

MARTA JULIANA SCHMATZ MENEZES

PODER CALORÍFICO E ANÁLISE IMEDIATA DA MARAVALHA DE  
PINUS (*Pinus* sp) E ARAUCÁRIA (*Araucaria angustifolia*) DE  
REFLORESTAMENTO COMO RESÍDUOS DE MADEIREIRA

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura da  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná - UNIOESTE

CASCVEL  
PARANÁ- BRASIL  
FEVEREIRO - 2013

MARTA JULIANA SCHMATZ MENEZES

**PODER CALORÍFICO E ANÁLISE IMEDIATA DA MARAVALHA DE  
PINUS (*Pinus* sp) E ARAUCÁRIA (*Araucaria angustifolia*) DE  
REFLORESTAMENTO COMO RESÍDUOS DE MADEIREIRA**

Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Oeste do Paraná, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Energia na Agricultura, para obtenção do título de Mestre.

Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira.  
Co-Orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza.

CASCADEL  
PARANÁ-BRASIL  
FEVEREIRO – 2013

**Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)**  
**Biblioteca Central do Campus de Cascavel – Unioeste**  
Ficha catalográfica elaborada por Jeanine da Silva Barros CRB-9/1362

M512p Menezes, Marta Juliana Schmatz  
Poder calorífico e análise imediata da maravalha de Pinus (*Pinus sp*) e Araucária (*Araucaria angustifolia*) de reflorestamento como resíduos de madeira. / Marta Juliana Schmatz Menezes — Cascavel, PR: UNIOESTE, 2013.

65 p.

Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira

Co-orientador: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza

Co-orientador: Prof. Dr. Reinaldo Aparecido Bariccatti

Dissertação (Mestrado) – Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas.

Bibliografia.

1. Dendroenergia. 2. Coníferas de reflorestamento. 3. Poder calorífico superior. I. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. II. Título.

CDD 21.ed. 630.2

**MARTA JULIANA SCHMATZ MENEZES**

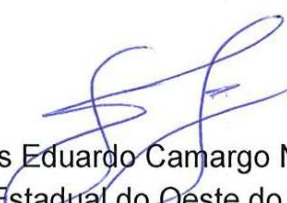
**“Poder calorífico e análise imediata da maravalha de Pinus (*Pinus* sp) e araucária (*Araucaria angustifolia*) de reflorestamento como resíduos de madeireira”**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Energia na Agricultura em cumprimento parcial aos requisitos para obtenção do título de Mestre em Energia na Agricultura, área de concentração Agroenergia, **aprovada** pela seguinte Banca Examinadora:

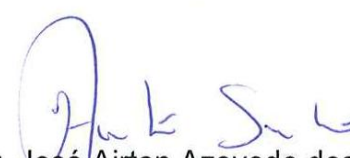
Orientador:



Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. Carlos Eduardo Camargo Nogueira  
Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE/Cascavel



Prof. Dr. José/Airton Azevedo dos Santos  
Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR/Medianeira

Cascavel, 20 de fevereiro de 2013.

*Aos meus pais, por fazer dos meus sonhos os seus, e não medir forças para torná-los reais.*

## AGRADECIMENTOS

A Deus por ser a força que me mantém firme, a luz no meu caminho frente a todas as dificuldades as quais a vida apresenta, e a N<sup>a</sup> Sra. Aparecida, pelas preces ouvidas nos momentos de desilusão;

A meus pais Orlando e Irma, a quem devo minha vida, por estarem sempre prestes a me estender a mão, minha eterna gratidão e amor incondicional;

Ao meu marido Tuca, com quem amo partilhar todos os momentos da minha vida, por todo o apoio e incentivo e principalmente por ter escolhido permanecer ao meu lado, em todos os caminhos onde a vida nos leva;

Aos meus irmãos Aline, Alison e Kharen, que além de família são verdadeiros amigos, pessoas de caráter, a quem tenho profunda admiração e amor. Não imagino minha vida sem vocês ao meu lado;

Ao meu orientador, Prof<sup>o</sup>. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira, por ser sempre muito prestativo e confiante, pelos valiosos ensinamentos que tens transmitido, principalmente de vida. Todo o meu respeito;

Aos meus coorientadores, Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza e Reinaldo Aparecido Bariccatti, pelos conhecimentos adquiridos ao longo do tempo;

Ao professor Duda, pelo seu bom humor de sempre, juntamente com o professor Jair, fazem do Laboratório de Energia – LENE o ambiente de pesquisa mais agradável do curso de mestrado;

A Vanderléia, sempre prestativa aos discentes desta pós-graduação e dedicada às melhorias do curso;

A CAPES, pela bolsa de estudos concedida;

Aos bons amigos de sempre, que se alegram com minhas pequenas vitórias e aos novos que conquistei em Cascavel pelo companheirismo na caminhada;

Ao pessoal dos Laboratórios de Energia, de Solos e de Resíduos Sólidos da UNIOESTE, pela ajuda em várias etapas do trabalho;

Finalmente, a todos que de alguma forma contribuíram para a realização desse trabalho, ajudando na conquista de mais uma etapa.

Muito obrigada!!!

*“A verdadeira viagem de descobrimento não consiste em procurar novas paisagens, mas em ter novos olhos”.*

(Marcel Proust)

## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>CV:</b>	Coeficiente de Variação
<b>H:</b>	Hidrogênio
<b>M<sup>3</sup>:</b>	Metro cúbico
<b>m<sub>1</sub>:</b>	Massa Biomassa Inicial
<b>m<sub>2</sub>:</b>	Massa Biomassa final
<b>m<sub>3</sub>:</b>	Massa Biomassa Antes do Experimento
<b>m<sub>4</sub>:</b>	Massa Biomassa Depois do Experimento
<b>mm:</b>	Milímetros
<b>NBR:</b>	Norma Brasileira
<b>PCS:</b>	Poder Calorífico Superior
<b>PCI:</b>	Poder Calorífico Inferior
<b>Tu:</b>	Teor de Umidade
<b>Tv:</b>	Teor de Voláteis
<b>Tc:</b>	Teor de Cinzas
<b>Tcf:</b>	Teor de Carbono Fixo
<b>tEP:</b>	Toneladas equivalentes de petróleo
<b>%:</b>	Porcentagem
<b>sp:</b>	Espécie



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Panorama da matriz energética brasileira	5
Figura 2. Evolução da produção paranaense de energia	9
Figura 3. Distribuição da produção de toras para lenha no Paraná.	10
Figura 4. Consumo final por fonte.	11
Figura 5. Consumo de madeira para a secagem dos produtos agrícolas.	12
Figura 6. Estimativa do potencial de déficit e/ou disponibilidade de área de eucalipto no Paraná.	13
Figura 7. Etapas do processo de queima	20
Figura 8. Fases da queima de um cilindro de madeira sujeito a um fluxo de calor externo	21
Figura 9. Disponibilidade dos resíduos agrícolas por região geográfica.	25
Figura 10. Maravalha utilizada no experimento, provenientes da Madeireira: A. angustifolia (a) e Pinus sp. (b)	28
Figura 11. Forno Mufla (a) e Dessecador (b) utilizados	29
Figura 12. Maravalha de A. angustifolia (a) Pinus sp. (b) após a volatização	30
Figura 13. Bomba Calorimétrica utilizada.	31
Figura 14. Variação e Média do Teor de Umidade da maravalha de A. angustifolia e Pinus sp.	33
Figura 15. Variação e Média do Teor de Voláteis da maravalha de A. angustifolia e Pinus sp.	35
Figura 16. Variação e Média do Teor de Cinzas da maravalha de A. angustifolia e Pinus sp.	36
Figura 17. Variação e Média do Teor de Carbono Fixo da maravalha de A. angustifolia e Pinus sp.	37
Figura 18. Poder Calorífico Superior – PCS da maravalha de A. angustifolia e Pinus sp.	39
Figura 19. Poder Calorífico Inferior - PCI da maravalha de A. angustifolia e Pinus sp.	40

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Estimativa da quantidade de resíduos de madeira gerada no Brasil.....7

Tabela 2. Composição da lenha seca, do carvão e da madeira e de vários tipos de carvão mineral.....12

Tabela 3. Composição média de madeira de coníferas e folhosas.....12

Tabela 4. Características das tecnologias para pirólise da biomassa.....17

## RESUMO

MENEZES, Marta Juliana Schmatz, M.Sc., Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Fevereiro de 2013. **Poder calorífico e análise imediata da maravalha de Pinus (*Pinus sp*) e Araucária (*Araucaria angustifolia*) de reflorestamento como resíduos de madeira.** Orientador: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira. Co-Orientadores: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza e Reinaldo Aparecido Bariccatti.

O objetivo do presente trabalho foi avaliar o poder calorífico e realizar a análise imediata de resíduos de madeiras na forma de maravalha. Foram avaliados os resíduos de dois tipos de madeiras: Araucária (*Araucaria angustifolia*) e Pinus sem espécie definida (*Pinus sp*). A coleta da maravalha foi realizada em uma madeireira que beneficia madeiras provenientes de reflorestamento destas espécies. O material coletado foi avaliado em uma bomba calorimétrica para a determinação do poder calorífico superior e inferior. Para a determinação dos teores de umidade, cinzas, voláteis e carbono fixo foi realizada a análise imediata dos resíduos no forno mufla. Os principais resultados obtidos permitiram concluir que a maravalha de *A. angustifolia* apresentou um poder calorífico superior e inferior de  $17,32 \text{ MJ.kg}^{-1}$  e  $17,00 \text{ MJ.Kg}^{-1}$ , respectivamente e o *Pinus sp.* um poder calorífico superior e inferior de  $17,23$  e  $16,91 \text{ MJ.Kg}^{-1}$ , respectivamente. Quanto à análise imediata, a maravalha de *A. angustifolia* apresentou um menor teor de umidade, voláteis e cinzas de 28 %, 2,24 % e 2,24%, respectivamente, enquanto que os valores encontrados para a maravalha de *Pinus sp.* foram de 52 %, 4,42 % e 4,42 %, respectivamente para os mesmos fatores. O teor de carbono fixo encontrado na maravalha de *A. angustifolia* foi superior ao do *Pinus sp.*, correspondendo 95,58 % e 91,15 %, respectivamente.

**PALAVRAS-CHAVE:** Dendroenergia, Coníferas de Reflorestamento, Poder Calorífico Superior

## ABSTRACT

MENEZES, Marta Juliana Schmatz, M.Sc., Western Parana State University, February, 2013. **Calorific value and immediate analysis of wood shavings (*Pinus* sp) and Araucaria (*Araucaria angustifolia*) reforestation and timber waste.** Advisor: Prof. Dr. Jair Antonio Cruz Siqueira. Co- Advisor: Prof. Dr. Samuel Nelson Melegari de Souza and Reinaldo Aparecido Bariccatti.

The objective of this study was to evaluate the calorific value and perform immediate analysis of waste timber in the form of sawdust. Residues were evaluated two types of wood: Araucaria (*Araucaria angustifolia*) and no specific species Pinus (*Pinus* sp.). The collection of wood shavings was held in a timber that receives wood from reforestation of these species. The collected material was evaluated in a bomb calorimeter for determining the upper and lower calorific value. For the determination of moisture, ash, volatile and fixed carbon analysis was performed as shown in the muffle furnace waste. The main results showed that the shavings of *A. angustifolia* showed an upper and lower calorific value of 17.32 MJ.Kg<sup>-1</sup> and 17.00 MJ.kg<sup>-1</sup> respectively and *Pinus* sp. an upper and lower calorific value of 17.23 MJ.Kg<sup>-1</sup> and 16.91 MJ.Kg<sup>-1</sup>, respectively. As for immediate analysis, the shavings of *A. angustifolia* had a lower moisture content, volatile and ash content of 28%, 2.24% and 2.24% respectively, while the values found for the shavings of *Pinus* sp. were 52%, 4.42% and 4.42% respectively for the same factors. The fixed carbon content of wood shavings found in *A. angustifolia* was higher than *Pinus* sp. of 95.58% and 91.15% respectively.

**KEYWORDS:** Wood energy, Conifer Reforestation, Higher Calorific Value

## ÍNDICE

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>1</b>
<b>2. OBJETIVOS</b>	<b>3</b>
2.1 Objetivo Geral	3
2.2 Objetivos Específicos	3
<b>3. REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>4</b>
3.1 Biomassa florestal para fins energéticos – visão global	4
3.2 Avaliações dendroenergéticas	5
3.3 Balanço energético no Paraná	8
3.4 Características dos resíduos florestais	14
3.4.1 Poder calorífico	14
3.4.2 Composição química imediata	16
3.5 Combustão da madeira	17
3.6 Aproveitamento dos resíduos para fins energéticos	23
<b>4. MATERIAL E MÉTODOS</b>	<b>27</b>
4.1 Localização do Experimento	27
4.2 Coleta dos Resíduos de Biomassa	27
4.3 Caracterização dos materiais	28
4.4 Análise Imediata da Biomassa in natura	28
4.4.1 Determinação do Teor de Umidade	28
4.4.2 Determinação do Teor de Voláteis	29
4.4.3 Determinação do Teor de Cinzas	30
4.4.4 Determinação do Teor de Carbono Fixo	30
4.4.5 Determinação do Poder Calorífico	31
4.5. Análise dos Dados	32
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>33</b>
5.1 Análise Imediata da Biomassa In Natura	33
5.1.1 Teor de Umidade	33
5.1.2 Teor de Voláteis	34
5.1.3 Teor de Cinzas	35
5.1.4 Teor de Carbono Fixo	Erro! Indicador não definido.

<b>5.2 Poder Calorífico</b>	<b>38</b>
<b>5.2.1 Poder Calorífico Superior – PCS</b>	<b>38</b>
<b>5.2.2 Poder Calorífico Inferior – PCI</b>	<b>39</b>
<b>6. CONCLUSÃO</b>	<b>41</b>
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>42</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A biomassa é um recurso energético abundante e de baixo custo (ALMEIDA, 2010). Quando comparada a outras fontes renováveis tem como vantagem a possibilidade de armazenamento da matéria-prima (FOWLER, 2009), e com isto a redução dos custos de transporte e frete, podendo comercializá-la em épocas de menor oferta e maior demanda.

Destinada à produção energética, a biomassa pode ser classificada em: Primária – proveniente de floresta ou agricultura cultivada com finalidade de energia e; Secundária – resultante da biomassa primária, incluindo os resíduos agrícolas, florestais e subprodutos (CARNEIRO, 2012).

Resíduos florestais são aqueles deixados na floresta na sequência das operações, como os caules, cascas, tocos, folhagens, árvores danificadas e não comercializáveis, e resíduos acumulados em indústria de manufatura madeireira (KARAJ, 2010).

O uso de resíduos da agricultura e silvicultura, incluindo o processamento de madeira, além de proporcionar alternativas sustentáveis para o desenvolvimento rural, representa importante papel na oferta futura da produção de bioenergia, sem causar impactos ambientais negativos, direta ou indiretamente (SCARLAT, 2011). No entanto, para a viabilidade de projetos que envolvam biomassa, deve-se considerar a disponibilidade destes recursos a nível regional e local, além da identificação e avaliação do potencial energético de diferentes espécies florestais, fato que já vem sendo realizado em regiões desenvolvidas em todo o mundo, objetivando a substituição dos combustíveis fósseis (LÓPES-RODRIGUEZ, 2009).

Os resíduos de serraria como biomassa florestal são o potencial mais promissor por ser fonte alternativa e renovável de energia e por sua disponibilidade localmente (PEIXER, 2007). Esta mudança de visão favoreceu a diminuição de ônus que a falta de usinas elétricas causa aos consumidores (REVISTA REFERÊNCIA, 2003 (a)), além de incentivar o desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para a conversão desta biomassa em energia.

Os principais resíduos das indústrias madeireiras são a serragem, a lenha e a maravalha, esta, também conhecida como cepilho, é derivada das plainas e caracteriza-se como resíduo com mais de 2,5 mm (TAVARES, 2010).

A maravalha seca, assim como o cavaco descascado é o mais nobre e valioso resíduo disponível no mercado. A maravalha tem como principal destinação a venda aos produtores rurais, para uso na confecção de camas de aviário e estábulos (BRAND, et al., 2004).

Apesar dos avanços tecnológicos, o desperdício no setor madeireiro ainda é muito grande. Somente o resíduo de maravalha pode chegar a 20 % do total da matéria-prima desperdiçada nas indústrias madeireiras, estando em primeiro lugar os resíduos de lenha ou cavacos, com 50 % do volume total da matéria-prima (CORONEL et al., 2007).

A região de Lages –SC possui um grande potencial gerador de resíduos não utilizados, que causam problemas ambientais como assoreamento dos rios e queima a céu aberto ((BRAND, et al., 2004). De acordo com o mesmo autor, aliado a estes problemas e as crises energéticas na região, órgãos públicos e privados passaram a partir de 2004 a utilizar estes resíduos madeiráveis nos processos de produção de energia térmica (vapor) e elétrica numa cogeneradora, obtendo aumento do ganho energético.

O aproveitamento médio dos resíduos de maravalha das espécies de *Araucaria angustifolia* e *Pinus* sp. em diversas madeireiras no Rio Grande do Sul é de 73% e 63%, respectivamente, considerando um volume total de 210 m<sup>3</sup> gerados deste resíduo. Este rendimento maior para a espécie *A. angustifolia* deve-se ao maior diâmetro e idade do plantio (HILLING et al., 2006). Atualmente, a madeira de *A. angustifolia* disponível no mercado provém de plantios florestais (MATTOS et al., 2006).

Para a utilização desta biomassa florestal como fonte energética, devem-se considerar as características físicas e químicas do material, que podem influenciar no rendimento e na manutenção dos equipamentos que realizam os processos de combustão (MOURA, et al., 2012). A análise e acompanhamento de variáveis como teor de umidade (TU), teor de cinzas (TC) e poder calorífico elevam a eficiência do material, tornando-o competitivo frente a outras fontes de energia (BRAND, 2007)



## 2. OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho foi avaliar, do ponto de vista energético, os resíduos de maravalha de *Araucaria angustifolia* e *Pinus* sp. *in natura*, provenientes do beneficiamento da indústria madeireira.

### 2.2 Objetivos Específicos

- Avaliar, por meio da análise imediata, o Teor de Cinza, Teor de Voláteis e Teor de Carbono Fixo dos resíduos de maravalha de *Araucaria angustifolia in natura*;
- Avaliar, por meio da análise imediata, o Teor de Cinza, Teor de Voláteis e Teor de Carbono Fixo dos resíduos de maravalha de *Pinus* sp. *in natura*;
- Determinar o poder calorífico superior e inferior dos resíduos de maravalha de *Araucaria angustifolia in natura*;
- Determinar o poder calorífico superior e inferior dos resíduos de maravalha de *Pinus* sp. *in natura*.

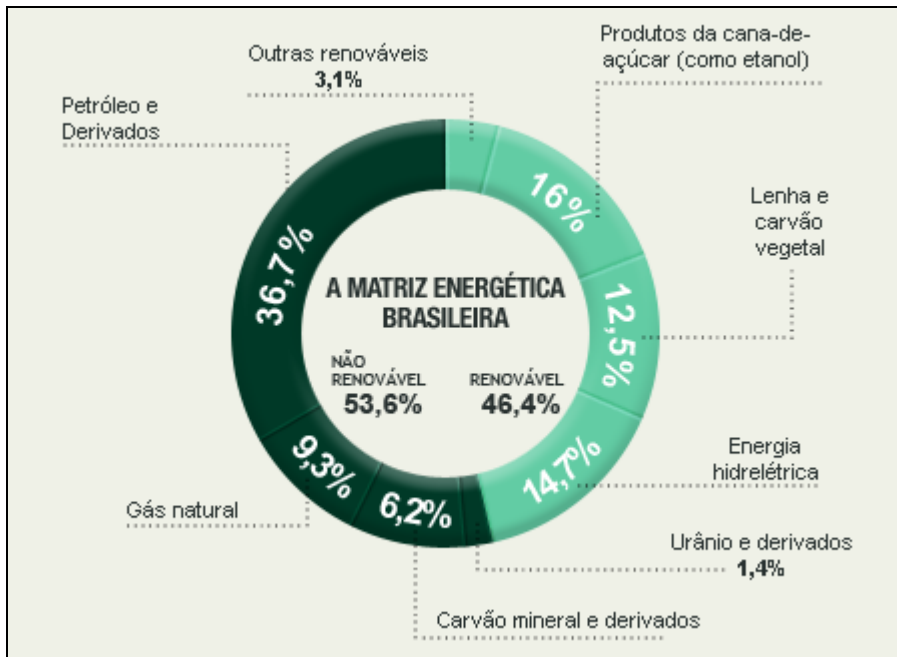
### 3. REVISÃO DE LITERATURA

#### 3.1 Biomassa florestal para fins energéticos – visão global

O termo biomassa refere-se a todo material orgânico proveniente de espécies vegetais, que captam e armazenam energia solar, produzindo fotossíntese. A energia da biomassa, ou bioenergia, é a conversão de biomassa em formas úteis de energia, como calor, eletricidade e combustíveis líquidos (AKPINAR et al., 2008).

A biomassa florestal, principalmente na forma de lenha, é tida atualmente como essencial, principalmente para os países em desenvolvimento. Na Índia, 70 % do consumo de energia para o cozimento de alimentos provém desta biomassa, segundo o Ministério de Energia Nova e Renovável - MNRE da Índia (2009) apud Abassi et al., (2009). Nas zonas rurais da Turquia, a lenha é a quinta maior fonte de energia, sendo que seu consumo médio equivale a  $0,75 \text{ m}^3 \cdot \text{homem}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  (AKPINAR et al., 2008). Segundo o mesmo autor, há uma escassez deste insumo para o uso doméstico, resultante de desmatamento indiscriminado, regeneração florestal lenta no país e crescente pressão demográfica. No Brasil esta fonte, somada a outras formas de energia tradicional, totalizam 12,5 % do total que o país necessita (LORA et al., 2009), conforme a Figura 1.

O uso da biomassa convencional de baixo nível tecnológico vem passando por um período de transição no Brasil. A chamada biomassa moderna, utilizada para fins de geração de calor industrial, eletricidade e produção de biocombustíveis equivale a 11,3 % na matriz energética brasileira, fração muito próxima aos 12,5 % da biomassa tradicional utilizada (GOLDEMBERG, et al., 2002). De acordo com Lora et al. (2009), em se tratando de implementação do uso de energia da biomassa, o país está entre os que possuem os programas mais avançados, principalmente quando fala-se de biomassa moderna.



**Figura 1. Panorama da matriz energética brasileira**

Fonte: COP - Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (2009).

A importância da utilização de biomassa residual deve-se a vários fatores, a começar pela prevenção de incêndios florestais, dada a retirada desta biomassa dos talhões, evitando prejuízos à economia local. Também, por contribuir para o desenvolvimento de culturas bioenergéticas e fornecer emprego e renda nas zonas rurais (LÓPES-RODRIGUEZ, 2009).

### 3.2 Avaliações dendroenergéticas

Fonte renovável de energia, a biomassa proveniente da madeira e seus resíduos, dentre outras, é considerada como a de maior potencial na contribuição para as necessidades de energia da sociedade moderna em todo o mundo (DEMIRBAS et al., 2009).

Quando a geração de energia é obtida através do uso da madeira como combustível, seja esta proveniente de florestas energéticas ou de processos industriais, designa-se dendroenergia (NOGUEIRA; LORA, 2003). O conteúdo energético nesta biomassa está associado à quantidade de celulose e lignina

presentes e, também, a baixa umidade quando utilizadas as rotas termoquímicas (SALOMOM; FILHO, 2007).

Visando à conversão da biomassa em energia, têm-se, além da exploração das florestas plantadas, três segmentos industriais que utilizam a madeira derivada dos próprios processos para este fim, sendo estes as serrarias, as indústrias de papel e celulose e as indústrias moveleiras (CENBIO - Centro Nacional de Referência em Biomassa, 2009).

No processamento de resíduos de madeira, o potencial de bioenergia estimado é equivalente a  $28 \text{ EJ.ano}^{-1}$  (SMEETS et al., 2007a), sendo uma grande parte encontrada na América do Sul e Caribe, onde o Brasil encontra-se entre os cinco maiores países ricos em florestas, responsáveis por mais da metade da área florestal total, cerca de 2.097 milhões de hectares, que correspondem a 53 % (SMEETS et al., 2007b). Esta produção de biomassa difere de país para país, de acordo com o clima, obtendo rendimentos médios em clima temperado a alto nível de produção onde o clima é tropical e subtropical (DEMIRBAS et al., 2009).

Em um estudo sobre a avaliação dos resíduos de biomassa florestal para fins energéticos na Espanha, Pérez et al. (2007) verificou que as folhas eram a parte da árvore com maior poder calorífico inferior e que dentre as diferentes espécies estudadas, os resíduos de *Eucalyptus* spp apresentaram valores superiores, em torno de  $65.000 \text{ MJ.ha}^{-1}.\text{ano}^{-1}$ .

Na comparação dos resíduos de *Eucalyptus globulus* com os de *Eucalyptus nitens* nas fases jovem e adulta das espécies durante um ano, Pérez et al. (2006) verificou que *E. nitens* possui um maior poder calorífico durante a fase adulta para todos os resíduos, exceto sementes, devido a maior concentração de componentes voláteis e óleo essencial. O autor analisou ainda, que resíduos coletados durante a estação do outono apresentaram maior poder calorífico para ambas as espécies, devido à menor umidade das amostras no momento da colheita. No comparativo entre as amostras residuais, a casca é a parte que apresenta menor poder calorífico.

Atualmente, mais de 70 % do consumo de biomassa nos Estados Unidos vem das florestas, cerca de 142 milhões de toneladas secas (MOHAN et al., 2006). Nos países do Sul e Sudeste Asiático, 39% do consumo total de energia constituem-se de madeira e outros combustíveis de biomassa (SAIDUR et al., 2011). Na Finlândia, a parcela disponível dos combustíveis florestais com fins de uso em

caldeiras é proveniente de resíduos madeireiros, tocos e outras madeiras de pequeno diâmetro resultantes do desbaste precoce (RANTA et al., 2011).

Comumente, após o processamento mecânico da madeira nas serrarias e marcenarias, há o descarte de grandes volumes de materiais como a serragem, o pó-de-serra, a maravalha, cascas e costaneiras (SANTIAGO, 2005). Estes resíduos de madeira podem ser totalmente utilizados para a produção de energia, pois, a matéria-prima proveniente destes locais pode ser transformada em eletricidade através da combustão dos mesmos (DEMIRBAS et al., 2009).

No Brasil, aproximadamente 30 milhões de toneladas de resíduos de madeira são gerados anualmente. Deste total, a indústria madeireira contribui com 91%, sendo a principal fonte geradora de resíduos. Comparativamente e bem menos expressivos, a participação dos resíduos de madeira da construção civil e do meio urbano representam 3 % e 8 %, respectivamente, conforme Tabela 1 (TUOTO, 2009).

**Tabela 1. Estimativa da quantidade de resíduos de madeira gerada no Brasil.**

FONTE GERADORA	RESÍDUOS DE MADEIRA (1.000 t/ano)	%
Indústria Madeireira	27.750	90,7
Construção Civil	923	3,0
Meio Urbano (poda de árvore urbana)	1.930	6,3
<b>TOTAL</b>	<b>30.603</b>	<b>100,0</b>

Fonte: Tuoto (2009). Adaptado pelo autor.

A maravalha de *Pinus taeda*, gerada por plainas nas instalações de serraria/beneficiamento e disponibilizada exclusivamente no estado seco (CALEGARI et al., 2005), obtém um poder calorífico superior de 4.945 kcal.Kg<sup>-1</sup>, superior ao do briquete de biomassa lignocelulósica de 4.700 kcal.Kg<sup>-1</sup>.

Se considerado apenas os resíduos de serrados de *Pinus* sp. da indústria de base florestal, a soma é de 75 % da geração de resíduos na cadeia produtiva,

restando apenas 25 % do volume total de uma árvore para ser colocado no mercado em forma de tábuas, caibros, ripas, entre outros (REVISTA DA MADEIRA, 2004).

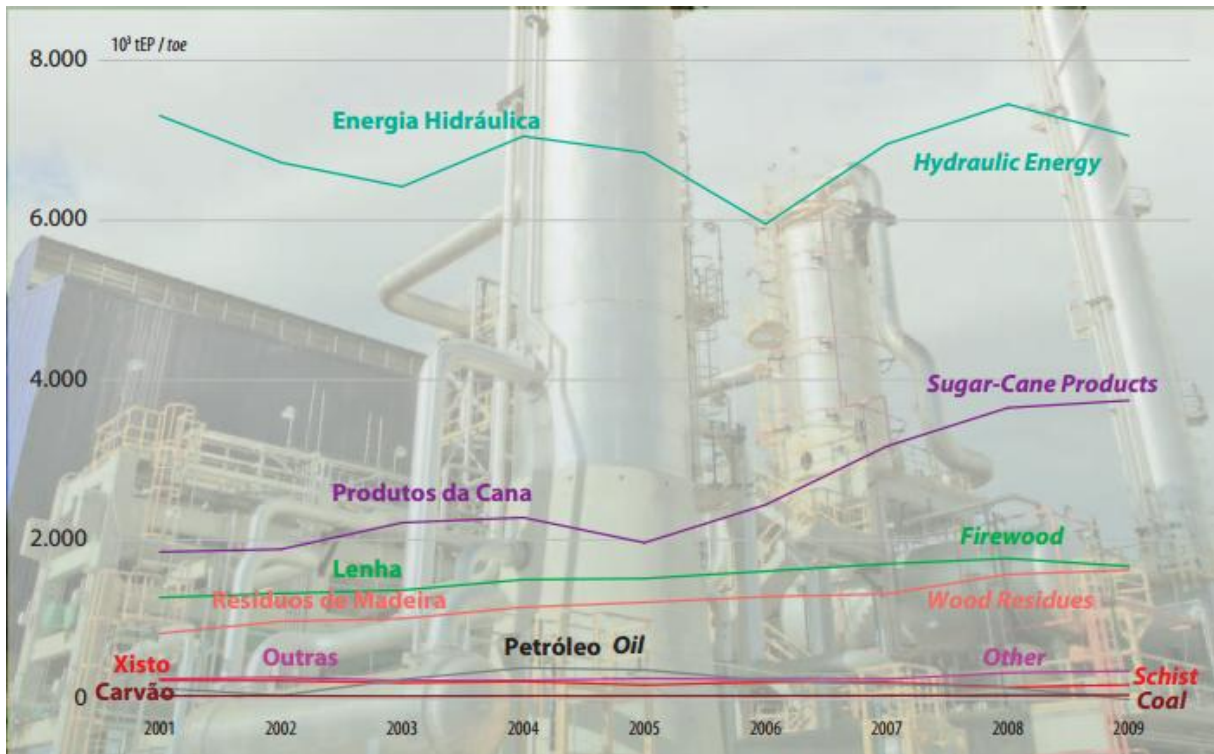
Os resíduos de madeira diretamente da floresta, contribuem positivamente na substituição de 14-27 milhões de tep.ano<sup>-1</sup> (KARJALAINEN et al., 2004). Os biocombustíveis, incluindo resíduos florestais, tornam-se mais concorrentes ao passo que aumenta o preço dos combustíveis fósseis no mercado mundial (BALAT, 2006).

Iniciativas como preços fixos e subsídios para a colheita de biomassa florestal a ser utilizada como combustível contribui para o crescimento econômico e tornam estas fontes renováveis mais competitivas (ROSER et al., 2007). Assim, o uso da biomassa como fonte de energia limpa vem ganhando importância ao passo que as estratégias de política nacional de energia concentram-se em fontes renováveis e de conservação (DEMIRBAS et al., 2009).

### **3.3 Balanço energético no Paraná**

As fontes renováveis de energia no Paraná são provenientes da Associação de Produtores de Bioenergia do Estado do Paraná – ALCOPAR, da usina Binacional de Itaipu, da Companhia Paranaense de Energia – COPEL e das indústrias de iniciativa privada (COPEL, 2009).

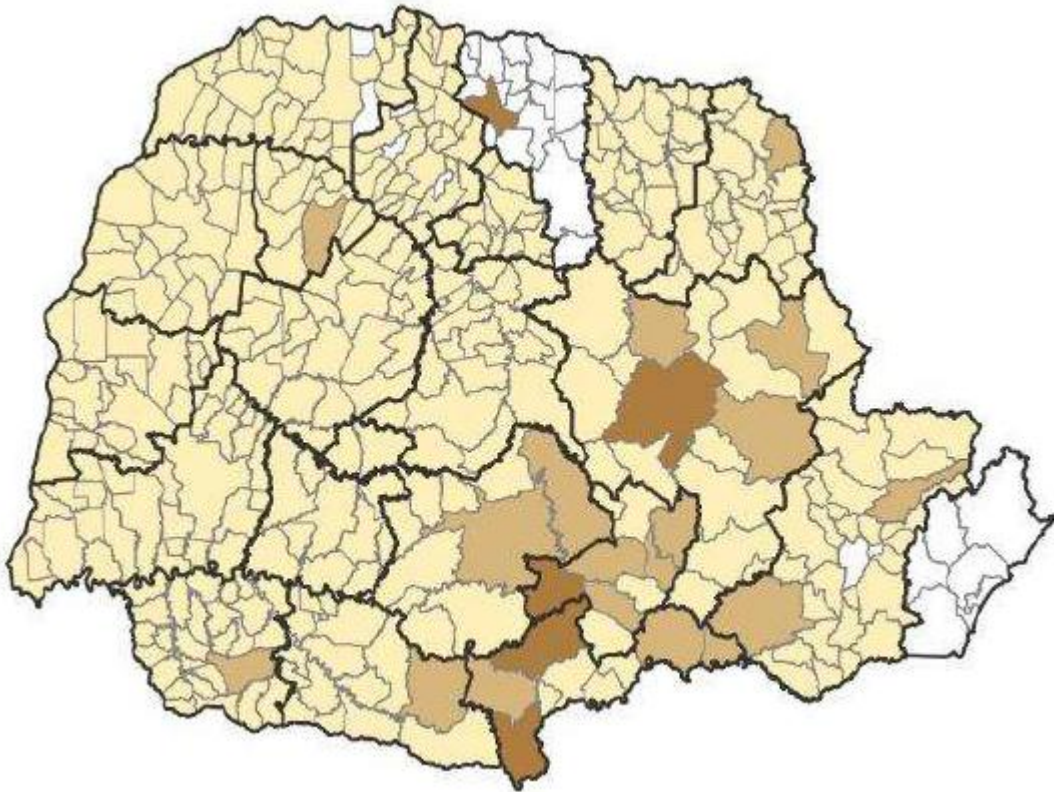
A participação do Paraná em relação ao consumo global de energia, passou de 5,5,% em 1980 para 7,2% em 2009 (17.676 mil tEP). Esta evolução na demanda da produção paranaense de energia, tanto primária, quanto secundária, vem aumentando gradativamente, representando 1,9 % a mais, quando comparado ao ano de 2008 (COPEL, 2009). A Figura 2 apresenta a evolução da produção paranaense de energia, onde as fontes renováveis, principalmente resíduos de madeira e produtos de cana tiveram um significativo aumento durante o período de avaliação.



**Figura 2. Evolução da produção paranaense de energia**  
 Fonte: COPEL (2009).

As fontes renováveis foram responsáveis pelas maiores participações no crescimento do consumo de energia primária. O biodiesel apresentou elevação de 233,3%, os resíduos agrícolas de 40%, os resíduos de madeira de 3,6% e o bagaço de cana de 1,9%, comparando o ano de 2009 com o ano anterior (COPEL, 2009).

Dos resíduos de madeira, a lenha ainda ocupa lugar de grande importância na matriz energética brasileira, participando com aproximadamente 10% da produção de energia primária. No Estado do Paraná há ampla distribuição da produção de toras para lenha, exceto nos núcleos regionais de Londrina e Paranaguá, conforme Figura 3 (SEAB / DEAGRO, 2010).



**Figura 3. Distribuição da produção de toras para lenha no Paraná.**  
Fonte: SEAB / DEAGRO, 2010.

Em 2009, do total de lenha produzida no Brasil, 32% foi transformado em carvão vegetal, e 31% foi utilizado pelo setor residencial, principalmente nas regiões rurais, na cocção de alimentos. A indústria nacional - cerâmica, alimentos e bebidas, e papel e celulose - consumiram 27% (COPEL, 2009). A Figura 4 mostra o consumo final por fonte, comparando o ano de 2009 com o ano anterior.

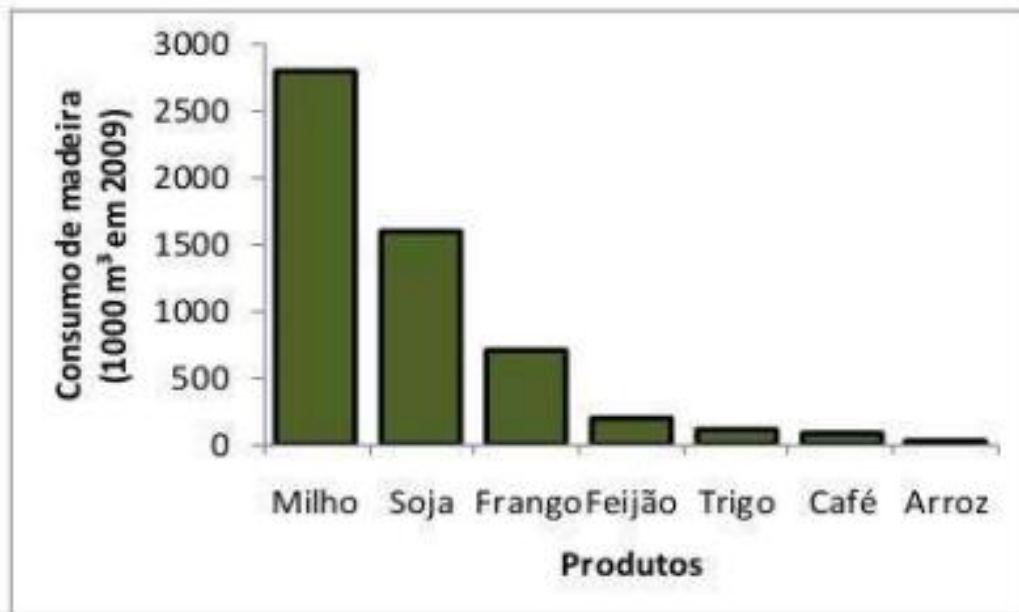




**Figura 4. Consumo final por fonte.**

Fonte: COPEL (2009).

Cada vez mais há necessidade de uma maior demanda de madeira proveniente de cultivos florestais, para utilização nos processos de secagem e armazenamento dos produtos de agropecuária, como o caso dos grãos e da avicultura (Gonçalves et al, 2013). Neste setor, o Estado do Paraná apresenta-se como o maior produtor de grãos do país, principalmente a soja, representando 6 % da produção mundial (SEAB / Deral, 2009). A Figura 5 representa a relação inicial entre a demanda e a disponibilidade de área florestal para secagem de produtos agrícolas e cama de aviário no Estado do Paraná, onde o milho ocupa o primeiro lugar dentre os produtos agrícolas, sendo o consumo necessário para a secagem deste produto de valores próximos a 3000 m<sup>3</sup> de madeira.



**Figura 5. Consumo de madeira para a secagem dos produtos agrícolas.**

Fonte: Gonçalves et al, 2013.

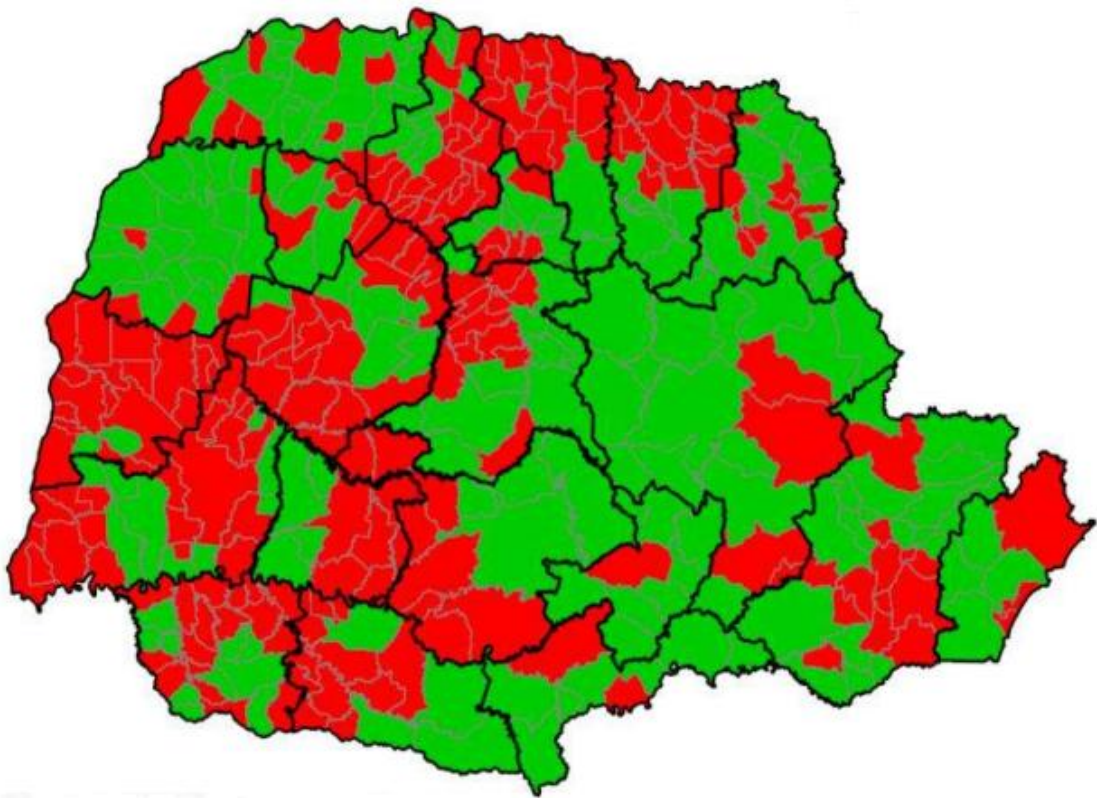
A biomassa florestal disponível e utilizada pelas indústrias como fonte primária de energia na geração de vapor de processo, provém das espécies de *Pinus* sp e *Eucaliptus* sp. (SORDI et al., 2002). Esta biomassa, segundo o mesmo autor, pode ser utilizada pelas indústrias na geração própria de eletricidade e vapor de processo com a utilização de turbinas a vapor (cogeração), principalmente pelo baixo custo dessa fonte primária e disponibilidade de biomassa florestal na região Oeste do Paraná.

O Paraná é o Estado com a maior cobertura de florestas plantadas neste ramo de mercado. As atividades florestais e madeireiras são de grande importância para a economia e geração de emprego. No Estado os reflorestamentos concentram-se principalmente nos municípios do Vale do Ribeira e nas regiões de Jaguariaíva, Guarapuava, Bituruna e Palmas (COPEL, 2009).

Em todo o Estado, o gênero *Pinus* ocupa uma área de 695 mil hectares, maior área do Brasil, e vem sendo substituído gradativamente por plantios de eucalipto em diversas regiões (ABRAF, 2010), devido às qualidades da madeira proveniente desta espécie e aos seus vários usos.

Grande parte da madeira produzida no Estado é consumida sob a forma de biocombustível para produção de energia (3.178.711,5 m<sup>3</sup> ou 79,18 %), superando o

consumo da indústria madeireira (serrarias, laminadoras, dentre outras) em muitos municípios (GONÇALVES et al, 2013). De acordo com o mesmo autor, a madeira para finalidade energética apresenta déficit em diversos municípios, já que grande parte dos plantios de eucalipto destina-se às empresas do ramo madeireiro. A figura 6 apresenta uma estimativa da necessidade de madeira em função do potencial de consumo energético destinado à secagem de grãos e aquecimento de aviários, tendo o eucalipto como fonte única e considerando-se uma produção média de  $35 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{ano}^{-1}$  para a região (EMATER, 2009). Muitos municípios, representados pela cor vermelha, possuem déficit deste recurso para esta finalidade.



**Déficit / disponibilidade de área (ha)**



Déficit de madeira para secagem dos produtos agrícolas e cama de aviário.



Atende ou supera demanda de madeira para os produtos agrícolas e cama de aviário.

**Figura 6. Estimativa do potencial de déficit e/ou disponibilidade de área de eucalipto no Paraná.**

Fonte: SEAB / DEAGRO – Divisão de cultivos florestais (2010).

O setor florestal possui diferentes e específicos segmentos, onde o consumo de madeira pode ser realizado de diversas formas. Neste contexto, os subprodutos como casca, pó de serra e cavacos podem ser utilizados para aproveitamento energético em caldeiras (GONÇALVES et al, 2013).

Em 2009, a produção de resíduos florestais no Paraná atingiu 1.620 mil tEP, 3,5% superior ao produzido em 2008. Deste total, 52 mil tEP foram destinadas para a geração de eletricidade e 1.568 mil tEP consumidos pelas indústrias da região (COPEL, 2009).

### **3.4 Características dos resíduos florestais**

#### **3.4.1 Poder calorífico**

Para o aproveitamento racional e adequado dos resíduos florestais, faz-se necessário o estudo de suas propriedades energéticas (PROTÁSIO, 2011). Neste caso, o poder calorífico é um excelente parâmetro de avaliação da potencialidade energética dos combustíveis de biomassa (BRAND, 2010).

O poder calorífico de um material é expresso pelo conteúdo de energia que é liberada quando o material é queimado no ar. Sendo assim, o calor gerado durante a combustão de diferentes espécies florestais ou resíduos madeireiros pode variar dependendo de suas propriedades físicas, químicas e anatômicas (ALMEIDA, 2010). Divide-se em Poder Calorífico Superior e Inferior.

O Poder Calorífico Superior – PCS, refere-se à quantidade de calorias liberadas por um material em sua combustão completa, expresso em calorias por grama (cal/g) ou quilocaloria/quilograma (kcal/kg) (QUIRINO et al., 2011). Quanto maior for este parâmetro, maior será a energia contida no combustível (CARVALHO JÚNIOR, 2010).

No PCS a água formada durante o processo de combustão é condensada, recuperando o calor derivado da condensação (QUIRINO et al., 2005). A quantidade de calor liberado durante a condensação do vapor de água e arrefecimento dos produtos da combustão é considerado até 25 °C (SOUZA, 2010).

A condição de queima de um material é considerada como ideal quando se encontra absolutamente seco, mas também esta diretamente influenciada pela

constituição química da madeira – lignina e extrativos, que elevam seu potencial (QUIRINO et al., 2005).

A partir do PCS, obtém-se o Poder Calorífico Inferior – PCI do material.

O PCI é a quantidade de calor necessária para produzir um quilo de combustível, através da combustão deste com o excesso de ar e gases de descarga, resfriados até o ponto de ebulição da água, evitando sua condensação (MEDEIROS; CARDOSO, 2010). Para tanto, a energia gasta para evaporar o hidrogênio de constituição do combustível durante a condensação da água é contabilizada (VLASSOV, 2001).

Nos motores endotérmicos a água se encontra no estado de vapor e a temperatura dos gases de combustão é muito elevada, por isto, deve-se considerar o PCI e não o PCS (MEDEIROS; CARDOSO, 2010). Dentre as fórmulas para determinar o PCI de diversos combustíveis, pode-se citar:

- (1) Álcool etílico:  $PCI = PCS - 700 \text{ kcal/kg}$ ,
- (2) Álcool metílico:  $PCI = PCS - 675 \text{ kcal/kg}$ ,
- (3) Benzol:  $PCI = PCS - 415 \text{ kcal/kg}$ ,
- (4) Gasolina:  $PCI = PCS - 780 \text{ kcal/kg}$ ,
- (5) Óleo diesel:  $PCI = PCS - 730 \text{ kcal/kg}$ .

Através do uso da bomba calorimétrica, pode-se determinação o PCS de um material combustível, dada pela evaporação e condensação da água durante a combustão do material (FONTES, 1994). De acordo com Kollmann (1968) apud Souza (2010), o PCI pode ser obtido indiretamente pela equação (6) a seguir:

$$(6) \text{ PCI} = \text{PCS} - ((600 \times 9.H) / 100)$$

Onde:

PCI = poder calorífico inferior (kcal/Kg);

PCS = poder calorífico superior (kcal/Kg);

H = teor de hidrogênio (%);

600 = Calor de condensação da água a 0 °C (zero graus Celsius);

9 = Representa a quantidade de água (em quilogramas) que se formam ao oxidar um quilo de hidrogênio.

De acordo com a composição química elementar média da madeira pode-se assumir o teor de hidrogênio como 6%. (SILVA, 2001).

O PCI representa o calor efetivamente possível de ser utilizado nos combustíveis, enquanto o PCS tem seu valor elevado em torno de 10 a 20 % (NOGUEIRA; LORA, 2003).

O controle das propriedades energéticas eleva a eficiência do material e o tornam mais competitivo frente a outras fontes de energia. Esse controle depende não somente do poder calorífico, mas também do teor de umidade e teor de cinzas, dentre outros (BRAND, 2007).

### **3.4.2 Composição química imediata**

O Teor de Umidade - TU, dado em porcentagem (%), é o fator que exerce maior influência sobre a queima de materiais combustíveis (SOUZA, 2010). Este fator indica a quantidade de água presente na madeira, devendo estar em torno de 65 a 70 % em base úmida (QUIRINO et al., 2007) e abaixo de 25 % para aproveitamento do material para a combustão e não redução do poder calorífico disponível na madeira (FARINHAQUE, 1981).

O TU pode apresentar variações quando relacionada às diferentes espécies, clima e armazenamento, dificultando o controle do processo de combustão, principalmente por ser inversamente proporcional ao poder calorífico, tornando-o negativo, pela quantidade de calor necessária para evaporá-la (BRITO; BARRICHELO, 1979).

Quanto à qualidade química para a produção de carvão vegetal a Norma PMQ3-03 do Estado de São Paulo estabelece teores de carbono fixo mínimo de 75 % e teor de cinzas abaixo de 1,5 % (São Paulo, 2003).

O foco das pesquisas voltadas para a transformação de energia a partir da biomassa, visando o desenvolvimento sustentável e ambientalmente correto, está direcionado à combustão direta como o método mais utilizado. Das conversões termoquímicas, a exemplo da pirólise e da gaseificação, a combustão direta é responsável por mais de 97 % da produção mundial de bioenergia (DEMIRBAS, 2004).

Quando a madeira é aquecida acima de 270° na ausência de ar, a água e outros materiais são conduzidos, permanecendo o carvão. Este, quando produzido a alta temperatura terá menor quantidade de matéria volátil e maior quantidade de teor de carbono fixo, quando produzido em baixas temperaturas. Carvão de alta volatilização tende a ser mais duro, mais forte, pesado e fácil de queimar (DIONCO-ADETAYO, 2001).

A cinza de madeira é o resíduo gerado devido à combustão de madeira e seus produtos. É o resíduo remanescente após a combustão. As propriedades físicas e químicas de diferentes espécies de madeira relacionam-se com as propriedades da cinza, determinando seu uso. Assim, o método de combustão e temperatura também implica no resultado final (SIDDIQUE, 2009).

De acordo com os princípios de desenvolvimento sustentável, a utilização da biomassa florestal para energia é reconhecida como uma medida de mitigação do aquecimento global, pois substitui os combustíveis fósseis e diminui a emissão de gases de efeito estufa (STUPAK et al., 2007). Por conter menores teores de enxofre e de nitrogênio nos resíduos de biomassa, a sua utilização também gera menos poluição ambiental e risco à saúde do que a combustão dos recursos não renováveis (TSAI et al., 2005).

### **3.5 Combustão da madeira**

A madeira é um material heterogêneo e a variabilidade dos seus constituintes químicos e estruturais estão relacionados a uma ampla gama de propriedades (SEVERO et al., 2006), tais como densidade, permeabilidade, comportamento quanto a capilaridade, condutividade térmica, difusão da água de impregnação, entre outras (KLOCK et al., 2005).

A madeira é constituída de carbono, hidrogênio, oxigênio, nitrogênio, este em pequenas quantidades. Na Tabela 2 indicam-se as composições e os poderes caloríficos da lenha seca, do carvão de madeira e de vários tipos de carvão mineral, onde de acordo com estudo feito por Sardinha et al., (2002), o carvão de madeira tem um alto teor de carbono, superior a vários tipos de carvão mineral enquanto o poder calorífico da lenha seca de diferentes espécies, a exemplo de *Salix alba* e

*Pinus sylvestris* encontram-se entre 3900 kcal.kg<sup>-1</sup> e 5066 kcal.kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Do ponto de vista da composição química da madeira, os componentes macromoleculares que constituem a parede celular são a celulose, polioses (hemiceluloses) e lignina. Estas proporções diferem entre coníferas e folhosas, enquanto que a celulose é um componente uniforme da madeira, conforme Tabela 3 (CARVALHO, 2010).

**Tabela 2. Composição da lenha seca, do carvão e da madeira e de vários tipos de carvão mineral**

COMBUSTÍVEL	C (%)	H (%)	O (%)	N (%)	CINZAS (%)	Kcal.kg <sup>-1</sup>
Lenha seca	50,3	6	43	-	0,4	5 000
Carvão de madeira	85-95	-	-	-	2	7500-8000
Turfa	56-63	5,7-6,3	31-38	1-2	1-4	5000-6000
Lenhite	57-84	5,5-7	10-37	1-2	-	6000-7000
Hulha	75-90	4,5-5,5	5-20	0,5-1,5	-	7000-8000
Antracite	95	2-3	2-3	0,1-0,5	-	8000-8500

Fonte: Sardinha et al., (2002). Adaptado pelo autor.

**Tabela 3. Composição média de madeira de coníferas e folhosas**

CONSTITUINTE	CONÍFERAS	FOLHOSAS
Celulose	42 ± 2 %	45 ± 2 %
Polioses	27 ± 2 %	30 ± 5 %
Lignina	28 ± 2 %	20 ± 4 %
Extrativos	5 ± 3 %	3 ± 2 %

Fonte: (CARVALHO, 2010). Adaptado pelo autor.

A celulose, como componente majoritário, é uma substância que se constitui de largas cadeias de polissacarídeos (ZOBEL; VAN BUIJTENEN apud SEVERO et al., 2006). Trata-se de um dos produtos da fotossíntese, que constitui a maior parte da madeira seca e a conversão em CO e água quando a madeira é queimada faz com que haja desprendimento da energia armazenada em sua estrutura. Assim



como na respiração, a queima de combustíveis libera a energia armazenada para ser convertida em formas de energia útil (SALOMOM; FILHO, 2007).

A hemicelulose forma uma matriz que envolve a celulose, e por sua vez, a lignina é uma substância incrustante que preenche os espaços vazios na parede celular (ZOBEL; VAN BUIJTENEN apud SEVERO et al., 2006).

De acordo com Brutti et al. (2010), dentre as principais reações químicas da combustão, tem-se a combustão do carbono, a combustão do hidrogênio e a combustão do enxofre, conforme as equações:



Combustão é a transformação da energia química dos combustíveis em calor, por meio de reações dos elementos constituintes com o oxigênio fornecido. No processo de combustão direta, fatores como a alta umidade, no caso da lenha, de 20 % ou mais, e a baixa densidade energética do combustível, podem tornar o processo ineficiente (ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica, 2005).

Para ocorrer uma combustão completa e eficiente do combustível é necessário fornecer à câmara de combustão uma quantidade de ar maior que a necessária, sendo que as caldeiras necessitam de um excesso de ar entre 30 e 40 % (BRUTTI et al., 2010),.

A biomassa é um combustível rico em voláteis, que constituem cerca de  $\frac{3}{4}$  do seu peso. Isso faz com que o processo de combustão transcorra em seis etapas consecutivas bem definidas, de secagem, emissão de voláteis, ignição dos voláteis, queima dos voláteis em chama, extinção da chama dos voláteis e combustão do resíduo de carbono (NOGUEIRA; LORA, 2003).

Gallo; Agnelli (1998) demonstram em seus trabalhos que este mesmo processo da queima pode ser dividido em cinco fases, sendo estas:

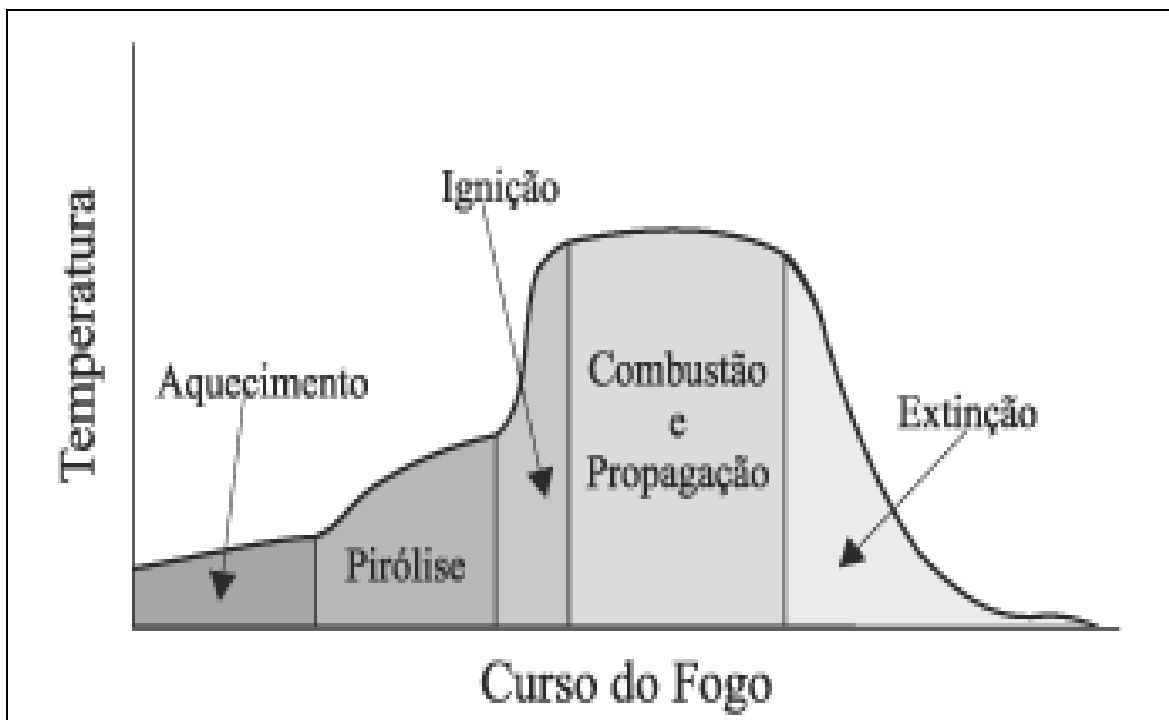
Aquecimento - o calor de uma fonte externa é fornecido ao material que tem sua temperatura aumentando progressivamente, por contato direto com a chama, gases e quentes ou condução de um corpo sólido;

Pirólise - os diferentes componentes do material atingem suas temperaturas de decomposição e começam a liberar substâncias;

Ignição - os produtos da pirólise se encontram com oxigênio e se difundem em sentido contrário, onde as condições de temperatura e concentração de gases combustíveis e de oxigênio atingem níveis que permitem a ignição por fonte de calor externa, ou por autoignição;

Combustão e propagação - os radicais livres gerados na pirólise desempenham importante papel na etapa de ignição, desencadeando reações de combustão altamente exotérmicas, e cujo calor liberado dá início a um processo denominado retroalimentação térmica.

Extinção - as quantidades de material combustível e de oxigênio diminuem até um ponto em que o calor gerado não é mais suficiente e o processo de queima entra em extinção. A Figura 7 demonstra as etapas do processo de queima.

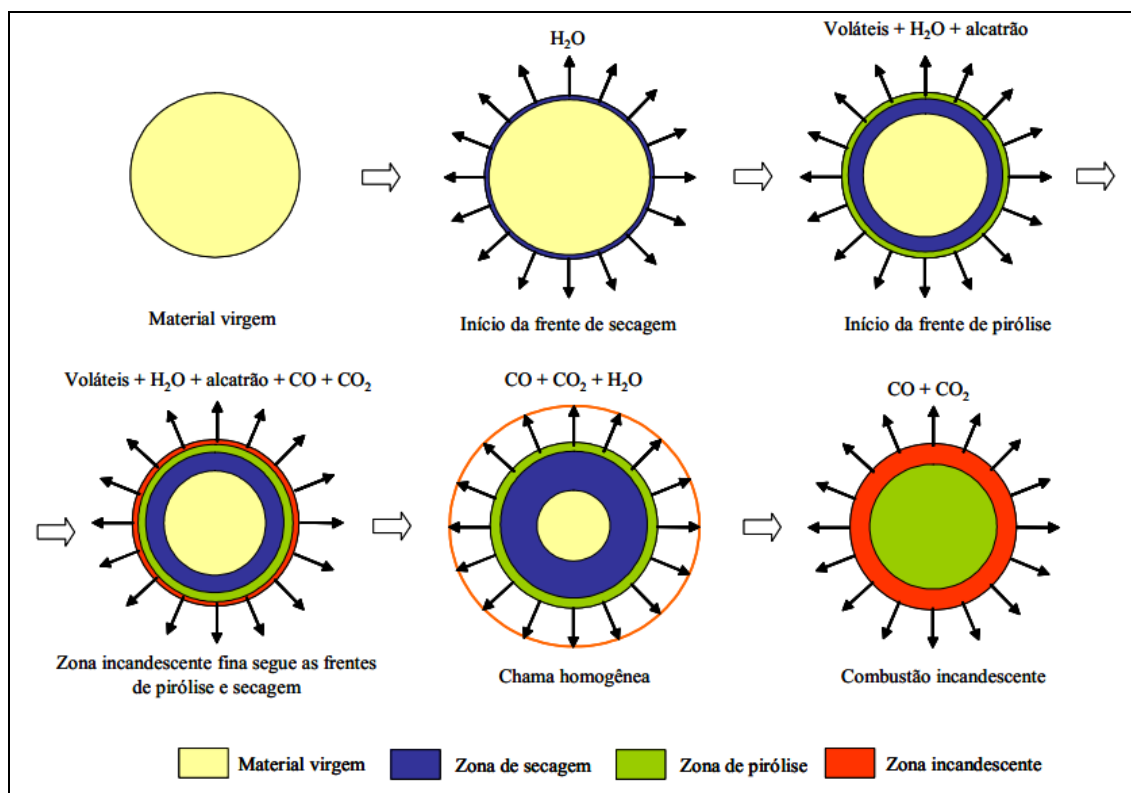


**Figura 7. Etapas do processo de queima**

Fonte: Gallo; Agnelli (1998)

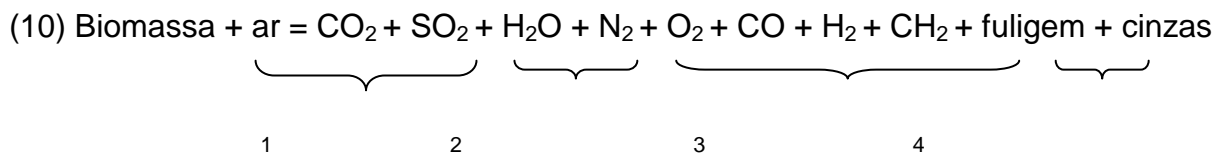
O processo de combustão da biomassa transcorre primeiro em uma etapa homogênea - queima dos voláteis, e depois heterogênea - combustão dos resíduos de carbono, conforme as condições de fornecimento e mistura de ar combustível (NOGUEIRA; LORA, 2003). Segundo o mesmo autor, a divisão do fluxo de ar sobre leito fixo em duas partes dá-se porque em alguns sistemas o carbono (c) do combustível se queima no leito até CO (monóxido de carbono), concluindo sua combustão até CO<sub>2</sub> (dióxido de carbono), juntamente com os voláteis.

De acordo com Castro (2005), na Figura 8, pode-se verificar a sequência das fases de pré-aquecimento, secagem, pirólise, ignição, queima com chama, extinção da chama e incandescência, conforme a evolução do processo do tempo, da esquerda para a direita e de cima para baixo.



**Figura 8. Fases da queima de um cilindro de madeira sujeito a um fluxo de calor externo**  
Fonte: Castro (2005).

Os combustíveis sólidos, como a lenha, a serragem e o bagaço de cana são formados de carbono (c), hidrogênio (H<sub>2</sub>), oxigênio (O<sub>2</sub>), enxofre (S), água (H<sub>2</sub>O) e cinzas (NOGUEIRA; LORA, 2003). A reação de combustão de um combustível com ar pode ser apresentada pela seguinte forma:



Onde:

- 1 – Produtos da oxidação completa: CO<sub>2</sub>, SO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O. O conteúdo de enxofre da biomassa é sempre baixo, sendo seu valor desprezível;
- 2 – Ar em excesso (N<sub>2</sub> + O<sub>2</sub>) e eventualmente a umidade do combustível e do ar;
- 3 – Produtos gasosos (CO + H<sub>2</sub> + CH<sub>4</sub>) e sólidos (fuligem) de combustão incompleta;
- 4 – Fração mineral não combustível da biomassa (cinzas).

Dentre os processos termoquímicos, a pirólise ou carbonização é o mais simples e antigo processo de conversão de um combustível em outro de melhor qualidade e conteúdo energético, onde o principal produto final (carvão) tem uma densidade energética duas vezes maior que aquela do material de origem e queima em temperatura muito mais elevadas (ANEEL, 2005).

Os processos da pirólise dividem-se em dois grupos: Pirólise lenta e rápida, de acordo com a velocidade de aquecimento. A diferença está em que a pirólise lenta ou convencional maximiza a produção de carvão vegetal em detrimento dos produtos líquidos e gasosos e da pirólise rápida obtém-se gases e líquidos (SÁNCHEZ; CAMPO, 2003).

Segundo Gómez et al. (2003), os processos da pirólise ocorrem gradativamente, conforme aumenta a temperatura da biomassa, de acordo com a Tabela 4.

**Tabela 4. Características das tecnologias para pirólise da biomassa.**

<b>TEMPERATURA</b>	<b>CARACTERÍSTICAS DA TECNOLOGIA</b>
<b>Até 200 °C</b>	Ocorre a secagem do material
<b>Entre 200 °C e 300 °C</b>	Os produtos envolvidos na fase anterior, água, ácido fórmico, ácido acético e traços de CO <sub>2</sub> , se envolvem em quantidades maiores e a biomassa é convertida em carvão.
<b>De 300 °C a 500 °C</b>	Na faixa o terceiro fenômeno corresponde a degradação térmica da celulose, ocorrendo reações exotérmicas e produzindo elevadas quantidades de CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> e CH <sub>4</sub> , etanol, ácido acético, ácido fórmico, formaldeídos e alcatrão (voláteis e licor pirolenhoso).
<b>Acima de 500 °C</b>	Ocorrem reações dos produtos gasosos já formados com o resíduo sólido, produzindo produtos altamente combustíveis, sendo que a água e o CO <sub>2</sub> podem reagir com o carvão residual para produzir CO e H <sub>2</sub> .

Fonte: Gómez et al. (2003)

Além do aproveitamento da biomassa como combustível sólido para a conversão energética por meio da queima direta, como técnica mais utilizada, a pirólise e a gaseificação também surgem como diferenciais para um melhor manuseio e queima do combustível (DEMIRBAS, 2001). O gás resultante do processo de gaseificação, com baixo poder calorífico (4 a 6 MJ/m<sup>3</sup>) é utilizado na geração de energia elétrica através dos motores de combustão interna, caldeiras e geradores de vapor para turbinas a vapor (MOURAD et al., 2004).

### **3.6 Aproveitamento dos resíduos para fins energéticos**

A secagem de sólidos usados em indústrias agrícolas, cerâmicas, químicas, alimentícias, farmacêuticas, de papel e celulose, dentre outras, é uma das mais

antigas e usuais operações encontradas nos mais diversos processos (PARK et al., 2007).

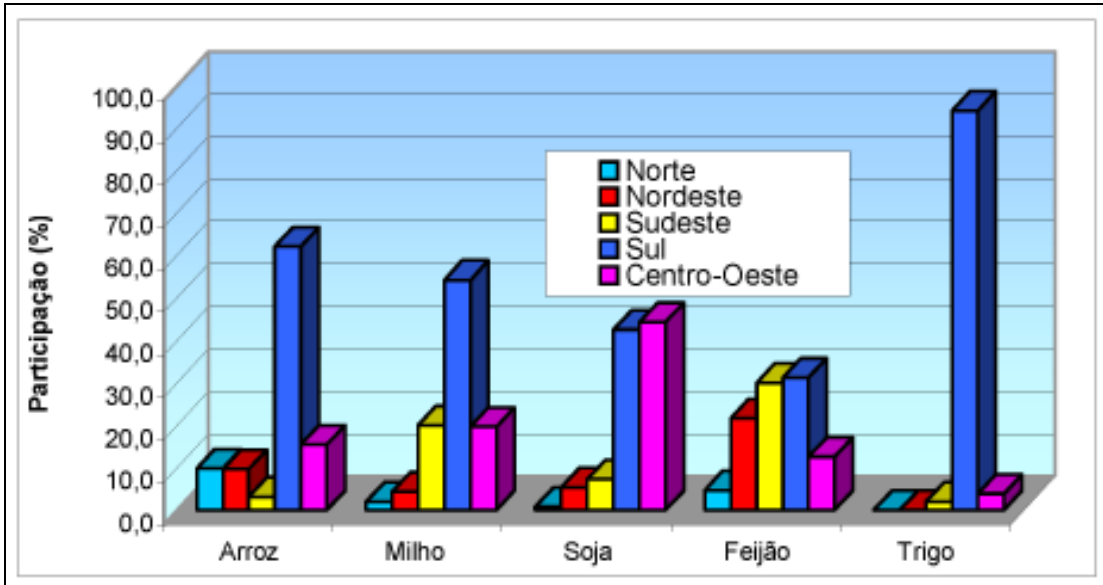
Define-se secagem, o processo de transferência de calor e massa (umidade) entre o produto e o ar de secagem, onde a remoção da umidade deve ser de forma que o produto fique em equilíbrio com o ar do ambiente onde será armazenado, preservando a aparência e qualidade nutricional dos grãos, para sua viabilidade (SILVA, et al., 2005).

Existem várias opções para o aproveitamento dos resíduos lignocelulósicos, como as coberturas em granjas, nas indústrias de painéis de madeira reconstituída, na compostagem, na geração de energia pela queima direta, na produção de combustível sólido (carvão vegetal) ou na transformação dos resíduos em briquetes, entre outras possibilidades (QUIRINO, 2003).

Na utilização da energia advinda da biomassa, dois aspectos devem ser considerados: sua renovabilidade num espaço de tempo pequeno e a manutenção do equilíbrio de CO<sub>2</sub>, já que o que é capturado no processo de fotossíntese é liberado no processo de queima (MOURAD et al., 2004).

Considerando-se a quantidade de energia total consumida no Brasil, cerca de 47% é proveniente de fontes renováveis, enquanto a média do planeta gira em torno de 13% (NASCIMENTO, 2011). Em condições favoráveis, os resíduos podem contribuir de maneira significativa para a produção de energia elétrica.

Na conversão dos resíduos de biomassa vegetal, considera-se que cada 3 kg de biomassa pode gerar 1kwh de eletricidade com o uso de gaseificador de biomassa/grupo gerador, alcançando um potencial de geração anual de 167,8 milhões de GJ/ano, somente a partir de resíduos de cereais (MOURAD et al., 2004), conforme Figura 9.



**Figura 9. Disponibilidade dos resíduos agrícolas por região geográfica.**

Fonte: IBGE (2003).

No Estado do Espírito Santo, a produção capixaba de café representa mais de 25 % do total nacional (FERRÃO et al., 2007). Quase toda esta produção é seca de forma artificial, com uso de calor, a partir da lenha de eucalipto como fonte de energia (SATER et al., 2011). A lenha proveniente de plantios comerciais representa atualmente o combustível mais utilizado na geração de calor no processo de secagem de grãos, devido principalmente ao baixo custo de facilidade de aquisição.

O aproveitamento da aplicação da energia contida na biomassa para a secagem dos grãos, através da queima direta é importante, pois visa a armazenagem do grão, estendendo a vida útil da semente (MOURAD et al., 2004).

De acordo com Portella e Martins (2000) devido à importância da qualidade dos grãos e dos custos totais das atividades de pós-colheita, que podem atingir até 15% do valor, o processo de secagem vem obtendo reconhecimento no sistema produtivo atual.

O uso da madeira na secagem dos grãos vem a substituir os produtos derivados de petróleo, representando um método ambientalmente correto, porém, ainda faz-se necessário a otimização das fornalhas, que passaram a apresentar consumo elevado de lenha e perdas diversas (DALPASQUALE, 2011). Por isto, características como a umidade e a qualidade do resíduo devem ser analisadas.

O aproveitamento dos resíduos de madeira provenientes da indústria madeireira, utilizados para queima em caldeiras e fornos artesanais (olarias), foi identificado com maior frequência nas regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul do país (WIECHETECK, 2009). De acordo com o mesmo autor, a maravalha tem tido aumento considerável de preço, devido a escassez do produto no mercado, criando dificuldades aos produtores.

Segundo Fagundes (2003), apesar de a maior utilização destinar-se a secagem de grãos em pequenas empresas, como padarias e olarias, os resíduos de serraria vêm sendo utilizados cada vez mais por empresas de grande porte, para a geração de energia, em sistemas de cogeração.

Sendo assim, o uso de resíduos de madeira para fins energéticos torna-se importante não somente pelo aspecto de sustentabilidade ambiental, mas também pelo fator econômico para as empresas, além do aproveitamento e destinação eficaz que representa através dos sistemas de cogeração.



## 4. MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Localização do Experimento

O experimento foi realizado no Laboratório de Solos e no Laboratório de Resíduos Agroindustriais da Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, em Cascavel – PR.

### 4.2 Coleta dos Resíduos de Biomassa

As amostras de maravalha foram adquiridas na Madeireira BIASIN, na cidade de Realeza – PR, situada a aproximadamente 528 Km da capital Curitiba. A madeireira tem como procedimento de trabalho o processamento secundário para a fabricação de peças como portas e janelas.

A empresa possui produtividade variando entre 54 a 55 m<sup>3</sup> de madeira serrada por dia. As principais espécies florestais utilizadas no processamento são *Eucalyptus* sp., *Pinus* sp. e *Araucaria angustifolia* provenientes de reflorestamentos.

Para este trabalho, os resíduos utilizados foram maravalha de *Pinus* sp. e *A. angustifolia* provenientes de plantios comerciais. As amostras foram disponibilizadas sem misturas, nas condições em que se encontravam após o processamento, e que poderiam ser utilizadas como combustível. As mesmas permaneceram armazenadas no laboratório, até a data dos ensaios.

As amostras de resíduos foram coletadas na indústria madeireira ao acaso, no montante total de resíduos produzidos no processamento das madeiras, coletando aproximadamente 1 quilograma de cada material. Foram observados os locais geradores de resíduos do processamento da madeira, dos quais se tornaram as fontes de coleta dos materiais. Os resíduos utilizados nos experimentos foram caracterizados como sendo maravalha de *Araucaria angustifolia* e maravalha de *Pinus* sp (Figura 10), resultantes do processamento da plaina moldureira.



Figura 10. Maravalha utilizada no experimento, provenientes da Madeireira: *A. angustifolia* (a) e *Pinus* sp. (b)

### 4.3 Caracterização dos materiais

Os resíduos obtidos na madeira foram encaminhados ao Laboratório de Solos e de Resíduos Sólidos Urbanos da Universidade Estadual do Paraná onde foram determinados o teor de umidade, a análise imediata e o poder calorífico dos resíduos. Foram realizadas quatro repetições para cada amostra de biomassa.

### 4.4 Análise Imediata da Biomassa in natura

#### 4.4.1 Determinação do Teor de Umidade

Para a avaliação do teor de umidade contida nas amostras, seguiu-se a metodologia das Normas NBR 8112 (Carvão Vegetal – Análise Imediata) e E 871. Obteve-se o peso úmido de cada resíduo através de uma balança analítica de precisão. As amostras foram introduzidas em estufa a  $100 \pm 10^\circ\text{C}$  até que a massa ficasse constante, obtendo-se a massa seca. O teor de umidade foi obtido pela diferença entre os pesos da amostra, antes e logo após ser submetida à secagem, através da equação 11:

$$(11) \quad Tu = \frac{m1 - m2}{m1} \times 100$$

Onde:

Tu = Teor de umidade da biomassa, em porcentagem (%);  
 m1 = Massa inicial da biomassa gramas (g);  
 m2 = Massa final da biomassa, em g.

#### 4.4.2 Determinação do Teor de Voláteis

Obtida a amostra seca, *in natura*, esta, em cadinho de porcelana, foi colocada em Forno Mufla MA 385, marca Marconi (Figura 11), com capacidade de aquecimento de até 1100° C, aquecido até 850° C por 7 (sete) minutos, seguindo a metodologia da Norma NBR 8112 (Carvão Vegetal – Análise Imediata). Após este procedimento, a amostra foi colocada em um dessecador para resfriamento e pesagem. Após a extração dos voláteis, fica como resíduo o carbono fixo e as cinzas (Figura 12). O teor de voláteis é determinado pela expressão:

$$(12) \quad T_v = \frac{m_2 - m_3}{m_2} \times 100$$

Onde:

Tv: Teor de voláteis, em %;

m2: Massa final do teor de umidade, medida em g.;

m3: Massa final proveniente da mufla, em g.

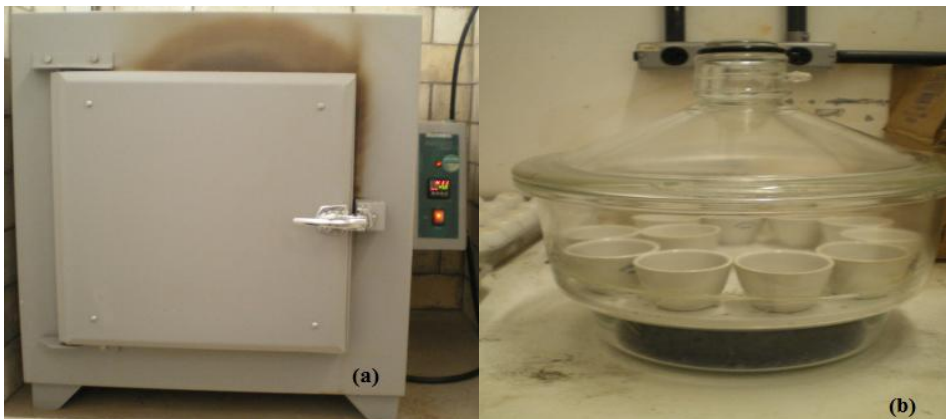


Figura 11. Forno Mufla (a) e Dessecador (b) utilizados (Menezes, 2012)

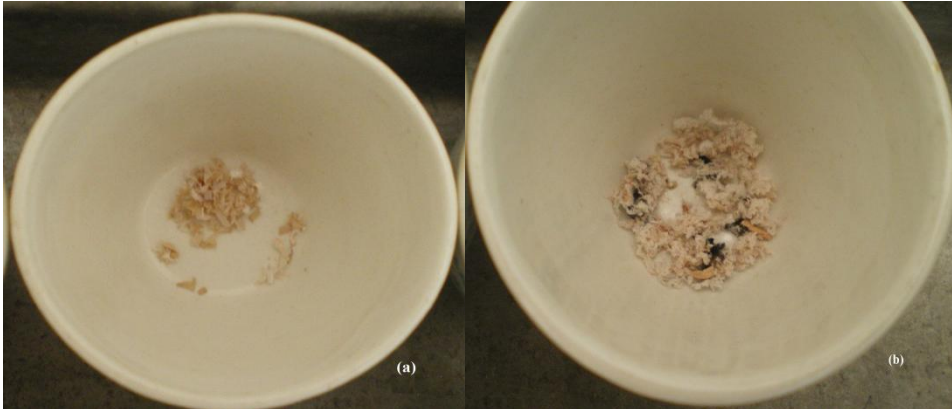


Figura 12. Maravalha de *A. angustifolia* (a) *Pinus* sp. (b) após a volatilização (Menezes, 2012).

#### 4.4.3 Determinação do Teor de Cinzas

O material proveniente da etapa anterior, já sem umidade e voláteis é colocado no Forno Mufla (MA 385, marca Marconi) a uma temperatura de 710° C, por um período de uma hora, (meia hora com a porta aberta e meia hora com a porta fechada), seguindo a metodologia da Norma NBR 8112 (Carvão Vegetal – Análise Imediata). Ao final, dentro do cadinho restam somente cinzas resultantes da combustão dos componentes orgânicos e oxidação dos inorgânicos. O teor de cinzas é calculado pela equação 13 a seguir:

$$(13) \text{ Tcinzas} = \frac{m3 - m4}{m3} \times 100$$

Onde:

Tcinzas: Teor de cinzas, em %;

m3: Massa da amostra antes do experimento, em g;

m4: Massa da amostra após o experimento, em g.

#### 4.4.4 Determinação do Teor de Carbono Fixo

Após a determinação dos teores de umidade, de matéria volátil e de cinzas da amostra, o teor de carbono fixo ( $T_{cf}$ ) é determinado indiretamente pela diferença entre os valores do teor de voláteis e teor de cinzas, através da equação 14 a seguir:

$$(14) \quad T_{cf} = 100 - (T_v + T_{cinzas})$$

Onde:

$T_{cf}$ : Teor de carbono fixo, em %;

$T_v$ : Teor de voláteis, em %;

$T_{cinzas}$ : Teor de cinzas, em %.

#### 4.4.5 Determinação do Poder Calorífico

A determinação do poder calorífico superior foi feito de acordo com a Norma ABNT/NBR 8633/84 (Carvão Vegetal Determinação do Poder Calorífico).

Neste procedimento as amostras previamente secas, *in natura* foram colocadas em uma bomba calorimétrica isotérmica modelo E2K (Figura 13), para análise do Poder Calorífico Superior - PCS a ser liberado pela amostra. Para cada amostra, foram feitas 4 repetições. A transformação dos valores do PCS para Poder Calorífico Inferior - PCI foram realizadas utilizando-se a equação 1 já mencionada, tendo o percentual de hidrogênio presente no material como 6%.



Figura 13. Bomba Calorimétrica utilizada.

#### 4.5. Análise dos Dados

Para compreender a variação dos valores obtidos no experimento foi realizada a análise dos mesmos por meio da elaboração de planilhas e gráficos com o uso do BROFFICE CALC com a finalidade de avaliar os contrastes e comparar as médias dos valores encontrados para os aspectos energéticos e da análise imediata da maravalha de *A. angustifolia* e *Pinus* sp.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Análise Imediata da Biomassa In Natura

#### 5.1.1 Teor de Umidade

O teor de umidade médio encontrado foi de 11,34 % para a *A. angustifolia* e 11,30 % para o *Pinus* sp., sendo que o peso médio das amostras de maravalha das coníferas foi de 1,22 g. e 2,51 g., respectivamente. Apesar de os valores médios encontrados não apresentarem diferenças significativas, há discrepância entre os valores das repetições. O teor de umidade é um fator importante a ser observado, pois quanto menor for este valor, menor será a quantidade de energia gasta no processo de carbonização da madeira e maior o poder calorífico do material. Na Figura 14 estão representados os resultados do Teor de Umidade dos resíduos, assim como a média das repetições realizadas.

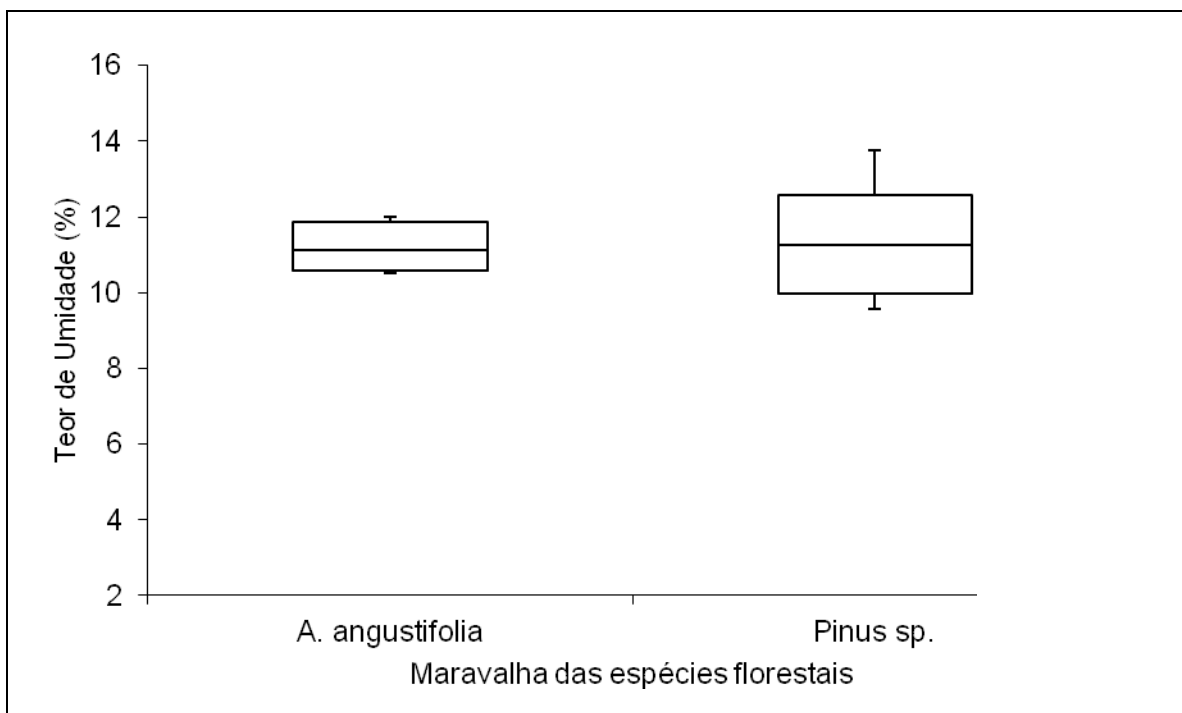


Figura 14. Variação e Média do Teor de Umidade da maravalha de *A. angustifolia* e *Pinus* sp. (MENEZES, 2012).

Analisando o uso da biomassa florestal para a geração de energia Calegari et al. (2005) encontrou valores médios de teor de umidade de 16,12 % para a maravalha de *Pinus* spp, valores estes, próximos aos encontrados neste estudo.

O teor de umidade está relacionado com o tipo de resíduo e o seu tempo de armazenamento. Os resíduos de *Pinus* sp. e *Eucalyptus* sp. gerados no setor madeireiro foram avaliados por Brand et al. (2004), onde o TU apresentou uma variação de 29,5 a 67,3 % recém chegados ao pátio, sendo o período de armazenamento de dois a quatro meses o mais adequado para este fator.

Ferreira et al. (2009) verificou que as de acículas, galhos e discos de *Pinus taeda* provenientes de povoamentos homogêneos apresentaram TU entre 27-68 %, sendo as partes mais externas, como cascas e galhos na idade de 24 anos obtiveram maior potencial energético, por apresentarem menor teor de umidade.

Comparando o teor de umidade encontrado nas acículas de *A. angustifolia* e *Pinus* sp. a campo, no decorrer de um ano, Fernandes (1981) verificou valores de 57,76 % para *A. angustifolia*, 46,72 % para *Pinus taeda* e 39,40 % para *P. elliottii*, constatando que o local de armazenamento tem grande influência no que diz respeito a este fator.

### 5.1.2 Teor de Voláteis

Entre as amostras houve certo equilíbrio no comportamento dos teores de matérias voláteis, sendo encontrado valores de 2,24 % para *A. angustifolia* e 4,42 % para *Pinus* sp. Menores temperaturas favorecem a manutenção de maiores teores de voláteis na constituição dos carvões (SANTIAGO et al. 2007). A biomassa com alto teor de voláteis apresenta maior facilidade de incendiar e queimar, porém o processo de combustão em geral pode ser afetado, já que existe dificuldade de controle do mesmo (VIEIRA, 2012).

A análise do teor de voláteis foi realizada após quatro repetições em cada biomassa, sendo estes resultados exibidos através do gráfico Box Plot Template (Figura 15).



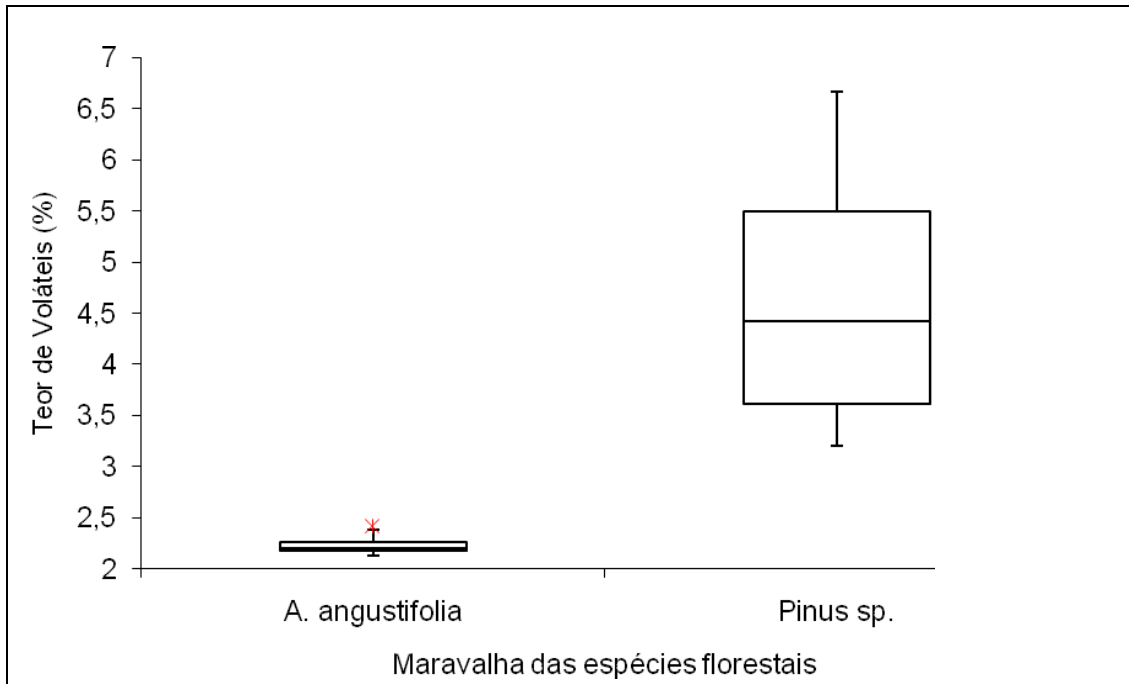


Figura 15. Variação e Média do Teor de Voláteis da maravalha de *A. angustifolia* e *Pinus* sp. (MENEZES, 2012).

Silva et al. (2007) verificou que o teor de material volátil do carvão de *Manilkara amazonica* (Maçaranduba), *Lecythis pisonis* (Sapucaia) e *Piptadenia suaveolens* (Timborana), variou de 23,94 a 31,47 %. O teor de voláteis encontrado por Gabardo et al. (2011) foi de 18,60 % e 16,31 % para *A. angustifolia* e *Pinus* sp., respectivamente.

Sater (2011) em seu estudo, analisou os materiais voláteis provenientes de experimentos com resíduos de casca de café, lenha de *Eucalyptus grandis* e resíduos de fresa de madeira. O autor verificou que quanto maior a temperatura de destilação, maior será o seu valor, já que os materiais destilados a uma temperatura de 550 °C permaneceram uns períodos maiores de tempo no interior da mufla.

### 5.1.3 Teor de Cinzas

Os valores encontrado para o teor de cinzas foi de 2,24 % para *A. angustifolia* e 4,42 % para *Pinus* sp. (Figura 16).

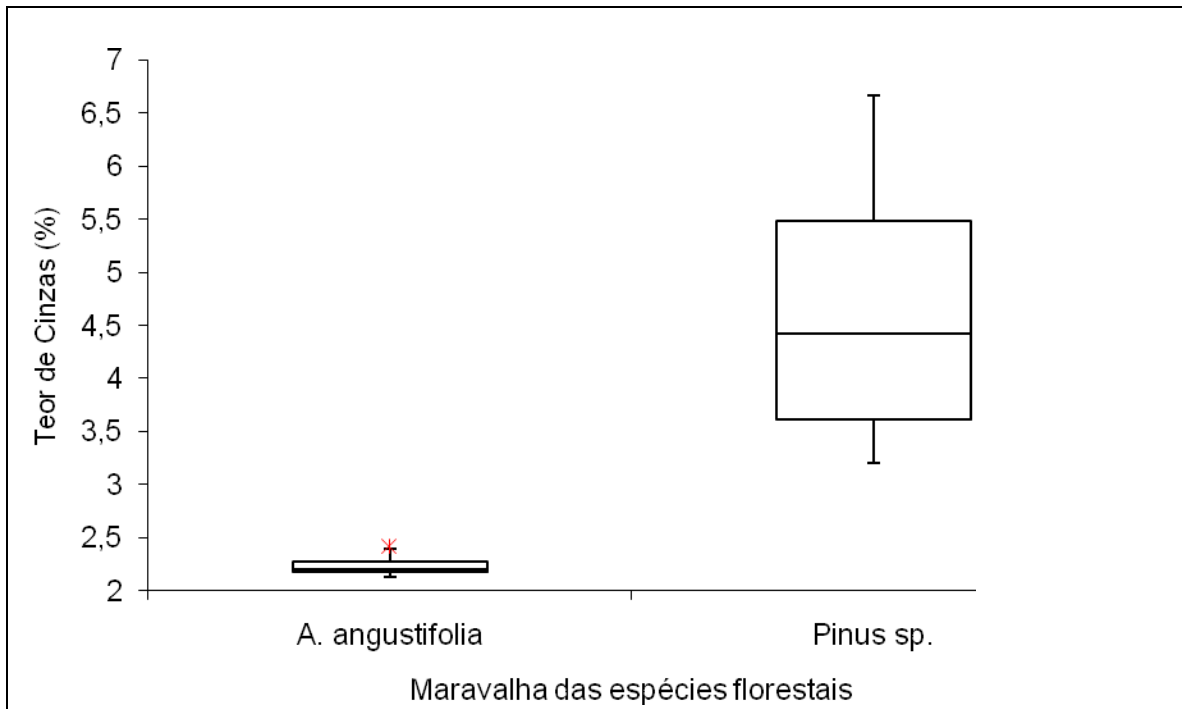


Figura 16. Variação e Média do Teor de Cinzas da maravalha de *A. angustifolia* e *Pinus sp.* (MENEZES, 2012).

Santiago et al. (2007) obteve valores de 1,6 % para a maravalha de *Eucalyptus urophylla*, à temperatura de 400 °C, observando uma tendência de aumento do teor de cinzas conforme maior for a temperatura, que em seu estudo resultou em 1,9 % de Tcinzas quando a 600 °C com o mesmo resíduo.

Gabardo et al. (2011) após a caracterização pela análise imediata de resíduos de Araucária e Pinus, verificou que o teor de cinzas encontrado foi de 9,10 % e 1,05 %, respectivamente.

Altos teores de cinzas diminuem a eficiência do reator, já que necessita de um maior consumo de oxigênio. (HOFFMANN, 2010). Segundo o autor, da mesma maneira que a umidade, o teor de cinzas interfere no poder calorífico e causa perda de energia.

A lenha é o combustível mais utilizado em caldeiras e tem um teor de cinzas em torno de 1%, o que é um bom índice por não prejudicar caldeiras e fornalhas (VALE et al., 2007). Segundo o mesmo autor, a quantidade de cinzas está diretamente relacionada com a quantidade e qualidade de minerais presentes na biomassa, como cálcio, potássio, fósforo, magnésio, ferro e sódio, que provocam redução nos teores de carbono fixado no carvão vegetal.

### 5.1.4 Teor de Carbono Fixo

O teor de carbono fixo encontrado foi de 95,58 % para *A. angustifolia* e de 91,15 % para *Pinus* sp. (Figura 17). Estes valores apresentam tendência contrária aos valores de voláteis e cinzas.

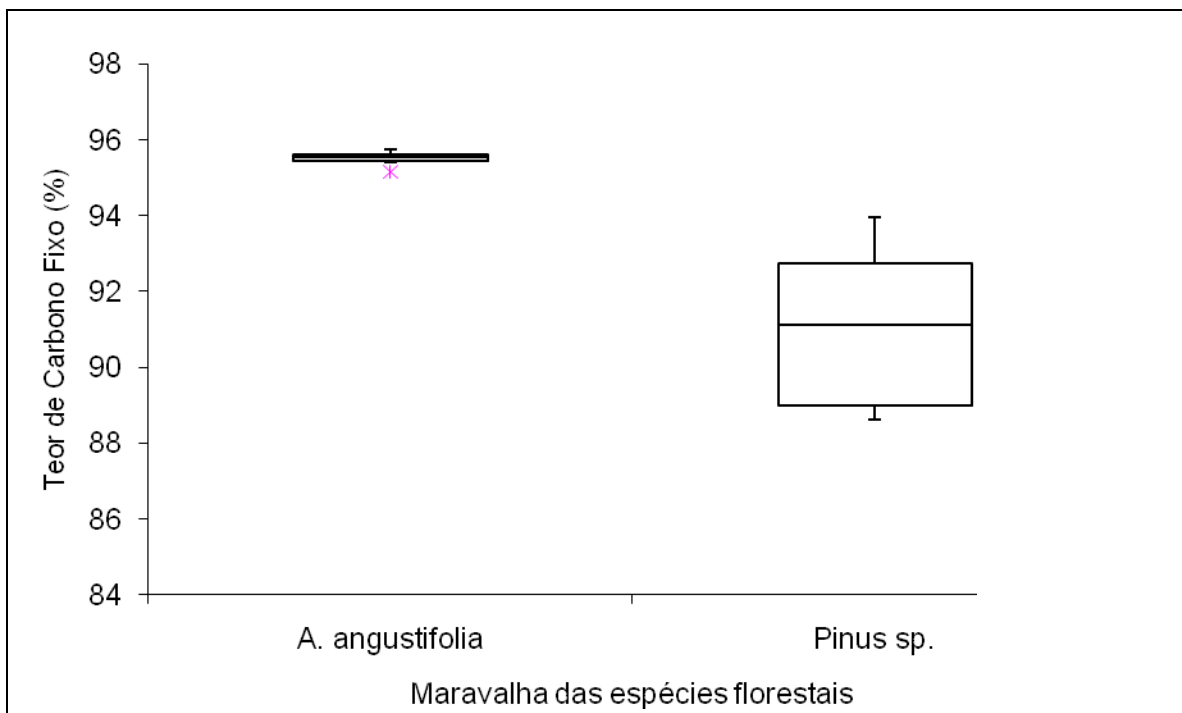


Figura 17. Variação e Média do Teor de Carbono Fixo da maravalha de *A. angustifolia* e *Pinus* sp. (MENEZES, 2012).

De acordo com Gabardo et al. (2011), estes resíduos podem ser uma alternativa na produção de briquetes, já que para ser considerado um carvão de qualidade, o carbono fixo deve apresentar valores maiores que 75 %. Segundo o autor, quanto maior a concentração de carbono no resíduo, maior o poder calorífico dos materiais. A quantidade de calor gerado pelo resíduo é estabelecida pelo percentual de carbono fixo, sendo que quanto maior este valor, mais lentamente o combustível irá queimar (STURION et al., 1988).

Aquino (2003) analisou as madeiras de *Manilkara huberi* (Ducke) Standl (maçaranduba), *Hymenolobium* sp. (angelim) e *Hymenaea courbaril* L. (jatobá) e

obteve valores de carbono fixo variando de 67,15 a 75,24 % em escala laboratorial. O rendimento em carbono fixo de um material é o parâmetro que melhor expressa a qualidade energética da matéria-prima lignocelulósica, para produção de carvão vegetal (ANDRADE, apud SATER, 2011).

Segundo Vale et al. (2007), o teor de carbono fixo não está diretamente relacionado com os teores de material volátil e de cinzas. Em seus estudos, o autor encontrou valores de 83,19 % de material volátil, 0,34 % de cinzas, 16,47 % de carbono fixo e um TU (base seca) de 22,33 % para a maravalha de cedrorana (*Cedrelinga catenaeformis*, Duke).

## **5.2 Poder Calorífico**

### **5.2.1 Poder Calorífico Superior – PCS**

Os valores médios encontrados para o Poder Calorífico Superior foram de 17,32 MJ.Kg<sup>-1</sup> para *A. angustifolia* e 17,23 MJ.Kg<sup>-1</sup> para *Pinus* sp., valores médios próximos entre as coníferas, mas que no entanto apresentam discrepância quando observados os intervalos de valores entre uma espécie e outra (Figura 18). O PCS indica a quantidade de energia liberada durante a transferência de calor, relacionada à eficiência do processo, ou seja, quanto maior for o PCS, mais eficiente (VIEIRA, 2012).

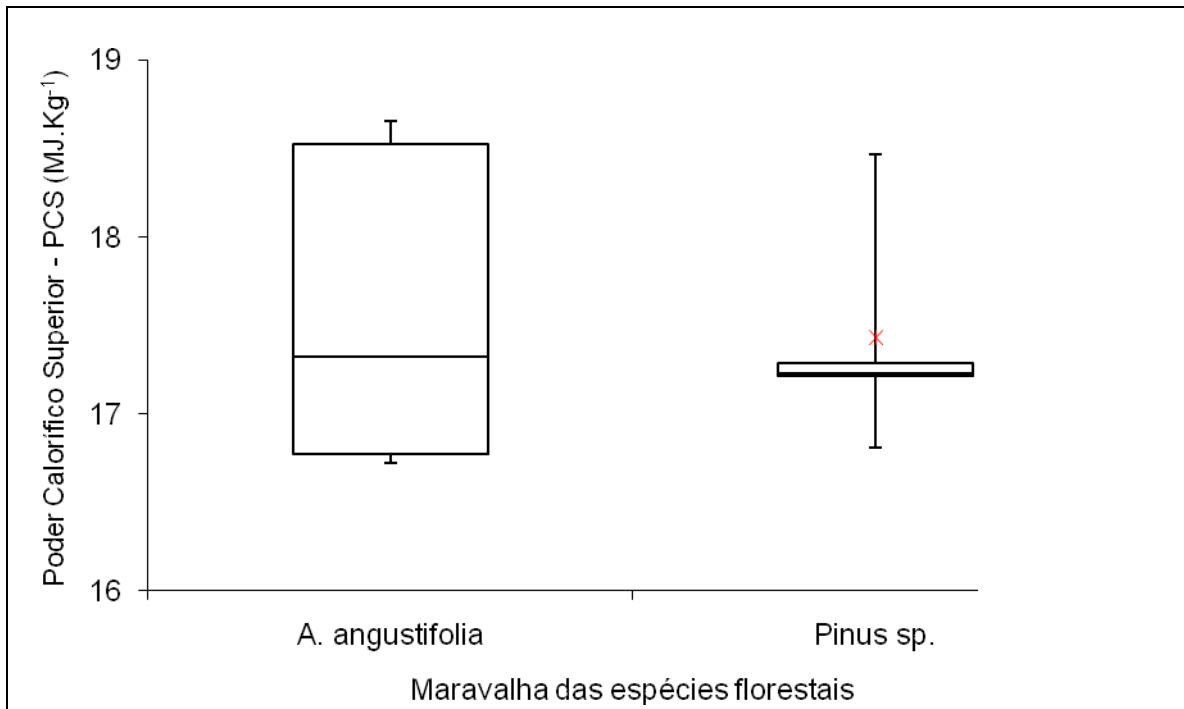


Figura 18. Poder Calorífico Superior – PCS da maravalha de *A. angustifolia* e *Pinus sp.* (MENEZES, 2012).

A maravalha da espécie *C. catenaeformis* possui poder calorífico superior de  $20,63 \text{ MJ.Kg}^{-1}$  (VALE et al., 2007), valores estes, semelhantes aos encontrados por Quirino et al. (2004) de  $20,63 \text{ MJ.Kg}^{-1}$  e abaixo daqueles encontrados por Gabardo et al. (2011) para as mesmas coníferas, que obtiveram PCS de  $27,99 \text{ MJ.Kg}^{-1}$  para Araucária e  $32,05 \text{ MJ.Kg}^{-1}$  para Pinus.

Mattos et al., (2006) caracterizaram a serragem de *A. angustifolia* provenientes de plantios comerciais com 38 anos de idade. O resíduo apresentou poder calorífico de  $46,70 \text{ MJ.Kg}^{-1}$ .

### 5.2.2 Poder Calorífico Inferior – PCI

Conforme Figura 19, o Poder Calorífico Inferior encontrado foi de  $17,00 \text{ MJ.Kg}^{-1}$  para *A. angustifolia* e  $16,91 \text{ MJ.Kg}^{-1}$  para *Pinus sp.* Estes valores partem do PCS, descontando-se a energia gasta para evaporar o hidrogênio de constituição do combustível, na forma de água (NASCIMENTO, 2006).

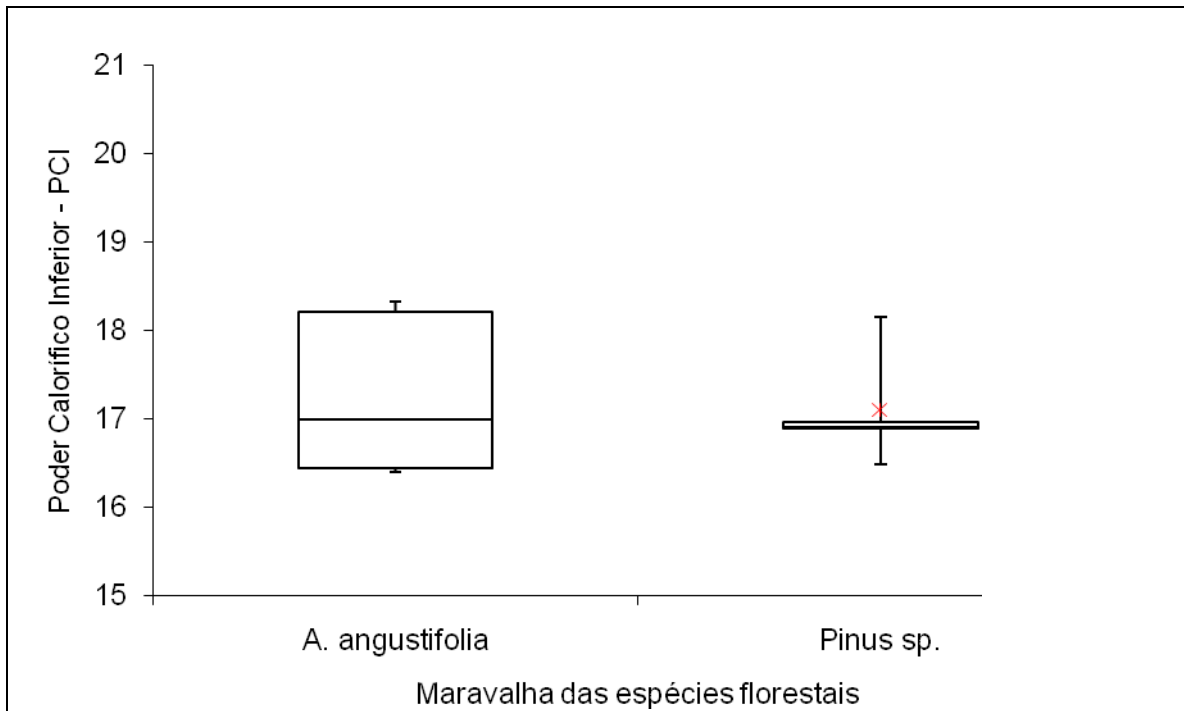


Figura 19. Poder Calorífico Inferior - PCI da maravalha de *A. angustifolia* e *Pinus sp.* (MENEZES, 2012).

O poder calorífico inferior do caule e folhas da madeira de *Pinus spp.* e *Eucalyptus spp.* foram analisadas por Gamba () que obteve valores médios de 16,71 MJ.Kg<sup>-1</sup> para caule e 15,20 MJ.Kg<sup>-1</sup> para folhas de ambas as espécies.

Cordeiro (2011) avaliou o potencial energético do bagaço do malte oriundo de cervejarias em Pernambuco e obteve PCI variando de 23,32 a 47,01 MJ.Kg<sup>-1</sup>, valor que aumentou conforme houve decréscimo dos teores de umidade. Valores menores foram descritos por Brand et al. (2004), analisando resíduos de *Eucalyptus spp.* recém produzidos que variaram de 15 a 25 MJ.Kg<sup>-1</sup>.

## 6. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos com o experimento realizado com a maravalha de *A. angustifolia* e maravalha de *Pinus* sp., pode-se concluir que o potencial energético da maravalha de *A. angustifolia* foi maior do que o da maravalha de *Pinus* sp, sendo que o valores apresentados para o PCS e PCI da maravalha de *A. angustifolia* foram de 17,32 e 17,00 MJ.kg<sup>-1</sup>, respectivamente, enquanto que, para o resíduo de maravalha de *Pinus* sp., o PCS e o PCI foram de 17,23 e 16,91 MJ.kg<sup>-1</sup>, respectivamente.

Com relação à análise imediata, a maravalha de *A. angustifolia* e a maravalha de *Pinus* sp apresentaram valores médios de teor de umidade semelhantes, 11,34% e 11,30%, respectivamente. Apesar dos valores médios não apresentarem diferenças significativas, houveram discrepâncias entre os valores das repetições.

Quanto aos valores encontrados para os teores de voláteis e cinzas, para a maravalha de *A. angustifolia* foram de 2,24 % e 2,24%, respectivamente, valores inferiores aos encontrados para a maravalha de *Pinus* sp. de 4,42 % e 4,42 %, respectivamente. O teor de carbono fixo encontrado na maravalha de *A. angustifolia* foi superior ao do *Pinus* sp., correspondendo a 95,58 % e 91,15 %, respectivamente.

Conclui-se, portanto, que o resíduo de maravalha de *A. angustifolia* apresentou menores teores de cinzas e voláteis, além de elevado teor de carbono fixo, quando comparado com o resíduo de *Pinus* sp, sendo que o teor de umidade não diferiu significativamente. Estas características explicam o melhor potencial energético da *A. angustifolia*, uma vez que as mesmas exercem influencia no processo de combustão dos materiais.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABBASI, T.; ABBASI, S.A. Biomass energy and the environmental impacts associated with its production and utilization. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 14, Issue 3, 2012. P. 919-937. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109002688>>. Acesso em: 22.06.2012.
- AKPINAR, A. et al. Energy situation and renewables in Turkey and environmental effects of energy use. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V.12, Issue 8, 2008, p.2013–2039. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032107000640>>. Acesso em: 24.05.2012.
- ALMEIDA, G.; et al. Alterations in energy properties of eucalyptus wood and bark subjected to torrefaction: The potential of mass loss as a synthetic indicator. **Bioresource Technology**. V. 101, Issue 24, 2010, p. 9778–9784. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852410012149>>. Acesso em: 26. 04.2012.
- ANEEL** – Agência Nacional de Energia Elétrica. Biomassa, 2005. Disponível em: <[http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa\(2\).pdf](http://www.aneel.gov.br/aplicacoes/atlas/pdf/05-Biomassa(2).pdf)>. Acesso em: 26.Jan.2013.
- AQUINO, J.N. 2003. **Caracterização do carvão de resíduos de processamento primário da madeira e sua potencialidade energética**. Universidade Federal Rural da Amazônia. Belém, PA. 81pp.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112**: Carvão vegetal – Análise imediata. Outubro, 1986.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 8633**: Carvão vegetal – determinação do poder calorífico, 1984.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS. **Anuário Estatístico da ABRAF** – Ano Base 2010. Disponível em: <<http://www.abraflor.org.br/estatisticas/ABRAF11/ABRAF11-BR.pdf>>. Acesso em: Mar. 2013.
- BRAND, M. A. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010. 131p.
- BRAND, M. A. **Qualidade da biomassa florestal para o uso na geração de energia em função da estocagem**. 2007. 168p. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais, Universidade Federal do Paraná, Brasil, 2007. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/10397/Tese-vers%20o%20final%20->



%20Martha%20Andreia%20Brand.pdf;jsessionid=6698B9395BFB0433644EB07BFE B5C874?sequence=1>. Acesso em: 01. Ago. 2012.

BRAND, M. A. et al. Análise da qualidade energética de resíduos madeiráveis ao longo de seis meses de armazenamento. **In:** Congresso Internacional de Bioenergia, 2004, Campo Grande – MS. Disponível em: <<http://www.solumad.com.br/artigos/201011171814161.pdf>>. Acesso em: 27.Jan.2013.

BRAND, M. A., et al. Influência do tempo de armazenamento sobre a perda de umidade de resíduos madeiráveis. **In:** Encontro de Ciências e Tecnologia, 2004, Lages. Anais do III ECTec – Encontro de Ciência e Tecnologia. Lages: Universidade do Planalto Catarinense, 2004. Disponível em:<<http://www.solumad.com.br/artigos/201011171819521.pdf>>. Acesso em: 01. Ago. 2012.

BRITO, J.O.; BARRICHELO, L.E.G. Usos diretos e propriedades da madeira para a geração de energia. **IPEF**, São Paulo, Circular Técnica, n.52, PBP/3.1.8, 7p. jun. 1979. Disponível em: <<http://www.ipef.br/publicacoes/ctecnica/nr052.pdf>>. Acesso em: 25.Jan.2013.

BRUTTI, R.C. et al. **Estudo da viabilidade técnica do aproveitamento dos gases da combustão de biomassa na secagem de serragem para a geração de energia.** **In:** Adequação do uso de resíduos de madeira de pequena granulometria para a geração de energia, 2010. Disponível em: <<http://www.solumad.com.br/artigos/201011171816211.pdf>>. Acesso em: 24. Jan.2013.

CALEGARI, L. et al. Características de algumas biomassas usadas na geração de energia no Sul do Brasil. **Biomassa & Energia**, v.2, n.1, p. 37-46, 2005. Disponível em:<<http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/artigo%20revista%20Biomassa%20e%20Energia2.pdf>>. Acesso em: 02. Ago. 2012.

CARNEIRO, Patrícia; FERREIRA, Paula. The economic environmental and strategic value of biomass. **Renewable Energy**. V.44, 2012, p.17-22. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960148112000080>>. Acesso em: 26.04.2012.

CARVALHO, A. Características e propriedades da madeira. Madeidura – valorização de madeira, Ida. **In:** Madeiras Portuguesas. Instituto Florestal, Lisboa, 1996. Disponível em: <<http://www.maidura.com/publicacoes/caracteristicas-e-propriedades-da-madeira>>. Acesso em: 24.Jan.2013.

CARVALHO JÚNIOR, R.M. **Desenvolvimento e análise energética do processo de obtenção do biodiesel de microalga por metanólise *in situ*.** Dissertação (Mestrado) UFPR, Curitiba – PR, 2010. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/174.pdf>>. Acesso em: 27.Jan.2013.

CASTRO, A. **Uma investigação teórico-experimental da combustão de madeira.** Dissertação (Mestrado) Engenharia e Tecnologia Espaciais/Combustão e Propulsão. São José dos Campos - Sp: INPE, 2005. Disponível em: <<http://www.lcp.inpe.br/Plone/LCP/docs/DISSERTACAOAndre.pdf>>. Acesso em: 21.Jan.2013.

CENBIO – **Centro Nacional de Referência em Biomassa**, 2009. Disponível em: <<http://cenbio.iee.usp.br>>. Acesso em: 25.Jan.2013.

COP – **Conferência das Nações Unidas sobre Mudança do Clima**. Disponível em: <<http://www.cop15.gov.br/pt-BR/index.html>>. Acesso em: 25.Jan.2013.

COPEL- **Companhia Paranaense de Energia Elétrica**. Balanço energético do Paraná, 2009. Disponível em:

<[http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/balanco\\_energetico\\_do\\_parana-2010-ano\\_base\\_2009/\\$FILE/Balanco\\_Energetico\\_do\\_Parana-2010-Ano\\_Base\\_2009.pdf](http://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/balanco_energetico_do_parana-2010-ano_base_2009/$FILE/Balanco_Energetico_do_Parana-2010-Ano_Base_2009.pdf)>. Acesso em: 23.Abr. 2013.

CORDEIRO, L. G. **Caracterização e viabilidade econômica do bagaço de malte oriundo de cervejarias para fins energéticos**. João Pessoa, 2011. 120f.

Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia de Alimentos), Universidade Federal da Paraíba. Disponível em:

<[http://btdt.biblioteca.ufpb.br/tde\\_arquivos/15/TDE-2011-10-06T080251Z-1209/Publico/arquivototal.pdf](http://btdt.biblioteca.ufpb.br/tde_arquivos/15/TDE-2011-10-06T080251Z-1209/Publico/arquivototal.pdf)>. Acesso em: 06. Ago. 2012.

CORONEL, D. A. et al. **O aproveitamento dos resíduos do setor florestal de Lages – Santa Catarina**. XLV Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural- SOBER, Londrina, 2007. Disponível em:

<<http://www.sober.org.br/palestra/6/771.pdf>>. Acesso em: 31.jul.2012.

DALPASQUALE, V.A. Secagem de grãos. **Coopercitrus – Revista Agropecuária**. 37º ed., 2011. Disponível em:

<<http://www.revistacoopercitrus.com.br/?pag=materia&codigo=3104>>. Acesso em: 27.Jan.2013.

DEMIRBAS, AYHAN. Biomass Resource Facilities and Biomass Conversion Processing for Fuel and Chemicals. **Energy Conversion & Management**, 2001, v. 42, pg. 1357-1378.

DEMIRBAS, A. Combustion characteristics of different biomass fuels. **Prog Energia Combust Sci**, 30 (2004), pp 219-230. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890409000946>>. Acesso em: 25.Jan.2013.

DEMIRBAS, M. F.; BALAT, M.; BALAT, H. Potential contribution of biomass to the sustainable energy development. **Energy Conversion and Management**. V.50, Issue 7, 2009, p.1746–1760. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890409000946>>. Acesso em: 24.05.2012.

EMATER. Diagnóstico da Realidade Municipal. 2009.

FAGUNDES, H.A.V. **Diagnóstico da produção de madeira serrada e geração de resíduos do processamento de madeira de florestas plantadas no Rio Grande do Sul**. Dissertação (Mestrado) Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2003. Disponível em:

<<http://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/4567/000412901.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 27.Jan.2013.

FARINHAQUE, R. **Influência da umidade no poder calorífico da madeira de bracatinga (*Mimosa scabrella*, Benth) e aspectos gerais da combustão**. Curitiba: FUPEF, 1981. Seria Técnica nº 6.

FERREIRA, J. C. et al. Influência do teor de umidade no poder calorífico em diferentes idades e componentes de árvores de *Pinus taeda*. **In: Congresso Brasileiro sobre Florestas Energéticas**, Belo Horizonte, MG, 2009. Disponível em: <<http://www.solumad.com.br/artigos/201011171820051.pdf>>. Acesso em: 31. Ago. 2012.

FERNANDES, R. R. **Variações estacionais dos teores de umidade e oleoresina em folhagem de *Pinus elliottii* Engelm, *Pinus taeda* L. e *Araucaria angustifolia* (Bert) D. Ktze. e sua influência no potencial de inflamabilidade das copas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná). UFPR, Curitiba – PR, 1981. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/24828/D%20-%20FERNANDES,%20REGINA%20ROSA.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 06. Ago. 2012.

FOWLER, Pat, et al. Modeling the potencial of biomass – H<sub>2</sub>RES. **International Journal of Hydrogen Energy**. V.34, Issue 16, 2009, p.7027–7040. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360319908017436>>. Acesso em: 26.04.2012.

FONTES, P.J.P. **Auto-suficiência energética em serraria de Pinus e aproveitamento de resíduos**. 93f. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias, Universidade Federal do Paraná. 1994.

GABARDO, R. P. et al. Aproveitamento de resíduos de origem florestal para a produção de carvão. **In: Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental**, Londrina – PR, 2011. Disponível em: <<http://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2011/X-002.pdf>>. Acesso em: 01. Ago. 2012.

GALLO, J.B.; AGNELLI, J.A.M. Aspectos do comportamento de polímeros em condições de incêndio. **Polímeros**, vol.8, n.1 São Carlos Jan./Mar. 1998. Disponível em: <[http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14281998000100005&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0104-14281998000100005&script=sci_arttext)>. Acesso em: 24.Jan.2013.

GAMBA, V. S. **Avaliação energética dos resíduos constituintes das estruturas vegetativas do abacaxizeiro**. Workshop em Gestão de Resíduos na Unesp. UNESP, Botucatu – SP, 2010. Disponível em: <[http://www.unesp.br/pgr/workshop/pdf/RAGP\\_VitorGamba.pdf](http://www.unesp.br/pgr/workshop/pdf/RAGP_VitorGamba.pdf)>. Acesso em: 06. Ago. 2012.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; REI, F. Brasileira de energia da Matriz e do desenvolvimento sustentável. **Energia Sustentável**. Dev, 6 (4) (2002), pp 55-59

GÓMEZ, E.O. et al. Projeto de pirólise rápida contínua de biomassa com ar em reator de leito fluidizado atmosférico. An. 3. Enc. **Energ. Meio Rural**, 2003.

Disponível em:

<[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200020&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022000000200020&script=sci_arttext)>. Acesso em: 25.Jan.2013.

GONÇALVES, R.V. et al. **Levantamento de consumidores de madeira – Primeira aproximação**. Secretaria da Agricultura e do Abastecimento do Estado do Paraná – SEAB, Curitiba-PR, 2013. Disponível em:

<[http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/Florestais/Textos\\_tecnicos/Levantamento\\_do\\_Grandes\\_Consumidores\\_de\\_Madeira.pdf](http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/Florestais/Textos_tecnicos/Levantamento_do_Grandes_Consumidores_de_Madeira.pdf)>. Acesso em: Mar. 2013.

HILLING, E.; SCHNEIDER, V.E.; WEBER, C.; TECCHIO, D.R. Resíduos de madeira da indústria madeireira – caracterização e aproveitamento. In: Encontro Nacional de Engenharia de Produção, 16., 2006. **Anais...** – Fortaleza, 2006. Disponível em:<[http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006\\_TR520346\\_8192.pdf](http://www.abepro.org.br/biblioteca/ENEGEP2006_TR520346_8192.pdf)> Acesso em: 01. Ago. 2012.

HOFFMAN, Bettina Susanne. **O ciclo Combinado com Gaseificação Integrada e a Captura de CO<sub>2</sub>: Uma Solução para mitigar as emissões de CO<sub>2</sub> em Termelétricas a carvão em larga escala no curto prazo**. 2010. Dissertação (mestrado em Planejamento Energético) PPGPE, UFRJ, Rio de Janeiro: 2010.

**IBGE** – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, 2003. Disponível em: <[www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br)>. Acesso em: 22.Dez.2013.

KARAJ, Sh., et al. Analysis of biomass residues potential for electrical energy generation in Albania. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V.14, Issue 1, 2010, p. 493–499. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109001580>>. Acesso: 26.Abr.2012.

KLOCK, U. et al. **Química da Madeira**. 3ª Ed. Revisada. Universidade Federal do Paraná - UFPR. Curitiba, 2005. Disponível em: <<http://www.marioloureiro.net/ciencia/biomass/quimicadamadeira.pdf>>. Acesso em: 24.Jan.2013.

LORA, E.S.; ANDRADE, R.V. Biomass as energy source in Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V.13, Issue 4, 2009. P. 777-788. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032108000270>. Acesso em: 22.06.2012.

LÓPES-RODRIGUES, F., et al. Spatial assessment of the bioenergy potential of forest residues in the western province of Spain, Caceres. **Biomass and Bioenergy**. V. 33, Issue 10, 2009, p.1358–1366. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953409001020>>. Acesso em: 26.04.2012.

MATTOS, P. P. et al. Caracterização física, química e anatômica da Madeira de *Araucaria angustifolia* (Bert.) O. Kuntze. **Comunicado Técnico**. EMBRAPA Colombo, PR, 2006. Disponível em: <[http://www.cnpf.embrapa.br/publica/comuntec/edicoes/com\\_tec160.pdf](http://www.cnpf.embrapa.br/publica/comuntec/edicoes/com_tec160.pdf)>. Acesso em: 01. Ago. 2012.

MEDEIROS, M.J.R.; CARDOSO, R.A. **Os impactos ambientais gerados por resíduos dentro de postos de combustíveis**. Caldas Novas: [s.n.], 2010. 74 f. Il. Disponível em: <[http://www.cdn.ueg.br/arquivos/caldas\\_novas/conteudoN/530/TCAdmMarinzRayanny2010.pdf](http://www.cdn.ueg.br/arquivos/caldas_novas/conteudoN/530/TCAdmMarinzRayanny2010.pdf)>. Acesso em: 27.Jan.2013.

MENDES, L.M. et al. Energia a partir de resíduos florestais. **Revista da Madeira**, Edição nº 85, Novembro, 2004. Disponível em: <[http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira\\_materia.php?num=653&subject=Res%EDduos&title=Energia%20a%20partir%20de%20res%EDduos%20florestais](http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia.php?num=653&subject=Res%EDduos&title=Energia%20a%20partir%20de%20res%EDduos%20florestais)>. Acesso em: 24.Jan.2013.

MOHAN, D. ; PITTMAN, C.U.; STEELE, P.H. Pyrolysis of wood/biomass for bio-oil: a critical review. **Energy Fuels**, 20 (2006), pp. 848–889. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890409000946>>. Acesso em: 26.Jan.2013

MOURA, L. F. de. et al. **FLORESTA**, Curitiba, PR, v. 42, n. 2, p. 325 - 334, abr./jun. 2012. Disponível em:<<http://ojs.c3sl.ufpr.br/ojs2/index.php/floresta/article/view/26593/18434>>. Acesso em: 01. Ago. 2012.

MOURAD, A.L. et al. Potencial de utilização energética de biomassa residual de grãos. Na. 5. **Enc. Energ. Meio Rural**, 2004. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200033&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022004000200033&script=sci_arttext)>. Acesso em: 25. Jan. 2013.

NASCIMENTO, A. **Etanol brasileiro segue como principal alternativa em bioenergia**, 2011. Disponível em: <<http://euleionn.com.br/noticias/energia-alternativa/etanol-brasileiro-segue-como-principal-alternativa-em-bioenergia>>. Acesso em: 25.Jan.2013.

NASCIMENTO, S. M. et al. Resíduos de indústria madeireira: Caracterização, conseqüências sobre o meio ambiente e opções de uso. **HOLOS Environment**, v.6, n.1, 2006, p. 8-21. Disponível em: <http://cecemca.rc.unesp.br/ojs/index.php/holos/article/view/177/161>>. Acesso em: 03.Fev.2012.

NOGUEIRA, L.A.H.; LORA, E.E.S. **Dendroenergia: Fundamentos e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

NÚÑEZ-REGUEIRA, L. Energy evaluation of forest residues originated from pine in Galicia. **Bioresource Tecnologia**. V. 88, Issue 2 ,2003, p. 121-130. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852402002754>>. Acesso em: 24.05.2012.

PEIXER, James. **Co-geração de Energia Elétrica através de Resíduos de Pinus na Empresa Rohden Artefatos de Madeira**. Disponível em: <<http://www.artigosbrasil.net/art/misc/1954/cogeracao-energia.html%22#>>. Acesso: 31 Jul.2012.

PÉREZ, S.; et al. Energy potential of waste from 10 forest species in the North of Spain (Cantabria). **Bioresource Technology**. V. 99, Issue 14, 2008, p. 6339–6345. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096085240701022X>>. Acesso em: 30.05.2012.

PÉREZ, S. et al. Energy evaluation of the *Eucalyptus globulus* and the *Eucalyptus nitens* in the north of Spain (Cantabria). **Thermochimica Acta**.V. 451, Issues 1–2, 1, 2006, pg 57–64. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0040603106004370>>. Acesso em: 30.05.2012.

PORTELLA, José A. e MARTINS, Ricardo R. **Uso de GLP na secagem de milho em secador de leito fixo**. Circular n.7 Passo Fundo: Embrapa, 2000.

PROTÁSIO, T.P. et al. Relação entre o poder calorífico superior e os componentes elementares e minerais da biomassa vegetal. **Pesq. Flor. Bras.**, Colombo, v.31, n.66, p. 113-122, abr/jun.2011. Disponível em: <[www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/download/.../211](http://www.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/download/.../211)>. Acesso em: 26.Ja.2013.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira**, n.89. abr. 2005, p. 100-106. Disponível em: <<http://www.funtec.org.br/arquivos/podercalorifico.pdf>>. Acesso em: 01. Ago. 2012.

QUIRINO, W. F. et al. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**, Brasília, v. 1, n.2, p. 173-182, 2004.

QUIRINO, W.F. **Utilização energética de resíduos vegetais**. Brasília, Laboratório de Produtos Florestais - LPF/IBAMA, 2003, 14p.

REVISTA REFERÊNCIA. Resíduos de madeira: Parte 1. A “sobra” que vale ouro. **Revista Referência**, Curitiba, Ano V, n.25, pg. 28-38, 2003 (a). Disponível em: <<http://www.revistareferencia@revistareferencia.com.br>>.

SARDINHA, A.M., et al. Combustão lenhosa directa e indirecta. Sua relevância para a temática dos fogos florestais. **Silva Lusitana** 10(1): 91 - 100, 2002. Lisboa, Portugal. Disponível em: <<http://www.scielo.gpeari.mctes.pt/pdf/slu/v10n1/10n1a06.pdf>>. Acesso em: 27.Jan.2013.

SATER, O. et al. Estudo comparativo da carbonização de resíduos agrícolas e florestais visando à substituição da lenha no processo de secagem de grãos de café. **Rev. Ceres** vol.58 no.6 Viçosa Nov./Dec. 2011. Disponível em: [http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-737X2011000600006&script=sci\\_arttext](http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0034-737X2011000600006&script=sci_arttext). Acesso em: 25.Jan.2013.

SAIDUR, R. et al. A review on biomass as a fuel for boilers. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. Volume 15, Issue 5, June 2011, Pages 2262–2289. Available in: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032111000578>>. Access: 10.Dez.2012.

SALOMOM, K.R.; FILHO, G.L.T. **Série Energias Renováveis - Dendroenergia**. Itajubá, Mg: FAPEPE, 2007. 1 ed. 28p. Disponível em: <http://www.cerpch.unifei.edu.br/arquivos/cartilhas/cartilhas-energias-renovaveis-dendroenergia.pdf>>. Acesso em: 26.Jan.2013.

SÁNCHEZ, C.G.; CAMPO, E.R.B. Pirólise de biomassa. **In: Tecnologia da gaseificação**. Notas de aula. UNICAMP, SP, 2003. Disponível em: <ftp://ftp.fem.unicamp.br/pub/IM338/tecGascap5.pdf>>. Acesso em: 25.Jan.2013.

SANTIAGO, A. R.; ANDRADE, A. M. Carbonização de resíduos do processamento mecânico da madeira de eucalipto. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v.15, n.1, p.1-7. Disponível em: < <http://www.bioline.org.br/pdf?cf05001>>. Acesso em: 06. Ago. 2012.

SÃO PAULO. NORMA – **PMQ 3-03**. Norma que estabelece padrões mínimos de qualidade para carvão vegetal, 2003. Disponível em: [http://www.codeagro.sp.gov.br/qualidade\\_sp/texto\\_word/novos\\_arquivos/saa\\_10.doc](http://www.codeagro.sp.gov.br/qualidade_sp/texto_word/novos_arquivos/saa_10.doc)>. Acesso em: 04. Fev. 2012.

SCARLAT, Nicolae; BLUJDEA, Viorel; DALLEMAND, Jean-François. Assessment of the availability of agricultural and forest residues for bioenergy production in Romania. **Biomass and Bioenergy**. V. 35, Issue 5, 2011, p. 1995–2005. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953411000729>>. Acesso em: 26.04.2012.

SECRETARIA DE ESTADO DA AGRICULTURA E ABASTECIMENTO – DEPARTAMENTO DE ECONOMIA RURAL. Valor Bruto da Produção. Informação institucional. 2010.

SIDDIQUE, R. Utilization of waste materials and by-products in producing controlled low-strength materials. **Resources, Conservation and Recycling**, Volume 54, Issue 1, November 2009, Pages 1–8. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0921344909001311>>. Access in: 05.12.2012.

SILVA, D. **Avaliação da eficiência energética em uma indústria de painéis compensados**. 182f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais) – Setor de Ciências Agrárias – Universidade Federal do Paraná. Curitiba. 2001.

SMEETS, E.M.W.; FAAIJ, A.P.C. Bioenergy potentials from forestry in 2050: an assessment of the drivers that determine the potential. **Clim Change**, 81 (2007), pp. 353–390. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890409000946>>. Acesso em: 26.Jan.2013.

SMEETS, E.M.W.; FAAIJ, A.P.C.; LEWANDOWSKI, I.M.; TURKENBURG, W.C. A bottom-up assessment and review of global bio-energy potentials to 2050. **Prog Energy Combust Sci**, 33 (2007), pp. 56–106. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0196890409000946>>. Acesso em: 26.Jan.2013.

SORDI, A. et al. Planta de cogeração num frigorífico de frangos com cavaco de *pinus* como fonte primária – 4º Encontro de Energia no Meio Rural. **An. 4. Enc. Energ. Meio Rural**, 2002. Disponível em: <[http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000200040&script=sci\\_arttext](http://www.proceedings.scielo.br/scielo.php?pid=MSC0000000022002000200040&script=sci_arttext)>. Acesso em: 22. Abr. 2013.

SOUZA, M. M. **Caracterização e viabilidade econômica do uso energético de resíduos da colheita florestal e do processamento de *Pinus taeda* L.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal da Universidade federal do Paraná), Curitiba – PR, 2010. 77p. Disponível em: <[http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/24932/Marina%20Moura\\_77paginas.pdf?sequence=1](http://dspace.c3sl.ufpr.br/dspace/bitstream/handle/1884/24932/Marina%20Moura_77paginas.pdf?sequence=1)>. Acesso em: 06. Ago. 2010.

STUPAK, I. et al. Utilização sustentável da biomassa florestal para energia de possibilidades e problemas: política, legislação, certificação e recomendações e orientações nos países nórdicos, bálticos e outros países europeus. **Biomassa e Bioenergia**. Volume 31, Issue 10, outubro de 2007, páginas 666-684. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953407001195>>. Acesso em: 09.Dez.2012.

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

TAVARES, GUILHERME DA CUNHA. **Análise dos resíduos de madeira de *Pinus sp.* gerados na produção de beliches.** Universidade Federal de Pelotas, Pelotas, 2010. Disponível em: <<http://wp.ufpel.edu.br/cceim/files/2010/11/TCC-Guilherme-Tavares.pdf>>. Acesso em: 31. Jul. 2012.

TUOTO, M. **Levantamento sobre a geração de resíduos provenientes da atividade madeireira e proposição de diretrizes para políticas, normas e condutas técnicas para promover o seu uso adequado.** Sumário executivo – Revisão 01. Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental. Curitiba, 2009. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/164/\\_publicacao/164\\_publicacao10012011032535.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/164/_publicacao/164_publicacao10012011032535.pdf)>. Acesso em: 24.Jan.2013.



VALE, A. T. et al. Caracterização energética e rendimento da carbonização de resíduos de grãos de café (*Coffea arabica*, L) e de madeira (*Cedrelinga catenaeformis*), DUKE. **Cerne**, Lavras, v.13, n.4, p. 416-420, out./dez. 2007. Disponível em: <[http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/10-02-20098071v13\\_n4\\_artigo%2010.pdf](http://www.dcf.ufla.br/cerne/artigos/10-02-20098071v13_n4_artigo%2010.pdf)>. Acesso em: 01. Ago. 2012.

VLASSOV, D. **Combustíveis, combustão e câmaras de combustão**. Curitiba: Editora UFPR. 2001.

VIEIRA, A. C. **Caracterização da biomassa proveniente de resíduos agrícolas**. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, PR, 2012. 56f.

WIECHETECK, M. **Aproveitamento de resíduos e subprodutos florestais, alternativas tecnológicas e propostas de políticas ao uso de resíduos florestais para fins energéticos**. Projeto PNUD BRA 00/20 - Apoio às Políticas Públicas na Área de Gestão e Controle Ambiental. Curitiba, 2009.