

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISE ECONÔMICO-ENERGÉTICA DE UTILIZAÇÃO DE
RESÍDUO INDUSTRIAL FLORESTAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA
TÉRMICA: UM ESTUDO DE CASO.**

FERNANDA CRISTINA PIERRE DAL FARRA

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU-SP
Agosto - 2004

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**ANÁLISE ECONÔMICO-ENERGÉTICA DE UTILIZAÇÃO DE
RESÍDUO INDUSTRIAL FLORESTAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA
TÉRMICA: UM ESTUDO DE CASO.**

FERNANDA CRISTINA PIERRE DAL FARRA

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Maura Seiko Tsutsui Esperancini

Dissertação apresentada à Faculdade de
Ciências Agronômicas da Unesp - Câmpus de
Botucatu, para obtenção do título de Mestre em
Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU - SP
Agosto - 2004

**REPRODUÇÃO
AUTORIZADA**

CATALOGAÇÃO NA FONTE: SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO
SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO
UNESP - FCA - BOTUCATU (SP)

Dl36a Dal Farra, Fernanda Cristina Pierre, 1979-
Análise econômico-energética de utilização de resíduo industrial florestal para geração de energia térmica: um estudo de caso / Fernanda Cristina Pierre Dal Farra. -- Botucatu, [s.n.], 2004.
xi, 57 f. : il., tabs.

Dissertação (mestrado) -- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrônomicas.
Orientador: Maura Seiko Tsutsui Esperancini.
Inclui bibliografia.

1. Florestas - Resíduos. 2. Biomassa. 3. Economia - Análise. 4. Energia da biomassa. I. Esperancini, Maura Seiko Tsutsui. II. Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agrônomicas. III. Título.

Palavras-chave: Resíduos florestais; Aproveitamento de biomassa; Análise econômica; Geração de bioenergia.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

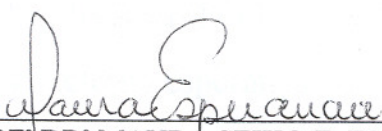
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "ANÁLISE ECONÔMICO-ENERGÉTICA DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO
INDUSTRIAL FLORESTAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA
TÉRMICA: UM ESTUDO DE CASO"

ALUNA: FERNANDA CRISTINA PIERRE DAL FARRA

ORIENTADORA: PROF^a DR^a MAURA SEIKO T. ESPERANCINI

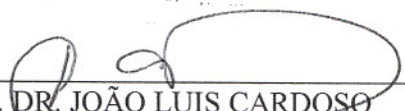
Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF^a DR^a MAURA SEIKO T. ESPERANCINI



PROF^a DR^a MARIA APARECIDA MOURÃO BRASIL



PROF. DR. JOÃO LUIS CARDOSO

Data da Realização: 31 de agosto de 2004.

Aos meus pais, Izilda e Roberto, pelo
incentivo e amor em todos os momentos de minha vida,
a minha gratidão e o meu respeito.

Ao meu amado esposo Henrique, pelo
apoio, amor e compreensão e
à minha querida filha Júlia, pela
luz e eterna esperança que trouxe em minha vida.

Ao meu Pai eterno, Pai de meus pais e Pai de
toda humanidade, que dentre muitos,
permitiu-me atingir esse nível acadêmico.

Dedico

AGRADECIMENTOS

A Deus pelo Dom da Vida.

À Prof^a. Dr^a. Maura Seiko Esperancini, minha orientadora, pelos ensinamentos, confiança e colaboração em todas as etapas desse trabalho e pela amizade firmada nesses anos.

À Empresa Eucatex S.A. Indústria e Comércio, Unidade Botucatu/SP, pela oportunidade e apoio na realização desse projeto de vida e pelas valiosas informações que resultaram nesse trabalho.

À Faculdade de Ciências Agrônômicas – UNESP – Campus de Botucatu, pela dedicação e excelente formação profissional.

Aos docentes responsáveis pelas disciplinas do curso de pós-graduação em Agronomia, programa Energia na Agricultura, pelos ensinamentos recebidos, que me possibilitaram enriquecimento técnico e profissional.

Aos componentes da banca examinadora Prof. Dr. João Luis Cardoso e Prof^a. Dr^a. Maria Aparecida Mourão Brasil, pelas excelentes sugestões, as quais foram de grande valia para o enriquecimento das informações contidas nessa dissertação.

Aos funcionários do Departamento de Gestão e Tecnologia Agroindustrial, pelo constante auxílio dispensado e pela amizade firmada nesses anos.

Ao Prof. Dr. Marcos Rezende e equipe do Departamento de Física do Instituto de Biociências – UNESP – Campus de Botucatu, pela colaboração na realização dessa pesquisa.

Ao Aluísio Astolfo Júnior, meu gerente na Eucatex, pela compreensão, confiança, apoio e amizade sincera, sem os quais seria impossível a conclusão desse trabalho.

Aos profissionais e amigos da Eucatex, pelo apoio e colaboração em todas as etapas dessa dissertação.

Aos amigos da graduação e pós-graduação em Agronomia, em especial à Aline Regina Piedade, Fabianna Lie Minekawa e Giseli Artioli, pela amizade sincera durante todos esses anos em Botucatu.

Aos meus pais, Izilda e Roberto Pierre, que com amor e exemplo de integridade moral, prepararam-me para a vida.

Ao meu irmão, Fabio Roberto Pierre, pela amizade e carinho em todas as etapas de minha vida.

Ao meu esposo e companheiro, Henrique Dal Farra, pela compreensão, paciência e amor que foram essenciais para o triunfo dessa jornada.

À minha pequenina filha Júlia, que preenche minha vida com o encanto de sua luz e alegria, enviada por Deus em meados desse estudo para fortalecer-me a cada passo dessa caminhada.

A todos aqueles que direta ou indiretamente acreditaram no meu trabalho e me deram o fundamental apoio para que esse resultado fosse alcançado.

SUMÁRIO

RESUMO.....	VI
SUMMARY.....	IX
1 INTRODUÇÃO.....	01
2 REVISÃO DE LITERATURA	04
2.1 Importância econômica e ambiental do aproveitamento de biomassa	04
2.2 Principais pontos de geração de resíduos na cadeia florestal.....	07
2.3 Situação brasileira do aproveitamento de biomassa e resíduos de base florestal para geração de energia.....	10
2.4 Situação mundial do aproveitamento da biomassa e resíduos de base florestal para geração de energia.....	12
2.5 Economicidade do processo de aproveitamento de resíduos	16
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	19
3.1 Material.....	19
3.2 Métodos	22
3.2.1 Determinação do poder calorífico dos resíduos	22
3.2.2 Sistema de troca de calor.....	25
3.2.2.1 Sistema de troca de calor existente.....	25
3.2.2.2 Sistema de troca de calor – alternativa de uso 1.....	26
3.2.2.3 Sistema de troca de calor – alternativa de uso 2.....	29
3.2.3 Análise de viabilidade econômica do investimento	29
3.2.3.1 Valor Presente Líquido (VPL).....	31
3.2.3.2 Taxa Interna de Retorno (TIR).....	31
3.2.3.3 Relação Benefício / Custo	32
3.2.3.4 Payback Simples e Econômico.....	33
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	35
4.1 Determinação da quantificação e poder calorífico dos resíduos casca e pó.....	35
4.1.1 Casca.....	35
4.1.2 Pó do processo.....	36

4.2 Avaliação dos resultados econômicos	38
5 CONCLUSÕES	47
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	49
7 ANEXO 1	56

ANÁLISE ECONÔMICO-ENERGÉTICA DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUO INDUSTRIAL FLORESTAL PARA GERAÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA: UM ESTUDO DE CASO. Botucatu, 2004. 65p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Autora: FERNANDA CRISTINA PIERRE DAL FARRA

Orientadora: MAURA SEIKO TSUITSUI ESPERANCINI

RESUMO

O presente trabalho de pesquisa tem por objetivo determinar o potencial de geração de energia a partir do aproveitamento de resíduos industriais como casca e pó de madeira em uma indústria do setor florestal, que produz painéis de madeira aglomerada, localizada no município de Botucatu, Estado de São Paulo e determinar a viabilidade econômica da aquisição de um equipamento para geração de energia térmica a partir destes resíduos. Esta alteração de processo tem como finalidade gerar economias na aquisição de insumos energéticos adquiridos no mercado e contribuir para a expansão da base de geração de energia da indústria. Os dados para a quantificação dos resíduos gerados no processo industrial, disponíveis para fornecimento de energia térmica na empresa, foram coletados junto à empresa analisada e, a partir de amostras coletadas em julho de 2002, o poder calorífico dos resíduos casca e pó de madeira foi determinado junto ao Laboratório do Departamento de Física e Biofísica do Instituto de Biociências da UNESP de Botucatu/SP. Como o aproveitamento destes resíduos demanda a alteração do sistema de troca de calor, foram descritos o sistema de troca de calor existente e a proposta de alteração deste sistema, que pode funcionar à base de diferentes proporções de resíduos industriais (casca e pó de madeira), além da necessária aquisição de cavaco de costaneira, para aumentar a eficiência do processo de combustão de resíduos. Para a determinação do potencial de geração de energia

foi utilizado o conceito de poder calorífico em duas condições de uso para o novo sistema de troca de calor: a alternativa de uso 1, que utiliza as seguintes proporções de resíduos: 50% de casca e 50% de cavaco, e a alternativa de uso 2, que utiliza a seguinte proporção de energia por resíduo: 30% da casca, 30% do cavaco e 40% do pó. Para a análise econômica das alternativas de uso foram determinados os seguintes indicadores de viabilidade econômica: o Valor Presente Líquido (VPL), a Taxa Interna de Retorno (TIR), Payback (simples e econômico) e Relação Benefício/Custo, tomando-se como horizonte do projeto o prazo de 5 anos, que é o prazo de vida útil econômica do equipamento. São propostas duas análises para a análise de viabilidade econômica do projeto de alteração do sistema de troca de calor: uma delas pressupõe a utilização de 100% de capital próprio e a segunda pressupõe o financiamento de parte do investimento inicial (50%) à Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP), período de financiamento de 2 anos e carência de 1 ano sob Sistema de Amortização Constante (SAC). Para a elaboração dos fluxos de caixa foram considerados os investimentos iniciais que incluíram o montante de investimento referentes ao equipamento e instalações, projetos, frete, transporte, obra civil, traslado, hospedagem e alimentação da mão de obra e os custos operacionais do sistema que incluíram o custo do cavaco de costaneira (terceirizado), o custo de oportunidade da casca e do pó, o custo de mão de obra e o custo do transporte dos resíduos ao local da queima e os custos de manutenção do equipamento. A diferença das despesas operacionais entre as duas alternativas de uso é a proporção de cavaco. A receita foi dada pelo volume de óleo BPF que se deixa de adquirir aos preços praticados no mercado, quando se utilizam os resíduos em substituição ao óleo. As informações de ordem econômica foram fornecidas pelo Departamento Financeiro da empresa. Os resultados mostraram que a produção dos resíduos casca e pó de madeira é capaz de gerar um total de calor de $9,08 \times 10^9 \text{ kcal} \times \text{mês}^{-1}$ e o equipamento que será substituído utiliza $2,52 \times 10^9 \text{ kcal} \times \text{mês}^{-1}$, portanto a produção de resíduos excede em 260% o volume de energia necessário para o funcionamento do equipamento adquirido, permitindo economizar 252 t de óleo BPF por mês, o que em termos monetários corresponde a R\$ 209.160,00. Os resultados referentes aos indicadores de viabilidade econômica revelam que é viável a implantação de ambas as alternativas de uso dos novos sistemas de troca de calor, entretanto a alternativa de uso 2 apresentou melhores resultados de todos os indicadores, porque utiliza 70% da energia

proveniente de resíduos da empresa, enquanto que a alternativa de uso 1 utiliza apenas 50%. Para o sistema em que se pressupõe o financiamento, os resultados econômicos mostraram-se melhores, em ambas as alternativas de uso do equipamento. Pode-se afirmar que uma matriz energética exclusivamente composta por biomassa é uma alternativa interessante nas condições analisadas neste estudo, do ponto de vista econômico e ambiental, no sentido de racionalizar a utilização de insumos energéticos e diminuir o nível de emissão de poluentes.

Palavras-chave: resíduos florestais, aproveitamento de biomassa, análise econômica, geração de bioenergia.

ECONOMIC-ENERGY ANALYSIS OF USE OF FOREST INDUSTRIAL RESIDUE FOR GENERATION OF THERMAL ENERGY: A CASE STUDY. Botucatu, 2004. 65p.

Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FERNANDA CRISTINA PIERRE DAL FARRA

Adviser: MAURA SEIKO TSUITSUI ESPERANCINI

SUMMARY

The present research had the objective to determine the potential of energy generation with use of industrial residues as bark and sawdust of wood in an industry of the forest section, which produces particleboards, located in the municipal district of Botucatu, State of São Paulo and to determinate the acquisition economical viability of an equipment for generation of thermal energy starting with residues. This process alteration had as purpose to generate savings in the acquisition of acquired energy inputs in the market and to contribute to the expansion of the industry energy generation. Data for the residues quantification generated in the industrial process, available for supply of thermal energy in the company were collected in the analyzed company, starting from samples collected in July of 2002, the heat of combustion of the residues bark and sawdust of wood were determined in the Laboratory of Physics and Biophysics Department of the Biochemistry Institute of UNESP, Botucatu/SP. As the use of these residues demand the alteration of change of heat system, the change of heat system and the proposal of alteration of this system were described, which can work in different proportions of industrial residues (bark and sawdust of wood), besides the necessary acquisition of slab shavings, to increase residues combustion process efficiency. For generation of energy potential determination, the concept of heat of combustion was used in two use conditions for the new system of change of heat: the alternative of use 1, which uses the following residues proportions: 50% of bark and 50% of chips, and the alternative of use

2, which uses the following proportion of energy for residue: 30% of bark, 30% of chips and 40% of sawdust. For the economical use analysis the following indicators of economical viability were used: the Liquid Present Value (LPV), the Internal Tax of Return (ITR), Payback (simple and economical) and Benefice/Cost relationship, being taken as the horizon of the project the period of 5 years, which is the equipment period of economical useful life. Two analyses were proposed to the project economical viability analysis of alteration of change of heat system: one of them presupposes the use of 100% of own capital and the second presupposes the financing of part of the initial investment (50%) to the Long Term Interest Tax (LTIT), period of 2 year for financing and lack of 1 year under System of Constant Amortization (SCA). For the elaboration of the cash flows the initial investments were considered, which included the investment amount regarding to the equipment and facilities, projects, freight, transport, civil work, lodging and feeding of the labors and operational costs of the system that included the cost of the slab chips, opportunity of the bark and sawdust cost, labor cost and transport of the residues cost to the place where these residues would be burned, and equipment maintenance cost. The operational expense differences of the two alternatives uses is the chips proportion. The income was given by the oil volume BPF that is stopped acquiring to the used prices in the market, when the residues are used in substitution to the oil. The economics information was given by the Financial Department of the company. The results showed that the production of the residues bark and sawdust of wood is capable to generate a total of heat of $9,08 \times 10^9 \text{ kcal} \times \text{month}^{-1}$ and the equipment uses $2,52 \times 10^9 \text{ kcal} \times \text{month}^{-1}$, therefore the residues production exceeds in 260% the necessary volume of energy for the operation of the equipment, allowing to save 252 t of oil BPF a month, what corresponds to R\$ 209.160,00 in monetary terms. The results regarding to the indicators of economical viability revealed that the implantation of both alternatives of use of the new systems of change of heat is viable, however the alternative of use 2 presented better results of all the indicators, because it uses 70% of the energy originating from residues of the company, while the alternative of use 1 only uses 50%. For the system which the financing is presupposed, the economical results were better, in both alternatives of equipment use. It can be affirmed that an energy head office exclusively composed by biomass is an interesting alternative on the analyzed conditions, in this study, in the economical and environmental

point of view, in the sense to rationalize the use of energy inputs and to reduce the emission level of pollutant.

Keywords: forest residues, biomass use, economical analysis, bioenergy generation.

1 INTRODUÇÃO

A questão da energia colocou-se no mundo moderno a partir da Revolução Industrial e agravou-se na segunda metade do século XX, por um lado, pelo acentuado desenvolvimento tecnológico, econômico e industrial acompanhados do aumento populacional, e por outro, pela acentuada dependência a uma fonte energética não renovável - o petróleo (CARVALHO, 1999).

A crise financeira do setor elétrico no Brasil e as previsões de déficit em função do elevado crescimento no consumo mostram a importância de um cronograma de larga escala de cogeração de eletricidade (produção simultânea de calor e energia elétrica e/ou mecânica) como um dos mecanismos para aumentar a oferta de energia. Além de ser mais eficiente em termos energéticos que a geração convencional, existem aspectos positivos da geração descentralizada (COELHO, 1999).

As mudanças recentemente introduzidas na legislação do setor elétrico têm levado o segmento industrial a reavaliar os processos de produção e o uso de diferentes insumos energéticos, como importante fator de competitividade, levando em consideração a valorização do componente ambiental, exigência do mercado consumidor atual. Como

exemplo, pode-se citar a implantação de diversos projetos de cogeração de energia elétrica a partir da biomassa da cana-de-açúcar no setor sucroalcooleiro.

Segundo Leite (1997) o uso eficiente de energia compreende a substituição de equipamentos de alto consumo de energia por outros mais eficientes, reorganização de processos produtivos, desenvolvimento de tecnologias novas e melhor utilização operacional das que já existem.

O setor madeireiro apresenta grande potencial para aproveitamento de resíduos industriais, já que é caracterizado por alta geração de desperdícios, ou seja, perdas não inerentes ao processo de produção. Os resíduos sólidos da madeira provenientes de florestas plantadas representam de 40 a 70% do volume da matéria-prima (madeiras processadas mecanicamente) empregada na indústria que, na maioria das vezes, não tem uma utilização final adequada, implicando em perdas significativas de volumes de madeira (BONDUELLE et al., 2002).

O aproveitamento dos resíduos de biomassa não é um processo trivial, pois demanda alterações de ordem tecnológica, organizacional e gerencial para racionalizar o uso de recursos madeireiros, cuja escassez é prevista para os próximos anos. A decisão de implementar tal processo em uma indústria deve ser embasada em indicadores de ordem econômica, pois a despeito dos benefícios gerados, há uma demanda de investimentos incrementais e geração de custos operacionais.

Ressalta-se que as vantagens da produção de eletricidade a partir de biomassa – inclusive a venda de excedentes de eletricidade por cogeneradores – já foram estudadas em alguns trabalhos como, por exemplo, os de Pereira Jr. (2001) e Bauer, (2001), que estudaram a geração de energia elétrica a partir de resíduos, o primeiro utilizando os resíduos de indústria de chapas de fibra de madeira e o segundo, os resíduos da exploração florestal, que analisam seus benefícios para os setores envolvidos e para a sociedade em geral, principalmente pelos aspectos ambientais e estratégicos.

Existem alguns estudos sobre a viabilidade do aproveitamento de biomassa para cogeração de energia para venda de excedentes, principalmente após a desregulamentação do setor elétrico brasileiro, mas, em geral, são poucos nesta área, principalmente no que concerne aos aspectos econômicos do aproveitamento de biomassa para geração de energia térmica.

Assim, o presente trabalho avalia a viabilidade econômica da alteração de processo produtivo, a partir da implantação de um equipamento de geração de energia térmica com a finalidade de aproveitar os resíduos industriais florestais provenientes do processo de produção de painéis de madeira aglomerada em indústria localizada na cidade de Botucatu, Estado de São Paulo.

O objetivo geral deste trabalho é analisar do ponto de vista energético e econômico a viabilidade de instalação de um aquecedor para utilização dos resíduos casca e pó de madeira decorrentes do processo de produção de painéis de madeira aglomerada para auto-suficiência da geração de energia térmica, em substituição ao óleo combustível BPF atualmente utilizado.

Os objetivos específicos são:

- determinar o poder calorífico da casca e do pó de madeira provenientes do processo de industrialização da matéria-prima utilizada e avaliar o potencial energético destes resíduos para a geração de energia térmica a partir do montante proveniente do processo industrial;
- avaliar o retorno econômico dos investimentos em equipamentos na geração de energia térmica, para o aproveitamento dos resíduos da matéria-prima utilizada durante seu processamento com vistas à produção de aglomerados.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Importância econômica e ambiental do aproveitamento da biomassa

Biomassa é a quantidade de material orgânico, particularmente resíduos de plantas, que na área de energia, é usada para descrever todas as formas de plantas e derivados que podem ser convertidos em energia utilizável, como madeira, resíduos urbanos e florestais, grãos, talos, óleos vegetais e esterco. A energia gerada pela biomassa é também conhecida como “energia verde” ou “bioenergia” (VELÁZQUEZ, 2000).

A busca por fontes alternativas de energia foi incentivada recentemente no Brasil, cujo auge ocorreu no ano de 2001, em decorrência da crise de oferta de energia elétrica proveniente de fontes hídricas (devido à escassez de chuvas ocorrida naquele ano), bem como da elevação dos preços de combustíveis derivados do petróleo (fonte energética da qual o Brasil é fortemente dependente). Outros fatores como a desregulamentação do setor elétrico no país, que propiciou a possibilidade de venda dos excedentes de energia, têm incentivado a geração de energia a partir de outras fontes, como as termelétricas.

O aproveitamento da biomassa tem sido visto como uma das alternativas para a geração de energia, não só pelas vantagens econômicas decorrentes da utilização destes resíduos, em geral, sem valor de mercado e com elevados custos de retirada, bem como das vantagens ambientais a partir da não contaminação decorrente na deposição de resíduos no meio ambiente.

No caso das tecnologias para este aproveitamento, quer seja de resíduos de madeira, agrícola ou urbano e industrial, o Brasil já possui um competente parque industrial para fornecimento de equipamentos e sistemas de geração elétrica. Paralelamente, novas tecnologias como a gaseificação de biomassa, estão sendo aprimoradas para os diferentes combustíveis e climatologia local. O Brasil está inserido neste processo de desenvolvimento internacional desde 1986, estando na liderança do processo para gaseificação de biomassa de cana de açúcar, folhas e resíduos de madeira.

Há uma escala das tecnologias da conversão disponíveis para empregar a biomassa. Os combustíveis primários podem ser usados diretamente (por exemplo, queima da madeira um fogão para produção de calor) ou podem ser convertidos em combustíveis secundários tais como combustíveis líquidos ou gasosos com o uso das tecnologias tais como a gaseificação, pirólise e digestão anaeróbica (ALLEN et al., 1998).

De acordo com Berndes et al. (2003), a biomassa tem potencial para tornar-se um dos mais importantes tipos de energia primária do mundo durante o próximo século e um moderno sistema de utilização da bioenergia pode contribuir para o futuro sistema de fornecimento de energia, tanto para o desenvolvimento sustentável de países industrializados, como em desenvolvimento.

O Brasil é responsável por 49% do consumo total de energia obtida por meio de biomassa na América Latina. Quase metade desta energia provém de resíduos de madeira, nativa ou reflorestada (ANDRADE et al., 1998).

Segundo Carioca & Arora (1984) e Allen et al. (1998), considerando-se a utilização de biomassa para fins energéticos, a classificação desses recursos pode ser caracterizada nos seguintes grupos: recursos florestais, representados pelas florestas naturais e plantadas, resíduos agrícolas envolvendo espécies sacarídeas, amiláceas e oleaginosas, resíduos agropastoris.

O setor sucroalcooleiro foi o pioneiro no aproveitamento de biomassa, utilizando o bagacilho da cana-de-açúcar na cogeração de energia elétrica, num primeiro momento para o autoconsumo e, mais recentemente, para a venda de excedentes, o que implicou em importante redução na demanda de energia, por parte das usinas, adquirida junto às concessionárias, em redução de custos de retirada de resíduos e em geração de economias de escopo para o setor.

O aproveitamento dos resíduos da produção para gerar energia e para a preservação do meio ambiente é a alternativa que vem sendo adotada por empresas de diversos segmentos (KIRUCHI, 2000). De acordo com Coelho (2000), além da geração para uso em seus próprios processos, as empresas também visam à venda dos excedentes de energia elétrica. Também segundo Goldemberg (2002), a biomassa já é usada como fonte de energia elétrica no Brasil em vários setores e muitas empresas estão implantando centrais de cogeração de energia em suas unidades ou buscando novas fontes de renda com a venda de resíduos industriais, como cascas de arroz, restos de madeira, serragem, cascas de árvore, bagaço e cavaco, que são o alvo desse mercado, em virtude da valorização dos recursos energéticos.

Como contribuição ao meio ambiente, a utilização da biomassa sob uma forma de renovação contínua, permite a fixação do carbono por meio de um balanço natural de equilíbrio entre carbono emitido na queima e o carbono capturado pela nova planta em crescimento, além da ausência de enxofre na biomassa. Juntamente com a conservação e o uso racional da energia, a utilização da biomassa, de maneira equilibrada, pode tornar-se o grande salto tecnológico para a produção de energia, associada ao conceito de desenvolvimento sustentado, garantindo o crescimento econômico e a preservação ambiental (VELÁZQUEZ, 2000).

O segmento de papel e celulose é, dentro do setor industrial, um dos maiores consumidores de biomassa, representando 15% do consumo do setor e 7% do consumo final de biomassa no país. A lixívia¹ representa 48% da matriz energética, seguida de cascas, cavacos e lenha, com 24%.

¹ A lixívia ou licor negro é um subproduto poluente da fabricação de celulose.

2.2 Principais pontos de geração de resíduos na cadeia florestal

De forma geral, resíduos sólidos são conceituados pela NBR 10.004 (ABNT, 1987) como resíduos descartáveis ou inúteis resultantes das atividades humanas, em estado sólido, semi-sólido ou semi-líquido (com conteúdo líquido insuficiente para que este fluído possa se movimentar livremente) (NAIME et al., 2003).

No segmento florestal, os resíduos são as sobras que ocorrem no processamento mecânico, físico ou químico, e que não são incorporadas ao produto final. A celulose, a casca, a lama de cal, o lodo biológico, o resíduo celulósico e a cinza de caldeira resultante da queima de biomassa, que são produzidos ao longo do processo de produção, são genericamente classificados como resíduos (BELLOTE et al., 2003).

O beneficiamento da madeira em suas diversas fases gera resíduos, que pelos grandes volumes envolvidos, trazem problemas logísticos e ambientais para sua disposição adequada.

Segundo Matoski et al. (2002), atividades de desdobro, de laminação das toras e de beneficiamento da madeira serrada nas indústrias acumulam perdas elevadas. Incluem-se também, como fatores que aumentam a geração de resíduos, a presença de defeitos como trincas, deterioração por fungos e insetos que podem ocorrer na madeira maciça. O processo de reaproveitamento de resíduos na indústria madeireira, sobretudo para a geração de energia, é bastante comum nas indústrias deste segmento. O custo elevado da madeira vem atingindo economicamente as indústrias que dela se utilizam como matéria-prima básica e indispensável.

As alternativas possíveis para sua destinação são a produção de energia, a compostagem, o uso como resíduo estruturante, o uso como lenha, a produção de materiais diversos, a produção de painéis (aglomerados, MDF, OSB e outros) entre outros.

Os principais pontos de geração de resíduos na cadeia florestal são a produção florestal e as indústrias de serraria, de painéis e de papel e celulose.

São considerados resíduos florestais, aqueles gerados e deixados na floresta como resultado das atividades de extração da madeira, como por exemplo, toras curtas, galhos, madeira proveniente de trato cultural, entre outros. Calcula-se que cerca de

20% da massa da árvore é deixada no local de colheita, onde até recentemente, eram queimadas a céu aberto.

Quanto aos resíduos na serrarias, de acordo com Ayala et al. (2002), de toda madeira que chega para ser processada, apenas 45,03% converte-se em madeira serrada e o restante (54,97%) é transformado em resíduos (7,2% para lenha, 21,06% serragem, 20,12% costaneiras, 3,59% tacos e 2,54% hastes).

Em trabalho desenvolvido em Cuba, o autor procurou soluções alternativas para utilização de resíduos de serrarias (matéria-prima principal *pinus*), com o objetivo de agregar valor à produção. Estudou a possibilidade de utilização destes resíduos (principalmente costaneiras pequenas e finas) na fabricação de embalagens industriais e agrícolas, produção de energia (biocombustível) em fornos metálicos de carbonização, artesanato e fabricação do bioconcreto.

Ainda segundo o autor, a produção de embalagens apresenta maior benefício econômico expresso em termos de VLP (Valor Presente Líquido) e TIR (Taxa Interna de Retorno), em comparação a proposta de produção de energia, que apresentam indicadores mais baixos, em razão das perspectivas de redução dos preços pagos pelas concessionárias pela energia.

Os resíduos mais importantes do processo nas indústrias de painéis são a cinza das caldeiras resultantes da queima de resíduos de biomassa de madeira e as cascas provenientes do descascamento de toras nos pátios das fábricas (ESPANHA, 2001).

A utilização mais comum dos resíduos do desdobro tem sido a queima direta e mais recentemente a produção de aglomerados tipo *Medium Density Fiber* (MDF). Entretanto, não se utilizam integralmente esses resíduos devido os grandes volumes gerados e sua localização descentralizada.

Por falta de uma destinação imediata, grandes quantidades desses resíduos são simplesmente empilhadas e encontram-se hoje em diversos estágios de decomposição. Muitas vezes, os resíduos são queimados em céu aberto, ou sofrem combustão espontânea com emissão de particulados finos para a atmosfera.

Segundo Ayala et al. (2002), os resíduos da indústria de transformação mecânica da madeira são considerados um dos maiores problemas do setor

florestal, não somente pelos custos que demandam sua retirada, mas também porque são uma das causas da contaminação ambiental.

Uma solução adotada pelas indústrias de produção de painéis é a utilização de resíduos como fonte de matéria-prima no processo de produção, como os resíduos industriais (resíduos de serrarias, fábricas de móveis e chapas), resíduos provenientes de exploração florestal (toras curtas, galhos, etc.), madeiras de qualidade inferior (não industrializáveis de outras formas), madeira proveniente de trato cultural de florestas plantadas e reciclagem de madeira sem serventia (demolições).

Matoski et al. (2002) em levantamento de resíduos gerados em uma indústria de móveis e esquadrias verificou que, apesar do reaproveitamento dos resíduos gerados dentro da indústria para a fabricação de compensados sarrafeados e geração de energia, não há nenhum controle ou acompanhamento da quantidade de resíduos gerados.

O segmento de papel e celulose é dividido basicamente em três grandes grupos de indústrias, segundo a Associação Nacional dos Fabricantes de Papel e Celulose (ANFPC): indústrias fabricantes apenas de celulose, aquelas que produzem apenas papel (comprando celulose) e as que produzem tanto a celulose como o papel, ditas integradas.

Como o processo de fabricação de celulose produz vários subprodutos na forma de biomassa (resíduos, cascas, licor negro), as indústrias produtoras de celulose apresentam uma maior porcentagem de eletricidade produzida por cogeração, sendo praticamente auto-suficientes.

As indústrias integradas, como o setor de papel, o grau de auto-suficiência já é menor (aproximadamente 60%). Nos fabricantes de papel, pela inexistência de subprodutos no processo, há necessidade de comprar combustível e, portanto, a porcentagem de eletricidade autogerada é reduzida (10%), em sua maior parte de origem hidrelétrica (COELHO, 1999).

Dentro do setor industrial, os segmentos de açúcar e álcool, papel e celulose e alimentos são os que mais utilizam a biomassa, pela grande disponibilidade de subprodutos (bagaço de cana, resíduos e cascas de madeira, licor negro), respondendo por 29% do consumo total de biomassa no país (COELHO, 1999).

O segmento de papel e celulose, por exemplo, possui grande disponibilidade de subprodutos de processo e poderia ser auto-suficiente, mas as indústrias

geram apenas parte da eletricidade consumida (em torno de 40% é auto-gerada, dependendo do tipo de indústria), pois pode ser mais econômico comprar energia elétrica da concessionária a uma tarifa média de R\$ 43,00/MWh, do que efetuar investimentos para aumentar a capacidade de autoprodução de energia. Na verdade o problema, além de econômico, é regulatório, principalmente em decorrência da falta de normas no setor elétrico brasileiro (COELHO, 1999).

2.3 Situação brasileira do aproveitamento da biomassa e resíduos de base florestal para geração de energia

Segundo Coelho (2002), a crescente preocupação ambiental que caracterizou a década de 90 criou novos desafios para este século, como a necessidade de inserir o meio ambiente nas políticas e planos de desenvolvimento em âmbito mundial. Neste contexto, merecem especial atenção as regiões onde o extrativismo seja base das atividades econômicas praticadas. No Brasil, esse desafio acentua-se na Região Amazônica, devido à forma não planejada com que são explorados seus recursos naturais e a biomassa disponível na região.

De acordo com Walter (2001), o Brasil é um de poucos países industrializados no mundo em que as fontes de energia renováveis representam uma parte significativa da matriz energética nacional.

Segundo o Balanço Energético Nacional 2003, 41% da oferta interna de energia teve origem em fontes renováveis. A hidroeleticidade é a fonte de energia renovável mais importante, contribuindo com 14% do total de energia produzida, seguida por subprodutos da cana-de-açúcar (álcool e bagaço), 12,6% e por madeira (lenha e carvão vegetal), 11,9%. Além disso, outras fontes de energia renovável, como o licor preto e os resíduos agrícolas, representam 2,5% (BRASIL, 2003).

Ainda de acordo com o autor, no que se refere à biomassa, os setores industrial (63,1%) e o residencial (18,6%) são os principais consumidores, seguidos do setor de transporte (13,3%), correspondente ao álcool combustível. O alto incremento do uso industrial de biomassa, na primeira metade da década de 80, deve-se ao carvão vegetal que substituiu óleo combustível e ao bagaço de cana utilizado na produção de álcool. Ressalta-se

que o consumo de biomassa nos setores residencial e agropecuário vem diminuindo em razão da menor utilização da lenha.

Já a oferta média de energia renovável mundial é de 14% do total de energia produzida, sendo a biomassa responsável por 11,5% e a hidroeletricidade por 2,3%, e nos países da OECD (*Organization for Economic Co-operation and Development*) é de 6% (BRASIL, 2003).

No Brasil, a principal fonte de madeira para produção de energia para uso primário são os ecossistemas naturais, como o cerrado e a Mata Atlântica (VALE et al., 2002).

Existem regiões no Brasil com geração exclusivamente baseada em óleo diesel, especificamente na região Norte, que não pertencem ao Sistema Interligado, o que corresponde a um gargalo importante na matriz energética da região. O Brasil, além de importar petróleo bruto para refinar, também importa óleo diesel puro para garantir a oferta deste combustível. Desta forma, nestas regiões que, em geral, apresentam o extrativismo ou a agricultura de subsistência como principal atividade econômica, podem ser empregados os resíduos derivados de tais atividades para a produção de energia, visando o atendimento da comunidade local (COELHO et al., 2002).

No caso de municípios da Amazônia, como cita Varkulya et al. (2003), as serrarias são a principal atividade econômica, sendo responsável pela maioria dos empregos locais e que podem ser inseridas no processo de aproveitamento energético dos resíduos deste segmento industrial.

Nas regiões de grande importância do setor florestal, podem ser observados diversos exemplos de aproveitamento energético dos resíduos de base florestal.

Um exemplo de empresa brasileira que utiliza a biomassa no processo é a Klabin Papéis Monte Alegre, unidade Paraná da Klabin S/A, localizada no município de Telêmaco Borba, que atinge um nível de eficiência de 92% no uso do total de resíduos disponíveis. Atualmente, a empresa possui sobra de resíduos e cascas de árvores que não podem ser aproveitados porque a caldeira opera com capacidade máxima (FIORI, 2002).

Na empresa Benecke procura-se formas de economizar energia elétrica, evitar desperdícios, aproveitar resíduos, controlar ruídos e outros. Destaque neste sentido foi a aquisição de uma máquina a vapor, que é acoplada a uma caldeira a vapor,

aproveitando os resíduos gerados no processo produtivo da empresa, utilizando-o como combustível para a geração de energia elétrica. Além disso, contribui na limpeza do pátio e no tratamento ao meio ambiente (BENECKE, 2003).

Outro exemplo de indústria que utiliza o aproveitamento de biomassa é a Battistella Indústria e Comércio, localizada em Santa Catarina. A empresa possui volume da produção atual igual a 20.000 m³/mês de madeira serrada e 5.000 m³/mês de lâminas, gerando 16.000 m³/mês de produtos como madeira serrada, pré-cortada, *deck*, lâminas, compensados, vigas laminadas, painéis, cavaco para celulose, MDF e biomassa. Do total de resíduos, 85% é aproveitado para gerar vapor e energia e 15% vendido para terceiros (KIRUCHI, 2000).

De acordo com Faccenda (1996), o conhecimento do potencial termodinâmico existente na indústria de processamento de madeira e sua viabilidade econômica de exploração é condição indispensável para um bom planejamento.

2.4 Situação mundial do aproveitamento da biomassa e resíduos de base florestal para geração de energia

O aproveitamento da biomassa vem ocorrendo em diversos países, alguns deles com aproveitamento quase total da biomassa e resíduos decorrentes dos mais diversos processos produtivos. Em outros, a utilização de resíduos ainda não está desenvolvida, como mostram os estudos realizados.

Nos países em desenvolvimento, a lenha, de origem nativa ou reflorestamento, é parte da base energética, chegando a representar até 95% da fonte de energia em vários países. Nos países industrializados, a contribuição da lenha chega a um máximo de 4% (LENHA, 2004). Segundo informação da Biomassa (2004), 50 a 60% da energia nos países em desenvolvimento provem da biomassa e metade da população mundial cozinha com lenha.

De acordo com Cooperação (2004), a situação energética é muito variável nos países em desenvolvimento. O consumo de energia por habitante é nitidamente inferior ao dos países industrializados. Não obstante, a taxa de crescimento anual do consumo energético nos países em desenvolvimento é três a quatro vezes superior à dos países

industrializados. Estes números mascaram um acesso bastante desigual à energia no mundo. Na África, o consumo por habitante continua a ser muito limitado, enquanto na Ásia quase duplicou desde 1970. Segundo as tendências atuais, a procura e a intensidade energética vão aumentar fortemente na maior parte dos países em desenvolvimento (sobretudo na Ásia). Estes fenômenos tornam essenciais ações tais como a preparação de novas tecnologias para o desenvolvimento das fontes de energia renováveis e o aumento da eficácia energética.

Nos países subdesenvolvidos da região sudeste da Ásia, os resíduos dos setores agrícola e florestal representam um grande potencial de biomassa, contribuindo atualmente entre 25 e 40% na produção de energia primária. (JUNGINGER et al., 2001).

A China consome anualmente mais de 190 milhões de m³ de madeira para energia, 21 milhões de m³ de madeira serrada, 18 milhões de m³ de painéis de madeira e 40 milhões de toneladas de produtos de papel. Apesar de importar grande quantidade de matéria-prima para atender à demanda, a China tem a maior área plantada de florestas do mundo, totalizando 46,6 milhões de ha, cerca de 20% de todas as plantações mundiais. Entre 1989 e 1999, a China plantou nove milhões de hectares e implementou, recentemente, o Programa Nacional de Plantações de Rápido Crescimento e Alto Rendimento para abastecer a demanda interna de madeira. A previsão é de que em 2015 as florestas plantadas na China fornecerão anualmente 150 milhões m³ de madeira (CHINA, 2003).

Nos países desenvolvidos, a utilização da biomassa tem um caráter diferente da apresentada pelos países subdesenvolvidos porque provém predominantemente da racionalização do uso de resíduos industriais, sendo a lenha pouco utilizada para consumo doméstico. Estes países têm investido no desenvolvimento de tecnologias para o aproveitamento de biomassa, não só para aumentar a eficiência destes processos, mas também para atender às pressões relacionadas às questões ambientais.

As novas tecnologias de conversão da lenha em combustíveis líquidos, sólidos e gasosos de alto valor agregado têm, atualmente, grande interesse mundial e recebem importante quantia de recursos para suas pesquisas e desenvolvimentos. A combustão ou queima direta é a forma mais tradicional de uso da energia da lenha, porém, a gaseificação e a pirólise são processos termoquímicos que recebem especial atenção (LENHA, 2004).

A tendência do uso da bioenergia no Japão, obtidos da queima do lixo industrial e urbano, é de utilização na eletricidade ou na forma de calor. Os principais tipos de

resíduos são lixos industriais resultante de processos produtivos das indústrias de papel, etc. (licor negro, refugo de cavaco), da agropecuária (casca de arroz, estrume de vaca) e resíduos urbanos (BIOMASS, 2004).

Na Europa, a biomassa é ainda relativamente pouco usada na geração de eletricidade, não somente quando comparado aos combustíveis fósseis e à energia nuclear, mas também a outras fontes renováveis, incluindo a hídrica e a eólica (ALLEN et al., 1998).

O setor madeireiro espanhol aproveita 100% dos resíduos da madeira, utilizando os restos de matéria-prima para a fabricação de painéis (compostos de 26% de madeira e 74% de subprodutos) e as sobras como fonte de energia para a indústria. Por meio das plantas de cogeração instaladas nas fábricas é gerada eletricidade suficiente para o consumo elétrico e térmico (pois geram calor, utilizado nos secadores para secar madeira). Assim, o setor de painéis aproveita integralmente os resíduos da madeira, destinando à produção de combustíveis, unicamente os resíduos dos subprodutos florestais (ESPANHA, 2001).

Na Finlândia, as indústrias florestais estão focadas na integração da produção, o que significa que os estágios sucessivos de produção estão interconectados, buscando basicamente melhorar o rendimento na transformação da matéria-prima. A tecnologia desenvolvida para o processamento mecânico de toras de pequenos diâmetros, bem como o uso intensivo de biomassa para geração de energia tem se constituído em elementos-chaves na competitividade da indústria de madeira sólida finlandesa (TUOTO & SIMULA, 2003).

O consumo de energia de biomassa ganhou, nos últimos anos, uma posição cada vez mais consolidada no mercado finlandês. A proporção do consumo total de energia da Finlândia, proveniente de energia de biomassa, é de cerca de 25%, ou 90 TWh (milhão de MWh) por ano. De acordo com o programa nacional de energia de biomassa da Finlândia, o uso desse tipo de energia deve aumentar em 50% nos próximos anos (FINLÂNDIA, 2004).

Na Suécia e Dinamarca, o papel da biomassa na matriz energética destaca-se como combustível industrial. No caso sueco sabe-se que os resíduos florestais e os resíduos industriais de biomassa já contribuem de forma significativa para a produção de

eletricidade, basicamente em unidades de cogeração em fábricas de celulose e papel. A longo prazo, a biomassa pode contribuir com 25 a 40% da produção elétrica (PEREIRA JR., 2001).

Segundo Miranda & Hale (2001), a Suécia produz eletricidade a partir de duas principais fontes: hídrica e nuclear, que fornecem uma energia barata e relativamente limpa em termos de emissão de gases que contribuem para o efeito estufa. Porém, é crescente a atenção para fontes de energia renovável como a biomassa florestal, que é considerada um neutralizador de carbono. Além disso, a Suécia possui abundância desse recurso já que a indústria madeireira é considerada uma das mais importantes no país. Nem toda madeira cortada é apropriada para produção de papel ou outros produtos derivados da madeira, assim esses setores utilizam esses resíduos como combustível para geração de energia.

No Reino Unido, a biomassa é pouco usada como fonte da energia. Entretanto, o governo britânico está fazendo esforços e fornecendo financiamentos com a intenção de facilitar a geração de eletricidade a partir da biomassa (DEPARTMENT OF TRADE AND INDUSTRY, 1994).

A Alemanha também vem investindo em usinas de biomassa. Uma companhia energética com sede em Mannheim e uma empresa berlinesa de eliminação de lixo e prestação de serviços investiram cerca de 55 milhões de euros em novas usinas, que produzirão 160 milhões de kWh de eletricidade por ano, suficiente para abastecer 55 mil domicílios. Com o alto padrão tecnológico que adotou na queima das sobras de madeiras, as novas usinas cumprem os requisitos mais severos da 17ª portaria de proteção contra emissões (ALEMANHA, 2003).

Ainda segundo o autor, na Alemanha soma-se aproximadamente 10 milhões de toneladas de madeira usada e sobras por ano, onde parte desse material é reaproveitada, mas grande parte vai para depósitos ou é exportada. A partir de 2005, a armazenagem será proibida, tornando mais racional sua utilização como "combustível" para usinas.

No Continente Americano, a oferta da energia da biomassa (36% de resíduos vegetais, 30% de licor negro, 25% de resíduos de madeira e 6% de biogás) tem alcançado 3% do total da oferta de energia primária e o combustível é usado para geração de calor e energia. Com relação à oferta da bioenergia nas Nações da União Européia, a lenha, os resíduos de cavaco, os resíduos urbanos compõem-se aproximadamente de 3,3% do total de

oferta de energia primária da área. A energia da biomassa nesses países é produzida, geralmente, da lenha, do licor negro proveniente das indústrias de papel e do resíduo de cavaco das indústrias de madeira (JUNGINGER et al., 2001).

A Austrália, de acordo com Fung et al. (2002), é altamente dependente dos combustíveis fósseis para geração de energia, porém com o Protocolo de Kyoto, o país deve diminuir a emissão de CO₂, a partir da utilização da biomassa para geração de energia. Há uma importante fonte potencial de resíduos das atividades do setor florestal, mas, em 1998, a energia renovável contribuiu com apenas 2,2% do total de energia primária do país.

Na Nova Zelândia, atualmente a biomassa fornece menos que 5% da fonte de energia primária. Entretanto, a grande quantidade de florestas em crescimento e a expectativa de aumento da produção na próxima década oferecem um potencial técnico para geração de energia a partir da biomassa florestal (HALL et al., 2001).

2.5 Economicidade do processo de aproveitamento de resíduos

No estudo realizado por Pereira Jr. (2001), cujo objetivo foi avaliar o potencial de geração de energia a partir dos resíduos em uma fábrica de painéis de fibra de madeira, e por meio dos mesmos promover a cogeração e a geração própria de energia elétrica, concluiu-se que sob aspecto econômico, segundo a análise do valor presente e da determinação da taxa interna de retorno, os investimentos necessários para cogeração de energia elétrica complementados com cavacos de madeira não são vantajosos. No caso, os preços de energia elétrica praticados pela concessionária são reduzidos e não permitem a viabilização de investimentos e de retorno dos mesmos.

Bini (1998) estudou a viabilidade econômica de substituição dos equipamentos geradores de energia elétrica em uma indústria de processamento de cana-de-açúcar por biomassa. Observou-se que as taxas internas de retorno variaram de 25 a 29%. Considerando que as taxas de retorno para aplicações oferecidas no mercado nacional e internacional são substancialmente inferiores às taxas obtidas, pôde-se afirmar que o projeto é recomendável por este critério (TIR).

Pode-se afirmar que os investimentos em cogeração de energia elétrica a partir de resíduos estão fortemente condicionados a cinco parâmetros fundamentais (PRETZ, 2000):

- Tarifas de energia elétrica: os elevados preços praticados para a energia elétrica no setor agroindustrial e madeireiro, aliado ao perfil de consumo de energia da empresa, são atualmente os fatores de maior importância na viabilização de uma central termelétrica. O custo evitado com a compra de energia elétrica é o parâmetro de maior peso no retorno do investimento;

- Meio ambiente: a pressão efetuada por órgãos de controle ambiental sobre as empresas no sentido de se obter locais adequados para a disposição final dos resíduos e as eventuais multas aplicadas são aliadas aos custos para remoção dos resíduos, importantes elementos do processo de decisão. Além disso, a combustão de biomassa sob condições controladas reduz a poluição causada por outras fontes, que seriam mobilizadas caso essa não fosse utilizada (custo ambiental evitado). Certificados Ambientais como a ISO 14000 e os Certificados transferíveis de Emissão de Gás Carbônico criam cenários cada vez mais favoráveis e convincentes aos investidores;

- Políticas energéticas: a abertura do setor elétrico, consolidada a partir de 1995, com a Lei 9.074 e a sua regulamentação pelo Decreto 2.003, permitiu a participação de pequenas e médias gerações, em regime de produtor independente (e auto-produtor). Entretanto, as leis e portarias subsequentes, apesar dos grandes avanços, ainda não colocam em igualdade de condições o empresário interessado em vender excedentes de energia perante as concessionárias, ao negociar uma tarifa razoável de venda. Em muitos casos práticos, o investidor opta por uma redução na potência final da unidade como forma de melhorar a taxa de retorno do investimento, pois o projeto dimensionado para queimar toda biomassa disponível agrega custos que pioram o perfil do investimento, devido o preço de venda dos excedentes de energia gerados;

- Tecnologias: a correta avaliação do equipamento mais adequado a cada caso pode representar uma maior eficiência energética do processo. Além disso, reduções de custos podem definir a viabilidade de um investimento deste tipo. Uma central termelétrica vai muito além dos grandes equipamentos como caldeira, turbina e gerador, pois se compõe de uma infinidade de itens importantes técnica e economicamente, os quais irão constituir um

sistema que, depois de instalado, deve fazer parte do processo produtivo da empresa e estar perfeitamente integrado a parâmetros como a produção de resíduos, a demanda de energia elétrica e térmica e o regime de operação da empresa. Sutilezas de comportamento destes parâmetros, aliadas a elementos como a oferta de água (poços artesianos ou rios), características da empresa quanto ao emprego de estufas, outros usos para os resíduos, tipos de motores e suas potências, etc., definem mudanças no projeto, implicando em reduções ou aumento de custos significativos;

- Linhas de financiamento: na viabilização econômica de centrais termelétricas, as características do financiamento em termos de prazo, nível de participação e taxas de juros são, nesta ordem de importância, elementos fundamentais na obtenção de um bom perfil de investimentos. Regras como as da Carta Circular 28/96 da FINAME/BNDES, com prazos de financiamento de 10 anos e 3 anos de carência viabilizariam quatro vezes mais projetos do que hoje, podendo ser mantidas as mesmas taxas praticadas atualmente, e dispensado qualquer tipo de subsídio. Observa-se que em 100% dos projetos nos quais as prestações do financiamento permanecem abaixo do valor da conta de energia, as empresas interessadas promovem o investimento.

Além disso, as empresas que processam os resíduos estão dispensadas da retirada da guia florestal, documento obrigatório pelo Ibama para o corte de árvores e são isentas do ICMS (Imposto sobre a Circulação de Mercadorias e Serviços). É necessária apenas a contribuição com o PIS e Confins (A SOBRA, 2003).

Segundo Sociedade Brasileira de Silvicultura (2003), com a tecnologia da cogeração é possível gerar, a partir de resíduos da indústria madeireira, não só vapor (energia térmica para processo), como também energia elétrica. Uma tonelada de resíduos verdes, por exemplo, gera cerca de 2,3 toneladas de vapor a uma pressão de 21 kgf. Esse vapor se fosse todo utilizado na geração de energia elétrica, teria condições de produzir cerca de 370 kWh.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

O presente trabalho de pesquisa foi desenvolvido na empresa Eucatex S.A. Indústria e Comércio, Unidade Aglomerados localizada em Botucatu/SP, na Fazenda São Francisco de Assis, a 25 km do centro urbano, que produz painéis de madeira aglomerada utilizando Prensa contínua.

Nesta indústria foi determinada a quantidade total de resíduos gerados, desde a entrada da matéria-prima na fábrica até o processo final, o poder calorífico dos resíduos e o potencial de utilização destes na geração de energia térmica para o processo industrial. Os dois tipos de resíduos gerados na indústria e que podem ser aproveitados para a geração de energia térmica são casca e pó.

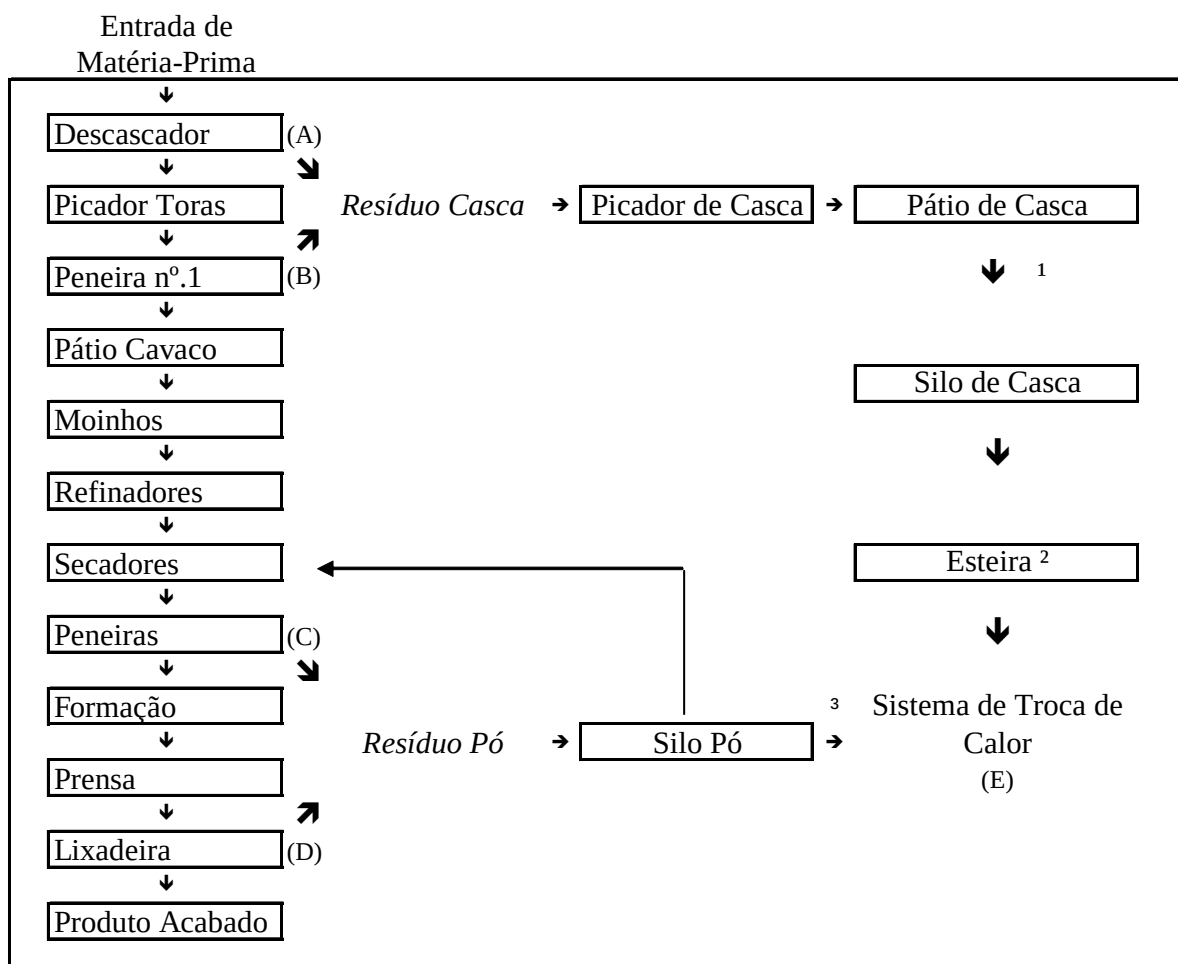
Foi realizada a quantificação de geração de casca por meio de medições diretas de entrada de matéria-prima no processo e saída do resíduo, sendo utilizada a balança rodoviária para a pesagem do material, que se localiza na portaria da indústria. A forma de amostrar os dados para determinação do poder calorífico da casca foi a coleta diária,

3 vezes ao dia, no mês de julho de 2002 e determinada a média mensal. Os dados foram coletados após manutenção realizada na linha de produção.

A quantificação do montante de pó foi feita pela medição direta de entrada de matéria-prima no processo e saída do resíduo, sendo utilizada a balança rodoviária para a pesagem do material, que se localiza na portaria da indústria. Os dados foram coletados após manutenção realizada na linha de produção. A forma de amostrar os dados para determinação do poder calorífico do pó foi a mesma utilizada para a casca. A supervisão da coleta dos dados de casca e de pó foi feita pelo Departamento de Produção da empresa.

A Figura 1 a seguir, mostra os pontos de produção de resíduos durante o processo produtivo desde a entrada da matéria prima até o processamento final da madeira.

Figura 1. Fluxograma do processo produtivo e pontos de produção de resíduos.



¹ Sistema de transporte terceirizado.

² Sistema de transporte da casca.

³ Sistema de transporte via tubulação.

Fonte: Dados da Pesquisa (2004)

Os dados para avaliar o retorno econômico dos investimentos em equipamentos na geração de energia térmica, para aproveitamento dos resíduos da matéria-prima utilizada, foram os custos de aquisição do sistema de aquecimento (equipamentos, projeto, fretes, transporte, obra civil, montagem eletromecânica, hospedagem e alimentação da mão de obra), custo de transporte, custo de mão de obra para remoção dos resíduos, custos de manutenção e custo do cavaco a ser adquirido de terceiros, tecnicamente necessário para ser

misturado aos resíduos, facilitando sua queima nos aquecedores para a geração de energia térmica.

As quantidades em kg dos resíduos casca e pó gerados diariamente no processo foram disponibilizadas pelo Departamento de Produção e Manutenção Mecânica e Elétrica da empresa.

As receitas foram determinadas a partir do custo evitado com o óleo combustível BPF, quando este é substituído por diferentes proporções dos resíduos produzidos durante o processamento da madeira e foram dados por: quantidade em kg utilizado por mês e preço (R\$/kg).

3.2 Métodos

Para descrever os métodos utilizados, este item foi dividido da seguinte forma: a primeira parte trata da descrição e quantificação dos tipos de resíduos gerados e que podem ser aproveitados para a geração de energia térmica, que são a casca e o pó, e a forma de determinação do poder calorífico dos resíduos gerados no processo.

A segunda parte trata da avaliação econômica dos investimentos necessários para o processo de aproveitamento destes resíduos. Para isso, são descritos o sistema de troca de calor existente e as alternativas propostas para a utilização do equipamento adquirido e os tipos de resíduos utilizados em cada caso. A seguir, são discutidos os métodos para a avaliação econômica do investimento necessário para o processamento dos resíduos para a geração de energia térmica, em duas alternativas de uso propostas para o sistema de aquecimento.

3.2.1 Determinação do poder calorífico dos resíduos

A matérias-prima utilizada na produção do aglomerado Eucatex é a madeira do gênero *Eucalyptus grandis*. O transporte de madeira desde o interior da floresta até o pátio de toras é realizado por uma empresa terceirizada.

As toras que são processadas devem ter um tempo de corte entre 120 e 130 dias, pois quando esse período é ultrapassado a perda de umidade da madeira é maior,

causando problemas como risco de incêndio nos secadores e dificuldade de operação no descascamento. Quanto às dimensões das toras utilizadas, o comprimento é de 2,40 – 2,50 m e o diâmetro máximo é de 280 mm.

O descascamento é o primeiro processo ao qual a madeira é submetida. A casca cai direto em um sistema de transporte por esteira até um repicador adaptado para picar casca. Atualmente a casca é amontoada próximo ao pátio de cavacos da indústria, sem utilidade. Verifica-se na figura 1 que os pontos A e B são os locais de geração da casca.

No decorrer do processo produtivo há geração de pó em diversos pontos, nos quais apenas a produção em dois pontos é destinada à queima. Na figura 1 são identificados estes pontos (C e D). Atualmente, 40% do pó é destinado à queima nos secadores, 20% à queima no aquecedor n.º 1 e o restante é vendido a R\$ 6,00/t para queima em olarias.

O poder calorífico é expresso pela quantidade de calor produzida na combustão por unidade de massa deste produto, normalmente em $\text{kcal} \times \text{kg}^{-1}$ e sua determinação pode ser feita por meio de bomba calorimétrica, sendo normatizado pela NBR 8628 (ABNT, 1984).

A determinação consiste em comprimir uma amostra de resíduo na forma de pastilha e proceder a sua ignição em atmosfera com oxigênio por meio do faiscamento de um filamento condutor. No caso das bombas calorimétricas, os produtos resultantes da combustão do resíduo diminuem com a temperatura ambiente e o vapor de água formado se condensa fornecendo calor latente de condensação para a água da bomba. O valor do calor é medido então pelo incremento na temperatura da água (CARACTERIZAÇÃO, 2001).

O conceito de poder calorífico pode ser expresso de duas formas:

a) Poder Calorífico Superior (PCS): resultante do processo de combustão, com produção de cinzas, gases de dióxido de carbono, dióxido de enxofre, nitrogênio e formação de vapor de água condensado;

b) Poder Calorífico Inferior (PCI): considera a produção das mesmas substâncias que na definição do anterior, porém toda água produzida está em estado de vapor.

Em aplicações industriais, como a água não se condensa, ou seja, o vapor de água é perdido para o meio ambiente, deve-se determinar o poder calorífico inferior, pois é o que representa melhor as condições de combustão dos resíduos em aquecedores ou caldeiras industriais.

Ressalta-se que calor latente é a quantidade de calor absorvida pelos corpos na sua mudança de estado, sem que haja aumento aparente de temperatura. O calor latente necessário à fusão ou liquefação varia com a natureza do material. Na passagem do estado líquido ao gasoso, o líquido não muda de temperatura durante sua transformação, e todo calor empregado é absorvido para produzir mudança de estado (COMBUSTÍVEIS, 2004).

Desta forma, o poder calorífico superior da casca e do pó foi determinado segundo norma ABNT NBR 8628 no Laboratório do Departamento de Física e Biofísica do Instituto de Biociências da UNESP de Botucatu/SP e o poder calorífico inferior pela fórmula abaixo:

$$PCI = PCS (1 - U_{bu}) - L_v * U_{bu}$$

Onde:

PCI = poder calorífico inferior (kcal x kg⁻¹)

PCS = poder calorífico superior (kcal x kg⁻¹)

U_{bu} = Umidade base úmida (%)

L_v = Calor Latente de Vaporização da Água (kcal x kg⁻¹)

Os valores obtidos na bomba calorimétrica correspondem ao poder calorífico superior e são ligeiramente superiores aos observados na prática, pelo fato de o calorímetro ser fechado e os produtos da combustão permanecerem enclausurados. Assim, ao se resfriar, o vapor d'água é condensado e libera o calor de vaporização. É importante ressaltar que a energia gerada pelo combustível depende de seu poder calorífico e do teor de umidade.

O poder calorífico da madeira não varia de maneira significativa entre as espécies, mas os resíduos florestais podem apresentar poder calorífico diferente da madeira proveniente de mesma espécie (BAUER, 2001).

A Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais (1980) ressalta que o aspecto que diminui a eficiência da queima dos resíduos de madeira como combustível é o teor de umidade que pode atingir até 100% do peso do resíduo seco. A redução da umidade é

desejável não somente para diminuir os custos de manejo e transporte, mas também para aumentar o valor do resíduo como combustível.

3.2.2 Sistema de Troca de Calor

De forma geral, o sistema de troca de calor é aquele composto por equipamentos, no caso aquecedores, que fornecem energia térmica para o aquecimento do óleo térmico, que é responsável pelo funcionamento da fábrica.

São apresentadas neste capítulo duas propostas de utilização do sistema de troca de calor da indústria para aproveitamento de resíduos, com base na aquisição de um aquecedor cujo combustível será composto exclusivamente de resíduos industriais florestais, em substituição a um dos aquecedores a base exclusiva de óleo BPF, bem como o sistema existente.

3.2.2.1 Sistema de Troca de Calor Existente

Atualmente, a produção de energia térmica na indústria é realizada por meio da operação de três aquecedores (n.ºs 1, 2 e 3) onde os combustíveis utilizados são o óleo BPF (baixo ponto de fluidez tipo 2ª) e o pó, resíduo proveniente do processo produtivo.

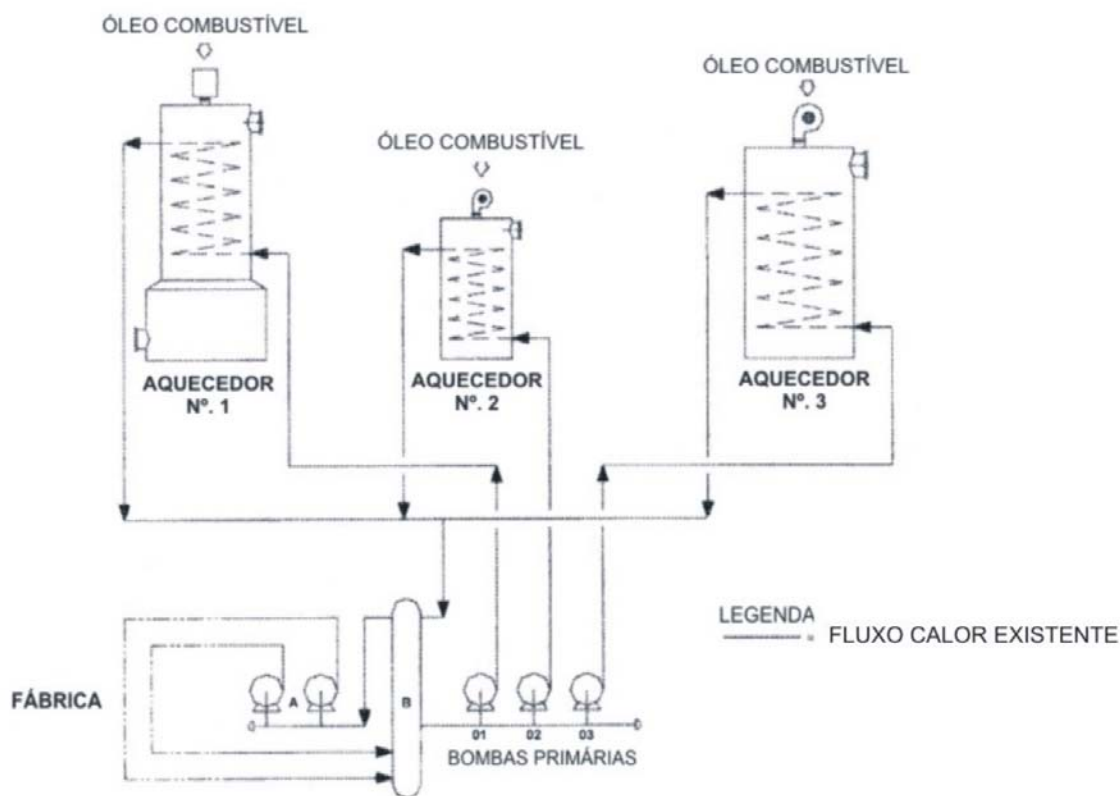
Ressalta-se que apenas o aquecedor n.º 1 comporta a utilização de ambos os combustíveis citados, porém atualmente utiliza somente o pó, com uma eficiência de 70%.

Os aquecedores n.ºs 2 e 3 utilizam como combustível exclusivamente o óleo BPF sendo que o n.º 2 funciona como uma reserva, ou seja, utilizado somente quando um dos outros dois aquecedores (n.º 1 ou 3) sofrem algum dano.

Desta forma, considerando apenas o aquecedor n.º 3, sabe-se que o consumo de óleo combustível BPF é de $420 \text{ kg} \times \text{h}^{-1}$, para geração de $4,20 \times 10^6 \text{ kcal} \times \text{h}^{-1}$, necessária para funcionamento da fábrica. Assim, o aquecedor a ser adquirido deverá proporcionar essa energia para seu uso ser viável.

O esquema deste sistema de troca de calor pode ser visualizado na figura a seguir.

Figura 2. Sistema de Troca de Calor Existente.



Fonte: Dados da Pesquisa (2004)

3.2.2.2 Sistema de Troca de Calor Proposto - Alternativa de uso 1

O objetivo do novo sistema de aquecimento é a substituição do aquecedor n.º 3 movido 100% a óleo combustível BPF, por um movido 100% a resíduos industriais florestais, denominado aquecedor n.º 4. Este aquecedor foi adquirido com o intuito de desativar o aquecedor n.º 3, obtendo-se desta forma uma economia de óleo combustível BPF.

No sistema de troca de calor - alternativa de uso 1 é proposto que apenas os aquecedores n.ºs. 1 e 4 forneçam energia térmica à indústria, mantendo o aquecedor n.º 2 como reserva, sendo utilizado quando um dos outros dois aquecedores sofrerem algum

dano. Desta forma, a alternativa contempla a utilização de resíduos, caracterizando uma matriz de combustível exclusivamente composta por resíduos industriais florestais.

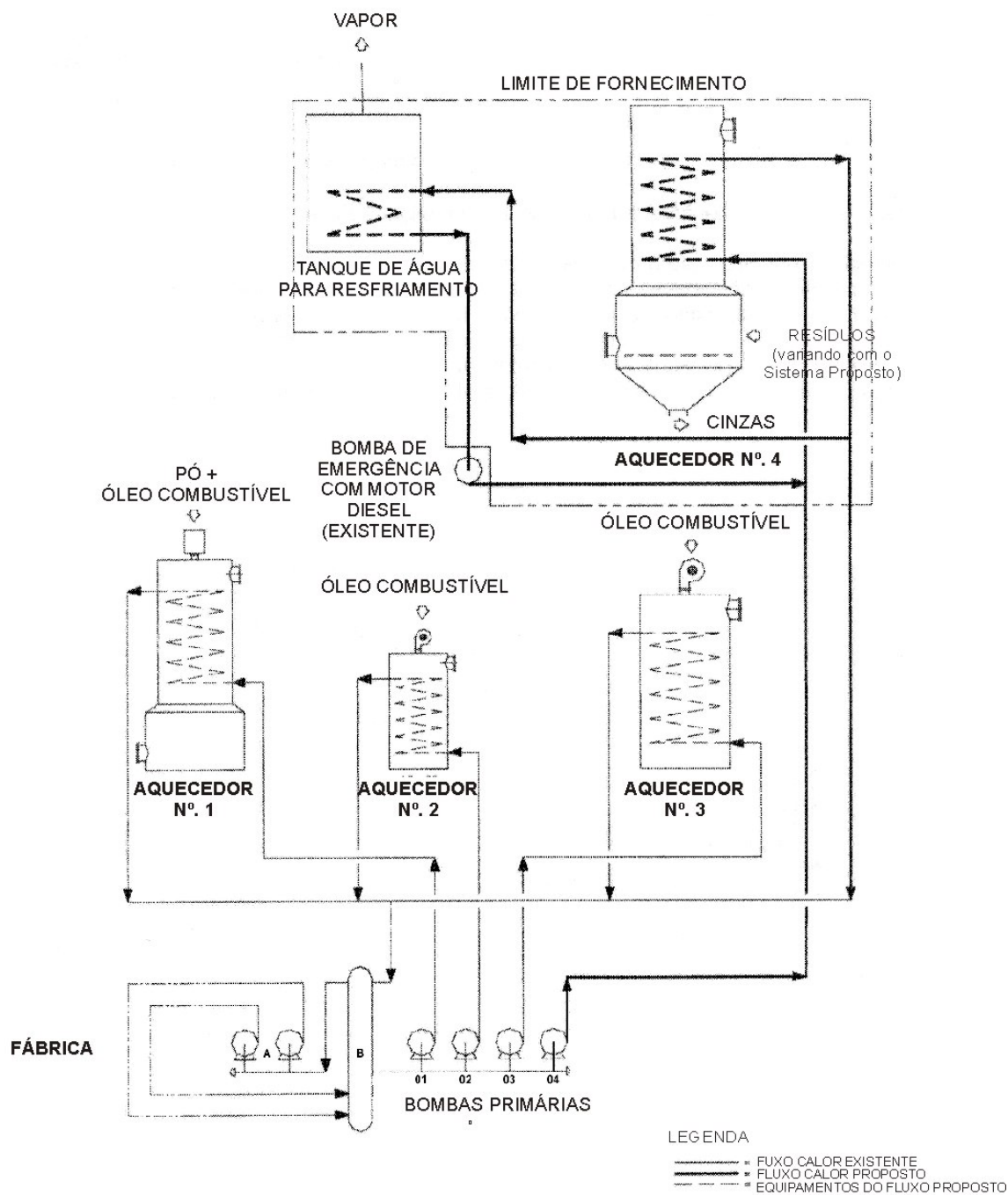
Ressalta-se que os resíduos para funcionamento do equipamento adquirido são 50% de casca e 50% de cavaco de costaneira de pinus, sendo o primeiro gerado na própria indústria e o segundo adquirido de terceiros. O regime de trabalho do aquecedor é de 24 horas por dia, 25 dias por mês, 10 meses por ano. O restante do tempo é realizada a manutenção preventiva e limpeza do equipamento para o uso eficaz.

Faz-se necessária a aquisição do cavaco de costaneira para o funcionamento do sistema proposto, devido à impossibilidade da queima de 100% de casca no sistema, em função do entrelaçamento que se forma.

Na Figura 3 pode-se visualizar o sistema de troca de calor proposto. Ressalta-se que a parte física do sistema será a mesma para as alternativas de uso 1 e 2. O que diferencia é a proporção dos resíduos casca, pó e cavaco utilizados em cada alternativa de uso do sistema de aquecimento.

Na Tabela 1 do Anexo I estão especificados os dados técnicos do aquecedor n.º 4.

Figura 3. Sistema de Troca de Calor Proposto – Alternativas de uso 1 e 2.



Fonte: Dados da Pesquisa (2004)

3.2.2.3 Sistema de Troca de Calor Proposto – Alternativa de uso 2

Esta proposta utiliza o mesmo sistema de troca de calor da alternativa de uso 1 e contempla a utilização de 100% resíduos industriais florestais para geração de energia térmica, propondo-se a utilização, no aquecedor n.º 4, de 30% de energia gerada pela casca, 40% pelo pó e 30% pelo cavaco.

Ressalta-se que os resíduos aqui propostos para funcionamento do equipamento são casca, pó e cavaco, sendo os dois primeiros gerados na indústria em questão e o terceiro adquirido de empresa terceirizada (preço equivalente a R\$ 0,0625/kg).

O regime de trabalho do aquecedor nesta alternativa de uso também é de 24 horas por dia, 25 dias por mês, 10 meses por ano.

3.2.3 Análise de Viabilidade Econômica do Investimento

O estudo da análise econômica tem como objetivo determinar se o projeto é rentável ou não, ou seja, se o capital investido retorna ao investidor. Utilizou-se para tanto, técnicas de análise de viabilidade econômica como: Valor Presente Líquido (VPL) e Taxa Interna e Retorno (TIR), discutidas por Gitman (2002) e Contador (1981) e Barnes (1990) citados por Rodrigues (2001), Relação Benefício/Custo e o Tempo de Retorno do Investimento (Payback Simples e Econômico).

Para determinação dos indicadores de viabilidade econômica foi utilizado prazo de implantação do projeto de 7 meses, com desembolso de 25,0% no primeiro mês e 12,5% por mês até implantação final do projeto, previsão de entrada em operação no sétimo mês e o horizonte temporal do projeto de 5 anos pois é o prazo de vida útil econômica do equipamento.

Para a definição do fluxo de caixa foram determinados os dados de despesa e receita para cada alternativa. As despesas para alternativa de uso 1 são compostas por custo do investimento inicial (equipamento e instalações, projetos, frete, transporte, obra civil, traslado, hospedagem e alimentação da mão de obra), pelo custo do cavaco de costaneira (terceirizado), pelo custo de oportunidade da casca, pelo custo de mão de obra e custo do transporte dos resíduos ao local da queima e pelo custos de manutenção do

equipamento; para alternativa de uso 2, os mesmos itens compõem o indicador despesa, porém a proporção de cavaco de costaneira utilizada é de 30% do total de energia consumida (40% menor que a alternativa de uso 1).

A receita é igual para ambas alternativas, sendo constituída da economia que será obtida pelo óleo combustível BPF, que deixará de ser adquirido.

Os valores de receitas e despesas determinados anteriormente permitem compor o fluxo de caixa, que são os valores em unidades monetárias que refletem as entradas e saídas dos recursos e produtos por unidade de tempo que formam uma proposta de investimento (NORONHA, 1981). Para Martinovich citado por Nogueira (2001), fluxo de caixa é um instrumento gerencial fundamental na tomada de decisões empresariais. Seus objetivos são a coleta e a organização dos dados e o fornecimento de subsídios para análise de desempenho financeiro e para a realização de previsões orçamentárias.

Além disso, um ponto fundamental na análise de investimento é a determinação da taxa de desconto a ser utilizada como parâmetro para avaliação econômica de propostas, que é a chamada Taxa Mínima de Atratividade de Retorno (TMAR).

De acordo com Nogueira (2001), a determinação da TMAR faz parte de uma política a ser formulada pela cúpula administrativa da empresa, onde os aspectos que influenciam esta decisão são: disponibilidade e custos dos recursos, horizonte de planejamento do projeto (curto ou longo prazo), oportunidades estratégicas que o investimento pode oferecer e taxa de juros paga no mercado por grandes bancos ou por títulos governamentais, para o montante de dinheiro envolvido. Entretanto, de uma maneira geral, toma-se como base para a análise de investimento o custo do capital da empresa.

Segundo Gitman (2002), o custo do capital é a taxa de retorno que uma empresa deve obter sobre seus projetos de investimentos para manter seu valor de mercado e atrair fundos.

Neste trabalho, foi considerada uma Taxa Mínima de Atratividade de Retorno de 2% ao mês, pois equivale ao custo de oportunidade do capital, segundo informações fornecidas pelo Departamento Financeiro da empresa analisada.

3.2.3.1 Valor Presente Líquido (VPL)

O Valor Presente Líquido é uma técnica de orçamento de capital obtida pela diferença entre os fluxos de entrada e saída de caixa, descontados a uma taxa igual à do custo de capital da empresa (GITMAN, 2002). Esta técnica identifica, em unidades monetárias, o incremento de riqueza, decorrente da implantação do projeto. Este indicador é dado por:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FDL_t}{(1+i)^t}$$

Onde:

FDL = fluxo de caixa líquido diferencial no período

i = taxa de desconto aplicada por período

n = número de períodos

t = t-ésimo período

O critério para aprovação do investimento está condicionado ao VPL ser maior que zero. Se o VPL for negativo, significa que o retorno do investimento é inferior ao mínimo esperado; portanto, o projeto deve ser rejeitado. No caso de o VPL ser igual a zero, significa que o retorno do projeto é igual à TMAR, ou no caso, ao custo de capital da empresa, o que não torna o projeto atrativo (Nogueira, 2001). Se o VPL for maior que zero, tal investimento deve aumentar o valor de mercado da empresa.

3.2.3.2 Taxa Interna de Retorno (TIR)

Para Nogueira (2001), a Taxa Interna de Retorno (TIR), por definição, é a taxa de desconto que torna uma série de recebimentos e desembolsos equivalentes na data presente. Matematicamente, pode-se dizer que a TIR é a taxa que torna o valor presente líquido igual à zero. Este indicador é dado por:

$$VPL = \sum_{t=0}^n \frac{FDL_t}{(1+i)^t} = 0$$

Onde:

FDL = fluxo de caixa líquido diferencial no período

i = taxa de desconto aplicada por período

n = número de períodos

t = t-ésimo período

Para efeito de seleção entre projetos, os critérios de tomada de decisões são os seguintes: se a TIR for maior do que o custo do capital, projeto é aceitável; se a TIR for menor do que o custo do capital, o projeto não é aceitável. Esses critérios garantem que a empresa consiga pelo menos seu retorno exigido pela TMAR ou pelo custo do capital.

Entretanto, a TIR possui algumas desvantagens, tais como partir da premissa que as taxas de desconto são constantes no tempo. Esta hipótese raramente se verifica na prática, entretanto para efeito de análise, neste estudo será considerada uma taxa constante no tempo, dada a dificuldade de previsão de taxas futuras no horizonte temporal do projeto.

3.2.3.3 Relação Benefício / Custo

Este método invoca a idéia central da análise de investimento, ou seja, verificar se os benefícios são maiores do que os custos.

Há vários modos de representar a razão benefício / custo, dependendo apenas de como se mede cada uma destas variáveis. Uma das alternativas frequentemente usada em projetos é a seguinte:

$$RBC = \sum_{t=0}^n \frac{B_t}{(1+i)^t} / \sum_{t=0}^n \frac{C_t}{(1+i)^t}$$

Onde:

B_t = fluxo de entrada caixa no período, incluindo o investimento inicial.

C_t = fluxo de saída caixa no período

i = taxa de desconto aplicada por período

n = número de períodos

t = t-ésimo período

3.2.3.4 Payback Simples e Econômico

É o número de períodos tal que a somatória do fluxo de caixa diferencial seja igual a zero (Payback Simples). O Payback Econômico é o número de períodos tal que a somatória do fluxo de caixa diferencial descontado a uma taxa igual à do custo de capital da empresa seja igual a zero. É dado por:

$$\text{Payback Simples} = t, \text{ tal que } \sum_{t=0}^n FDL_t = 0$$

$$\text{Payback Econômico} = t, \text{ tal que } \sum_{t=0}^n \frac{FDL_t}{(1+i)^t} = 0$$

Onde:

FDL = fluxo de caixa líquido diferencial no período

i = taxa de desconto aplicada por período

n = número de períodos

t = t-ésimo período

As vantagens do VPL são informar se o projeto de investimento aumentará o valor do capital da empresa e também considerar o valor do dinheiro no tempo. As desvantagens são a necessidade de conhecer i e a resposta ser em valor monetário (é difícil, por exemplo, responder se é melhor investir R\$ 100,00 para um VPL de R\$ 5,00 ou investir R\$ 10,00 para um VPL de R\$ 3,00).

Em base puramente teórica, VPL é a melhor abordagem para o orçamento de capital, pois este presume implicitamente que quaisquer fluxos de entrada de caixa gerados por um investimento são reinvestidos ao custo de capital da empresa (GITMAN, 2002).

Com relação a TIR, a vantagem é ser uma taxa de retorno em vez de retorno em unidades monetárias reais e a desvantagem é partir da premissa que as taxas de desconto são constantes no tempo (hipótese que raramente se verifica na prática).

A vantagem do indicador de viabilidade econômica Relação Benefício/Custo é de ser de interpretação relativamente fácil em comparação a outros indicadores e a desvantagem é a insensibilidade a duração do projeto.

Para o indicador Payback, as vantagens são facilidade de cálculo e considerar os fluxos de caixa ao invés do lucro. As desvantagens são a necessidade de se estabelecer um período máximo aceitável, não considerar os fluxos de caixa após o período de payback (período de recuperação do investimento) e não ser aplicado quando o fluxo de caixa não é convencional.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo foi dividido em dois itens: o primeiro mostra a quantificação e o poder calorífico dos resíduos casca e pó, bem como a economia de energia térmica e a economia monetária a partir da substituição do óleo BPF pelos resíduos. O segundo item trata da avaliação econômica de viabilidade do investimento.

4.1 Determinação da quantificação e poder calorífico dos resíduos casca e pó

4.1.1 Casca

As medições diretas de entrada de matéria-prima no processo e saída do resíduo permitiram quantificar o volume de casca dos pontos A (Descascador) e B (Peneira nº. 1) (Figura 1). Para a determinação deste volume, levou-se em consideração que a indústria produz 1.000 m³ de chapa de madeira diariamente. Com base na coleta diária realizada no mês de julho de 2002, verificou-se que são gerados, em média, 1.800 kg x h⁻¹ de casca, como mostra a Tabela 2 a seguir.

Tabela 2. Quantificação do volume de casca gerado ($\text{kg} \times \text{h}^{-1}$) na indústria.

Local	Volume de Casca Gerado ($\text{kg} \times \text{h}^{-1}$)	%
Ponto A	1.710,00	95,0
Ponto B	90,00	5,0
Total	1.800,00	100,0

Fonte: Dados da pesquisa (2004)

A partir das amostras coletadas de casca, determinou-se o poder calorífico superior (PCS), que foi de $3.800 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1}$, em média.

Como citado anteriormente, em aplicações industriais, o vapor de água é perdido para o meio ambiente, sendo necessário determinar o poder calorífico inferior (PCI), que é o que representa melhor as condições de combustão dos resíduos em aquecedores ou caldeiras industriais.

Considerando-se 60% de umidade na base úmida, verificou-se que o PCI da casca é de $1.190 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1}$. O poder calorífico do óleo combustível BPF tipo 1 A, utilizado atualmente, é $10.000 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1}$.

Assim, verifica-se que o potencial calorífico na produção de casca, isoladamente, é de $2,14 \times 10^6 \text{ kcal} \times \text{h}^{-1}$, o que corresponde a $1,29 \times 10^9 \text{ kcal} \times \text{mês}^{-1}$, pois o aquecedor está previsto para trabalhar 24 horas por dia e 25 dias por mês. Tendo em vista que o consumo de óleo BFP é de $252 \text{ t} \times \text{mês}^{-1}$, o que equivale a um poder calorífico de $2,52 \times 10^9 \text{ kcal} \times \text{mês}^{-1}$, verifica-se que a produção de casca por mês é equivalente a 51,0% do poder calorífico, comparando-se com a utilização mensal de óleo BPF.

4.1.2 Pó do processo

A geração de resíduo pó é encontrada nos pontos C (Peneiras) e D (Lixadeira) (Figura 1). Considerando-se que a indústria produz 1.000 m^3 de chapa de madeira diariamente, verificou-se que são gerados $850 \text{ kg} \times \text{h}^{-1}$ no Ponto C (Peneiras) e $2.850 \text{ kg} \times \text{h}^{-1}$ no ponto D (Lixadeira), como mostra a tabela a seguir.

Tabela 3. Quantificação do volume de pó gerado ($\text{kg} \times \text{h}^{-1}$) na indústria.

Local	Volume de Pó Gerado ($\text{kg} \times \text{h}^{-1}$)	%
Ponto C	850,00	23,0
Ponto D	2.850,00	77,0
Total	3.700,00	100,0

Fonte: Dados da pesquisa (2004)

Atualmente na empresa, 40% ($1.480 \text{ kg} \times \text{h}^{-1}$) do pó é destinado à queima nos secadores, 20% ($740 \text{ kg} \times \text{h}^{-1}$) à queima no aquecedor n.º 1 e o restante ($1.480 \text{ kg} \times \text{h}^{-1}$) é vendido para queima em olarias, ao preço de R\$ 6,00/t

A determinação do poder calorífico superior (PCS) mostra que o pó apresenta $3.960 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1}$, em média. O poder calorífico inferior (PCI), que é o que representa melhor as condições de combustão dos resíduos em aquecedores ou caldeiras industriais, foi de $3.510 \text{ kcal} \times \text{kg}^{-1}$, considerando 10% de umidade na base úmida.

Assim, verifica-se que o potencial calorífico na produção de pó, isoladamente, é de $12,99 \times 10^6 \text{ kcal} \times \text{h}^{-1}$, o que corresponde a $7,79 \times 10^9 \text{ kcal} \times \text{mês}^{-1}$, pois o aquecedor está previsto para trabalhar 24 horas por dia e 25 dias por mês. Tendo em vista que o consumo de óleo BPF é de $252 \text{ t} \times \text{mês}^{-1}$, o que equivale a um poder calorífico de $2,52 \times 10^9 \text{ kcal} \times \text{mês}^{-1}$, verifica-se que a produção de pó por mês é equivalente a 309,2% do poder calorífico comparando-se com a utilização mensal de óleo BPF. A produção do resíduo pó, em termos caloríficos, é maior que a necessidade do óleo combustível por mês.

A tabela a seguir mostra o volume produzido de resíduos e a equivalência calórica em relação ao óleo BPF.

Tabela 4. Poder calorífico dos resíduos gerados na indústria e o equivalente em óleo BPF.

Resíduo	Volume Produzido ($\text{kg} \times \text{h}^{-1}$)	PCS ($\text{kcal} \times \text{kg}^{-1}$)	PCI ($\text{kcal} \times \text{kg}^{-1}$)	Equivalente em óleo BPF	
				($\text{kcal} \times \text{kg}^{-1}$)	($\text{kg} \times \text{h}^{-1}$)
Casca	1.800,00	3.800	1.190	8,40	3.528,00
Pó	3.700,00	3.960	3.510	2,85	1.197,00

Fonte: Dados da pesquisa (2004)

O total de resíduos (casca e pó) perfazem uma produção mensal de 5.500 kg, o que equivale em termos caloríficos a $9,08 \times 10^9$ kcal x mês⁻¹. Tendo em vista que o equipamento analisado utiliza $2,52 \times 10^9$ kcal x mês⁻¹ em óleo BPF e a produção total de resíduos equivale a $9,08 \times 10^9$ kcal x mês⁻¹, conclui-se que os resíduos produzidos na empresa são quantitativamente suficientes para abastecer o aquecedor de base combustível composto exclusivamente por resíduos industriais florestais.

Ressalta-se que o poder calorífico do cavaco de costaneira foi fornecido pela empresa terceirizada, sendo equivalente a 10.000 kcal/kg.

4.2 Avaliação dos resultados econômicos

Os dados obtidos pela avaliação dos resultados econômicos são apresentados a seguir. Inicialmente são descritos os investimentos necessários para a implementação do processo de aproveitamento de energia, para as duas alternativas propostas, descritas no capítulo anterior. São descritos ainda os resultados referentes à elaboração dos fluxos de caixa e os indicadores econômicos obtidos.

O volume de investimentos discriminando os itens e o valor monetário são apresentados na Tabela 5. É importante ressaltar que os investimentos necessários para a implementação de qualquer uma das alternativas de uso são os mesmos.

Tabela 5. Investimentos necessários para implantação do projeto.

Equipamento	Valor R\$
01 aquecedor com fornalha metálica, pertences e acessórios para queima de biomassa.	425.000,00
Tululação, materiais elétricos e isolamento térmico.	225.000,00
Projeto, fretes, transporte, obra civil, montagem eletromecânica, traslado, hospedagem e alimentação da mão de obra.	150.000,00
TOTAL	800.000,00

Fonte: Dados da pesquisa (2004)

Para a elaboração do fluxo de caixa, foram determinados os custos operacionais e as receitas mensais em cada uma das alternativas de uso do equipamento.

Na alternativa de uso 1, as despesas (ou fluxos de saída) são compostas pelo custo do investimento inicial (equipamento e instalações, projetos, frete, transporte, obra civil, traslado, hospedagem e alimentação da mão de obra), conforme descrito na Tabela 5, pelo custo de aquisição do cavaco de costaneira, pelo custo de oportunidade da casca, pelo custo de mão de obra e custo de transporte dos resíduos ao local da queima e pelos custos de manutenção do equipamento.

Na alternativa de uso 1, o combustível necessário para funcionamento do equipamento adquirido é composto por 50% de casca e 50% de cavaco de costaneira, sendo o primeiro gerado na própria indústria e o segundo adquirido de terceiros (R\$ 0,0625/kg), sendo este valor firmado por meio de contrato anual com o fornecedor.

O aquecedor n.º 4 para funcionar demanda $4,2 \times 10^6$ kcal x h⁻¹ sendo que 50% deste total é fornecido pelo cavaco de costaneira ($2,1 \times 10^6$ kcal x h⁻¹), o que equivale a 1.050 kg x h⁻¹ e, portanto, são necessárias 630 t x mês⁻¹, que ao preço de R\$ 62,5/t implica em um custo mensal de R\$ 39.375,00.

Tendo em vista que a casca não tem aproveitamento nem mercado disponível e é disposta a céu aberto para decomposição, o custo de oportunidade deste material foi considerado zero.

Para a remoção dos resíduos dos pátios destinados à queima, contratou-se quatro funcionários com salário mensal de R\$ 625,00, que somado aos encargos totalizam R\$ 5.000,00 por mês. O transporte dos resíduos dos pátios ao local de queima é de R\$ 10.000,00 por mês, sendo este firmado por meio de contrato anual com empresa terceirizada.

Considera-se que o custo de manutenção equivale a 1% do valor do investimento inicial por ano, sendo este valor distribuído igualmente durante o ano.

Será considerada a receita dos investimentos realizados na indústria a economia de energia gerada pela alteração do processo produtivo com vistas à substituição de um insumo adquirido externamente, por um resíduo industrial que é produzido internamente ao processo de produção.

Pelo sistema de aquecimento existente com utilização de óleo BPF, são necessários $420 \text{ kg} \times \text{h}^{-1}$ para gerar $4,2 \times 10^6 \text{ kcal} \times \text{h}^{-1}$ que é a necessidade de energia do aquecedor com a utilização do insumo e, portanto de 252 t de óleo por mês. Tendo em vista que a eficiência do aquecedor n.º 4 é de 70%, com a utilização dos resíduos propostos nas alternativas de uso 1 e 2, é gerada uma receita mensal de R\$ 209.160,00 em economia na aquisição do óleo BPF tendo conhecimento que o preço deste insumo é de R\$ 0,83/kg.

Na alternativa de uso 2, o combustível necessário para funcionamento do equipamento adquirido é composto por 30% de energia gerado pela casca, 30% gerado pelo cavaco de costaneira e 40% pelo pó. Assim, a diferença com relação à alternativa de uso 1 refere-se à proporção de cavaco de costaneira, sendo que os demais custos são iguais à alternativa de uso 1.

Para colocar o equipamento em funcionamento, são necessários $630 \text{ kg} \times \text{h}^{-1}$ de cavaco, fornecendo $1,26 \times 10^6 \text{ kcal} \times \text{h}^{-1}$, $1.058 \text{ kg} \times \text{h}^{-1}$ de casca fornecendo $1,26 \times 10^6 \text{ kcal} \times \text{h}^{-1}$ e $550 \text{ kg} \times \text{h}^{-1}$ do resíduo pó, $1,68 \times 10^6 \text{ kcal} \times \text{h}^{-1}$, somando $4,2 \times 10^6 \text{ kcal} \times \text{h}^{-1}$, que é o que atualmente é produzido pelo óleo BPF no aquecedor n.º 3, que se pretende substituir. A eficiência do aquecedor n.º 4 é de 70%, sendo fornecida a quantia de $4,2 \times 10^6 \text{ kcal} \times \text{h}^{-1}$ e aproveitamento de $3,0 \times 10^6 \text{ kcal} \times \text{h}^{-1}$.

A partir destas necessidades de insumos energéticos, os custos para esta alternativa são 630 kg de cavaco de costaneira a R\$ 62,50/t resultando em R\$ 23.625,00 por mês e 550 kg de pó a um custo de oportunidade de R\$ 6,00/t resultando em R\$ 1.980,00 por mês.

A receita mensal é a mesma determinada para a alternativa de uso 1.

A taxa mensal utilizada no fluxo de caixa é de 2,0% ao mês, que é a Taxa Mínima de Atratividade de Retorno definida pela empresa.

A partir dos dados obtidos foram determinados os fluxos de caixa para as alternativas de uso 1 e 2 que são mostrados nas Tabelas 6 e 7, respectivamente.

Tabela 6. Fluxo de Caixa da Alternativa de Uso 1.

Período (mês)	Investimento Incial (R\$)	Despesa Operacional (R\$)	Receita Operacional (R\$)	FDL R\$
0	-200.000,00	0,00	0,00	-200.000,00
1	-100.000,00	0,00	0,00	-100.000,00
2	-100.000,00	0,00	0,00	-100.000,00
3	-100.000,00	0,00	0,00	-100.000,00
4	-100.000,00	0,00	0,00	-100.000,00
5	-100.000,00	0,00	0,00	-100.000,00
6	-100.000,00	0,00	0,00	-100.000,00
7	0,00	-55.041,67	209.160,00	154.118,33
8	0,00	-55.041,67	209.160,00	154.118,33
9	0,00	-55.041,67	209.160,00	154.118,33
10	0,00	-55.041,67	209.160,00	154.118,33
11	0,00	-55.041,67	209.160,00	154.118,33
12	0,00	-55.041,67	209.160,00	154.118,33
13	0,00	-55.041,67	209.160,00	154.118,33
:	:	:	:	:
60	0,00	-55.041,67	209.160,00	154.118,33

Fonte: Dados da pesquisa (2004)

Tabela 7. Fluxo de Caixa da Alternativa de Uso 2.

Período (mês)	Investimento Incial (R\$)	Despesa Operacional (R\$)	Receita Operacional (R\$)	FDL R\$
0	-200.000,00	0,00	0,00	-200.000,00
1	-100.000,00	0,00	0,00	-100.000,00
2	-100.000,00	0,00	0,00	-100.000,00
3	-100.000,00	0,00	0,00	-100.000,00
4	-100.000,00	0,00	0,00	-100.000,00
5	-100.000,00	0,00	0,00	-100.000,00
6	-100.000,00	0,00	0,00	-100.000,00
7	0,00	-41.271,67	209.160,00	167.888,33
8	0,00	-41.271,67	209.160,00	167.888,33
9	0,00	-41.271,67	209.160,00	167.888,33
10	0,00	-41.271,67	209.160,00	167.888,33
11	0,00	-41.271,67	209.160,00	167.888,33
12	0,00	-41.271,67	209.160,00	167.888,33
13	0,00	-41.271,67	209.160,00	167.888,33
:	:	:	:	:
60	0,00	-41.271,67	209.160,00	167.888,33

Fonte: Dados da pesquisa (2004)

Os resultados dos indicadores de viabilidade econômica são mostrados na tabela 8. A viabilidade econômica de cada uma das alternativas foi analisada pelos indicadores Valor Presente Líquido (VPL), Taxa Interna de Retorno (TIR), Relação Benefício Custo (RBC), Payback Simples e Econômico, considerando o fluxo de caixa de 60 meses ou 5 anos.

Estes resultados referem-se à hipótese de implementação do projeto custeado com 100% de capital próprio, considerando um custo de oportunidade do capital de 2,00% ao mês, segundo informações do Departamento Financeiro e cujo Fluxo Diferencial Líquido foi apresentado nas Tabela 6 e 7.

Tabela 8. Resultado dos indicadores de viabilidade econômica.

Alternativa de Uso	Indicadores Econômicos				
	VPL	TIR	RBC	Payback Simples	Payback Econômico
1	R\$ 3.733.863,54	11,95%	2,58	12 meses	12 meses
2	R\$ 4.135.389,25	12,79%	3,11	11 meses	12 meses

Fonte: Dados da pesquisa (2004)

Para a alternativa de uso 1, o valor do VPL foi R\$ 3.733.863,54 e para a alternativa de uso 2, R\$ 4.135.389,25, indicando que sem o uso de óleo BPF, o retorno econômico é superior, tendo em vista que a alternativa 2 utiliza 70% dos resíduos produzidos na própria empresa para a geração de energia térmica.

Embora tanto o pó quanto a casca tenham menor poder calorífico que o óleo BPF, é tecnicamente possível substituí-lo. Mesmo com a aquisição do cavaco e a perda de receita do pó, o custo total destes insumos é menor que o do óleo BPF, o que explica os melhores indicadores para a alternativa 2 que é a mais atrativa do ponto de vista econômico.

Alguns trabalhos têm mostrado que a utilização de biomassa não é economicamente viável, entretanto a maioria destes trabalhos refere-se à cogeração de energia, seja para venda ou para autoconsumo, como o de Pereira Jr. (2001). Assim, outras variáveis afetam a rentabilidade dos projetos que visam a cogeração, notadamente o preço da energia e os investimentos necessários (subestação e linhas de transmissão), que tornam estes projetos pouco rentáveis.

É importante ressaltar que este estudo difere dos estudos de cogeração, pois a finalidade deste investimento não visa à venda de energia cogorada e sim o aproveitamento de resíduos para a utilização direta em geração de energia térmica.

Outra vantagem deste tipo de processo, embora não tenha sido analisada neste estudo, são as vantagens ambientais, uma vez que há minimização dos problemas ambientais decorrentes da disposição destes resíduos, que ao serem queimados geram problemas de poluição do ar.

Outra análise refere-se à possibilidade de financiar parte deste investimento, que equivale a 50% do custo do investimento inicial, R\$ 400.000,00, à Taxa de Juros de Longo Prazo (TJLP) que é 8,75% ao ano ou 0,7% ao mês. O período de

financiamento foi de 2 anos, com 1 ano de carência, ou seja, início do pagamento no mês 13 e o método de pagamento dos investimentos foi o de Sistema de Amortização Constante (SAC).

Neste sentido seguem os fluxos de caixa determinados para cada alternativa de uso proposto nas Tabelas 9 e 10, respectivamente.

Tabela 9. Fluxo de Caixa da Alternativa de Uso 1, com financiamento.

Período (mês)	Investimento Inicial (R\$)	Pagamento Investimento (R\$)	Juros + Amortização (R\$)	Despesa Operacional (R\$)	Receita Operacional (R\$)	Fluxo Caixa R\$
0	-100.000,00	0,00		0,00	0,00	-100.000,00
1	-50.000,00	0,00		0,00	0,00	-50.000,00
2	-50.000,00	0,00		0,00	0,00	-50.000,00
3	-50.000,00	0,00		0,00	0,00	-50.000,00
4	-50.000,00	0,00		0,00	0,00	-50.000,00
5	-50.000,00	0,00		0,00	0,00	-50.000,00
6	-50.000,00	0,00		0,00	0,00	-50.000,00
7	0,00	0,00		-55.041,67	209.160,00	154.118,33
8	0,00	0,00		-55.041,67	209.160,00	154.118,33
9	0,00	0,00		-55.041,67	209.160,00	154.118,33
10	0,00	0,00		-55.041,67	209.160,00	154.118,33
11	0,00	0,00		-55.041,67	209.160,00	154.118,33
12	0,00	0,00		-55.041,67	209.160,00	154.118,33
13	0,00	-28.000,00	-16.666,00	-55.041,67	209.160,00	109.452,33
14	0,00	-26.833,38	-16.666,00	-55.041,67	209.160,00	110.618,95
15	0,00	-25.666,76	-16.666,00	-55.041,67	209.160,00	111.785,57
16	0,00	-25.550,15	-16.666,00	-55.041,67	209.160,00	111.902,18
17	0,00	-23.333,52	-16.666,00	-55.041,67	209.160,00	114.118,81
18	0,00	-22.166,90	-16.666,00	-55.041,67	209.160,00	115.285,43
19	0,00	-21.900,29	-16.666,00	-55.041,67	209.160,00	115.552,04
20	0,00	-19.833,66	-16.666,00	-55.041,67	209.160,00	117.618,67
21	0,00	-18.667,04	-16.666,00	-55.041,67	209.160,00	118.785,29
22	0,00	-17.500,42	-16.666,00	-55.041,67	209.160,00	119.951,91
23	0,00	-16.333,80	-16.666,00	-55.041,67	209.160,00	121.118,53
24	0,00	-15.817,20	-16.666,00	-55.041,67	209.160,00	121.635,13
25	0,00	0,00	0,00	-55.041,67	209.160,00	154.118,33
26	0,00	0,00	0,00	-55.041,67	209.160,00	154.118,33
:	:	:	:	:	:	:
60	0,00	0,00	0,00	-55.041,67	209.160,00	154.118,33

Fonte: Dados da pesquisa (2004)

Tabela 10. Fluxo de Caixa da Alternativa de Uso 2, com financiamento.

Período (mês)	Investimento Inicial (R\$)	Pagamento Investimento (R\$)	Juros + Amortização (R\$)	Despesa Operacional (R\$)	Receita Operacional (R\$)	Fluxo Caixa R\$
0	-100.000,00	0,00		0,00	0,00	-100.000,00
1	-50.000,00	0,00		0,00	0,00	-50.000,00
2	-50.000,00	0,00		0,00	0,00	-50.000,00
3	-50.000,00	0,00		0,00	0,00	-50.000,00
4	-50.000,00	0,00		0,00	0,00	-50.000,00
5	-50.000,00	0,00		0,00	0,00	-50.000,00
6	-50.000,00	0,00		0,00	0,00	-50.000,00
7	0,00	0,00		-41.271,67	209.160,00	167.888,33
8	0,00	0,00		-41.271,67	209.160,00	167.888,33
9	0,00	0,00		-41.271,67	209.160,00	167.888,33
10	0,00	0,00		-41.271,67	209.160,00	167.888,33
11	0,00	0,00		-41.271,67	209.160,00	167.888,33
12	0,00	0,00		-41.271,67	209.160,00	167.888,33
13	0,00	-28.000,00	-16.666,00	-41.271,67	209.160,00	123.222,33
14	0,00	-26.833,38	-16.666,00	-41.271,67	209.160,00	124.388,95
15	0,00	-25.666,76	-16.666,00	-41.271,67	209.160,00	125.555,57
16	0,00	-25.550,15	-16.666,00	-41.271,67	209.160,00	125.672,18
17	0,00	-23.333,52	-16.666,00	-41.271,67	209.160,00	127.888,81
18	0,00	-22.166,90	-16.666,00	-41.271,67	209.160,00	129.055,43
19	0,00	-21.900,29	-16.666,00	-41.271,67	209.160,00	129.322,04
20	0,00	-19.833,66	-16.666,00	-41.271,67	209.160,00	131.388,67
21	0,00	-18.667,04	-16.666,00	-41.271,67	209.160,00	132.555,29
22	0,00	-17.500,42	-16.666,00	-41.271,67	209.160,00	133.721,91
23	0,00	-16.333,80	-16.666,00	-41.271,67	209.160,00	134.888,53
24	0,00	-15.817,20	-16.666,00	-41.271,67	209.160,00	135.405,13
25	0,00	0,00	0,00	-41.271,67	209.160,00	167.888,33
26	0,00	0,00	0,00	-41.271,67	209.160,00	167.888,33
:	:	:	:	:	:	:
60	0,00	0,00	0,00	-41.271,67	209.160,00	167.888,33

Fonte: Dados da pesquisa (2004)

Os resultados dos indicadores de viabilidade econômica são mostrados na Tabela 11.

Tabela 11. Resultado dos indicadores de viabilidade econômica.

Alternativa de Uso	Indicadores Econômicos				
	VPL	TIR	RBC	Payback Simples	Payback Econômico
1	R\$ 5.827.487,13	18,42%	3,07	9 meses	9 meses
2	R\$ 6.419.599,48	19,57%	3,85	9 meses	9 meses

Fonte: Dados da pesquisa (2004)

Pode-se verificar que os resultados assemelham-se às condições de implantação do projeto com capital próprio, ou seja, os resultados econômicos para a alternativa de uso 2 são mais atrativos economicamente que a alternativa de uso 1, pelas mesmas razões explicitadas anteriormente.

Como era de se esperar, o financiamento dos investimentos no processo produtivo apresentou melhores resultados econômicos que a alternativa sem financiamento. Para a alternativa de uso 1, o valor do VPL foi R\$ 5.827.487,13 e para a alternativa de uso 2, R\$ 6.419.599,48. Quanto a TIR, tem-se o valor de 18,42% para alternativa de uso 1, inferior à alternativa de uso 2, que foi de 19,57%.

Também a relação Benefício/Custo para a alternativa de uso 1 resultou em 3,07, inferior à alternativa de uso 2, que foi de 3,85. O retorno sobre o investimento é menor que as condições sem financiamento, ou seja, é de 9 meses para as alternativas de uso 1 e 2.

Estes resultados apontam para a economicidade do aproveitamento dos resíduos a partir da biomassa para a geração de energia térmica a ser aproveitada no processo produtivo, nas condições apresentadas neste estudo.

Embora não se possa extrapolar estes resultados para outros sistemas produtivos e outros tipos de biomassa, é possível que sistemas de aproveitamento de biomassa cuja destinação final não apresente mercado disponível ou regular, ou seja, que apresente custos de oportunidade próximos de zero, seja uma alternativa interessante do ponto de vista econômico, no sentido de racionalizar a utilização de insumos energéticos.

Os resultados apontam também para a influência do financiamento nos resultados econômicos do projeto. Embora demandem um elevado investimento inicial, o tempo de retorno, montante e taxas de retorno apresentam resultados favoráveis ao investidor, dada a economia energética e monetária que geram.

Do ponto de vista do poder público, a abertura de linhas de crédito que facilitem a implantação de sistemas produtivos e que racionalizem o uso de energia pode trazer benefícios tanto do ponto de vista privado quanto social, dadas às vantagens quanto à redução de contaminantes decorrentes da disposição de resíduos no meio ambiente.

5 CONCLUSÕES

Verificou-se que nas condições analisadas neste estudo, o montante de energia disponível em forma de resíduos (casca e pó de madeira) produzidos durante o processo produtivo para queima no aquecedor adquirido para o aproveitamento de resíduos de biomassa é superior à quantidade adquirida em óleo combustível BPF, para a geração da mesma quantidade de energia, sendo possível à implementação de uma matriz de combustível exclusivamente composta por biomassa de madeira.

Portanto, do ponto de vista energético, o processo de aproveitamento de biomassa decorrente da geração de casca e pó é viável, pois a quantidade de calor decorrente da queima de resíduos produzidos na indústria excede o necessário para gerar energia térmica a partir do BPF, anteriormente utilizado.

Do ponto de vista econômico, utilizando os indicadores de viabilidade Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, Relação Benefício/Custo e Payback, conclui-se que os investimentos para a geração de energia térmica utilizando diferentes proporções de resíduos industriais são economicamente viáveis, sendo que a alternativa que utiliza 70% da energia proveniente de resíduos da empresa apresentou os melhores resultados. Isto se deve principalmente aos preços de mercado do óleo BPF, que é substituído por resíduos

sem alternativas de uso atrativas, pois, em geral, os resíduos são comercializados a preços relativamente baixos, ou simplesmente dispostos a céu aberto.

Por esta razão, a alternativa que utiliza maior proporção de casca e pó em relação ao cavaco, que é a alternativa de uso 2 (combustível composto por 30% de energia gerada pela casca, 30% pelo cavaco e 40% pelo pó), é mais vantajosa que a 1 (combustível composto por 50% de casca e 50% de cavaco), tanto sob o aspecto econômico quanto o técnico, já que a primeira utiliza dois resíduos gerados na indústria, conseqüentemente uma menor quantia da cavaco adquirida de terceiros. Além disso, outra vantagem desta alternativa é apresentar menor dependência de um insumo adquirido no mercado.

Quanto ao óleo BPF, a eliminação ou minimização de seu uso significa economia de custos de aquisição de insumos e, do ponto de vista ambiental, menor nível de emissão de poluentes.

O financiamento deste sistema pode tornar mais atrativo e portanto incentivar o desenvolvimento de tecnologias e processos produtivos que visem o aproveitamento da biomassa, não só pela economia energética e econômica, mas também pela diminuição de problemas logísticos decorrentes das dificuldades de disposição de resíduos.

É importante destacar que os resultados apresentados são determinísticos, sendo interessante inserir outras possibilidades de análise como variações nos indicadores econômicos, como preços de óleo BPF, variações de preços ou do custo de oportunidade de resíduos e custo de capital e variáveis técnicas como teor de umidade e proporção dos resíduos.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

A SOBRA que vale ouro. **Revista Referência Madeira**, Curitiba, n. 25, Ago. 2003.

Disponível em: <<http://revistareferencia.com.br>>. Acesso em: 15 out. 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8628**: Carvão mineral: determinação do poder calorífico superior e do poder calorífico inferior. Rio de Janeiro, 1984.

ALLEN, J. et al. Logistics management and costs of biomass fuel supply. **International Journal of Physical**, Reino Unido, v.28, n.6, p. 463-477, 1998.

ANDRADE, A. M.; ANDRADE, C. M. M.; BODINAUD, J. A. Biomass energy use in Latin America: focus on Brazil. In: WORKSHOP BIOMASS ENERGY: DATA, ANALYSIS AND TRENDS, 1998, Paris.

ALEMANHA investe em usina de biomassa. **Portal Nacional da Madeira**. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 12 ago. 2003.

AYALA, K .M.; VIERA, D.V.; DUPUY, M. A. G. Experiencia del aprovechamiento de los residuos en un aserrio. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2002. p. 118.

BAUER, S. R. T. **Resíduos da exploração florestal de *Eucalyptus grandis* Hill Ex Maiden para geração de energia elétrica**. 2001. 54 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

BELLOTE, A. F J. et al. Utilização de resíduos da produção de celulose. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano 13, n. 77, p. 130-132, out. 2003.

BENECKE completa 50 anos. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano 13, n. 77, out. 2003. Nota.

BERNDES, G. B.; HOOGWIJK, M.; BROEK, R. V. D. The contribution of biomass in the future global energy supply: a review of 17 studies. **Biomass and Bioenergy**, n. 25, p. 1-28, 2003.

BINI, A. **Viabilidade econômica da substituição de equipamento gerador de energia elétrica derivada da biomassa, em indústria de processamento de cana**. 1998. 109 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1998.

BIOMASS power energy. Disponível em:

<http://www.enecho.meti.go.jp/english/energy/new_energy/biomass.html>. Acesso em: 27 fev. 2004.

BIOMASSA: a energia alternativa. **Revista Eletrônica do Departamento de Química – UFSC**. Disponível em: <<http://quark.qmc.ufsc.br/qmcweb/artigos/biomassa.html>>. Acesso em: 18 jun. 2004.

BONDUELLE, G. M.; CHIES, D.; MARTINS, D. G. O processo de fabricação de painéis compensados no Estado do Paraná analisado por meio dos rendimentos e dos resíduos gerados. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2002. p. 124.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Caracterização Tecnológica de Carvões Minerais. Disponível em: <http://www.mct.gov.br/clima/comunic_old/car12_02.htm>. Acesso em: 9 mar. 2004.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanço energético nacional**. Brasília, 2003.

CARIOCA, J. O. B.; ARORA, H. L. **Biomassa**: fundamentos e aplicações tecnológicas. [S.l.]: 1984. 644 p.

CARVALHO, S. M. R. **Balanço energético e potencial de produção de biogás em granja de postura comercial, na região de Marília, SP**. 1999. 89 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

CHINA consome 190 milhões de m³ de madeira para gerar energia. **Portal Nacional da Madeira**. Disponível em: <<http://www.remade.com.br>>. Acesso em: 10 nov. 2003.

COELHO, S. T. **Mecanismos para implementação da cogeração de eletricidade a partir de biomassa**: um modelo para o Estado de São Paulo. 1999. 278 f. Tese (Doutorado em Energia) – Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

COELHO, S. T. A biomassa como fonte de energia na região sul. **Informativo CENBIO Notícias**, São Paulo, ano 3, n. 10, p. 2, 2000.

COELHO, S. T. País busca saídas para o fornecimento de energia na Amazônia. **Informativo CENBIO Notícias**, São Paulo, n. 14, p. 2, 2002. (Edição especial Ulianópolis).

COMBUSTÍVEIS. Disponível em: <<http://www.consulteme.com.br/2/ciencias/combusc.htm>>. Acesso em: 9 mar. 2004.

COOPERAÇÃO energética com os países em desenvolvimento. Disponível em: <<http://europa.eu.int/scadplus/leg/pt/lvb/r12008.htm>>. Acesso em: 18 jun. 2004.

Department of Trade and Industry. New and renewable energy: future prospects in the UK. **Energy Paper**, London, n. 62, 1994.

ESPANHA importa resíduo de madeira. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano 11, n. 65, p. 28-30, 2001.

FACCENDA, O. **Cogeração e geração independente na indústria sucroalcooleira**. 1996. 140 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1996.

FINLÂNDIA usa cada vez mais energia de biomassa. **Jornal Ambiente Brasil**, Curitiba, 2004. Disponível em: <<http://ambientebrasil.com.br>>. Acesso em: 4 jun. 2004.

FIORI, A. Klabin do Paraná amplia uso de biomassa. **Revista Brasileira de Bionergia**, São Paulo, p. 52-56, ago. 2002. (Edição lançamento).

FUNG, P.Y.H. et al. The potential for bioenergy production from Australian forests, its contribution to national greenhouse targets and recent developments in conversion processes. **Biomass and Bioenergy**, n. 22, p. 223-236, 2002.

GITMAN, L. J. **Princípios da administração financeira - essencial**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002. 610 p.

GOLDEMBERG, J. O passado e o futuro da biomassa. **Revista Brasileira de Bioenergia**, São Paulo, n. 1, p. 4-5, 2002. (Edição lançamento).

HALL, P.; GIGLER, J. K.; SIMS, R. E. H. Delivery systems of forest arisings for energy production in New Zealand. **Biomass and Bioenergy**, n. 21, p. 391-399, 2001.

JUNGINGER, M. et al. Fuel supply strategies for large-scale bio-energy projects in developing countries. Electricity generation from agricultural and forest residues in Northeastern Thailand. **Biomass and Bioenergy**, n. 21, p. 259-275, 2001.

KIRUCHI, S. Região sul: um mercado promissor para a biomassa. **Informativo CENBIO Notícias**, São Paulo, ano 3, n. 10, p. 4-5, 2000. (Edição especial Região Sul).

LEITE, A.D. **A energia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro: Nova Fronteira, 1997. 528 p.

LENHA no Brasil. **Infoener Sistema de Informações Energéticas**, São Paulo. Disponível em <http://infoener.iee.usp.br/scripts/biomassa/br_lenha.asp>. Acesso em: 21 jan. 2004.

MATOSKI, S. L. S.; SILVA, D. A.; MATOSKI, A. Análise da geração de resíduos dentro de uma indústria de móveis e esquadrias – um estudo de caso. In: CONGRESSO IBERO-AMERICANO DE PESQUISA E DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS FLORESTAIS, 2., 2002, Curitiba. **Anais...** Curitiba: UFPR, 2002. p. 128.

MIRANDA, M. L.; HALE, B. Protecting the forest from the trees: the social costs of energy production in Sweden. **Energy**, Oxford, n. 26, p. 869-889, 2001.

NAIME, R. et al. Gestão dos resíduos sólidos na indústria madeireira. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano 13, n. 77, p. 112-118, out. 2003.

NOGUEIRA, E. Análise de investimentos. In: BATALHA, M.O. (Org.). **Gestão agroindustrial**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2001. cap. 4, p. 223-288.

NORONHA, J. F. **Projetos agropecuários: administração financeira, orçamentação e avaliação econômica.** Piracicaba: Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, 1981. 274 p.

PEREIRA JÚNIOR, V. B. **Alternativas para a cogeração de energia em uma indústria de chapas de fibra de madeira.** 2001. 115 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.

PRETZ, R. Cenários do emprego da biomassa na geração termelétrica. **Informativo CENBIO Notícias**, São Paulo, ano 3, n. 10, p. 3, 2000. (Edição especial Região Sul).

TUOTO, M.; SIMULA, M. Desafios para a indústria florestal brasileira. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano 13, n. 72, p. 14-18, maio 2003.

USO energético requer planejamento racional. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano 13, n. 72, p. 40-42, maio 2003.

VALE, A. T.; BRASIL, M. A. M.; LEÃO, A. L. Quantificação e caracterização energética da madeira e casca de espécies do cerrado. **Revista Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 12, n. 1, p. 71-80, 2002.

VARKULYA JR., A.; COELHO, S. T.; PALETTA, C. E. M. Alternativas para o uso de biomassa na Amazônia. **Revista da Madeira**, Curitiba, ano 11, n. 65, p. 18-22, 2001.

VELÁZQUEZ, S.M.S.G. **A cogeração de energia no segmento de papel e celulose: contribuição à matriz energética do Brasil.** 2000. 205 f. Tese (Mestrado em Energia) – Escola Politécnica, Faculdade de Economia e Administração, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

WALTER, A. **Biomass energy in Brazil:** past activities and perspectives. Jan/fev. 2001.

Disponível em: <<http://www.re-focus.net>>. Acesso em: 28 fev. 2003.

7 ANEXO I

Tabela 1. Dados técnicos do Aquecedor nº. 4.

Dados técnicos	
Fabricante	KONUS ICESA S.A.
Tipo	RKV 3.15/40
Ano de fabricação	1985
Superfície de aquecimento	230 m ²
Pressão de trabalho máxima	10 kg/cm ²
Pressão de teste	33 kg/cm ²
Temperatura de trabalho	máxima 300°C
Fluído térmico equivalente	Mobiltherm 605
Capacidade	3.000.000 kCal
Fluxo mínimo	150.1 m ³ /h
Conteúdo	4.19 m ³
Fornalha	Metálica
Combustível	Óleo e/ou Biomassa (Casca de Madeira e Cavaco)
Estado geral	Excelente

Fonte: Dados da pesquisa (2004).