massa específica básica.**

**Fonte: A Autora (2015)**



**Gráfico 3. Materiais voláteis na madeira x massa específica básica.**

**Fonte: A Autora (2015)**

Possivelmente, a massa específica básica não apresentou correlação com as outras variáveis analisadas por não ter apresentado diferença entre as alturas avaliadas.

## 5 CONCLUSÕES

- ✓ A madeira do clone GFMO-27 apresentou teores de materiais voláteis variando entre 84,5 e 86,4%;
- ✓ A porcentagem de teores de cinzas ficou abaixo de 0,63%;
- ✓ Os valores para carbono fixo ficaram entre 13 e 14,9%;
- ✓ A massa específica básica da madeira do clone GFMO-27 variou entre 0,50 e 0,53 g/cm<sup>3</sup>;
- ✓ As alturas não apresentaram diferença significativa para nenhuma das variáveis pesquisadas;
- ✓ A massa específica básica não apresentou influência significativa quando correlacionada à análise química imediata, podendo este ser um fator positivo, pois permite que a planta seja usada igualmente em todo seu comprimento;
- ✓ A madeira do clone GFMO-27 proveniente de qualquer posição do fuste fornecerá um produto com características semelhantes.

## REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**. Análise Imediata. Rio de Janeiro, 1983.

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

AROLA, Rodger. A. Wood Fuels, how do they stack up. **Forest Products Research Society**, Atlanta, Georgia, 1976. 12p.

ARRUDA, Tatiana Paula Marques de; HEIN, Paulo Ricardo Gherardi; FONSECA, Alessandra de Souza, CASTRO, Jonnys Paz. Propriedades da madeira do híbrido *eucalyptus grandis x eucalyptus urophylla* para uso energético no Mato Grosso. **Revista de Ciências Agroambientais**, Alta Floresta - MT, v.11, n.2, p.127-136. 2013.

BARRICHELO, Luis Ernesto George; BRITO, José Otávio. **A Madeira das Espécies de Eucalipto como Matéria Prima para a Indústria de Celulose e Papel**. Brasília, 1978. 145 p.

BOTREL, Maria Carolina Gaspar; TRUGILHO, Paulo Fernando; ROSADO, Sebastião Carlos da Silva; SILVA, José Reinaldo Moreira da. Seleção de clones de Eucalyptus para biomassa florestal e qualidade da madeira. **Scientias Forestales**, Piracicaba – SP, v. 38, n. 86, p. 237-245, jun. 2010.

BRITO, José Otávio; BARRICHELLO, Luis Ernesto George. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal: Densidade e teor de lignina da madeira de eucalipto. **IPEF**, n.14, p.9-20, 1977.

BRITO, José Otávio; BARRICHELO, Luis Ernesto George. Aspectos técnicos da utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS. **Anais...** São Paulo, 1982. p. 101-137.

BRITO, José O.; TOMAZELLO FILHO, Mario. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. **IPEF**, n.36, p.13-17, 1987.

BUTTINI, Laís; CAPELARI, Isabella Peringer; LIMA, Edson Alves de. **Influência da posição do tronco nas características do carvão de *Eucalyptus benthamii***. Embrapa - Comunicado Técnico 327. Colombo, out. 2013.

CARVALHO JUNIOR, Rui Miguel. **Desenvolvimento e análise energética do processo de obtenção do biodiesel de microalga por metanólise in situ**. Dissertação (Mestrado) UFPR, Curitiba – PR, 2010.

CASTRO, Ana Flavia Neves Mendes. **Efeito da idade e de materiais genéticos de *Eucalyptus* sp. na madeira e carvão vegetal**. 2011, 86 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2011.

CHAVES, Antonio M. Brito; VALE, Ailton Teixeira do; MELIDO, Raul C. N.; ZOCH, Vanessa P. Características energéticas da madeira e carvão vegetal de clones de *Eucalyptus* spp. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA** - Centro Científico Conhecer. Goiânia, v.9, n.17; p. 534, ago. 2013.

CUNHA, M.P.S.C.; PONTES, C.L.F.; CRUZ, I. A.; CABRAL, M. T. F. D.; CUNHANETO, Z.B.; BARBOSA, A.P.R. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: 3º encontro Brasileiro em madeiras e emestruturas de madeira: **Anais...** v.2, p. 93-121, São Carlos, 1989.

DAROLT, M. R.; OSAKI, F. **Efeito da cinza de caieira de cal sobre a produção da aveia preta, no comportamento de alguns nutrientes**. Instituto Brasileiro de Ensino Agrícola. Campinas, 1991.

FERREIRA, Mario. Variação da densidade básica da madeira de Povoamentos comerciais de *Eucalyptus grandis* Hill EX Maiden nas idades de 11, 12, 13, 14 e 14 anos. **IPEF**, São Paulo, n.4, p.65-89, 1972.

FERREIRA, Mario. Escolha de Espécies de Eucalipto. Circular Técnica: **IPEF**. São Paulo, v.47, p.1-30, 1979.

GAMA, Michelliny de Matos Bentes. Eucalipto: Técnicas de plantio alteram resultados. **Revista da Madeira**, Rondônia, n.97, jun. 2006.

IBA – INSTITUTO BRASILEIRO DE ÁRVORES. **Cenários iba**: Estatísticas da Industria Brasileira de árvores. Brasília, 2015.

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

KLAUTAU, Judith Von Paumgarten. **Análise experimental de uma fornalha a lenha de fluxo co-corrente cara secagem de grãos.** 2008. 193 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental, Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2008.

KLOCK, Umberto; MUÑIZ, Graciela I. B.; HERNANDEZ, José A.; ANDRADE, Alan S. **Química da madeira.** Curitiba, Universidade Federal Do Paraná, ed.3, 2005. 86p.

MAAK, Reinhard. **geografia física do estado do Paraná.** Curitiba: Banco de desenvolvimento do Paraná, 1968. 350 p.

MENDES, Lourival Marin; SILVA, José Reinaldo Moreira; TRUGILHO, Paulo Fernando; LIMA, José Tarcísio. Variação da densidade da madeira de Pinus. **Revista da Madeira**, Lavras – MG, n.83, ago. 2004.

NEVES, Thiago Andrade; PROTÁSIO, Thiago de Paula; COUTO, Allan Motta; TRUGILHO, Paulo Fernando; SILVA, Vinícius Oliveira; VIEIRA, Carlos Magno Melo. Avaliação de clones de *Eucalyptus* em diferentes locais visando a produção de carvão. **Pesquisa florestal brasileira**, Lavras – MG, v.31, n.68, p. 319-330. 2011.

OLIVEIRA, Aylson Costa; CARNEIRO, Angélica de Cássia Oliveira; VITAL, Benedito Rocha; ALMEIDA, Wellington; PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi; CARDOSO, Marco Túlio. Parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de *Eucalyptus pellita* F. Muell. **Scientia Forestales**, Piracicaba - SP, v. 38, n. 87, p. 431-439, set. 2010.

PEREIRA, José Carlos Duarte; STURION, José Alfredo; HIGA, Antonio Royei; HIGA, Rosana Clara Victória; SHIMIZU, Jarbas Yukio. **Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil.** Embrapa Florestas. Colombo, 2000.

PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi. **Qualidade da madeira de *Eucalyptus* para a produção de carvão vegetal.** 2012. 93 f. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós – Graduação em Ciência Florestal, Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, 2012.

QUIRINO, Waldir F.; VALE, Ailton Teixeira; ANDRADE, Ana Paula; ABREU, Vera Lúcia Silva; AEVEDO, Ana Cristina dos Santos. **Poder calorífico da madeira e de**

**resíduos lignocelulósicos.** Biomassa & Energia, Brasília, v. 1, n.2, p. 173-182, 2004.

QUIRINO, Waldir. F. Poder calorífico da madeira e materiais lignocelulósicos. **Revista da Madeira**, n.89, p.100-106, 2005.

SANTOS, Rosimeire Cavalcante dos; CARNEIRO, Angélica de Cássia Oliveira; CASTRO, Ana Flávia Mendes; CASTRO, Renato Vinícius Oliveira; BIANCHE, Juliana Jerasio; SOUZA, Marina Moura de; CARDOSO, Marco Túlio. Correlações entre os parâmetros de qualidade da madeira e do carvão vegetal de clones de eucalipto. **Scientia Forestales**, Piracicaba - SP, v. 39, n. 90, p. 221-230, jun. 2011.

SANTOS, Larissa Carvalho; CARVALHO, Ana Márcia Macedo Ladeira; PEREIRA, Bárbara Luísa Corradi; OLIVEIRA, Aylson Costa; CARNEIRO, Angélica de Cássia Oliveira; TRUGILHO, Paulo Fernando. Propriedades da madeira e estimativas de massa, carbono e energia de clones de Eucalyptus plantados em diferentes locais. **Revista Árvore**, Viçosa (MG), v. 36, n. 5, set. 2012.

SILVA, Agostinho da; TRUGILHO, Paulo Fernando. Comportamento dimensional da madeira de cerne e alburno utilizando-se metodologia de análises de imagem submetida a diferentes temperaturas. **Revista Cerne**, Lavras - MG, v. 9, n. 1, p. 56-65, 2003.

TRUGILHO, Paulo Fernando; LIMA, José Tarcísio; MORI, Fabio Akira. Correlação canônica das características químicas e físicas da madeira de clones de Eucalyptus grandis e Eucalyptus saligna. **Revista Cerne**, Lavras - MG, v.9, n.1, p.066-080, 2003.

VALE, Ailton Teixeira. Caracterização da biomassa lenhosa de um cerrado sensu stricto da região de Brasília para uso energético. 2000, 111f. Tese de doutorado. Universidade do Estado de São Paulo, Botucatu, 2000.

VIEIRA, Ana Carla. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas.** 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Paraná, 2012.

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