

## **Potencial de utilização do eucalipto para geração de energia no município de Paragominas/PA, Brasil.**

**Elis Watanabe Nogueira<sup>1</sup>, Carlos José Capela Bispo<sup>2</sup>, Daniel Sarti Franco<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Universidade do Estado do Pará (watanabeelis90@gmail.com)

<sup>2</sup>Universidade do Estado do Pará (cjcabela@yahoo.com.br)

<sup>3</sup>Universidade Federal do Pará (dsf.geologia@outlook.com)

### **Resumo**

Este trabalho busca apresentar alternativas para geração de energia elétrica, substituindo os recursos naturais esgotáveis tão utilizados no último século, por recursos naturais renováveis utilizando biomassa de eucalipto oriunda de florestas energéticas. Objetivou-se nesse trabalho: (i) avaliar o potencial do uso de eucalipto para geração de energia elétrica; (ii) determinar a massa específica básica do *Eucalyptus urograndis*; (iii) determinar o teor de umidade das amostras (iv) determinar o poder calorífico superior e inferior do *Eucalyptus urograndis*; e (v) definir a quantidade e a área necessária de biomassa de eucalipto na região para gerar um potencial energético de 10MW e 60MW. Após a análise de 4 amostras do *E. urograndis*, pode-se concluir que o mesmo tem um grande potencial energético, com poder calorífico superior médio de 3.954 kcal/kg e inferior de 3458,4 kcal/kg, densidade básica 547,21 kg/m<sup>3</sup> e teor de umidade médio de 25%. Utilizando somente biomassa do *E. urograndis*, com ciclo de corte de 7 anos, 34.860 toneladas de biomassa seria necessário para abastecer uma usina termelétrica para gerar uma potência de 10MW de energia em uma área de 7.798 ha. Outra simulação feita para um potencial de 60MW seria necessário 46.641 ha utilizando 208.475 toneladas de biomassa.

Palavras-Chaves: Energia renovável. Biomassa florestal. *E. urograndis*.

Área Temática: Energia e energias renováveis.

## **Potential use of eucalyptus for energy generation in Paragominas / PA, Brazil.**

### **Abstract**

*This study aims to present alternatives for electricity generation by replacing exhaustible resources as used in the last century, by using renewable natural resources eucalyptus biomass energy comes from forests. Objective of this work: (i) to evaluate the potential use eucalyptus for the generation of electricity, (ii) determine the basic density of Eucalyptus urograndis (iii) determine the moisture content of the samples (iv) determine the power upper and lower calorific eucalyptus urograndis and (v) define the quantity required and the area of eucalyptus biomass in the region to generate an energy potential of 10MW and 60MW. After analyzing 4 samples of E. urograndis, it can be concluded that it has a large energy potential, with average gross calorific value of 3,954 kcal / kg and lower 3458.4 kcal / kg, 547.21 kg/m<sup>3</sup> basic density and moisture content averaging 25 %. Using only biomass E. urograndis with cutting cycles of seven years, 34,860 tons of biomass would be required to supply a thermal power plant to generate an output of 10MW of energy in an area of 7,798 ha. Another simulation done for a potential of 60 MW would require 46,641 ha using 208,475 tons of biomass.*

**Key Words:** Renewable Energy. Biomass forestry. *E. urograndis*.

**Theme Area:** Energy and renewables.

## 1 Introdução

Do ponto de vista energético, para fim de outorga de empreendimentos do setor elétrico, de acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), a biomassa é todo recurso renovável oriundo de matéria orgânica (de origem animal ou vegetal) que pode ser utilizada na produção de energia. Assim como a energia hidráulica e outras fontes renováveis, a biomassa é uma forma indireta de energia solar. A energia solar é convertida em energia química, através da fotossíntese, base dos processos biológicos de todos os seres vivos.

Uma vez que a produção fotossintética anual da biomassa é cerca de oito vezes maior que a energia total usada no mundo e que essa energia pode ser produzida e usada de forma ambientalmente sustentável, visto que não libera CO<sub>2</sub>, não resta dúvida de que essa fonte potencial de energia armazenada deve ser cuidadosamente levada em consideração em qualquer discussão sobre o fornecimento de energia nos dias atuais (HOUSE et al., 2005).

A biomassa é uma das fontes para produção de energia com maior potencial de crescimento nos próximos anos. Tanto no mercado internacional quanto no interno, ela é considerada uma das principais alternativas para a diversificação da matriz energética e a consequente redução da dependência dos combustíveis fósseis. Dela é possível obter energia elétrica e biocombustíveis, como o biodiesel e o etanol, cujo consumo é crescente em substituição a derivados de petróleo como o óleo diesel e a gasolina (ANEEL, 2008).

No Brasil, a imensa superfície do território nacional, quase toda localizada em regiões tropicais e chuvosas, oferece excelentes condições para a produção e o uso energético da biomassa em larga escala. Além da produção de álcool, queima em fornos, caldeiras e outros usos não-comerciais, a biomassa apresenta grande potencial no setor de geração de energia elétrica (ANEEL, 2008).

## 2 Metodologia

### Massa específica básica

A determinação da densidade básica da madeira foi realizada no Laboratório de Engenharia Ambiental, do Núcleo VI da Universidade do Estado do Pará (UEPA), localizado no município de Paragominas-PA. Para a obtenção da massa específica básica, calculou-se primeiro o volume de quatro amostras (A1, A2, A3 e A4) e posteriormente as amostras foram pesadas em uma balança com sensibilidade de 0,01 g (Marca Shimadzu e Modelo BL3200H).

Após a obtenção do volume, colocaram-se os corpos de prova em estufa (Marca Labor Modelo SP-400) a 103 °C ± 2 °C até atingirem peso constante, sendo então pesados novamente, obtendo assim a massa seca correspondente de acordo com GATTO et al., (2003). A massa específica básica foi calculada por meio da seguinte equação:

$$\rho_{\text{Bás}} = \frac{P_o}{V_u}$$

### Teor de umidade

Na determinação do teor de umidade, foi utilizada como referência a norma da ABNT NBR 14929:2003 pelo método por secagem em estufa e método gravimétrico, realizado por meio de pesagens anteriores e posteriores utilizando uma balança com sensibilidade de 0,01 e a permanência das amostras em estufa de secagem a temperatura de 103 ± 2 °C (SOUZA, 2012) até atingirem peso constante. O teor de umidade na base seca foi calculado por meio da seguinte equação (GATTO et. al, 2003):

$$T_u = \left[ \frac{(P_u - P_o)}{P_o} \right] 100$$

**Poder calorífico superior e inferior**

Para cálculo do poder calorífico estimado, usou-se a modificação de Gatto et al. (2003) da equação sugerida por Nock et al (1975) :

$$P_{ci} = \rho \text{ Bás} \left[ 4500 - 52 \left( \frac{T_u}{1 + \left( \frac{T_u}{100} \right)} \right) \right] 0,0011622294$$

Para calcular o PCS baseou-se na metodologia utilizada por Vale et al (2011):

$$PCI = PCS - 314$$

**Determinação da quantidade de energia por hectare**

Para o cálculo da quantidade de energia por hectare, expressa em kcal.ha<sup>-1</sup>, utilizou-se a equação de Muller (2005), multiplicando o peso de matéria seca pelo poder calorífico da madeira. Mas primeiramente foi calculada a potência utilizada em um ano de funcionamento da termelétrica.

Na simulação, foram considerados dois cenários diferentes: uma planta de 10MW e 60MW. Dessa maneira, foi considerado um modelo de cálculo utilizado por Muller (2005, apud Carvalho (s.d)):

- Fator de carga de 0,60 e o;
- Fator de disponibilidade de 0,97.

A produção de energia dessa central, em 1 ano será:

$$\text{Potência (em KW)} \times 24 \text{ horas} \times 365 \text{ dias} \times 0,97 \times 0,60 = Y \text{ kWh.}$$

Atualmente a eficiência global de conversão de energia primária em energia útil é de aproximadamente um terço (33%) (GOLDEMBERG, 2000). Considerando então a eficiência termodinâmica da ordem de 33%, calcula-se o consumo de energia térmica.

Para gerar esta energia com potencial de 10 e 60MW, calculou-se o consumo de lenha (kg):

$$X \text{ m}^3 \text{ de lenha} = \frac{Y \text{ kWh}}{PCS \text{ kwh/m}^3}$$

A partir dos dados obtidos de volume e biomassa, bem como de poder calorífico da madeira, foi calculada a área necessária para abastecer uma unidade de geração (por MW gerado).

A área necessária para atender à demanda de lenha, em função da potência instalada, foi calculada dividindo-se o consumo de lenha pela produção (em m<sup>3</sup>/hectare).

**3 Resultados****Massa específica básica**

Os resultados mostram que a densidade básica entre as amostras estudadas teve  $\rho$  Bás. máxima igual 579,63 kg/m<sup>3</sup> e  $\rho$  Bás. mínima 507,72 kg/m<sup>3</sup>, com valor médio de 547,21 kg/m<sup>3</sup> como é mostrado na Tabela 1.

Alencar (2002) ao estudar a densidade básica do *E. urograndis* encontrou o valor médio de 521 kg/m<sup>3</sup>, Bassa (2002) achou valores de 543 kg/m<sup>3</sup>; Costa (2011) obteve o valor médio de 522 kg/m<sup>3</sup>; enquanto, Milagres (2009) e Mokfienski (2004) descobriram valores médios de 455 kg/m<sup>3</sup> e 525 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente. Desta forma, os valores encontrados, são bem próximos aos encontrados na literatura. Isto nos traduz que quanto mais denso for a amostra, maior será a concentração energética para mesma unidade de volume. A quantidade

de matéria seca produzida e sua densidade são as duas variáveis que vão entrar diretamente na apreciação da produção de energia da biomassa de cada vegetal.

Tabela 1- Densidade básica

<b>Amostra</b>	<b>Densidade básica (kg/m<sup>3</sup>)</b>
1	533,90
2	579,63
3	567,61
4	507,72
<b>Média</b>	<b>547,21</b>

Fonte: NOGUEIRA (2012)

### Teor de umidade

O conteúdo de umidade máximo que uma madeira pode ser queimada no forno está em torno de 65% a 70% em base úmida (QUIRINO et al., 2005). Os resultados obtidos apontam um teor de umidade muito baixo se comparado ao teor de umidade das amostras esporadicamente analisadas no laboratório da empresa Floraplac em Paragominas, encontrando-se em torno de 40 a 60% de umidade. A diferença de resultado deve-se principalmente a interferências externas como: transporte e a estocagem das amostras, que ficaram acondicionadas, até a busca do material, no laboratório da empresa. O período de coleta do material encontrava-se no período seco, sem chuva, o que pode ter sofrido alteração do teor de umidade.

O teor de umidade tem relação direta com o poder calorífico e quanto menor a taxa de umidade, maior será o poder calorífico das amostras. O valor máximo encontrado nas análises foi de 37% e mínimo de 17%, com umidade média de 25% como exposto na Tabela 2.

Tabela 2- Resultados para teor de umidade

<b>Amostras</b>	<b>Teor de umidade (%)</b>
1	37
2	28
3	19
4	17
<b>Média</b>	<b>25</b>

Fonte: NOGUEIRA (2012)

### Poder calorífico superior e inferior

Os resultados obtidos para PCS e PCI indicam um elevado poder calorífico ao teor de umidade médio 25%, sendo a média de 2.400 kwh/m<sup>3</sup> ou 3.774 kcal/kg e 2201 kwh/m<sup>3</sup> ou 3460 kcal/kg, respectivamente, de acordo com a Tabela 3. Gatto et al., (2003) encontraram valor semelhante para o PCI de uma espécie de eucalipto, onde a biomassa, a uma umidade de 17%, obteve PCI igual a 1917 kwh/m<sup>3</sup> e a umidade de 32% o PCI baixava para 1654 kwh/m<sup>3</sup>, representando uma perda de 13,6% de energia por metro cúbico de lenha em razão da queima com teor de umidade inadequado. Quando calculado PCI a umidade de 32%, obteve resultado de PCI equivalente a 2060 kwh/m<sup>3</sup>, valor superior quando comparado aos 1654 kwh/m<sup>3</sup> de Gatto et al., (2003) para mesma umidade.

Considerando que o teor de umidade das amostras foi muito baixo quando comparados a outras análises realizadas no laboratório da empresa CONCREM e que o teor de umidade é um fator de grande importância no uso da biomassa como combustível, pois apresenta uma relação inversa com o poder calorífico, se adotarmos o Tu médio de 40% então o PCS e PCI sofreria uma perda de 12,8% de energia, levando o aproveitamento de energia por metro cúbico a aproximadamente 2117 e 1917 kwh, respectivamente.

Muller (2005), encontrou para uma plantação, com espaçamentos variados, uma média de PCS igual a 4146 kcal/kg, valores superiores ao encontrado neste presente trabalho, média de 3.774 kcal/kg. O poder calorífico é uma noção indicativa de energia realmente disponível na usina, pois serão necessários 600 kcal para cada quilograma de água contida na massa para evaporá-la.

Tabela 3- Resultados obtidos de Poder Calorífico Superior (PCS), Poder Calorífico Inferior (PCI) e Teor de Umidade (Tu) das amostras de *Eucalyptus Urograndis*.

Amostra	PCS (kwh/m <sup>3</sup> )	PCI (kwh/m <sup>3</sup> )	PCS (kcal/kg)	PCI (kcal/kg)	Tu (%)
1	2.117	1.918	3.329	3.015	37
2	2.470	2.271	3.884	3.570	28
3	2.612	2.412	4.106	3.792	19
4	2.403	2.203	3.778	3.464	17
<b>Média</b>	<b>2.400</b>	<b>2.201</b>	<b>3.774</b>	<b>3.460</b>	<b>25</b>

Fonte: NOGUEIRA (2012)

Tabela 4- Resultados finais

Eficiência (%)	Potência (MW)	Consumo de biomassa (m <sup>3</sup> )	Consumo de biomassa (ton)	Produção anual (kg/ha.ano)	Área necessária em 7 anos (ha)
33	10	63.729	34.860	31.288	7.798
33	60	381.124	208.475	31.288	46.641

Fonte: NOGUEIRA (2012)

Uma usina em construção na França, na cidade de Tavaux, pelas empresas Solvay e Dalkia, vai produzir 30 MW, utilizando 270.000 toneladas de biomassa por ano proveniente de 70% de resíduos florestais, 20% de resíduos da indústria madeireira, 3% de resíduos vegetais urbanos, 4% de reciclagem de madeira usada e 3% de biomassa de talhadas de curta rotação (TCR) (QUÉNO, 2009). De acordo com os estudos realizados, representados na Tabela 4, com uma eficiência de 33% na conversão de energia, seria necessário uma quantidade de 208.475 toneladas de biomassa de *Eucalyptus urograndis* por ano, com área análoga de 46.641 hectares para abastecer uma usina com 60 MW de potência; e 34.860 toneladas de biomassa de *E. urograndis* por ano, com área equivalente de 7.798 hectares, para uma usina de 10 MW de potência. São valores muito otimistas se comparado a usina na França citado por Quéno (2009), onde utilizará 270.000 ton de biomassa para gerar 30 MW. Muller (2005) encontrou, utilizando espaçamento de 3,0 x 3,0 m que seriam necessários 1.264 ha/ano para a potência de 10MW instalada, área superior aos 1.114 ha/ano encontrados para a mesma potência.

#### 4 Conclusão

Diante dos resultados apresentados pode-se inferir que:

A umidade de 25% sofreu interferências do meio, não demonstrado a umidade real das amostras. Outras análises feitas em laboratórios locais apresentam umidade em torno dos 40% a 60%, estando apta para geração de energia.

O poder calorífico superior e inferior das amostras apontam resultados inferiores ao encontrado na literatura, no entanto, a espécie *Eucalyptus urograndis* de maneira geral fornece biomassa de boa qualidade para geração de energia por suas características físicas de: densidade básica e umidade e por seu alto poder calorífico.

Adotando eficiência de 33% na conversão de energia, será necessário uma área de 7.798 hectares de floresta energética, com ciclo de corte de 7 anos, para abastecer uma usina de potência 10MW e 46.641 ha para uma potência de 60MW. Com novos estudos nessa área e com o avanço tecnológico, se aumentar a eficiência de 33% para 50%, então a quantidade de biomassa necessária será reduzida e consequentemente a redução de área para plantio.

Atualmente, o município de Paragominas já possui área superior a 45 mil hectares de plantio de eucalipto e paricá. De acordo com dados do Instituto Nacional de Pesquisa Espacial, há aproximadamente 860 mil hectares de área desflorestada no município, o que corresponde a 44% de toda área. Admitindo que parte dessa área seja utilizada com outras atividades como: pasto para a pecuária e plantio de soja, milho, grãos em geral. Ainda assim, há grandes áreas disponíveis para plantio de florestas energéticas.

Admitindo que um grande empreendimento queira se instalar na região sem depender de concessionárias, a biomassa florestal é uma alternativa energética viável na região e que tem sido muito procurada, porém que requer tempo.

## Referências

AGÊNCIA NACIONAL DE ENERGIA ELÉTRICA (Brasil). **Atlas de energia elétrica do Brasil**. Agência Nacional de Energia Elétrica. 3. ed. Brasília : Aneel, 2008. 236 p.

BASSA, A. **Processos de polpação kraft convencional e modificado de madeiras de *E. grandis* e Híbrido (*E. grandis* x *E. urophylla*)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 103p. 2002.

COSTA, Julia de Almeida. **Qualidade da madeira *Eucalyptus Urograndis*, plantado no Distrito Federal, para produção de celulose kraft**. 2011. 86p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - Universidade de Brasília, Brasília, 2011.

DOWNLOAD da base de dados no formato shapefile. Disponível em: <[www.dpi.inpe.br/prodesdigital/dadosn/2011](http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/dadosn/2011)>. Acesso em 17 set. 2012.

GATTO, Darci Alberto et al., Características da lenha produzida na região da quarta colônia de imigração italiana do Rio Grande do Sul. **Ciência Florestal**. Santa Maria, v. 13, n. 2, p. 7-16, 2003. ISSN 0103-9954.

GOLDEMBERG, José. **Pesquisa e desenvolvimento na área de energia**. São Paulo em perspectiva. São Paulo, 2000.

HOUSE, Jo I; HALL, David O; SCRASE, Ivan. Visão geral de energia e biomassa. In:\_\_\_\_\_. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. Campinas, SP: Editora da Unicamp, 2005. cap. 1, p. 25-68.

MILAGRES, Flaviana Reis Milagres. **Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia nir**. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2009.

MOKFIENSKI, Alfredo. **Importância relativa da densidade básica e da constituição química de madeira de *Eucalyptus* spp. no rendimento, branqueabilidade e qualidade da**



**polpa kraft.** 2004. 153 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2004.

MÜLLER, Marcelo Dias. **Produção de madeira para geração de energia elétrica numa plantação clonal de eucalipto em itamarandiba, MG.** 2005. 94f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) - Universidade Federal de Viçosa, Minas Gerais, 2005.

NOGUEIRA, Elis Watanabe; CAPELA, Carlos José Bispo. **Potencial de utilização do eucalipto para geração de energia no município de Paragominas/PA, Brasil.** 2012. 48p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Univesidade do Estado do Pará, Paragominas, 2012.

QUÉNO, Laurent Roger Marie. **Viabilidade econômica da produção de biomassa de eucalipto e de capim elefante para energia.** 2009. 64p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) - Universidade de Brasília, Brasília, 2009.

QUIRINO, Waldir F et al. Poder calorífico da madeira e de materiais ligno-celulósicos. **Revista da Madeira.** Brasília, n. 89, p. 100-106, 2005.

SOUZA, Marina Moura de et al. Estimativa de poder calorífico e caracterização para uso energético de resíduos da colheita e do processamento de *Pinus taeda*. **Revista Floresta.** Curitiba, v. 42, n. 2, p. 325 - 334, abr./jun. 2012.