

**AVALIAÇÃO ENERGÉTICA DO USO DE LENHA E CAVACO DE MADEIRA PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA EM AGROINDÚSTRIA SEROPÉDICA<sup>1</sup>**

**MARIO DONIZETI DO NASCIMENTO<sup>2</sup> & MARCO ANTÔNIO MARTIN BIAGGIONI<sup>3</sup>**

---

**RESUMO:** O objetivo deste trabalho foi realizar uma avaliação energética para o uso de lenha e cavaco de madeira na produção de energia em caldeira de agroindústria seropédica. Utilizou-se, para o estudo, a caldeira de uma fiação de seda localizada na cidade de Duartina, interior do estado de São Paulo, que atualmente emprega como combustível a lenha de eucalipto para gerar o vapor de água, que é utilizado na produção do fio da seda. Na construção da estrutura de dispêndio energético do sistema de aproveitamento dos combustíveis em estudo, considerou-se a entrada de energia por tipo, fonte e forma, em Megajoule (MJ), envolvida nas diversas operações do itinerário técnico do aproveitamento da lenha, bem como nas operações do itinerário técnico do aproveitamento do cavaco de madeira. A partir da estrutura construída para o aproveitamento desses combustíveis, realizou-se uma análise comparativa das entradas de energia gerada da lenha e do cavaco, em Megajoule por hora ( $\text{MJ.h}^{-1}$ ), para produzir  $2.968,80 \text{ kg.h}^{-1}$  de vapor, média da produção na caldeira, nos anos de 2004, 2005 e 2006. Os resultados da análise energética revelaram viabilidade da substituição da lenha de eucalipto pelo cavaco de madeira na caldeira, gerando uma redução de cerca de 21% no consumo total de energia.

**Palavras-chave:** Biomassa, geração de vapor, análise energética.

---

<sup>1</sup> Parte da dissertação de mestrado do 1º autor intitulada: Otimização do uso de lenha e cavaco de madeira para produção de energia em agroindústria seropédica.

<sup>2</sup> Aluno do Programa de Pós-Graduação em Agronomia – Energia na Agricultura – FCA/UNESP, Botucatu/SP, Brasil, mariovmr@fca.unesp.br;

<sup>3</sup> Orientador e docente do Departamento de Engenharia Rural- Energia na Agricultura – FCA/UNESP, Botucatu/SP, Brasil, Fone: (0xx14)3811-7165, biaggioni@fca.unesp.br.

## FIREWOOD AND WOODSHAVING USE ENERGY ASSESSMENT FOR ENERGY GENERATION IN SERICULTURE AGROINDUSTRY

**SUMMARY:** The aim of this paper was to perform an energy assessment of firewood and woodshaving use for energy generation in sericulture agroindustry boilers. In this research, we used a boiler from a silk spinning factory located in the city of Duartina, São Paulo, Brazil, that currently uses eucalyptus firewood as fuel to generate water vapour used in silk fiber production. In the studied fuels utilization system energy consumption structure development, we considered energy input in Megajoule (MJ) by type, source and form involved in several firewood use technical itinerary operations, as well as in woodshaving use technical itinerary operations. From these fuels utilization built structure, we performed a firewood- and woodshaving-generated energy input comparative analysis, in Megajoule/hour (MJ.h<sup>-1</sup>), to produce 2.968,80 kg.h<sup>-1</sup> of vapour, which is the boiler average production, during the following years: 2004, 2005, and 2006. The energy analysis results revealed that to replace eucalyptus firewood with woodshaving is something possible in the boiler, reducing total energy consumption approximately by 21%.

**Keywords:** *Biomass, vapour generation, energy analysis*

### 1 INTRODUÇÃO

A atividade agroindustrial brasileira, principalmente a sericultura obtida do casulo confeccionado pelo bicho-da-seda, para produzir fibras utilizadas na indústria têxtil, é uma atividade milenar em países como a China. No Brasil, essa atividade teve início a partir do século XVIII, numa iniciativa do imperador D. Pedro I.

De acordo com Mello (2005), o Brasil responde por 1,9% da produção mundial, sendo sua seda considerada a melhor do mundo, e mais de 90% dos fios são destinados a mercados exigentes, como a Europa e o Japão; porém essa produção apresenta risco de extinção devido à queda do dólar, à falta da criação de bichos de seda para a produção do casulo e ao crescimento das vendas dos chineses.

A sericultura inicia-se com a plantação das amoreiras que os produtores utilizam para alimentar as larvas do bicho da seda que formarão o casulo. Realizada a produção do casulo pelo bicho, os produtores levam esse produto para a indústria onde são encaminhados para o processo da fiação que consiste em

secar o casulo, para sacrificar a mariposa e retirar a umidade para o armazenamento. A secagem do casulo, além de evitar o rompimento da mariposa diminui o risco de perdas no armazenamento. Segundo Lima (1995), a secagem torna-se de relevante importância na medida em que, os casulos precisam ser armazenados em local de baixa umidade, de forma a minimizar sua deterioração. Logo após a secagem, conforme descreve Mello (2005), os casulos passam por um processo de seleção onde se separam os defeituosos. Os de boa qualidade são mergulhados em água quente com temperatura que varia de 60°C a 120°C para dissolver a sericina. Dissolvida essa substância, o fio se solta evidenciando uma possível ponta, a qual é colocada numa máquina que enrola o fio e faz meadas que serão utilizadas para a fabricação do tecido.

O vapor de água utilizado para a secagem do casulo e aquecimento da água para o desprendimento da ponta do fio é proveniente de caldeira que utiliza primordialmente como combustíveis a lenha e eletricidade como principais fontes de energia, podendo haver outros tipos de combustível.

Na região de Duartina/SP, há madeireiras, serrarias e fábricas de móveis que utilizam a madeira para fins não energéticos, produzindo uma grande quantidade de resíduos de madeira em diferentes tamanhos, os quais, transformados em cavaco, podem ser aproveitados como combustível na caldeira para obtenção do vapor, procedimento que oferece, ainda, benefícios de ordem ambiental. Quando transformados em cavacos e utilizados na caldeira, poderão contribuir para a minimização dos custos de produção e, redução do consumo de óleo diesel no transporte da lenha do campo até a indústria, a qual, normalmente é oriunda de propriedades distantes.

Dentre as discussões mundiais sobre o abastecimento de energia, a que vem ganhando importância é a utilização de fontes alternativas. Segundo Sordi et al. (2005), os principais fatores que têm contribuído para a utilização de fontes alternativas são a não sustentabilidade de uma civilização industrial baseada nos combustíveis não renováveis, petróleo e carvão mineral, e os problemas ambientais ocorridos pela exploração e utilização desses combustíveis que levam a pensar numa futura matriz energética com maior participação das fontes alternativas de energia, com possibilidades de contribuir para emissões, cada vez menores, de gases de efeito estufa. Os mesmos autores comentam que estudos existentes apontam uma grande diminuição das reservas de petróleo até o ano 2040 e, conseqüentemente, o preço do barril atingirá um nível elevado e inviável.

A madeira (lenha e seus derivados) é a fonte mais antiga de combustível utilizado para produzir energia. A busca de fontes alternativas de energia passou a receber uma atenção especial em virtude das vantagens que se tem em reduzir custos e impactos ambientais em relação aos combustíveis derivados de petróleo.

Atualmente, os resíduos de madeira traçam um novo caminho, começam a deixar de ser um problema para o meio ambiente, pois com o aproveitamento desses resíduos como fonte nobre de energia, eles trazem vantagens não só como alternativa de energia, mas também ao meio ambiente. Conforme Dal

Farra e Esperancini (2005) são aproveitados para utilização direta em geração de energia térmica e as mesmas autoras comentam, além da vantagem desse processo, são as vantagens ambientais que minimizam os problemas decorrentes da disposição dos resíduos, que quando queimados geram problemas de poluição do ar.

É tradição agrícola, o trabalho braçal ser utilizado em abundância como energia, porém a agricultura desenvolvida, a partir do uso de modernas tecnologias, substitui essa forma de energia pelas máquinas e implementos que são movidos à energia gerada de derivados de petróleo, eletricidade e outras fontes menos convencionais. Nos últimos tempos, a elevação dos preços do petróleo em conjunto com o aumento crescente do uso, na agricultura, de tratores, máquinas e implementos, etc., assim como a participação do crescimento evidente das máquinas e motores elétricos neste setor, justificam a utilidade dos estudos sobre o uso frequente e intenso dessas tecnologias e suas participações no custo de produção (JUNQUEIRA et al., 1982). Isso também ocorre no balanço de energia, ao se contabilizarem as energias produzidas e consumidas no sistema de produção.

Bueno et al. (2000) definem balanço de energia como sendo uma atividade ou instrumento que tem como objetivo contabilizar as energias produzidas e consumidas em um determinado sistema de produção, cuja função principal é traduzir em unidades ou equivalentes energéticos os fatores de produção e os consumos intermediários, para possibilitar a construção de indicadores comparáveis entre si e que permitam a intervenção no sistema produtivo visando melhorar sua eficiência.

Nesse sentido, o objetivo deste trabalho foi realizar análise de balanço energético no processo de substituição da lenha pelo cavaco de madeira como combustível, tendo como alvo a busca da otimização da eficiência energética da caldeira.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Fiação de Seda Bratac S/A, localizada na cidade de Duartina, Estado de São Paulo, especializada na produção de fios de seda de *Bombyx mori* L. A empresa realiza a secagem do casulo em secador multi-correia a sopro quente (vapor), modelo Yamato com 10 degraus (esteiras). O vapor é gerado através de uma caldeira modelo (HBFS-04), tipo horizontal de circuito misto e flamotubular, para combustíveis sólidos (Tabela 1)

O combustível atualmente empregado na caldeira para produzir o vapor de água é a lenha de eucalipto. O estudo teve como referência o consumo de lenha, em m<sup>3</sup>, utilizado para determinar a quantidade, em toneladas, de vapor produzido mensalmente, durante os anos 2004, 2005 e 2006 na produção de fios

de seda. Esses dados foram utilizados para determinar a quantidade de cavaco necessária para produzir a mesma quantidade de vapor e simular a substituição total da lenha, por cavaco de madeira que são produzidos nas serrarias e madeireiras localizadas na cidade e região de Duartina.

**Tabela 1** - Informações técnicas da caldeira HBFS – 04 e tipo de combustível que pode ser utilizado para gerar vapor.

<b>Capacidade nominal</b>	
Vapor	4.000 kg/h
Carga térmica do vapor	2.656.000 kcal/h
<b>Entalpia</b>	664,00 kcal/kg
<b>Pressão vapor manométrica</b>	10 kgf/cm <sup>2</sup>
<b>Temperatura da água de alimentação</b>	80°C
<b>Temperatura dos gases na saída da caldeira</b>	170°C
<b>Sistema de queima com eficiência de combustão</b>	de 80 a 87%
<b>Umidade do combustível</b>	até 50%
<b>Sistema de alimentação de cavaco</b>	
<b>Potência Instalada</b>	4cv
Tipo de combustível: sólidos triturados (lenha em toras, cavacos, serragens/maravalha, cascas de arroz, cascas de café, cascas de cacau, cascas de coco, cascas de amendoim, cascas de pinus, bagaço de cana de cana-de-açúcar, carvão vegetal, carvão mineral); óleo e/ou gás e outros	

Fonte: Catálogo do fabricante de caldeiras (H. BREMER & FILHOS LTDA)

Para determinar a quantidade necessária de cavaco na geração do mesmo volume de vapor, usando como referência a umidade e o respectivo Poder Calorífico Inferior (PCI) dos combustíveis envolvidos. Foi adotada a metodologia baseada em cálculos a partir dos dados reais disponibilizados pela fiação, referentes ao consumo de lenha que a caldeira utilizava na produção do vapor.

Na comparação de duas grandezas, as unidades devem ser idênticas. Na transformação da quantidade de cavaco em toneladas (t) para metros cúbicos (m<sup>3</sup>), utilizou-se a densidade referente à umidade do combustível (20%), calculada a partir de interpolação de dados da pesquisa.

Primeiramente, a partir dos dados reais do consumo e do Poder Calorífico Inferior da lenha, calculou-se a quantidade de vapor produzida e, a seguir, a partir dessa quantidade de vapor e através do Poder Calorífico Inferior do cavaco, obteve-se a quantidade de cavaco necessária.

No cálculo, realizou-se o balanço de massa com o uso da seguinte expressão, segundo Hugot (1977) citado por Perea (2005):

$$Q_c = \frac{Q_v \cdot (h_v - h_a)}{\eta \cdot (PCI)} \quad (1)$$

Em que:

$Q_c$  = quantidade de combustível, ou seja, lenha ou cavaco (kg)

$Q_v$  = quantidade de vapor (kg)

$h_v$  = entalpia do vapor em função da pressão e temperatura ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ ),

$h_a$  = entalpia da água em função da temperatura ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ )

$\eta$  = rendimento (%)

PCI = Poder Calorífico Inferior ( $\text{kcal.kg}^{-1}$ )

As informações, como a distância entre a fiação e o local onde adquiriam a lenha, bem como o carregamento e transporte da mesma, necessários para o desenvolvimento do estudo energético referente à lenha foram obtidas através de entrevistas com fornecedores de lenha e dados coletados na fiação, durante a alimentação manual da caldeira. As informações sobre a produção, carregamento e transporte do cavaco foram coletadas na Madeireira Dal Fra que produz aproximadamente 1.000t por mês, situada a três quilômetros da fiação.

Para a análise energética do cavaco de madeira, o itinerário técnico delimitado foi o seguinte: as fases da produção do cavaco gerado dos resíduos da madeira serrada na madeireira, o transporte até a fiação e a condução desse cavaco para a alimentação da caldeira. A quantidade referência para o estudo foi 40 t de cavaco, produção média diária da madeireira, enquanto que, para o estudo energético da lenha, delimitou-se como ponto de partida, a mesma já cortada e empilhada em uma propriedade localizada a uma distância de 40 km da Fiação, visto que, atualmente, os fornecedores obtêm lenha num raio de 40 km em média, e a quantidade referência, utilizada na análise, foram  $25\text{m}^3$  de lenha, equivalente a lotação do caminhão.

Neste trabalho, a unidade adotada para análise energética foi o joule. Para a conversão de caloria (cal) em joule (J), utilizou-se o índice 4,1868. Finalizando, a apresentação dos dados foi feita em megajoules (MJ). Todos os resultados foram aproximados em duas casas decimais.

A seguir, apresentam-se os critérios utilizados para a conversão dos “inputs” em unidades energéticas, segundo a literatura pertinente. No caso da mão de obra, foram identificados o gênero, a massa, altura e a idade de cada trabalhador, associado às operações, desenvolvidas por estes e determinado o GER (Gasto Energético no Repouso) ou metabolismo basal (MB), conforme Mahan e Escott-Stump (1998), sendo que a necessidade calórica final do trabalhador seguiu a metodologia proposta por Carvalho et al. (1974) descritas em Bueno (2002) e utilizadas por Romero (2005), com adaptações necessárias.

O consumo de óleo Diesel, lubrificante e graxa, foram determinados pela equação adaptada da ASAE (1997), onde o fator de conversão energética foi de  $40,88 \text{ MJ} \cdot \text{L}^{-1}$  (BRASIL, 2004) para o óleo Diesel, já acrescentado de 14% referente à energia gasta no refino e transporte do petróleo (SERRA et.al., 1979; CERVINKA, 1980);  $37,75 \text{ MJ} \cdot \text{L}^{-1}$  (BRASIL, 2004) para óleos dos lubrificantes e  $43,38 \text{ MJ} \cdot \text{Kg}^{-1}$  (BRASIL, 2000) para a graxa.

A determinação total de energia indireta, embutida nas máquinas e implementos, seguiu Moreira (2004) e foi baseada no peso dos equipamentos e fundamentada no conceito de valor adicionado. O cálculo foi realizado pela depreciação energética, segundo os dias de utilização da vida útil dos equipamentos.

Para o transporte foram considerados dados primários que indicaram a média de horas trabalhadas por dia e total de quilômetros percorridos, determinando o rendimento desta operação.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados referentes à análise energética da lenha e do cavaco foram apresentados e discutidos separadamente e, em seguida, foi realizada a comparação entre eles, seguindo estas etapas: a primeira apresenta as entradas de energia, em Megajoule por metro cúbico ( $\text{MJ} \cdot \text{m}^{-3}$ ), envolvidas nas diversas operações do itinerário técnico da lenha que engloba o carregamento, o transporte e alimentação da caldeira. Na alimentação da caldeira com lenha, considerou-se a operação manual conforme é praticada pela fiação, atualmente.

A segunda etapa apresenta as entradas de energia relativas ao itinerário técnico do cavaco que abrange a produção, o carregamento, o transporte e a alimentação da caldeira, em Megajoule por tonelada ( $\text{MJ} \cdot \text{t}^{-1}$ ). Na operação de alimentação da caldeira com cavaco estimou-se um sistema de alimentação elétrico, com potência de 4cv.

A terceira compara as entradas de energia da participação da lenha e do cavaco, em Megajoule por hora ( $\text{MJ} \cdot \text{h}^{-1}$ ), para produzir  $2.968,88 \text{ kg} \cdot \text{h}^{-1}$  de vapor, produção média da caldeira da fiação nos anos de 2004, 2005 e 2006.

#### **Estrutura dos dispêndios energéticos para o sistema de aproveitamento da lenha**

Na Tabela 2 é apresentada a entrada de energia utilizada nas operações previstas no itinerário técnico da lenha. Observa-se uma maior participação de energia do tipo direta (69,29%), destacando-se a

utilização de fonte fóssil (88,23%), representada particularmente, sob forma de óleo diesel (98,14%) que foi consumido no transporte da lenha.

A participação de energia do tipo indireta (30,71%) ficou abaixo da energia direta, porém nota-se que, nas formas de energia oriunda da fonte industrial (10,54MJ), a participação da depreciação sob forma de máquinas mostrou-se importante, sobressaindo-se a depreciação do caminhão (79,32%), devido à distância percorrida. Por outro lado, a participação do implemento (7,4%) teve pouca representatividade.

A fonte de energia biológica (11,77%) do tipo direta e na forma de mão-de-obra, teve uma importante participação, devido, principalmente, ao trabalho humano proveniente da alimentação da caldeira que é feita manualmente.

**Tabela 2** - Entrada de energia por tipo, fonte e forma, em MJ.m<sup>-3</sup>, e participações em percentuais nas operações envolvidas no itinerário da lenha

<b>TIPO, fonte e forma</b>	<b>ENTRADAS DE ENERGIA</b>	
	<b>(MJ.m<sup>-3</sup>)</b>	<b>(%)</b>
<b><u>ENERGIA DIRETA</u></b>	<b><u>23,78</u></b>	<b><u>69,29</u></b>
<u>Biológica</u>	<u>2,80</u>	<u>11,77</u>
<b>Mão-de-obra</b>	<b>2,80</b>	<b>100,00</b>
<u>Fóssil</u>	<u>20,98</u>	<u>88,23</u>
<b>Óleo diesel</b>	<b>20,59</b>	<b>98,14</b>
<b>Lubrificante</b>	<b>0,29</b>	<b>1,38</b>
<b>Graxa</b>	<b>0,10</b>	<b>0,48</b>
<b><u>ENERGIA INDIRETA</u></b>	<b><u>10,54</u></b>	<b><u>30,71</u></b>
Industrial	<u>10,54</u>	<u>100,00</u>
<b>Caminhão</b>	<b>8,36</b>	<b>79,32</b>
<b>Agralle</b>	<b>1,40</b>	<b>13,28</b>
<b>Implemento</b>	<b>0,78</b>	<b>7,40</b>
<b>TOTAL</b>	<b>34,32</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Dados da pesquisa de campo, ano 2007.

### **Estrutura dos dispêndios energéticos para o sistema de aproveitamento do cavaco**

Nesta operação, registrou-se uma maior participação de energia do tipo direta (72,40%), conforme Tabela 3, destacando-se a fonte de energia elétrica (54,51%), representada sob a forma do picador de resí-



duo (59,06%). Esse resultado pode ser explicado pelo alto consumo de energia resultante da produção do cavaco na madeiraira (picador).

A participação da fonte de energia do tipo indireta (27,60%) é inferior à participação da energia do tipo direta, com uma diferença significativa, pois se nota que, nas formas de energia oriundas da fonte industrial, a participação da “depreciação de máquinas” mostrou-se importante, sobressaindo-se a depreciação do alimentador (52,43%), seguido da depreciação do trator (18,83%). Esses resultados podem ser explicados pelo tempo de uso do alimentador, na fiação, durante a alimentação da caldeira e do trator, na madeiraira, para transportar os resíduos até o picador. A participação da depreciação da forma de implementos também foi importante (17,55%), devido ao tempo de uso desses no itinerário do cavaco.

**Tabela 3** - Entrada de energia por tipo, fonte e forma, em MJ.t<sup>-1</sup>, nas operações do itinerário do cavaco

TIPO, fonte e forma	ENTRADAS DE ENERGIA	
	(MJ.t <sup>-1</sup> )	(%)
<b><u>ENERGIA DIRETA</u></b>	<b><u>51,13</u></b>	<b><u>72,40</u></b>
<u>Elétrica</u>	<u>27,87</u>	<u>54,51</u>
<b>Picador</b>	<b>16,46</b>	<b>59,06</b>
<b>Alimentador da caldeira</b>	<b>11,41</b>	<b>40,94</b>
<u>Biológica</u>	<u>7,92</u>	<u>15,49</u>
<b>Mão-de-obra</b>	<b>7,92</b>	<b>100,00</b>
<u>Fóssil</u>	<u>15,34</u>	<u>30,00</u>
<b>Óleo diesel</b>	<b>15,05</b>	<b>98,11</b>
<b>Lubrificante</b>	<b>0,21</b>	<b>1,37</b>
<b>Graxa</b>	<b>0,08</b>	<b>0,52</b>
<b><u>ENERGIA INDIRETA</u></b>	<b><u>19,49</u></b>	<b><u>27,60</u></b>
Industrial	<u>19,49</u>	<u>100,00</u>
<b>Trator</b>	<b>3,67</b>	<b>18,83</b>
<b>Carregadeira</b>	<b>0,72</b>	<b>3,69</b>
<b>Caminhão</b>	<b>0,58</b>	<b>2,98</b>
<b>Implementos</b>	<b>3,42</b>	<b>17,55</b>
<b>Picador</b>	<b>0,88</b>	<b>4,52</b>
<b>Alimentador</b>	<b>10,22</b>	<b>52,43</b>
<b>TOTAL</b>	<b>70,62</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Dados da pesquisa de campo, ano 20

A fonte de energia fóssil (30,00%) do tipo direta teve uma participação relevante, destacando-se o óleo diesel (98,11%) consumido no transporte dos resíduos (matéria-prima do cavaco) e no transporte do cavaco. O consumo em forma de graxa e lubrificante não foi significativo. A fonte de energia biológica (15,49%) do tipo direta, embora com participação inferior à fonte de energia fóssil, mostrou-se relevante em relação ao dispêndio energético, em forma de mão-de-obra proveniente da produção do cavaco e alimentação constante da caldeira.

### **Comparação das entradas de energia nos itinerários da lenha e do cavaco**

A quantidade média de lenha necessária para produzir 2.968,80 kg. h<sup>-1</sup> de vapor (produção média da caldeira nos anos 2004, 2005 e 2006) foi de 1,44 m<sup>3</sup>.h<sup>-1</sup>. Para essa mesma produção de vapor, os cálculos apontam que seriam necessários, em média, 0,55134 t . h<sup>-1</sup> de cavaco. Através desses valores, obteve-se a entrada de energia do cavaco e da lenha, em Megajoule por hora (MJ. h<sup>-1</sup>), conforme mostra a Tabela 4.

Observa-se que a energia do tipo direta utilizada no itinerário da lenha (34,24MJ.h<sup>-1</sup>) foi superior à utilizada no itinerário do cavaco (28,20 MJ.h<sup>-1</sup>).

Destacou-se, nas operações do itinerário da lenha, a participação da forma de energia o óleo diesel (29,65 MJ.h<sup>-1</sup>) oriundo de fonte fóssil. Isso pode ser explicado pelo alto consumo de combustível utilizado no transporte da lenha. Nas operações do itinerário do cavaco, o destaque ficou com a participação da forma de energia utilizada pelo picador de resíduos de madeira (9,08 MJ.h<sup>-1</sup>), originada da fonte elétrica. Esse resultado pode ser explicado pelo alto consumo de energia utilizada pelo picador de resíduos na produção do cavaco na madeireira.

No que diz respeito à energia do tipo indireta, observa-se que a sua utilização nas operações do itinerário da lenha (15,18 MJ.h<sup>-1</sup>) também foi superior as utilizadas nas operações do itinerário do cavaco (10,75MJ.h<sup>-1</sup>).

Nesse caso, destacou-se, nas operações do itinerário da lenha, a forma de energia consumida pelo caminhão (12,04 MJ.h<sup>-1</sup>) de fonte industrial, enquanto nas operações do cavaco foi a forma de energia do alimentador (5,63 MJ.h<sup>-1</sup>) também de fonte industrial. Esses resultados podem ser explicados pela distância percorrida no transporte da lenha e o uso constante da esteira que transporta o cavaco para alimentação da caldeira.

**Tabela 4** - Entrada de energia por tipo, fonte e forma, em MJ.h<sup>-1</sup> nas operações dos itinerários do cavaco e da lenha.

<b>TIPO, fonte e forma</b>	<b>ENTRADAS DE ENERGIA</b>	
	<b>CAVACO (MJ.h<sup>-1</sup>)</b>	<b>LENHA (MJ.h<sup>-1</sup>)</b>
<b><u>ENERGIA DIRETA</u></b>	<b><u>28,20</u></b>	<b><u>34,24</u></b>
Elétrica	15,37	---
<b>Picador</b>	<b>9,08</b>	---
<b>Alimentador da caldeira</b>	<b>6,29</b>	---
Biológica	4,37	4,03
<b>Mão-de-obra</b>	<b>4,37</b>	<b>4,03</b>
Fóssil	8,46	30,21
Óleo diesel	8,30	29,65
Lubrificante	0,12	0,42
Graxa	0,04	0,14
<b><u>ENERGIA INDIRETA</u></b>	<b><u>10,75</u></b>	<b><u>15,18</u></b>
Industrial	10,75	15,18
<b>Trator</b>	<b>2,02</b>	---
<b>Carregadeira</b>	<b>0,40</b>	---
<b>Caminhão</b>	<b>0,32</b>	<b>12,04</b>
<b>Agralle</b>		<b>2,02</b>
<b>Implementos</b>	<b>1,89</b>	<b>1,12</b>
<b>Picador</b>	<b>0,49</b>	
<b>Alimentador</b>	<b>5,63</b>	
<b>TOTAL</b>	<b>38,95</b>	<b>49,42</b>

Fonte: Dados da pesquisa de campo, ano 2007.

Analisando-se as fontes de energia do tipo direta, na Tabela 4, observa-se que a participação da energia de fonte fóssil nas operações do itinerário técnico da lenha foi bem superior ao itinerário do cavaco, predominando e destacando-se entre todas as outras. Esse fato pode ser explicado pelo alto consumo de óleo diesel no transporte da lenha. A fonte de energia elétrica não teve participação nas operações do itinerário da lenha, mas nas do cavaco foi relevante, fato que pode ser explicado pelo consumo de energia

elétrica que o picador de resíduos utiliza para produzir o cavaco de madeira, bem como na utilizada pela esteira alimentadora da caldeira.

Porém, em relação ao dispêndio de energia da fonte biológica, a participação relativa ao cavaco teve um consumo um pouco superior em relação à lenha, o qual pode ser explicado pelo trabalho humano utilizado na produção do cavaco. Em relação à fonte de energia industrial do tipo indireta, a participação referente às operações da lenha também superou a do cavaco.

#### 4 CONCLUSÕES

Baseando-se nos resultados obtidos e nas discussões apresentadas neste trabalho, pode-se concluir que:

- A análise energética mostrou que o consumo de energia nas operações do itinerário da lenha ( $49,42 \text{ MJ.h}^{-1}$ ) foi maior que o consumo ocorrido nas do cavaco ( $38,95 \text{ MJ.h}^{-1}$ ), representando um percentual 26,88% a mais de energia gasta para a lenha;
- A forma de energia que apresentou maior participação no consumo, no itinerário da lenha, foi o óleo diesel, devido ao transporte de propriedades distantes da fiação. Já no itinerário do cavaco, a maior participação no consumo foi a forma de energia elétrica utilizada na produção de cavaco e alimentação da caldeira.

#### 5 REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERING. D497.3 agricultural machinery management data. In: **ASAE standarts**, St Joseph, M., 1997, p.364-370.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. Brasília, DF, 2004.168 p.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional**. Brasília, DF, 2000.154 p.

BUENO, O. C., CAMPOS, A.T., CAMPOS, A.T. **Balço de energia e contabilização da radiação global**: simulação e comparativo. In: AVANCES em ingeneria agrícola. Buenos Aires: Editorial Facultad de Agronomia, 2000. p. 477-82.

BUENO, O. de. C. **Análise energética e eficiência cultural do milho em assentamento rural, Itaberá-SP**. 2002. 146f. Tese (doutorado) – Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2002.

CARVALHO, A.; GONÇALVES, G.G; RIBEIRO, J. J. C. **Necessidades energéticas de trabalhadores rurais e agricultores na sub-região vitícola de “Torres”**.Oeiras: Instituto Gulbenkian de Ciências – Centro de Estudos de Economia Agrária, 1974. 79 p.

CERVINKA, V. Fuel and energy efficiency. In PIMENTEL , D. **Handbook of energy utilization in agriculture**. Boca Raton, Florida: CRC , 1980. p. 15-22.

COMITRE, V. **Avaliação energética e aspectos econômicos da filiere soja na região de Ribeirão Preto – SP**. 1993. 152 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Planejamento Agropecuário) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas,1993.

DAL FARRA, F. C. P; ESPERANCINI, M. S. T., Análise econômico-energética de utilização de resíduo industrial, florestal para geração de energia térmica: um estudo de caso. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v.20, n.3, 2005. p-76-88.

JUNQUEIRA, A. A. B.; CRISCUOLO, P. D.; PINO, F.A. O uso da energia na agricultura paulista. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 29, n. 1/2, p. 55-100, 1982.

LIMA, A. G. B. de. **Estudo da secagem e dimensionamento de secador de casulos do bicho-da-seda**. 1995. 144f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1995.

MAHAN, L. k.; ESCOTT-STUMP, S. **Alimentos, nutrição e dietoterapia**. 9. ed. São Paulo: Roca, 1998. 1179 p.

MELLO, P. C. A seda brasileira luta para sobreviver. **O Estado de São Paulo**, São Paulo, 24 abr., p.12, 2005. Caderno B. Economia.

MOREIRA, C. R. **Caracterização energética e nutricional do cultivo de Eucalipto (*Eucalyptus grandis*) com e sem composto orgânico de lixo urbano**. 2004. 60 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2004.

PEREA, L. A. **Avaliação técnico-econômico do processo de cogeração em uma indústria sucroalcooleira**. 2005. 124 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

ROMERO, M. G. C. **Análise energética e econômica da cultura de algodão em sistema agrícola familiar**. 2005. 148 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2005.

SERRA, G. E et al. **The energetics of alternative biomass sources for ethanol production in Brazil**. California:[s.n.], 1979.12 p.

SORDI, A; SOUZA, S. N. M. de; OLIVEIRA, F. H. de. Biomassa gerada a partir da produção avícola na região do Estado do Paraná: uma fonte de energia. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 27, n. 2. p. 183-190, July/Dec.,2005.