

## ENERGIA ARMAZENADA NOS RESÍDUOS DO DESDOBRAMENTO DE TORAS DE

*Eucalyptus grandis*

Thiago Campos Monteiro<sup>1</sup>, José Tarcísio Lima<sup>2</sup>, Paulo Fernando Trugilho<sup>2</sup>

**Resumo:** O objetivo deste trabalho foi avaliar a energia armazenada nos diferentes resíduos do desdobramento das toras de *Eucalyptus grandis*. Foram utilizadas dez toras de *Eucalyptus grandis* provenientes de um plantio com 15 anos de idade, retiradas de uma área da Universidade Federal de Lavras. As toras foram serradas em uma serra de fita simples e em seguida os pranchões foram resserrados em uma serra circular. Os resíduos gerados foram classificados como costaneiras, aparas, serragem e casca. A energia armazenada nos resíduos foi determinada através do poder calorífico superior (PCS) e em seguida convertida em kWh. O volume de resíduos gerado representou 56% do volume das toras. A energia armazenada no composto de costaneiras e aparas e na serragem não diferiram estatisticamente e apresentaram PCS igual a 4735 kcal.kg<sup>-1</sup>. A energia armazenada na casca foi estatisticamente inferior e apresentou PCS igual a 3833 kcal.kg<sup>-1</sup>.

**Palavras-chave:** Energia armazenada; resíduos; serraria; desdobramento.

## ENERGY STORED IN THE WASTE OF SAWING OF *Eucalyptus grandis* LOGS

**Abstract:** The aim of this experiment was to evaluate the energy stored in the various wastes of the sawing of *Eucalyptus grandis* logs. Ten logs of *Eucalyptus grandis* were used. The logs were cut from 15-year-old trees, taken from an area of the Federal University of Lavras. The logs were sawed with a simple band saw and then the planks were re-sawed with a circular saw. The waste has been classified as slabs, shavings, sawdust and bark. The energy stored in the waste was determined by superior calorific value (SCV) and then converted into kWh. The volume of waste generated represented 56% of the volume of logs. The energy stored in a composite of slabs and shavings and in the sawdust were not statistically different and showed a SCV of 4,735 kcal.kg<sup>-1</sup>. The energy stored in the bark was significantly statistically lower and showed a SCV of 3833 kcal.kg<sup>-1</sup>.

---

<sup>1</sup> Doutorando em Ciência e Tecnologia da Madeira, Departamento de Ciências Florestais - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, <tcmforest@yahoo.com>.

<sup>2</sup> Professor do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Departamento de Ciências Florestais - Universidade Federal de Lavras, Lavras, Minas Gerais, <trugilho@dcf.ufla.br>, <jtlima@dcf.ufla.br>.

**Keywords:** Stored energy; waste; sawmill; log sawing.

## 1 INTRODUÇÃO

A biomassa representa na matriz energética nacional 5,4% da energia ofertada no Brasil (BRASIL, 2010). A indústria de processamento mecânico da madeira gera uma grande quantidade de resíduos com elevado potencial para a geração de energia térmica e elétrica. Este tipo de indústria, voltada à produção de madeira serrada, dispõe de aproximadamente 10.000 unidades no Brasil, predominando as de pequeno porte (SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA – SBS, 2010).

Aproximadamente 60% das serrarias, localizadas no norte e nordeste do Brasil, utilizam toras de folhosas nativas, enquanto que as demais unidades produtoras, localizadas nas regiões sul e sudeste, utilizam principalmente toras de reflorestamento do gênero *Pinus* (SBS, 2010). A madeira de reflorestamento ganhou espaço no mercado devido ao rápido crescimento das árvores e às pressões ambientais para a manutenção das florestas nativas. Com isso, além do *Pinus*, o gênero *Eucalyptus* também tem sido utilizado nas serrarias, principalmente as espécies *Eucalyptus camaldulensis*, *E. citriodora*, *E. cloeziana*, *E. grandis*, entre outros (ANGELI, 2006).

O consumo de toras do gênero *Eucalyptus* na indústria madeireira (incluindo madeira serrada, compensado e produtos de maior valor agregado) totalizou uma quantidade superior a 3,5 milhões de m<sup>3</sup> em 2010 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS – ABRAF, 2011). As toras, quando processadas nas serrarias, geram uma significativa quantidade de resíduos, cujo valor pode ser superior a 50% do seu volume, conforme verificado em estudos de rendimento do desdobro de toras de *Eucalyptus* (SCANAVACA JUNIOR; GARCIA, 2003; FERREIRA et al., 2004; BATISTA; CARVALHO, 2007).

Os principais resíduos gerados durante a produção da madeira serrada são as costaneiras, aparas, serragem e casca. O manejo adequado destes resíduos por parte das serrarias apresenta importantes vantagens ambientais, econômicas e sociais. Estudos avaliaram com sucesso a possibilidade do aproveitamento de resíduos do desdobro em aplicações como, por exemplo, o potencial para a produção de pequenos objetos a partir de costaneiras de *Eucalyptus* em serrarias do norte de Minas Gerais (VIEIRA et al., 2010) e o potencial para a utilização dos resíduos na indústria de painéis e celulose (ROCHA, 2002). No

entanto, a maior parte das serrarias realiza o descarte dos resíduos ou a queima para a geração de energia térmica e/ou elétrica.

A queima dos resíduos para a geração de energia apresenta características positivas como, por exemplo, do ponto de vista ambiental, quando substitui o combustível fóssil (GUSTAVSSON et al., 2007) ou quando reduz os impactos provocados com a queima e descarte dos resíduos; do ponto de vista econômico, quando reduz os custos de produção devido a menor quantidade de energia comprada da concessionária e com a possibilidade de expansão da capacidade produtiva pelo aumento da oferta de energia, entre outros (ARAUJO, 2003).

Desta forma, com a grande quantidade de diferentes resíduos gerados nas serrarias e com o potencial de geração de energia térmica e elétrica desses resíduos, o presente trabalho tem como objetivo avaliar a energia armazenada nos diferentes resíduos do desdobro de toras de *Eucalyptus grandis* para a produção de madeira serrada.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

### 2.1 Preparo do material

Foram escolhidas 10 árvores de *Eucalyptus grandis* com idade de 15 anos. As árvores foram cortadas no campus da Universidade Federal de Lavras (UFLA) e as toras da base, com 3,30 metros de comprimento, foram transportadas para o pátio da Unidade Experimental de Desdobro e Secagem da Madeira (UEDSM) localizada na UFLA juntamente com dois discos das extremidades, com 10 cm de espessura.

O volume das toras foi determinado conforme a Norma para Classificação de Toras de Madeira de Folhosas do extinto Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal – IBDF (1984). As toras foram desdobradas em uma serra de fita simples vertical, com volante de um metro. Os pranchões obtidos foram resserrados em uma serra circular canteadeira, com 48 dentes.

As peças produzidas foram medidas e seus volumes determinados. As dimensões da madeira serrada seguiram a NBR 7190 (ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT, 1997). O volume de serragem foi calculado através da multiplicação da espessura, altura e comprimento dos cortes. O volume das aparas e costaneiras foi calculado pela diferença entre o volume da tora e os volumes das peças e serragem. O volume de casca foi obtido pela diferença entre o volume da tora com e sem casca. Foram calculados os percentuais do rendimento da madeira serrada e também dos resíduos.

As cunhas opostas dos discos, a serragem, as cascas e o composto de costaneiras e aparas foram preparadas para a determinação da densidade básica, umidade e poder calorífico. O composto de costaneiras e aparas formaram um único grupo de resíduos devido às aparas estarem contidas nas costaneiras. A densidade básica foi calculada conforme a NBR 11941 (ABNT, 2003). A umidade (U%) foi considerada como a umidade na base seca.

## 2.2 Determinação da energia armazenada

As amostras foram transformadas em cavacos, moídas em moinho tipo *Willey* e armazenadas em embalagens. A seguir, foram identificadas e separadas no composto de costaneiras e aparas, serragem e cascas.

As amostras de cada embalagem foram homogeneizadas e derramadas em um agitador de peneiras, com batidas intermitentes para separar as diferentes granulometrias. A fração retida nas peneiras entre 40 e 60 mesh foi utilizada para a determinação do poder calorífico.

O poder calorífico superior (PCS) da madeira foi determinado, de acordo com a NBR 8633 (ABNT, 1984), utilizando um calorímetro digital IKA C-200.

Na avaliação do experimento adotou-se o delineamento inteiramente casualizado (DIC) com três tratamentos (Costaneira e aparas; serragem e casca) e dez repetições. Para a comparação múltipla de médias utilizou-se o teste de Tukey a 5% de significância.

Para se obter a energia armazenada na madeira serrada e nos resíduos, considerando a umidade presente, foi estimado o poder calorífico inferior (PCI) por meio da Equação 1.

$$PCI = PCS - 5,72 * ((9 * H) + U) \quad (\text{Equação 1})$$

Em que: H = teor de hidrogênio (%), obtido na análise química elementar; U = umidade (%).

A unidade utilizada para a energia armazenada foi o quilowatt-hora (kWh), conforme o sistema internacional de unidades. Para conversão de kcal em kWh utilizou-se o 1º princípio da termodinâmica, onde, 1 kWh equivale a 859,84 kcal. A energia armazenada (kWh) foi estimada para os resíduos do desdobro de uma tora e para o volume de 1 m<sup>3</sup> de cada resíduo.

## 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 3.1 Propriedades das toras

As propriedades avaliadas nas toras foram diâmetro, densidade básica e umidade. Na Tabela 1 estão apresentados os valores médios das propriedades, os valores máximos e

mínimos e os coeficientes de variação. O diâmetro médio das toras é semelhante aos diâmetros citados na literatura para toras de 15 anos. Como comparação, Rocha; Trugilho (2006) trabalharam com toras de *Eucalyptus* com 13 anos nas classes de 0,25 e 0,30 m.

**Tabela 1.** Médias e coeficiente de variação das propriedades das toras  
**Table 1.** Mean and variation coefficient of logs properties

	Média	Mínimo	Máximo	n
Diâmetro da tora (m)	0,34 [13,57]	0,29	0,42	10
Umidade (%)	30,78 [15,24]	23,19	40,49	10
Densidade básica (kg.m <sup>-3</sup> )	499,3 [09,43]	413,2	558,0	10

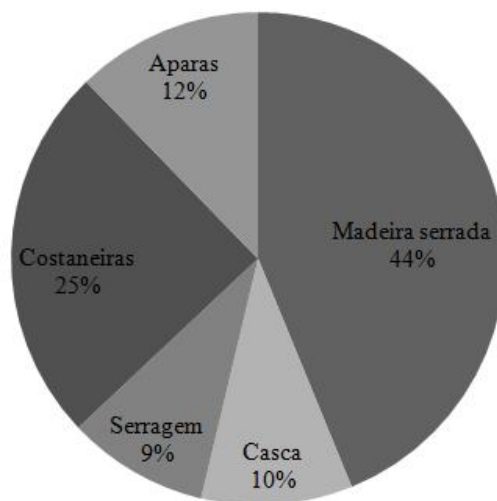
Valor entre colchetes representa o coeficiente de variação (%); n = número de observações.

A densidade básica média das toras foi inferior às citadas na literatura para *Eucalyptus grandis* na faixa de idade estudada. Rezende; Ferraz (1985) avaliaram a densidade básica de *Eucalyptus grandis* com treze anos e obtiveram valores entre 566 kg.m<sup>-3</sup> e 575 kg.m<sup>-3</sup>. Queiroz et al. (2004) estudaram clones híbridos de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* com seis anos, que apresentavam densidades básicas entre 447 kg.m<sup>-3</sup> e 552 kg.m<sup>-3</sup>. Uma hipótese para a menor densidade da madeira pode ser o material genético das árvores e também as condições do sítio.

A umidade média das toras foi abaixo do valor desejável para realizar o desdobro. O longo tempo de armazenamento das toras no pátio da serraria fez com que a umidade reduzisse a um valor próximo ao ponto de saturação das fibras. Importante relatar que quanto menor a umidade, melhor é para o uso da madeira em fins energéticos, pois a umidade presente na madeira interfere na sua energia armazenada.

### 3.2 Avaliação do desdobro

Os valores médios do rendimento em madeira serrada e as porcentagens dos resíduos gerados no desdobro das toras estão apresentados na Figura 1. O rendimento médio obtido no desdobro das toras para a produção de madeira serrada está de acordo com outros trabalhos que avaliaram madeira de *Eucalyptus* sp. Scanavaca Junior; Garcia (2003) encontraram rendimento médio de 42,54%; Ferreira et al. (2004) obtiveram valores variando entre 30,1% e 37,2%, conforme o método de desdobro utilizado, enquanto Batista; Carvalho (2007) calcularam o rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus* sp. igual a 44,86%, sendo este valor muito próximo ao obtido neste estudo. O restante do volume das toras (aproximadamente 56%) foram resíduos gerados na forma de costaneiras, aparas, serragem e casca.

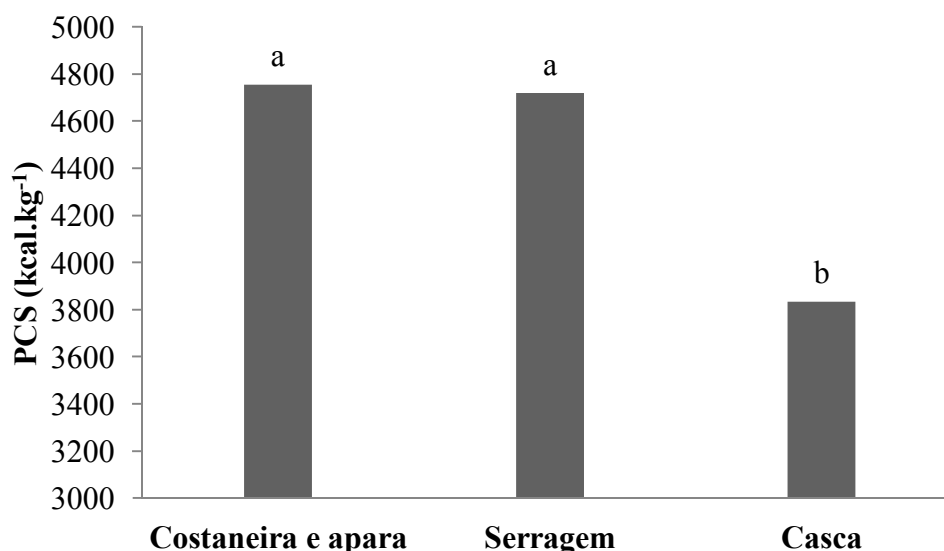


**Figura 1.** Rendimento em madeira serrada e porcentagem dos resíduos obtidos no desdobro.  
**Figure 1.** Lumber yield and percentage of the waste in the sawing of logs.

Borges et al. (1993), citados por Vital (2008), realizaram o desdobro de toras com classe diamétrica semelhante às deste trabalho e observaram que a porcentagem de serragem (14,7%) foi superior, e a porcentagem de aparas (6,18%) diferente do que verificado no presente estudo. Para as costaneiras, os mesmos autores verificaram a porcentagem de 14,29%, valor inferior ao obtido neste estudo. A porcentagem de casca também foi inferior aos valores encontrados em fustes de *Eucalyptus grandis*, com sete anos, que apresentaram a porcentagem média de 14,4% (SEIXAS et al., 2005). As diferentes porcentagens dos resíduos devem-se a diferentes fatores como: qualidade da tora, espessura do corte, método de desdobro, número de cortes, dimensões das peças produzidas, entre outros. A alteração em qualquer parâmetro pode aumentar a geração de um tipo de resíduos e, conseqüentemente, reduzir a geração de outro tipo.

### 3.3 Energia armazenada nos resíduos

A Figura 2 apresenta a comparação entre os valores médios da energia armazenada no composto de costaneiras e aparas, na serragem, e na casca das toras de *Eucalyptus grandis*, utilizando a energia armazenada com base no poder calorífico superior (PCS).



**Figura 2.** Comparação da energia armazenada nos diferentes resíduos. As médias seguidas de mesma letra não diferem estatisticamente à 5% significado pelo teste de Tukey.

**Figure 2.** Comparison of the energy stored in the various residues. The means followed by same letter do not differ statistically at 5% significance by the Tukey test.

A energia média dos resíduos, desconsiderando a casca, foi de 4735 kcal.kg<sup>-1</sup>. Este valor está próximo ao obtido por Vale et al. (2000), que obtiveram PCS do fuste de *Eucalyptus grandis* igual a 4641 kcal.kg<sup>-1</sup>. A energia armazenada não diferiu significativamente entre o composto de costaneiras e aparas e a serragem. Esse fato, em parte, pode ser explicado devido à serragem representar todas as posições da tora, tendo porções de serragem tanto da parte interna quanto da externa (posição em que ficam localizadas as aparas e costaneiras) da tora.

A energia armazenada na casca foi estatisticamente inferior às energias armazenadas nos demais resíduos. Uma hipótese para justificar a menor quantidade de energia armazenada na casca é baseada nas diferenças físicas e químicas quando comparados com outros resíduos de madeira.

A Tabela 2 apresenta os valores médios do volume e energia armazenada dos resíduos gerados com o desdobro de uma tora (volume médio igual a 0,299 m<sup>3</sup>) e considerando as porcentagens de resíduos da Figura 1, além dos valores da energia armazenada em 1 m<sup>3</sup> de cada resíduo.

**Tabela 2.** Energia armazenada nos resíduos do desdobro de uma tora e em 1 m<sup>3</sup> de cada resíduo.

**Table 2.** Energy stored in the waste of the sawing of one log and in the 1 m<sup>3</sup> of each residue.

	Volume (m <sup>3</sup> )		kWh	
Apara	0.036	[34.91]	88.72	[35.19]
	1.0		2477.2	
Costaneira	0.074	[32.03]	185.05	[32.87]
	1.0		2486.2	
Serragem	0.027	[13.87]	67.15	[16.65]
	1.0		2500.6	
Casca	0.030	[35.41]	47.68	[36.41]
	1.0		1611.1	

Valor entre colchetes representa o coeficiente de variação (%).

A maior quantidade de energia estocada nos resíduos ficou distribuída entre as aparas e costaneiras (Tabela 2), devido aos maiores volumes e elevado PCS. A casca, que apresentou maior volume em comparação à serragem, apresentou menor quantidade de energia armazenada devido ao menor PCS.

Mesmo a casca contendo menor quantidade de energia quando comparada aos demais resíduos de madeira, sua utilização é viável do ponto de vista energético. No entanto, para a utilização energética da casca é necessário avaliar o custo com o transporte das toras com e sem casca, e também o impacto ambiental na área de plantio com a remoção de matéria orgânica e nutrientes contidos na casca, cálculos semelhantes aos realizados por Seixas et al. (2005).

A proporção de cada um dos resíduos, desconsiderando a casca, não interfere no total de energia armazenada nos resíduos, pois a energia armazenada na serragem, no composto de costaneiras e aparas não diferem de forma significativa (Figura 2). Os fatores que afetam a porcentagem de cada resíduo de madeira, citados na discussão da Figura 1, pouco interferem no total de energia armazenada nos resíduos. Já o rendimento em madeira serrada pode interferir no total de energia armazenada nos resíduos devido a maior ou menor geração de resíduos.

#### 4 CONCLUSÕES

O estudo apresenta o potencial do uso dos resíduos de serraria para a geração de energia. O experimento com a energia armazenada nos diferentes resíduos do desdobro de toras de *Eucalyptus grandis* permite concluir que:



1. Os resíduos do desdobro representam mais da metade do volume das toras processadas.
2. A energia armazenada no composto de costaneiras e aparas e na serragem apresenta valores que não diferem estatisticamente entre si.
3. A energia armazenada na casca é inferior à energia armazenada nos demais resíduos.

## 5 AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG pelo apoio financeiro concedido para o desenvolvimento deste trabalho (Processo: CAG APQ-4881-3.10/07).

## 6 REFERÊNCIAS

- ANGELI, A. Indicações para escolha de espécies de *Eucalyptus*. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.16, n.95, p.78-82, 2006.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 11941**: Madeira - Determinação da densidade básica. Rio de Janeiro, 2003.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 7190**: Projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 8633**: Carvão vegetal: determinação do poder calorífico. Rio de Janeiro, 1984.
- ARAUJO, H. J. B. **Aproveitamento de resíduos das indústrias de serrarias do Acre para fins energéticos**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2003. 38p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE PRODUTORES DE FLORESTAS PLANTADAS (ABRAF). **Anuário estatístico da ABRAF 2011: ano base 2010**. Brasília, 2011. 130p.
- BATISTA, D. C.; CARVALHO, A. M. Avaliação do desempenho operacional de uma serraria através de estudo do tempo, rendimento e eficiência. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.75, p.31-38, set. 2007.
- BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional 2010: ano base 2009**. Rio de Janeiro, 2010. 276p.
- FERREIRA, S.; LIMA, J. T.; ROSADO, S. C. S.; TRUGILHO, P. F. Influência de métodos de desdobro tangenciais no rendimento e na qualidade da madeira de clones de *Eucalyptus spp*. **Cerne**, Lavras, v.10, n.1, p. 10-21, jan./jun. 2004.
- GUSTAVSSON, L. ; HOLMBERG, J. ; DORNBURG, V. ; SATHRE, R. ; EGGERS, T. ; MAHAPATRA, K. ; MARLAND, G. Using biomass for climate change mitigation and oil use reduction. **Energy Policy**, v.35, p. 5671-5691, 2007.

INSTITUTO BRASILEIRO DE DESENVOLVIMENTO FLORESTAL (IBDF). **Norma para medição e classificação de toras de madeira de folhosas**. Brasília, 1984. 42p.

SETÚBAL, S. C. Q.; GOMIDE, J. L.; COLODETTE, J. L.; OLIVEIRA, R. C. Influência da densidade básica da madeira na qualidade da polpa kraft de clones híbridos de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden x *Eucalyptus urophylla* S. T. Blake. **Árvore**, Viçosa, MG, v.28, n.6, p. 901-909, 2004.

REZENDE, M. A.; FERRAZ, E. S. B. Densidade anual da madeira de *Eucalyptus grandis*. **Circular Técnica IPEF**, Piracicaba, n.30, p. 37-41, ago. 1985.

ROCHA, M. P. **Técnicas e planejamento em serrarias**. 2.ed. Curitiba: FUPEF, 2002. 121p.

ROCHA, M. P.; TRUGILHO, P. F. Qualidade de madeira serrada de *Eucalyptus dunnii* em função do método de desdobro e condição de umidade. **Cerne**, Lavras, v.12, n.4, p. 314-321, out./dez. 2006.

SCANAVACA JUNIOR, L.; GARCIA, J. N. Rendimento em madeira serrada de *Eucalyptus urophylla*. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.63, p. 32-43, jun. 2003.

SEIXAS, F.; BAUCH, S. C.; OLIVEIRA JÚNIOR, E. D. Balanço energético e econômico de duas alternativas de descascamento de madeira de eucalipto. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n.67, p. 37-43, abr. 2005.

SOCIEDADE BRASILEIRA DE SILVICULTURA (SBS). **Fatos e Números do Brasil Florestal**. Disponível em: <[www.sbs.org.br/fatosenumerosdobrasilflorestal.pdf](http://www.sbs.org.br/fatosenumerosdobrasilflorestal.pdf)> Acesso em: 15 dez. 2010.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; CARVALHO, C. M.; VEIGA, R. A. A. Produção de energia do fuste de *Eucalyptus grandis* hill ex-maiden e *Acacia mangium* willd em diferentes níveis de adubação. **Cerne**, Lavras, v.6, n.1, p. 83-88, 2000.

VIEIRA, R. S. ; LIMA, J. T. ; SILVA, J. R. M. ; HEIN, P.R.G. ; BAILLERES, H. ; BARAÚNA, E. E. P. Small wooden objects using eucalypt sawmill wood waste. **Bioresources**, Raleigh, v.5, p. 1463-1472, 2010.

VITAL, B. R. **Planejamento e operação de serrarias**. Viçosa: UFV, 2008. 211p.