

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**CARACTERIZAÇÃO DE BIOMASSA DE TOCO E RAÍZ DE
Eucalyptus urophylla S. T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill
ex Maiden PARA GERAÇÃO DE ENERGIA**

CLÓVIS WILLIAM CELSO WANDERLEY

SOROCABA

DEZEMBRO DE 2013

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIAS PARA A SUSTENTABILIDADE
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS

**CARACTERIZAÇÃO DE BIOMASSA DE TOCO E RAÍZ DE
Eucalyptus urophylla S. T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill
ex Maiden PARA GERAÇÃO DE ENERGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Universidade Federal de São Carlos- *campus* Sorocaba, sob a orientação do Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji como parte dos requisitos para a obtenção do título de bacharel em Engenharia Florestal.

CLÓVIS WILLIAM CELSO WANDERLEY

Orientador: Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji

SOROCABA

DEZEMBRO DE 2013

Clóvis William Celso Wanderley

**CARACTERIZAÇÃO DE BIOMASSA DE TOCO E RAÍZ DE
Eucalyptus urophylla S. T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill
ex Maiden PARA GERAÇÃO DE ENERGIA**

Aprovado em: __/__/__

Prof. Dr. Fábio Minoru Yamaji – Presidente e Orientadora

Universidade Federal de São Carlos

Prof. Dra. Franciane Andrade de Pádua - Membro Titular

Universidade Federal de São Carlos

MSc. Walbert Chrisostomo – Membro Titular

Universidade Federal de São Carlos

Dedicatória

“[...] Todos nós tivemos como primeira morada, o ventre materno
E de lá quando saímos para esse mundo
E cortam o nosso cordão umbilical
Separam os nossos corpos, mas as nossas almas não
Essas continuam unidas e ligadas para todo o sempre [...]”

Iniciando com estes versos de um poema, dedico este trabalho de conclusão de curso a minha mãe. Acredito que este seja o reflexo de seu esforço, carinho e dedicação intensificados nestes cinco anos de jornada.

Agradecimentos

Agradeço ao professor doutor Fábio Minoru Yamaji, pela orientação, conselhos e amizade ao longo desta jornada. Também agradeço ao grupo de pesquisas em bioenergia, por me acolherem e incentivarem.

Agradeço a todo o corpo docente do curso de Engenharia Florestal, os quais me transmitiram conhecimento para formação de minha base.

Gostaria de agradecer também a minha família pelo apoio e a minha namorada Thaís por estar ao meu lado nos momentos bons e nos ruins.

Obrigado aos moradores da casa 9/77, aos quais tive o prazer de conviver diariamente nesses cinco anos, aprendendo a cada dia e também, dando boas risadas.

Por fim, gostaria de agradecer a Engenheira Florestal Flávia Gomez pelo apoio durante a pesquisa, ao colega de turma Diego Aleixo pela ajuda durante as análises laboratoriais e também, agradecer a todas as pessoas que contribuíram de alguma forma durante todo este tempo.

“A mente que se abre a uma nova ideia jamais voltará ao seu tamanho original.”

Albert Einstein

Resumo

O objetivo do presente trabalho foi determinar as características de cavacos de toco e raiz do híbrido do cruzamento de *E. urophylla* x *E. grandis* visando à produção de energia. Os resultados obtidos revelaram teor de umidade médio de 17%, densidade básica no intervalo de 0,409 g.cm⁻³ a 0,534 g.cm⁻³, poder calorífico de 18700,33 J/g e teor de cinzas médio de 3,76%. Conclui-se que a biomassa oriunda do conjunto toco-raiz do híbrido apresenta um grande potencial para o uso como biocombustível, porém necessita de uma metodologia para remoção de contaminantes inorgânicos, a fim de diminuir a contaminação do material.

Palavras-chave: resíduos florestais, bioenergia, sistema radicular, aproveitamento de resíduos.

Abstract

The objective of this study was to determine the characteristics of chips stump and roots of the hybrid crossover of *E. urophylla* x *E. grandis* aimed at producing energy. Results revealed a mean moisture content of 17 %, basic density in the range of 0.409 g.cm⁻³ to 0.534 g.cm⁻³, calorific value of 18700.33 J/g and average ash content of 3.76 %. It was concluded that the biomass originating from the stump of the root set hybrid has great potential for use as biofuel, but it needs a method to remove the inorganic contaminants in order to reduce contamination of the material.

Keywords: forest residues, bioenergy, root system, waste recovery

Sumário

1. INTRODUÇÃO	7
2. MATERIAL E MÉTODOS	8
2.1. Coleta do material	8
2.2. Análise do material.....	8
2.2.1 Densidade básica e teor de umidade.....	8
2.2.2. Análise imediata e poder calorífico.....	9
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO	10
3.1. Densidade básica e Teor de umidade	10
3.2. Poder Calorífico	12
3.3. Análise imediata.....	13
4. CONCLUSÃO	14
5. REFERÊNCIAS	15

1. INTRODUÇÃO

Desde meados da revolução industrial o poder competitivo econômico dos países e a qualidade de vida de seus cidadãos são fortemente influenciadas pela energia. Frente a um mercado globalizado e onde cada dia mais, crescem as preocupações com as questões ambientais, essa influência se torna cada vez mais importante (Tolmasquim et al., 2007; Vichi & Mansor, 2009).

O Brasil, apresenta sua matriz energética com cerca de 85% com base em energias renováveis, somando-se produção e importação de energia (EPE, 2013). Desta matriz energética, 70,1% da energia consumida no país é fruto de geração hidrelétrica, 7,9% referente ao gás natural e 6,8% devido a produção de biomassa, sendo estas três fontes as mais significativas para a realidade nacional (EPE, 2013).

Embora hoje a energia proveniente de biomassa seja de 6,8%, quando comparamos os últimos 10 anos, observamos um salto de produção de 49.440 (10^3 tep) para 65.293 (10^3 tep), representando um crescimento de 32 % nesse setor (EPE, 2013). Frente a essa eminente expansão do uso de biomassa para a produção de energia vislumbra-se o grande potencial de crescimento do uso de biomassa florestal para fins energéticos, pois de acordo com Couto et al. (2000), esse tipo de matéria prima apresenta excelentes características para tal finalidade devido, além de suas propriedades físicas e químicas, a sua variedade de formas utilizadas, tais como a queima da madeira (lenha e carvão), aproveitamento de resíduos da exploração florestal e também o uso de óleos essenciais, ácido pirolenhoso e alcatrão.

Além de gerar energia, o uso de biomassa florestal potencializa o aproveitamento de florestas comerciais, pois fornece a opção de utilização de resíduos florestais oriundos do processo de colheita das florestas, que outrora são deixados em campo e assim, podem ser um fator positivo para a viabilidade econômica do manejo florestal e tratamentos silviculturais (Canto, 2009).

De acordo com Bauer (2001), no processo de colheita mecanizada de um plantio de *Eucalyptus grandis*, possuindo diâmetro acima de 06 cm, gerou-se em média 16,17 m^3/ha de madeira não aproveitada (resíduo), representando um montante de 4,5% do total. Embora o Brasil ainda esteja dando os primeiros passos em relação ao aproveitamento de resíduos florestais, países como a Finlândia já tem longa experiência neste processo, onde em 2005 o consumo de biomassa de tocos pelas plantas energéticas de fábricas foi estimado em 0,4 milhão de metros cúbicos (sólidos), sendo o

triplo do consumido em 2004 representando 14% do consumo total de cavacos de origem florestal (Ylitalo, 2006).

É escassa a produção científica com tema de uso de biomassa de toco e raiz no Brasil, sendo importante o desenvolvimento de pesquisas que contemplem este tema, possibilitando o acesso a informações fundamentais para o uso dessa biomassa.

Dessa forma, para que se possa entender melhor quais são as características físico-químicas da biomassa florestal e determinar seu melhor emprego bem como a qualidade final do produto, é necessário levantar informações básicas tais como densidade básica, poder calorífico e a análise imediata, a fim de entender a dinâmica desse combustível e compará-lo a alternativas já conhecidas. O objetivo do presente trabalho foi determinar as características de cavacos de toco e raiz do híbrido do cruzamento entre *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake X *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden, visando à produção de energia.

2. MATERIAL E MÉTODOS

2.1. Coleta do material

O material analisado foi cedido pela empresa International Paper do Brasil, coletado no horto florestal Santa Terezinha, localizado no município de Mogi Guaçu – SP. Os cavacos foram obtidos por meio da extração e processamento do sistema radicular, oriundos de um plantio comercial do híbrido com 6 anos. O sistema radicular é removido do solo de uma única vez, com auxílio de uma retroescavadeira adaptada que proporciona a retirada conjunta do toco e raiz.

A extração dos tocos se deu 60 dias após o corte raso e o processamento dos mesmos ocorreu 120 dias após a extração. O material foi coletado de forma a garantir a aleatorização das amostras, coletando-as de pontos diferentes da pilha de cavacos.

2.2. Análise do material

2.2.1 Densidade básica e teor de umidade

A análise do material foi realizada no laboratório de biomassa da Universidade Federal de São Carlos - *Campus* Sorocaba. Inicialmente, para a determinação da densidade básica dos cavacos, foram selecionados 12 corpos de prova aos quais considerou-se cada um como uma repetição para determinar o valor de densidade. Para

tanto, os dados necessários para essa determinação foram baseados na fórmula de cálculo da densidade básica, através da equação do máximo teor de umidade, proposta por Foelkel (1971) observada na Eq. 1

$$Db = \frac{1}{\frac{Pm}{Pas} - 0,346} \quad (1)$$

Pm = Peso dos material saturado (g)

Pas = Peso do material seco (g)

Dessa forma, submeteram-se os corpos de prova ao processo de secagem artificial em estufa, a $105^{\circ}\text{C} \pm 2$ até que esses apresentassem peso constante, obtendo-se então o valor de massa livre de umidade ou massa seca, utilizado também para o cálculo do teor de umidade. Após a determinação da massa seca, as amostras foram submersas em um balde com água e adicionado uma tampa plástica de forma a garantir que todos os corpos ficassem completamente imersos em água para a sua completa saturação. Após um período de 10 dias completamente submersas, as amostras se mostraram saturadas, possibilitando então a determinação do volume saturado da amostra.

Assim, com o auxílio de uma balança de precisão e um copo de Becker, realizou-se a pesagem da massa de líquido deslocado pelas amostras saturadas, e sabendo-se o valor da densidade da água, foram obtidos os valores de volume das amostras. O teor de umidade foi calculado pela diferença percentual entre massa úmida e massa seca, obtendo-se o valor na base úmida.

2.2.2. Análise imediata e poder calorífico

Para a realização da análise química imediata do material teve-se como base as diretrizes da norma ABNT NBR 8112/86, iniciando-se então com a picagem dos cavacos em um micro – moinho de facas tipo Wiley MA – 340, para que fosse possível obter um material com granulometria de 60 mesh. Depois de picado o material, foram realizadas as análises, obtendo-se os valores de teor de cinzas, voláteis e carbono fixo, com três repetições cada. O poder calorífico foi determinado conforme a norma ABNT NBR 8633/84, no laboratório de análises calorimétricas da UNESP-Campus Itapeva, em uma bomba calorimétrica C5000 IKA.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1. Densidade básica e Teor de umidade

O valor do teor de umidade encontrado para os cavacos de híbrido foi de 17% na base úmida. De acordo com Cunha et al. (1989) o conteúdo máximo de umidade de uma madeira que pode ser queimada no forno está entre 65 a 70% na base úmida, valor muito acima do encontrado

O valor da densidade para cavacos de toco e raiz do híbrido variou no intervalo de $0,409 \text{ g.cm}^{-3}$ a $0,534 \text{ g.cm}^{-3}$, como pode ser observado na tabela 1.

Tabela 1. Valores de densidade básica para as amostras analisadas.

Amostra	Massa (g)	Volume (cm ³)	Densidade (g.cm ⁻³)
1	9,32	19,92	0,47
2	11,13	23,41	0,47
3	7,15	15,01	0,47
4	4,82	8,99	0,53
5	6,24	11,66	0,53
6	3,12	6,22	0,50
7	1,63	3,86	0,41
8	4,15	7,96	0,51
9	3,95	7,95	0,49
10	5,44	13,19	0,41
11	43,42	99,96	0,43
12	13,13	30,25	0,43

Para o conjunto de dados obtidos foi possível calcular o intervalo de confiança para $\alpha = 0,5$ e os demais parâmetros estatísticos, encontrados na Tabela 2.

Tabela 2. Valores dos parâmetros estatísticos analisados, para $\alpha = 0,5$.

Parâmetros	g.cm ⁻³
Média	0,473
Desvio Padrão	0,043
Intervalo de confiança	$0,444 \leq \mu \leq 0,502$
Coefficiente de Variação	9,1%

Os valores obtidos de densidade do material de raiz e toco foram comparados com os valores de densidade da madeira (toras) para o mesmo povoamento. A densidade da madeira ($0,496 \text{ g.cm}^{-3}$) obtida diretamente com a empresa foi 4,63% superior a densidade dos cavacos (Figura 1).

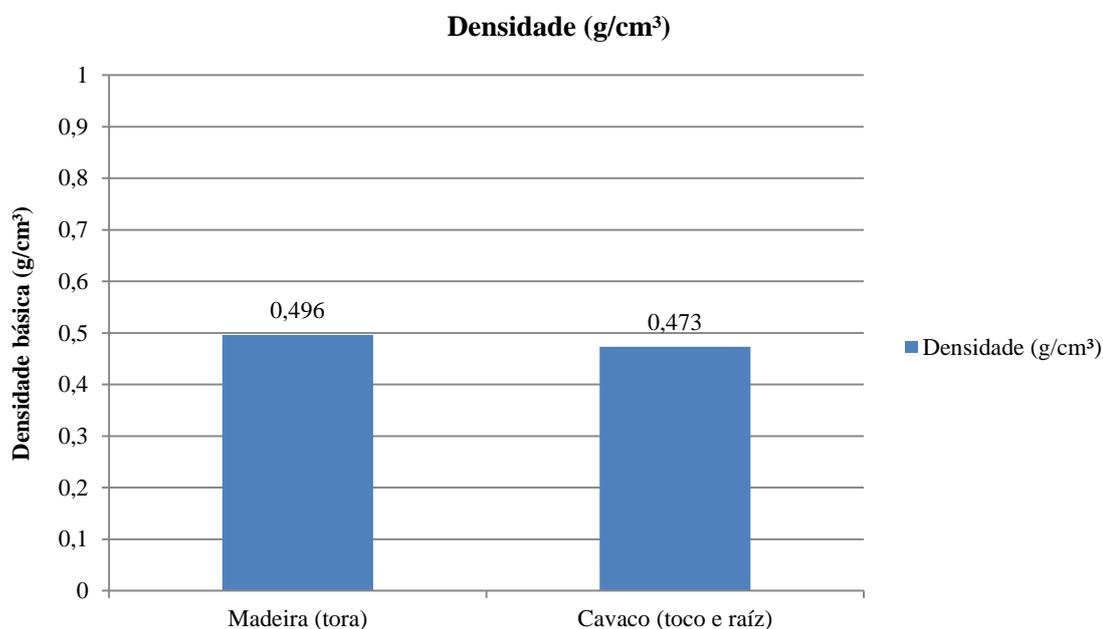


Figura 1. Comparativo entre densidade da madeira e cavacos de analisados.

A densidade básica é uma das principais características tecnológicas da madeira, sendo que madeiras mais densas apresentam maior poder calorífico por unidade de volume (Pereira, 2000). Baseando-se neste conceito de Pereira, observou-se que a proximidade entre os valores médios para densidade de toco-raiz com os da madeira indicam a grande potencialidade deste material como biocombustível, pois um alto valor de densidade é uma evidencia de alto poder calorífico (Pereira, 2000).

De acordo com Taiz e Zeiger (2009) pode ocorrer, ao longo de todo ano o crescimento radicular contínuo e em espécies de dicotiledôneas, o desenvolvimento das raízes se dá por meio de um eixo principal com intensa atividade cambial secundária e desse eixo projetam-se as raízes laterais possuindo menor atividade secundária e conseqüentemente, menos robustas. De acordo com este fato, deduz-se que os valores de densidade do conjunto toco-raíz do híbrido foram menores que os valores médios da madeira, justamente pela presença do material radicular mais fino, constituinte do sistema radicular.

3.2. Poder Calorífico

De acordo com Quirino (2005), poder calorífico é a quantidade de energia na forma de calor liberada pela combustão completa da unidade de massa ou mesmo volume do combustível, sendo juntamente com densidade e teor de umidade as principais características analisadas para determinar o potencial de um material como combustível. Os valores encontrados para o material analisado refletem os valores elevados de densidade, como pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3. Poder calorífico médio da biomassa do sistema radicular do híbrido.

Repetições	J/g	kcal/kg
1	18812	4.493
2	19076	4.556
3	18460	4.409
4	18274	4.365
5	18849	4.502
6	18731	4.474
Média	18700,33	4.466
Desvio Padrão	263,36	62,90
C.V.	14,1%	14,1%

Analisando comparativamente os valores com os dados encontrados por Quirino et.al. (2005), observa-se que os valores encontrados no presente estudo estão próximos aos das principais espécies plantadas de eucalipto, como pode ser evidenciado na Figura 2.

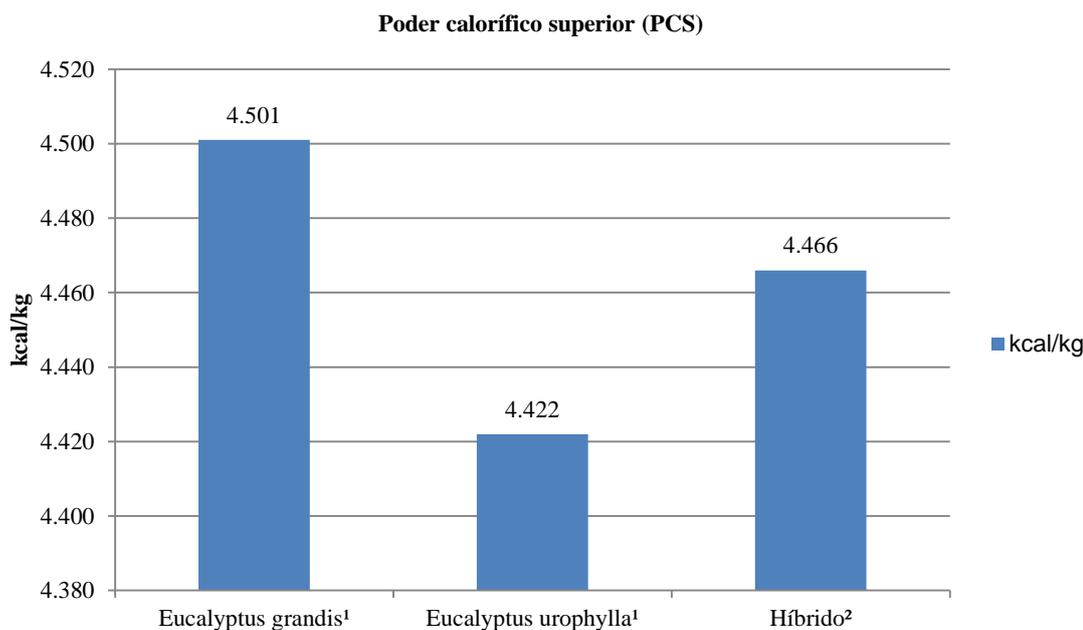


Figura 2. Comparativo dos valores de PCS para diferentes espécies de Eucalyptus e o híbrido analisado. ¹ madeira ²cavacos de raiz/toco.

3.3. Análise imediata

Os valores para análise imediata que trata da quantificação de carbono fixo, teor de substâncias voláteis e teor de cinzas, podem ser observados na tabela 4.

Tabela 4. Análise química imediata da biomassa de toco-raiz.

Repetição	Teor de voláteis (%)	Carbono fixo (%)	Cinzas (%)
1	84,14	11,37	4,50
2	82,39	14,02	3,59
3	78,09	18,73	3,18
Média	81,54	14,71	3,76
Desvio Padrão	3,11	3,73	0,67

De acordo com Tomazello Filho et al. (1987) a relevância do parâmetro carbono fixo é função do uso e aplicação do produto onde, em geral, quanto maior o teor de carbono fixo, melhor é a qualidade do material combustível. Silva et al. (2012) encontraram um valor de 16% para madeira de *E. benthamii* Maiden at Cambage aos 5 anos. Brito &

Barrichello (1978) encontraram um valor de 9,6% de carbono fixo para o *E. grandis* aos 5 anos.

O valor para o teor de voláteis foi de 81,54%. Esse valor está próximo do valor encontrado por Silva et al. (2012) para *E. benthamii* Maiden at Cambage, o qual foi de 84%.

O valor médio para o teor de cinzas, que expressa à porcentagem de material inorgânico na amostra e que não sofre combustão, foi de 3,76%. De acordo com Alakangas (2005), os valores para teor de cinzas de cavacos de toco e raízes produzidos na Finlândia variam de 2 a 20% e em algumas situações podendo ultrapassar estes valores, o que mostra que haverá impurezas na biomassa do sistema toco – raízes. Barrichello (1976) encontrou teor de cinzas de 0,3 % para madeira de *E. grandis* e 0,4% em *E. urophylla*, o que comparativamente com os valores para os cavacos revelou um alto teor de sílica no material oriundo de resíduos florestais.

4. CONCLUSÕES

Frente aos dados levantados e analisados observou-se que a biomassa oriunda do conjunto toco-raiz do híbrido apresenta um grande potencial para o uso como biocombustível, uma vez que possui valor de densidade próximo ao da madeira, poder calorífico intermediário entre as duas espécies parentais *E. urophylla* e *E. grandis* e por fim, a análise imediata mostrou valores próximos aos encontrados na literatura para madeira, atestando o potencial do material para a finalidade energética.

Embora o teor de cinzas encontrado esteja dentro do intervalo descrito na literatura, este denota-se como um ponto relevante para a qualidade final do material, ao passo que uma característica inerente ao processo de extração do toco é a contaminação do material por terra. Esse fator deixa como sugestão a necessidade de desenvolver uma metodologia para retirada desse contaminante inorgânico da biomassa e assim, elevar a qualidade do biocombustível.

5. REFERÊNCIAS

- Alakangas, E. Properties of Wood fuels used in Finland. Jyväskylä, Finland: VTT, 2005. 90 p. (Project Report PRO2/P2030/05).
- Associação brasileira de normas técnicas. NBR 8633: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico, Rio de Janeiro, 1984.
- Associação brasileira de normas técnicas. NBR 8112: Carvão vegetal: análise imediata, Rio de Janeiro, 1986.
- Barrichelo, L. E. G.; Brito, J. O. Potencialidade de espécies tropicais de eucalipto para a produção de celulose sulfato branqueada. IPEF, v.13, p 9-38, 1976.
- Bauer, S. R. T. Resíduos da exploração florestal de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden para geração de energia elétrica. Botucatu: UNESP, 2001. 54f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- Brito, J. O.; Barrichelo, L. E. G. Características do eucalipto como combustível: análise química imediata da madeira e da casca. IPEF, n.16, p. 63-70, 1978.
- Canto, J. L. Colheita mecanizada de biomassa florestal para energia. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2009, 1-2p. Tese para obtenção do título de Doctor Scientiae.
- Couto, L.; Fonseca, E.M.B.; Müller, M.D. O estado da arte das plantações de florestas de rápido crescimento para produção de biomassa para energia em Minas Gerais: aspectos técnicos, econômicos sociais e ambientais. Belo Horizonte: CEMIG, 2000. 44p.
- Cunha, M. P. S. C.; Pontes, C. L. F.; Cruz, I. A.; Cabral, M. T. F. D.; Cunha Neto, Z. B.; Barbosa, A. P. R. Estudo químico de 55 espécies lenhosas para geração de energia em caldeiras. In: 3º encontro Brasileiro em madeiras e em estruturas de madeira: Anais, v.2, p. 93-121, São Carlos, 1989.
- EPE – Empresa de Pesquisa Energética. Balanço energético nacional 2013: Ano base 2012. Rio de Janeiro, 2013.
- Foelkel, C. E. B.; Brasil, M. A. M.; Barrichelo, L. E. G. Métodos para determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas, IPEF, n. 2/3, p. 65-74, 1971.
- Ylitalo, E. Use of wood fuels for energy production in 2005: Use of wood fuels in Finland, 2005. Forest Statistical Bulletin 820. 8 p. (In Finnish).
- Pereira, J.C.D. Características da madeira de algumas espécies de eucalipto plantadas no Brasil. Colombo: Embrapa Florestas, 2000. 113p. (Embrapa Florestas, Documentos, 38)
- Quirino, W. F.; Vale, A. T.; Andrade, A. P. A. ; Abreu, L. S.; Azevedo, A. C. S. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. Revista da Madeira, v. 89, p 100-106, 2005.

Silva, D. A.; Muller; Kuiaski, E. C.; Cunha, A. B. Caracterização Energética do *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. In: IV Congresso Florestal Paranaense, 2012, Curitiba - PR. IV Congresso Florestal Paranaense, 2012.

Taiz. L.; Zeiger. E. Nutrição mineral. In: Fisiologia vegetal. 4. ed. Porto Alegre: Artmed, 2009. Cap. 5, p. 107-109.

Tolmasquim, M. T.; Guerreiro, A.; Gorini, R. Matriz energética brasileira, uma prospectiva. Revista Novos Estudos – CEBRAP, v.79, p 47-69, 2007.

Tomazello Filho, M.; Brito, J. O.; Salgado, A. L. B. Produção e caracterização do carvão vegetal de espécies e variedades de bambu. IPEF, v. 36, p 13-17, 1987.

Vichi, F. M.; Mansor, M. T. C. Energia, meio ambiente e economia: O Brasil no contexto mundial. Revista Química Nova, v. 32, p 757-767, 2009.