

BALANÇO E RENDIMENTO ENERGÉTICOS DE UMA INDÚSTRIA INTEGRADA DE BASE FLORESTAL

Martha Andreia Brand¹
Dimas Agostinho da Silva²
Graciela Inês Bolzon de Muñiz²
Umberto Klock²

RESUMO

Determinou-se o balanço e rendimento energéticos de uma indústria madeireira integrada. Utilizou-se uma série mensal média de dados (janeiro/1998 a julho/1999). Conclui-se que a cogeração de energia é um processo viável. O maior consumidor de energia elétrica e térmica foi a serraria, seguido dos painéis para a térmica e da laminadora para a elétrica. O consumo por produto foi maior na lâmina, madeira serrada e painéis para energia elétrica, e madeira serrada, lâmina e painéis para a térmica. O consumo energético por produto foi inversamente proporcional à disponibilização de resíduos para a energia. Todos os setores foram autosuficientes energeticamente.

Palavras-chaves: Cogeração, energia, resíduos

ABSTRACT

ENERGY BALANCE AND YIELD OF THE ENERGY IN AN INTREGRATED FOREST INDUSTRY

This work determined the energy balance and yield of the energy from a wood industry. The study was carried out by examining a monthly historical series of data (january 1998/july 1999). The results indicate that the cogeneration of energy is a possible process. The major consumer of thermal and power was the sawmill. The consumption of power by each product was greater in the veneer, the saw wood and boards, while the saw wood, veneer and boards consumed more thermal energy. The energetical consumption by product was inversely proportional to the disponibility of waste to generate energy. All these sectors were energetically self-sufficient.

Key words: energy, waste wood, cogeneration

INTRODUÇÃO

O setor elétrico do Brasil enfrenta dificuldades significativas. O consumo de eletricidade cresceu 56%

de 1983 para 1998. Para o futuro a Eletrobrás prevê altos riscos de déficit. O sistema de geração brasileiro apresenta altas características sazonais devido a origem de sua hidroeletricidade, sendo

¹ Departamento de Ciências Exatas e Tecnológicas - UNIPLAC. Av. Castelo Branco, 170, Bairro Universitário, CEP 88509-900, Lages, Santa Catarina, e-mail – martha@uniplac.net

² Departamento de Engenharia e Utilização de Produtos Florestais da UFPR. Rua Lothário Meissner, 3400, Campus III, Jardim Botânico, CEP 80210-170, Curitiba, e-mail – dimass@floresta.ufpr.br

Recebido para publicação em 2001.

que no período de secas o risco de interrupção de energia é ainda maior. Com base nesta informação, o governo brasileiro está desenvolvendo políticas para o incentivo à instalação de termo-elétricas, cuja fonte energética pode ser a biomassa (Coelho et al, 2002).

Considerando-se somente a biomassa oriunda da madeira, tanto de florestas energéticas como dos resíduos da transformação industrial, com certeza o suprimento desta fonte energética seria suficiente para garantir o fornecimento de energia sem problemas de sazonalidade.

Esta afirmação pode ser feita pois, levando-se em conta somente as florestas plantadas de *Pinus*, o consumo nacional de madeira roliça na indústria, em 2001, foi em torno de 94 milhões de m³ (Caron Neto, 2001). Aliado a isso, na indústria de transformação da madeira, quase metade da matéria-prima torna-se resíduo na forma de casca, aparas, costaneiras, refilos, destopos, cavacos ou uma mistura destes. Este resíduo ou é utilizado para a geração de energia térmica na própria indústria ou fica armazenado sem nenhuma destinação, causando poluição ambiental e ocupando um espaço físico que poderia ter melhor aproveitamento.

Outro aspecto que deve ser considerado na utilização da biomassa para a geração de energia é seu caráter estratégico, pois em um país em desenvolvimento como o Brasil, nenhuma fonte de energia deve ser esquecida ou subvalorizada, especialmente as de caráter renovável como é o caso da madeira (Souza, 1997). Além disso, nos últimos anos, tem sido chamada a atenção para o uso deste tipo de fonte energética como favorável ambientalmente, pois polui menos que os combustíveis fósseis. Sendo que, esta mudança de visão tem promovido a criação de políticas setoriais para o incentivo do desenvolvimento de tecnologias mais eficientes para a conversão da biomassa em energia térmica e elétrica (FAO, 1999).

Assim, a geração simultânea de energia térmica e elétrica com a utilização de resíduos da indústria da madeira pode se constituir em uma alternativa,

tanto para a minimização da crise energética que o Brasil vem atravessando como para solucionar o problema de disponibilização e falta de uso dos resíduos.

Porém, para que esta alternativa torne-se viável é necessária a realização prévia de estudos regionais, abrangendo a determinação da demanda de energia de fontes renováveis; da disponibilidade destes resíduos para fins energéticos; do estabelecimento de especificações para os resíduos (qualificação dos resíduos); do local de produção do resíduo e onde este será utilizado para energia; das legislações vigentes sobre o assunto; dos métodos e equipamentos disponíveis para a transformação do resíduo em energia; e outros fatores como incentivos governamentais para a atividade, interesse da comunidade empresarial, levantamento dos custos da utilização ou não utilização dos resíduos.

Neste sentido, este trabalho objetivou a determinação do balanço e rendimento energéticos de uma indústria integrada, através da caracterização do sistema de cogeração energética da indústria; determinação da contribuição de cada setor e produto acabado para a geração e consumo de energia elétrica e térmica e da determinação da eficiência energética de cada setor e produto.

MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi desenvolvido na Empresa Battistella Indústria e Comércio Ltda, situada à margem direita da rodovia BR 280, Km 133, aproximadamente 10 km da cidade de Rio Negrinho, Santa Catarina.

A indústria é composta por uma laminadora e uma serraria que são responsáveis pelo fornecimento de matéria-prima para o setor que produz painéis laminados e sarrafeados ou para a venda de lâminas e madeira serrada brutas. Tendo ainda um setor que gera energia térmica e elétrica que supre a indústria.

A indústria utiliza somente madeira de florestas

plantadas, restringindo-se à madeira das espécies *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm.

Coleta de dados

Análise da indústria

Foram inicialmente realizadas visitas à empresa, onde o processo produtivo de cada setor foi descrito e analisado, para posterior formulação e aplicação de questionários. Estes tiveram o objetivo de verificar a existência e nível de confiança que poderiam ser atribuídos aos dados produtivos da empresa.

A partir das informações obtidas nos questionários determinou-se que a indústria seria dividida em quatro setores para facilitar o estudo do rendimento energético. O setor um é composto da laminadora, o dois da serraria, o três da manufatura de painéis e o quatro da geração de energia.

Foi elaborada uma série histórica média mensal (janeiro de 1998 a julho de 1999), e os dados constituíram-se em tabelas de consumo e entrada de matéria-prima em todos os setores da indústria; compra de matéria-prima; produção; estoques e vendas. Estes dados foram distribuídos em planilhas e utilizados nas equações elaboradas para o estudo.

Determinação do balanço e rendimento energético do processo produtivo

Foram utilizados os princípios do balanço energético, que é o resultado da diferença entre a

quantidade de material que entra na caldeira e a quantidade de energia gerada por ela e o conceito básico de rendimento que é a relação percentual entre a quantidade que produto saído de um processo de manufatura e a quantidade de matéria-prima que entrou neste processo.

Na determinação do balanço energético foram incluídos a distribuição da energia em cada setor da indústria, o consumo energético para a produção de cada tipo de produto e sua contribuição para a geração de energia.

Portanto, a análise do rendimento energético consistiu em relacionar as quantidades de resíduos gerados na laminadora, serraria e manufatura que entram na caldeira e os valores de energia térmica e elétrica gerados. Através desta análise foi possível a determinação da oferta interna de energia, o consumo total de energia e o consumo final por fonte, além da contribuição de cada fonte para a geração de energia, fechando um ciclo. Porém, o balanço energético limitou-se à energia térmica e elétrica, sendo a entrada considerada como o consumo de biomassa pela caldeira e as saídas como vapor e energia elétrica produzidos.

A tabela 1 mostra o consumo de energia nos setores, obtido a partir de dados já existentes na indústria.

Determinação do balanço e rendimento energéticos

Com base nas planilhas foi possível estabelecer

Tabela 1. Consumo de energia térmica e elétrica em cada setor da indústria.

Table 1. Consumption of the thermal energy and power in the industry.

Setores	Consumo de energia térmica (%) (Fct)	Consumo de energia elétrica (%) (Fce)
Laminadora	13	25
Serraria	70	43
Manufatura de painéis	17	20
Geração de energia	0	12
Total de energia gerada (%)	100	100

relações para a obtenção do consumo de matéria-prima e volume de resíduos gerados para a manufatura de cada m³ de produto acabado; o consumo de energia térmica e elétrica por setor e por produto; e o potencial de geração de energia térmica e elétrica a partir dos resíduos:

Consumo de matéria-prima \Rightarrow m³ de matéria-prima para a produção de 1 m³ de produto = 100 / rendimento geral do setor^I

Resíduos gerados por m³ de produto (m³ / m³)
Pm³ de resíduos / m³ de produto = volume de matéria-prima para cada 1 m³ de produto – 1 m³ de produto

Consumo de energia térmica (ET) (tvapor / mês) ou elétrica (EE) (kWh/mês) por setor^I \Rightarrow Consumo de ET ou EE = (consumo geral de ET ou EE da indústria x Fator de consumo de ET ou EE do setor) / 100

Consumo de ET (tvapor / m³) ou EE por produto (kWh / m³)
Consumo de ET ou EE por m³ de produto = consumo de ET ou EE no setor / volume de produto

Potencial de geração de ET (t vapor) ou EE (kW) a partir dos resíduos^{II} \Rightarrow Potencial de geração de vapor ou eletricidade a partir do setor (tvaporh ou kWh / m³ de resíduo) = (m³ de resíduo / m³ produto) / (m³ biomassa / tvapor ou kWh)

O tempo de trabalho diário e mensal da empresa foi considerado para o cálculo do consumo energético horário e potencial produtivo energético horário da empresa.

Elaboração do Fluxograma do Balanço Energético

Este fluxograma foi construído através da avaliação da contribuição da matéria-prima e da energia para a manufatura dos produtos; o volume de resíduos gerados e a potencialidade de geração

de energia a partir deste resíduo (Figura 1).

I – O rendimento geral da laminadora foi de 40,71%; da serraria de 38,62% e da manufatura de painéis de 63,16%.

II - A quantidade de vapor consumido pela indústria (CETG) é diferente da quantidade gerada na caldeira, porque o vapor é gerado em função do turbo-gerador, para a produção de energia elétrica e não do processo produtivo. Foi considerado que 80% do vapor é utilizado na indústria, o restante é condensado e volta para a caldeira.

III – m³ de biomassa/kWh ou tvapor = biomassa que entra na caldeira/produção de EE ou ET (RCC/PEE) ou (RCC/PET)

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização do setor de geração de energia

A caldeira é alimentada com uma mistura de resíduos picados oriundos da laminadora e serraria (armazenados ao ar) e manufatura que são destinados diretamente para a queima.

O turbo gerador funciona a partir da passagem de todo vapor produzido na caldeira para a geração de energia elétrica. Após a passagem do vapor pela turbina, o mesmo é destinado para o setor produtivo. A indústria é auto-suficiente, tanto em termos de energia térmica como elétrica. Porém, existe um contrato de demanda suplementar de reserva com a concessionária pública, no qual a energia elétrica desta somente é utilizada quando ocorrem problemas com a caldeira, atendendo neste caso somente 60% das necessidades energéticas da indústria.

Além do processo produtivo, o refeitório, a administração e a creche utilizam a energia elétrica gerada no turbo gerador.

I – O rendimento geral da laminadora foi de 40,71%; da serraria de 38,62% e da manufatura de painéis de 63,16%.

II - A quantidade de vapor consumido pela indústria (CETG) é diferente da quantidade gerada na caldeira, porque o vapor é gerado em função do turbo-gerador, para a produção de energia elétrica e não do processo produtivo. Foi considerado que 80% do vapor é utilizado na indústria, o restante é condensado e volta para a caldeira.

III – m³ de biomassa/kWh ou tvapor = biomassa que entra na caldeira/produção de EE ou ET (RCC/PEE) ou (RCC/PET)

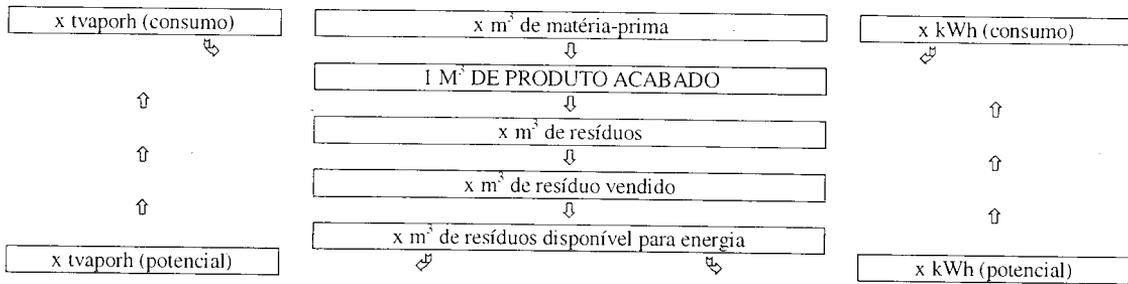


Figura 1. Esquema de construção do fluxograma do consumo energético e de matéria-prima e fornecimento potencial de energia de 1m³ de produto.

Figure 1. Construction of the flowchart of the energy balance.

Tabela 2. Equipamentos e atividades componentes do setor de geração de energia.

Table 2. Equipment and activities of the energy generation department.

Equipamento ou atividade	Quant.	Descrição
Pátio resíduos	01	Armazenamento do resíduo gerado na serraria e laminadora Marca SF 150 ZANINI/DEDINI; capacidade de trabalho de 60 t/hora; pressão de 42 Kgf/cm ² de trabalho e 8.0 Kgf/cm ² de processo; vapor superaquecido; utiliza combustível sólido (resíduos secos e úmidos)
Caldeira	01	Geração de energia elétrica (média de 3600 kWh)
Turbo gerador	01	

A constituição do setor de geração de energia está apresentada na tabela 2.

A cogeração apresenta uma vantagem competitiva, uma vez que as quantidades de resíduos gerados na indústria de transformação da madeira, principalmente serrarias, são suficientes para a geração de vapor e energia elétrica para suprir as demandas do processo produtivo.

O modelo integrado de indústria e a cogeração possibilitam a distribuição da energia necessária gerada, de forma que os setores superavitários supram as necessidades dos setores deficitários, tornando a indústria auto-suficiente. Neste sentido, o estudo da viabilização deste tipo de indústria é muito importante para o desenvolvimento da indústria de base florestal.

Determinação do rendimento energético de cada setor e produto acabado

A tabela 3 apresenta o consumo de matéria-prima na indústria, sendo este o ponto de partida

para a análise do balanço energético de cada setor considerado.

O produto que consumiu maior quantidade de matéria-prima foi a madeira serrada, sendo este fato explicado pelo baixo rendimento apresentado pela serraria, que foi em torno de 38%.

Consequentemente, o menor consumo de matéria-prima foi o da manufatura de painéis, pois neste setor a matéria-prima tem dimensões mais próximas do produto final, resultando em menores perdas.

O consumo de energia térmica e elétrica por setor está representado na tabela 4 e o consumo por produto acabado na tabela 5.

O setor com maior consumo, tanto de energia térmica como elétrica, foi a serraria. Um dos motivos do maior consumo é o fato dos secadores de madeira funcionarem 24 horas por dia, durante todos os dias do mês, enquanto que os outros setores tem turnos de funcionamento que não ultrapassam 18 horas diárias, somente nos dias úteis do mês. O segundo

Tabela 3. Consumo de matéria-prima para cada tipo de produto acabado.

Table 3. Consumption of the raw material in the industry.

Produto	Forma de entrada da matéria-prima	Consumo de Matéria-prima (m ³)	
		Média	Desvio padrão
Lâmina seca classificada	Toras com casca	2,47	0,20
Madeira serrada classificada	Toras com casca	2,62	0,30
Painéis manufacturados	Lâminas secas classificadas e madeira serrada classificada	1,63	0,27

Tabela 4. Consumo médio de energia térmica e elétrica por setor da indústria.

Table 4. Consumption of the thermal energy and power each department.

Setor	Consumo (Energia térmica)				Consumo (Energia elétrica)			
	Tvapor/mês		t vapor/h		KW/mês		KWh	
	Média	DP*	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Setor 1	2849,49	200,32	8,61	1,17	327525,66	29667,70	992,06	169,28
Setor 2	15343,38	1078,67	20,97	4,06	563344,13	51028,44	1706,34	291,15
Setor 3	3726,25	261,96	11,26	1,53	262020,53	23734,16	793,65	135,42
Setor 4					157212,32	14240,50	245,35	96,12

Tabela 5. Consumo médio de energia para cada m³ de produto acabado.

Table 5. Consumption of the energy for each meter of the manufactured product.

Tipo de Produto (m ³)	Consumo Médio de Energia			
	Térmica (tvaporh/m ³)		Elétrica (kWh/m ³)	
	Média	DP*	Média	DP
Lâmina Seca Classificada	1,35	0,57	153,47	58,89
Madeira Seca Classificada	1,43	0,36	111,26	21,40
Painéis Manufacturados	0,89	0,25	62,93	18,70

* DP = desvio padrão

consumidor de energia térmica foi a manufatura de painéis devido ao maior número de equipamentos que consomem vapor (prensas e coladeiras) e em energia elétrica o segundo foi a laminadora.

O cálculo do consumo de energia por produto foi feito em função do volume de produção da indústria, e apesar da serraria ter tido o maior volume de produção, ainda foi o produto com maior

Tabela 6. Potencial gerador de energia a partir dos resíduos.**Table 6.** Potential to produce energy through wood waste.

Tipo de Produto (m ³)	Potencial produtivo de energia					
	* Volume de resíduos gerados/produzir 1 m ³		Térmica (tvaporh)		Elétrica (kWh)	
	Média	DP**	Média	DP	Média	DP
Lâmina Seca Classificada	1,46	0,20	3,58	0,45	358,22	55,41
Madeira Seca Classificada	1,62	0,30	3,98	0,75	402,77	113,19
Painéis Manufaturados	0,53	0,25	1,29	0,60	127,63	57,47

* Os valores de volume de resíduos gerados para produzir 1 m³ apresentados na tabela são somente do volume que é destinado para a geração de energia, sendo que já foi feita a subtração do volume de resíduos vendidos e ** DP = desvio padrão

consumo de energia térmica e o segundo em energia elétrica. A lâmina seca classificada foi o produto com menor volume de produção mensal e o maior consumidor de energia elétrica e o segundo em energia térmica. Os painéis manufaturados foram os produtos que menos consumiram energia para fabricação.

Kock (1976) também avaliou o consumo de indústrias de base florestal e segundo o autor, para a manufatura de uma tonelada seca de madeira serrada, com rendimento de 35%, são gastos 131,62 kWh e 1,02 t de vapor. Fazendo-se as devidas conversões para a padronização das unidade, pode-se dizer que na indústria estudada seriam gastos 247 kWh e 3,17 t de vapor, sendo este valores bem superiores aos dados de literatura.

Considerando que os rendimentos nos dois trabalhos comparados foram muito próximos, o motivo da diferença no consumo energético provavelmente está na eficiência dos equipamentos utilizados na produção. Assim, os equipamentos da indústria estudada por Koch (1976) foram mais eficientes que os da indústria em questão, apesar do estudo ter sido realizado 24 anos antes deste.

Para a manufatura de uma tonelada seca de compensados, o autor considera que são consumidos 22,80 kWh de energia elétrica e 1,54 t

de vapor, sendo que neste estudo o consumo também foi maior, sendo que esta diferença deve ser devida ao mesmo motivo apresentado para a madeira serrada.

Ekono (1980) apresenta valores inversos aos mostrados por Kock (1976), afirmando que o consumo de energia elétrica é maior para a manufatura de compensados que para a manufatura de madeira serrada, sendo de 120 kWh/m³ e 40 kWh/m³, respectivamente para estes dois produtos. A indústria analisada apresentou a tendência inversa a apresentada por este autor.

O potencial de geração de energia dos resíduos pode ser vista na tabela 6.

O setor com maior potencial gerador de energia foi a serraria (maior volume de resíduos produzido), seguido da manufatura de painéis para energia térmica (resíduo seco) e da laminadora para energia elétrica.

Os dados foram compilados nos fluxogramas das figuras 2, 3 e 4.

A laminadora, serraria e manufatura de painéis foram auto-suficientes energeticamente, ou seja, geraram mais energia que consumiram. Sendo que, as laminadoras, quando não fazem parte de uma indústria integrada consomem mais energia do que tem capacidade de gerar.

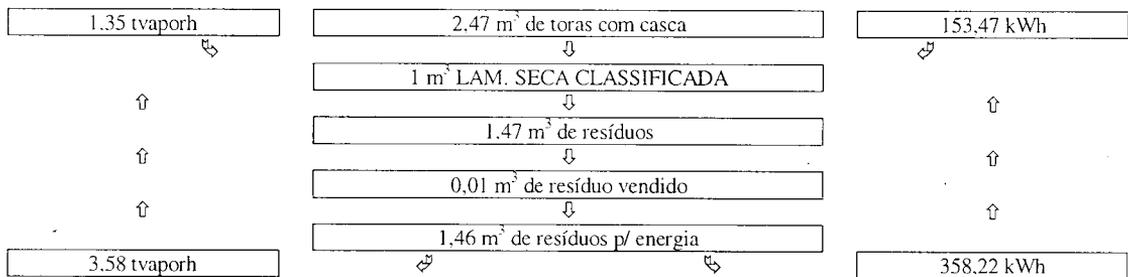


Figura 2. Consumo energético e de matéria-prima e fornecimento potencial de energia de 1 m³ de lâmina seca classificada.

Figure 2. Consumption of the energy and raw material and provide of the energy through 1 m³ of the veneer.

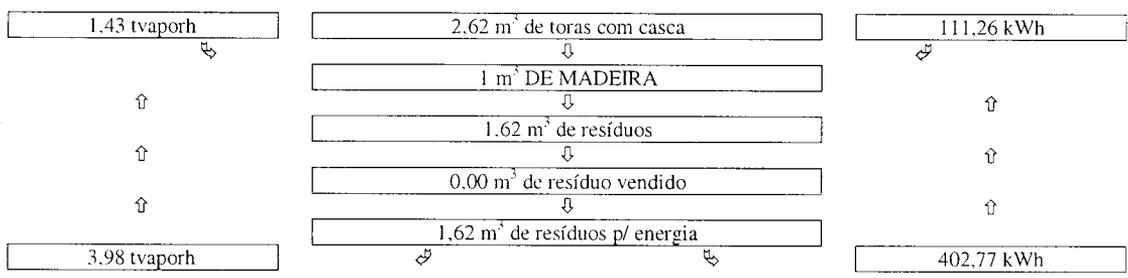


Figura 3. Consumo energético e de matéria-prima e fornecimento potencial de energia de 1 m³ de madeira seca classificada.

Figure 3. Consumption of the energy and raw material and provide of the energy through 1 m³ of the lumber.

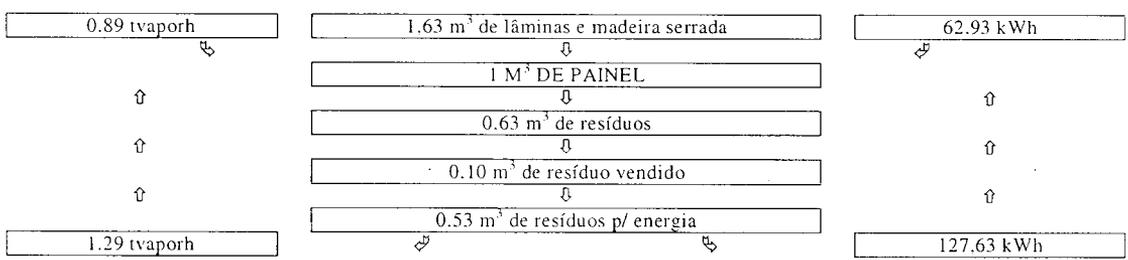


Figura 4. Consumo energético e de matéria-prima e fornecimento potencial de energia de 1 m³ de painel manufaturado.

Figure 4. Consumption of the energy and raw material and provide of the energy through 1 m³ of the panels.

CONCLUSÕES

a) A cogeração de energia é um processo viável na indústria de base florestal, garantindo à indústria auto-suficiência energética.

b) O maior consumidor de energia elétrica e térmica foi a serraria, para a térmica, o segundo foi a manufatura de painéis, e para a elétrica foi a laminadora.

c) O produto que consumiu mais energia elétrica foi a lâmina, seguida da madeira serrada e dos painéis.

Para a térmica, o maior consumidor foi a madeira serrada, seguida da lâmina e dos painéis. O consumo energético por produto foi inversamente proporcional à disponibilização de resíduos para energia.

- d) O setor com maior potencial de contribuição para a geração de energia foi a serraria, seguido da laminadora e da manufatura de painéis, sendo que este último setor foi também o menor consumidor de energia térmica e elétrica.
- e) Todos os setores foram auto-suficientes tanto em energia térmica como elétrica.

SOUZA, MR. Tecnologias para usos alternativos de resíduos florestais: experiência do laboratório de produtos florestais - IBAMA na área de utilização de resíduos florestais e agrícolas. In: WORKSHOP SUL-AMERICANO SOBRE USOS ALTERNATIVOS DE RESÍDUOS DE ORIGEM FLORESTAL E URBANA. **Anais**. Curitiba, 1997. p. 49-70.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARON NETO, M. Pinus conquista espaço na região sul. **Revista da Madeira**. Curitiba, Ano 10, nº58, p 24-28, 2001.

COELHO, S.T; VARKULYA, Jr. A.; PALETTA, C.E.M.; GUARDABASSI, P.; MARTINS, O.S. Geração de energia da madeira de reflores-tamento. **Revista da Madeira**. Curitiba, Ano 11, nº65, p. 24-26, 2002.

EKONO. **Power and heat plants**. Finlândia: FAO, 1980.

FAO. Contribution of woodfuels to energy sector. **State of the world's forests**. Editorial Group FAO Information Division. Rome: FAO, 1999. p 37-40.

KOCK, P. **Material balances and energy required for manufacture of ten wood commodities**. Energy and the wood products industry. Georgia: Forest Products Research Society 1976. 173p.