

MARTHA ANDREIA BRAND

**RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO E
ENERGÉTICO DA MATÉRIA-PRIMA DE UMA
INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de "Mestre em Ciências Florestais".

Orientadora:
Prof.^ª Dr.^ª Graciela Inês Bolzon de Muñiz

CURITIBA
2000



Universidade Federal do Paraná
Setor de Ciências Agrárias - Centro de Ciências Florestais e da Madeira
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal
Av. Lothário Meisner, 3400 - Jardim Botânico - CAMPUS III
80210-170 - CURITIBA - Paraná
Tel. (41) 380.4212 - Fax. (41) 380.4211 - <http://www.pgfloresta.ufpr.br>
e-mail: pinheiro@floresta.ufpr.br

PARECER DE DEFESA DE DISSERTAÇÃO N.º 313

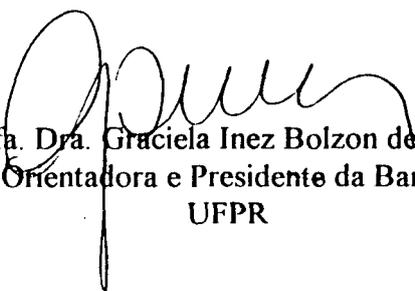
Os membros da Banca Examinadora designada pelo Colegiado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, reuniram-se para realizar a arguição da Dissertação de Mestrado, apresentada pela candidata **MARTHA ANDREIA BRAND** sob o título "**RENDIMENTO DA MATÉRIA-PRIMA NO PROCESSO PRODUTIVO E ENERGÉTICO DE UMA INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL**", para obtenção do grau de **Mestre** em Ciências Florestais, no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal do Setor de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Paraná, Área de Concentração **TECNOLOGIA E UTILIZAÇÃO DE PRODUTOS FLORESTAIS**.

Após haver analisado o referido trabalho e argüido a candidata são de parecer pela "**APROVAÇÃO**" da Dissertação.

Curitiba, 29 de Novembro de 2000


Prof. Dr. Paulo Fernando Trugilho
Primeiro Examinador
UFLA


Profa. Dra. Ghislaine Miranda Bonduelle
Segunda Examinadora
UFPR


Profa. Dra. Graciela Inez Bolzon de Muniz
Orientadora e Presidente da Banca
UFPR



A minha mãe que já não está mais entre nós, porém sempre estará lutando junto a seus filhos nas batalhas da vida e sorrindo em cada vitória. Também a minha irmã Rosi, que é minha segunda mãe, e que, com certeza, sem a sua ajuda não teria chegado aqui.

DEDICO

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal do Paraná pela oportunidade e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela bolsa concedida.

Aos professores Dr^a Graciela Inês Bolzon de Muñiz, M.Sc. Dimas Agostinho da Silva e Dr. Umberto Klock pela orientação, amizade e apoio na execução deste trabalho.

À empresa Battistella Indústria e Comércio Ltda. pelo fornecimento dos dados, sem os quais não seria possível o desenvolvimento deste trabalho.

Em especial ao Sr. Odelir Battistella, Lázaro Tadeu da Silva e Joel de Aviz pelo apoio, conselhos e dedicação para fornecer todas as informações necessárias para o desenvolvimento do trabalho.

Aos amigos Silvana Nisgoski, Daniëlle Previdi Olandoski, Lucia Burda, Mariza Drusina, Daniele Christiane Hoff e aos professores Debora Nayar Hoff Rotta e Flávio José Simioni, pela presença e companheirismo em todos os momentos.

Aos meus irmãos, amigos e colegas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

BIBLIOGRAFIA DA AUTORA

Martha Andreia Brand, filha de Lydia Neppel Brand e Ewaldo Carlos Brand, nasceu em 19 de março de 1974, em Irineópolis, estado de Santa Catarina.

Concluiu o curso primário e ginásial no Colégio Estadual Horácio Nunes, em Irineópolis, Santa Catarina, em 1987.

Concluiu o curso de segundo grau, Técnico em Agropecuária, no Colégio Agrícola Vidal Ramos, em Marcílio Dias, Santa Catarina, em 1990.

Trabalhou como professora de Iniciação ao Trabalho no Colégio Estadual Horácio Nunes, em Irineópolis, no período de julho a dezembro de 1992.

Ingressou no curso de Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná em 1993.

Participou do PET (Programa Especial de Treinamento) da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior), de Engenharia Florestal – UFPR, março de 1995 a março de 1998.

Graduou-se como Engenheiro Florestal, pela Universidade Federal do Paraná, em março de 1998.

Ingressou no Curso de Pós Graduação em Ciências Florestais da Universidade Federal do Paraná, nível Mestrado, área de concentração Tecnologia e Utilização de Produtos Florestais em março de 1998.

Trabalhou como Engenheiro Florestal na Fundação de Pesquisas Florestais do Paraná, em Curitiba, Paraná, no período de junho de 1998 a abril de 2000.

Trabalha como professora no Curso de Tecnologia da Madeira da Universidade do Planalto Catarinense, em Lages, Santa Catarina, desde março de 2000.

SUMÁRIO

LISTA DE TABELAS	ix
LISTA DE FIGURAS	xiii
RESUMO	xv
ABSTRACT	xvi
1 INTRODUÇÃO	01
2 OBJETIVO GERAL	05
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	05
3 REVISÃO DE LITERATURA	06
3.1 PRODUÇÃO MUNDIAL DE MADEIRA E PRODUTOS MADEIRÁVEIS VERSUS UTILIZAÇÃO ENERGÉTICA.....	06
3.2 RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL.....	09
3.2.1 Qualificação dos Resíduos Gerados.....	09
3.2.2 Qualificação da Biomassa para a Geração de Energia.....	11
3.2.3 Quantificação dos Resíduos Gerados.....	13
3.2.4 Produção de Resíduos nas Indústrias Primárias da Madeira.....	18
3.2.5 Produção de Resíduos nas Indústrias de Produtos Secundários da Madeira.....	20
3.2.6 Considerações Gerais da Quantificação dos Resíduos Industriais para a Geração de Energia.....	23
3.2.7 Importância Econômica do Uso de Partículas de Madeira e Resíduos.....	24
3.2.8 Mercado Futuro de Resíduos para a Geração de Energia.....	27
3.3 UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS PARA FINS ENERGÉTICOS.....	28
3.3.1 Benefícios e Dificuldades no Uso da Madeira e Resíduos de Madeira para	

Energia.....	30
3.3.2 Suprimento e Distância de Transporte de Madeira ou Resíduos para Combustível.....	32
3.3.3. Políticas de Incentivo para a Utilização de Resíduos para a Geração de Energia.	34
3.3.4 Impactos Ambientais Devido a Queima da Madeira.....	36
3.3.5 Processos de Obtenção de Energia a partir da Biomassa Florestal ou Residual.....	37
3.3.5.1 <i>Combustão</i>	38
3.3.5.2 <i>Pirólise</i>	45
3.3.5.3 <i>Gaseificação</i>	45
3.3.5.4 <i>Hidrólise</i>	47
3.3.5.5 <i>Geração de energia elétrica com o uso de resíduos industriais</i>	49
3.3.6 Fatores que Influenciam no Uso da Madeira e Resíduos para a Geração de Energia.....	54
3.4 BALANÇO ENERGÉTICO NA INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL	56
4 MATERIAL E MÉTODOS	66
4.1 DESCRIÇÃO DA INDÚSTRIA.....	66
4.2 COLETA DE DADOS.....	67
4.2.1 Análise da Indústria.....	67
4.2.2 Determinação do Rendimento e dos Resíduos do Processo Produtivo através do Balanço de Materiais.....	72
4.2.3 Determinação do Rendimento Energético do Processo Produtivo.....	72
4.3 EQUAÇÕES DOS RENDIMENTOS DO PROCESSO PRODUTIVO E ENERGÉTICO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS.....	74
4.3.1 Determinação dos Fluxogramas do Balanço de Materiais e Energético.....	84
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	89

5.1 ANÁLISE DA INDÚSTRIA.....	89
5.1.1 Setor 1 – Laminadora.....	89
5.1.1.1 <i>Descrição do processo</i>	90
5.1.2 Setor 2 - Serrarias.....	92
5.1.2.1 <i>Descrição do processo da serraria de toras grossas (TG)</i>	93
5.1.2.2 <i>Descrição do processo das serrarias de toras finas TFs</i>	94
5.1.3 Setor 3 - Manufatura.....	97
5.1.3.1 <i>Descrição do processo</i>	98
5.1.4 Setor 4 – Geração de Energia.....	102
5.1.4.1 <i>Descrição do processo</i>	102
5.1.4.2 <i>Uso da energia térmica e elétrica na indústria</i>	105
5.2 DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATEIRIAS E DO RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO.....	107
5.2.1 Setor 1 - Laminadora.....	107
5.2.2 Setor 2 - Serrarias.....	111
5.2.3 Setor 3 - Manufatura.....	114
5.2.4 Setor 4 – Geração de Energia.....	120
5.3 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO ENERGÉTICO DE INDÚSTRIA.....	125
6 IMPORTÂNCIA DO TRABALHO PARA A INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL.....	133
7 CONCLUSÕES.....	136
7.1 ANÁLISE DA INDÚSTRIA.....	136
7.2 DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS E DO RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO.....	136
7.3 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO ENERGÉTICO DA INDÚSTRIA.....	138

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	139
ANEXO.....	143
ANEXO I – QUESTIONÁRIOS ENVIADOS PARA A EMPRESA.....	143
ANEXO II – TABULAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIOS E VISITAS À EMPRESA DO SETOR 1.....	150
ANEXO III – RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS E RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO SETOR 1.....	151
ANEXO IV – TABULAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIOS E VISITAS À EMPRESA DO SETOR 2.....	152
ANEXO V– RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS E RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO SETOR 2.....	153
ANEXO VI – TABULAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIOS E VISITAS À EMPRESA DO SETOR 3.....	154
ANEXO VII – RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS E RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO SETOR 3.....	156
ANEXO VIII – TABULAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIOS E VISITAS À EMPRESA DO SETOR 4.....	158
ANEXO IX – RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS E RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO SETOR 4.....	161

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – CONSUMO DE MADEIRA PARA ENERGIA E PARTICIPAÇÃO DA MADEIRA PARA ENERGIA TOTAL EM 1995.....	08
TABELA 2 – PRODUÇÃO DE RESÍDUOS EM SERRARIA DE CONÍFERAS NOS ESTADOS UNIDOS E BRASIL.....	18
TABELA 3 – PRODUÇÃO DE RESÍDUOS EM INDÚSTRIAS DE PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA MADEIRA (COMPENSADO).....	21
TABELA 4 - PRODUÇÃO DE RESÍDUOS EM INDÚSTRIAS DE PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA MADEIRA (FÁBRICA DE ASSOALHOS).....	21
TABELA 5 –ALGUNS EXEMPLOS DE USINAS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA REGIÃO NORDESTE DOS ESTADOS UNIDOS.....	51
TABELA 6 – EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA.....	53
TABELA 7 – PODER CALORÍFICO LÍQUIDO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES TEORES DE UMIDADE.....	55
TABELA 8 – CONSUMO ENERGÉTICO PARA A PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA.....	62
TABELA 9 – CONSUMO ENERGÉTICO PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS.....	63
TABELA 10 – CONSUMO DE MATÉRIA-PRIMA PARA A MANUFATURA DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA (MADEIRA DE CONÍFERAS).....	64
TABELA 11 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA A MANUFATURA DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA MADEIREIRA (MADEIRA DE CONÍFERAS)...	64

TABELA 12 – CONSUMO DE VAPOR PARA A MANUFATURA DE PRODUTOS DA INDUSTRIA MADEIREIRA (MADEIRA DE CONÍFERAS).....	64
TABELA 13 – CONSUMO ENERGÉTICO PARA A MANUFATURA DE ADITIVOS DE PRODUTOS MADEIRÁVEIS RECONSTITUÍDOS (MADEIRA DE CONÍFERAS).....	65
TABELA 14 – CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA A MANUFATURA DE PRODUTOS DA INDUSTRIA MADEIREIRA (MADEIRA DE FOLHOSAS)....	65
TABELA 15 – CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA PARA A MANUFATURA DE PRODUTOS DA INDUSTRIA MADEIREIRA (MADEIRA DE FOLHOSAS)..	65
TABELA 16 – DIVISÃO DA INDÚSTRIA EM SETORES.....	67
TABELA 17 – DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS OBTIDOS NA EMPRESA DE FORMA SETORIZADA.....	69
TABELA 18 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DO CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA POR SETOR DA INDÚSTRIA.....	74
TABELA 19 – EQUAÇÕES PARA A DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS.....	76
TABELA 20 – EQUAÇÕES PARA A DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO.....	79
TABELA 21 – EQUAÇÕES PARA A DETERMINAÇÃO DO BALANÇO ENERGÉTICO E RENDIMENTO ENERGÉTICO.....	81
TABELA 22 – EQUIPAMENTOS E ATIVIDADES COMPONENTES DO SETOR 1 (LAMINADORA).....	90
TABELA 23 – EQUIPAMENTOS E ATIVIDADES COMPONENTES DO SETOR 2 (SERRARIA).....	93
TABELA 24 – EQUIPAMENTOS E ATIVIDADES COMPONENTES DO SETOR	

3 (MANUFATURA).....	98
TABELA 25 – EQUIPAMENTOS E ATIVIDADES COMPONENTES DO SETOR	
4 (GERAÇÃO DE ENERGIA).....	102
TABELA 26 – CONSUMO DE VAPOR NOS SETORES DA INDÚSTRIA.....	103
TABELA 27 – PRODUÇÃO E VENDA DE RESÍDUOS DA LAMINAÇÃO	
(ROLOS RESTO).....	108
TABELA 28 – DADOS MÉDIOS DE CADA PROCESSO DA LAMINADORA	
DURANTE O PERÍODO AVALIADO (1998/1999).....	110
TABELA 29 – DADOS MÉDIOS DE CADA PROCESSO DA SERRARIA	
DURANTE O PERÍODO AVALIADO (1998/1999).....	113
TABELA 30 – DADOS COMPARATIVOS DO RENDIMENTO DA SERRARIA....	113
TABELA 31 – DADOS MÉDIOS DE CADA PROCESSO DA MANUFATURA	
DURANTE O PERÍODO AVALIADO (1998/1999).....	120
TABELA 32 – VALORES MÉDIOS MENSIS DA QUANTIFICAÇÃO E	
QUALIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS NA INDÚSTRIA.....	121
TABELA 33 – QUANTIDADE DE RESÍDUOS QUEIMADOS, A PARTIR DA	
PORCENTAGEM DE CONTRIBUIÇÃO DE CADA SETOR PARA O TOTAL DE	
RESÍDUOS DIPONIBILIZADOS PARA QUEIMA.....	122
TABELA 34 – QUANTIDADE E PARTICIPAÇÃO DE CADA TIPO DE RESÍDUO	
VERDE PARA A MÉDIA MENSAL TOTAL DISPONÍVEL PARA QUEIMA.....	122
TABELA 35 – QUANTIDADES DE PARTICIPAÇÃO DE CADA TIPO DE	
RESÍDUO SECO PARA A MÉDIA MENSAL TOTAL GERADA.....	123
TABELA 36 – CONSUMO DE MATÉRIA-PRIMA PARA A OBTENÇÃO DE	
PRODUTO ACABADO.....	126
TABELA 37 – CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA TÉRMICA POR SETOR DA	

INDÚSTRIA.....	128
TABELA 38 – CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SETOR DA INDÚSTRIA.....	128
TABELA 39 - CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA PARA CADA M ³ DE PRODUTO ACABADO.....	128
TABELA 40 – POTENCIAL GERADOR DE ENERGIA A PARTIR DOS RESÍDUOS.....	130

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – FLUXOGRAMA DO RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA APLAINADA A PARTIR DE TORAS COM CASCA (MADEIRA DE CONÍFERAS).....	19
FIGURA 2 – FLUXOGRAMA DO RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA SECA AO AR E EM ESTUFA EM SERRARIAS DE PEQUENO PORTE LOCALIZADAS NAS FILIPINAS (MADEIRA DE FOLHOSAS).....	20
FIGURA 3 – FLUXOGRAMA DO RENDIMENTO EM PAINÉIS COMPENSADOS A PARTIR DE TORAS SEM CASCA (MADEIRA DE CONÍFERA).....	22
FIGURA 4 - FLUXOGRAMA DO RENDIMENTO EM PAINÉIS COMPENSADOS A PARTIR DE PLANTAS INSTALADAS NAS FILIPINAS.....	22
FIGURA 5 – FLUXOGRAMA DO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL.....	59
FIGURA 6 – ESQUEMA DE CONSTRUÇÃO DO FLUXOGRAMA DOS SETORES 1, 2, E 3 DA INDÚSTRIA.....	86
FIGURA 7 - ESQUEMA DE CONSTRUÇÃO DO FLUXOGRAMA DO SETOR 4 DA INDÚSTRIA.....	87
FIGURA 8 - ESQUEMA DE CONSTRUÇÃO DOS FLUXOGRAMAS DO CONSUMO ENERGÉTICO E DE MATÉRIA-PRIMA E FORNECIMENTO POTENCIAL DE ENERGIA DE 1 M ³ DE PRODUTO.....	88
FIGURA 9 – FLUXOGRAMA DE DISTRIBUIÇÃO DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA GERADAS NA CALDEIRA E PONTOS DE PRODUÇÃO DE RESÍDUOS.....	106

FIGURA 10 – FLUXOGRAMA DO BALANÇO DE MATERIAIS NA LAMINADORA.....	107
FIGURA 11 – FLUXOGRAMA DO BALANÇO DE MATERIAIS NA SERRARIA.....	112
FIGURA 12 – FLUXOGRAMA DO BALANÇO DE MATERIAIS NA MANUFATURA (PARTE 1).....	116
FIGURA 13 – FLUXOGRAMA DO BALANÇO DE MATERIAIS NA MANUFATURA (PARTE 2).....	120
FIGURA 14 – FLUXOGRAMA DO BALANÇO DE MATERIAIS NA MANUFATURA (PARTE 3).....	118
FIGURA 15 - FLUXOGRAMA DO BALANÇO DE MATERIAIS NA GERAÇÃO DE ENERGIA.....	124
FIGURA 16 – FLUXOGRAMAS DO CONSUMO ENERGÉTICO E DE MATÉRIA-PRIMA E FORNECIMENTO POTENCIAL DE ENERGIA DE 1 M ³ DE PRODUTO NA LAMINADORA.....	131
FIGURA 17 - FLUXOGRAMAS DO CONSUMO ENERGÉTICO E DE MATÉRIA-PRIMA E FORNECIMENTO POTENCIAL DE ENERGIA DE 1 M ³ DE PRODUTO NA SERRARIA.....	131
FIGURA 18 - FLUXOGRAMAS DO CONSUMO ENERGÉTICO E DE MATÉRIA-PRIMA E FORNECIMENTO POTENCIAL DE ENERGIA DE 1 M ³ DE PRODUTO NA MANUFATURA.....	132

RESUMO

Este trabalho visa a determinação do rendimento do processo produtivo e energético de uma indústria de base florestal. O mesmo foi desenvolvido na empresa Battistella Indústria e Comércio Ltda., que fabrica painéis compensados multilaminados e sarrafeados a partir de lâminas e madeira serrada, produzidas em dois setores anteriores à produção de painéis. A energia térmica e elétrica, consumidas na empresa, são produzidas no setor de geração de energia, através de uma caldeira que funciona exclusivamente com a queima de resíduos gerados no processo e um turbo-gerador, sendo que a energia é distribuída para todos os setores produtivos e de suporte da indústria. A avaliação proposta no trabalho foi realizada através de visitas à indústria, aplicação de questionários e tabulação de dados obtidos nos registros de produção da empresa. Estes dados foram aplicados em fórmulas para a obtenção do balanço de materiais e energéticos e para a determinação do rendimento energético. Os resultados obtidos foram organizados em tabelas e fluxogramas para melhor visualização dos balanços e do rendimento. A análise da indústria demonstrou que a mesma trabalha com o sistema integrado, ou seja, os setores de laminação e serraria garantem o suprimento de matéria-prima em quantidade e qualidade exigidas pelo produto final, sendo que a porcentagem de venda de produtos intermediários é pequena. Outra característica interessante é o sistema de cogeração, com a produção de vapor que alimenta o turbo-gerador para a produção de energia elétrica. O balanço de materiais demonstrou que o rendimento geral da laminadora é em torno de 40,7%, sendo inferior ao encontrado em literatura e ao admitido pela empresa; o rendimento geral da serraria é em torno de 38,6%, sendo próximo ao encontrado em literatura e que o maior rendimento é na manufatura de painéis devido ao fato das atividades desenvolvidas neste setor apresentarem menores perdas de material, ficando em torno de 63,1%. A avaliação do rendimento energético demonstrou que a maior quantidade de resíduos utilizados na geração de energia são verdes, e neste tipo de resíduos o setor que mais contribui com a geração de energia, através da geração de resíduos, é a serraria, sendo também o setor que mais consome energia. Porém, devido a maior produção, quando avaliado o consumo por produto acabado, a madeira seca classificada é o produto que menos consome energia. A indústria de maneira geral é auto-suficiente energeticamente, apesar do setor de manufatura ser deficitário em energia, ou seja, tem maior potencial de consumo do que potencial de geração de energia, através da produção de resíduos. Neste aspecto a característica de integração garante a auto-suficiência, porque um setor suprirá o outro em energia.

ABSTRACT

This paper is about determination of wood processing yield and material and energy balance. This work was done in a forest industry, Battistella Indústria e Comércio Ltda., that have a lamination sector, sawmill sector and plywood mill. The thermal energy and power used, is generating on industry, through a boiler and a turbine, respectively. The boiler uses only wood waste generates in industry. The valuation was done through visiting and questionnaire. The information was computed on tables and equation to evaluate the industry. Results from tables demonstrated that the industry is integrated, because have a veneer plant and a sawmill that supply the plywood plant whit raw material whit quality and by heaps necessary. In the other hand, the industry is self-sufficient and raw material and energy. It generates its own energy whit burn of wood waste to generate steam, and this moves the turbine to generate power. The material balance of veneer plant show that yields smaller the literature references, and is 40,7%. The sawmill material balance show that yield is similar of the others industry, 38,6%, and yield plywood plant é bigger, 63,1%. The energy yields valuation show that bigger quantity of wood waste for energy is from sawmill and this wood waste has high moisture content. This sector consumes more energy too, but classified dried saw wood is the product that consumes less energy. In general, the industry is self-sufficient on energy, although the plywood plant not is self-sufficient. In this case, the industry integration does the industry in general be self-sufficient.

1 INTRODUÇÃO

O fato das indústrias de base florestal gerarem grandes quantidades de resíduos no processo produtivo, principalmente as indústrias de transformação primária, não é novidade. Porém, o aumento progressivo da quantidade de madeira desdobrada tem revelado o problema da disponibilização de quantidades ainda maiores de resíduos, que muitas vezes não tem utilização na indústria, onde os mesmos foram gerados.

A forma mais adequada de resolver este problema passa pelo conhecimento dos volumes existentes e possíveis usos que podem ser dados a este material. Sendo assim, é fundamental a realização da análise do processo produtivo, caracterizado pelo balanço de materiais ou pela avaliação do rendimento. Nesta avaliação é possível diagnosticar todas as entradas e saídas do processo tendo como resposta a determinação das quantidades de produtos manufaturados e resíduos gerados durante o processo.

Com relação aos usos possíveis, existem várias formas de utilização industrial dos resíduos. A fabricação de pequenos objetos ou a fabricação de chapas de partículas ou fibras, material para compostagem são alguns exemplos de usos. Em contrapartida, o uso para fins energéticos é um o mais comum, e no Brasil é a mais freqüente forma de destinação.

Assim, partindo-se do princípio que a indústria madeireira nacional tem carência energética, e que paga-se um elevado valor pela energia elétrica fornecida pelas concessionárias, a queima dos resíduos para a geração de energia térmica ou cogeração (produção simultânea de energia térmica e elétrica) é uma saída economicamente aceita.

Como reforço a esta afirmação, SAEMAN (1977b) afirma que durante a maior parte de nossa história, a madeira foi mais usada como combustível que como matéria-prima. E que, ainda hoje, cerca de metade da madeira cortada no mundo inteiro é utilizada como combustível.

A madeira é o combustível mais comumente usado pela maioria das pessoas no mundo, e para alguns é a única fonte de energia. Apesar do alto uso per capita de energia fóssil em países industrializados, globalmente cerca de 14% da energia primária é derivada de biomassa, sendo que quase toda a energia proveniente de combustíveis sólidos é originária de recursos florestais. Este montante representa quatro vezes o total suprido de força nuclear e hidroelétrica. Portanto, os resíduos florestais e agrícolas têm considerável potencial para a produção de quantidades consideráveis de energia (EOFF & SMITH, 1989).

Indicadores da importância dos resíduos de madeira como fonte de energia na indústria podem ser encontrados nos dados da estrutura econômica do setor industrial e nos ramos da indústria da madeira. Destes dados, se percebe que o “*input*” de energia por unidade de faturamento e por hora efetiva de trabalho é extremamente alto na indústria de celulose, papel e papelão, quando comparado com a indústria em geral. Porém, este fato está sendo contrabalanceado por uma alta porcentagem de geração de energia própria neste ramo (PATZAK, 1977).

No entanto, a indústria papelreira é uma exceção com relação a indústria madeireira em geral, em termos de auto-suficiência energética. Como as papelreiras, os demais ramos do setor madeireiro também geram grandes quantidades de resíduos e consomem proporcionalmente muita energia. Porém, este resíduo normalmente é utilizado somente para a geração de vapor. Neste aspecto pode-se incluir a idéia de cogeração, através da geração simultânea de energia térmica e elétrica que nas papelreiras é comum e perfeitamente viável nos demais ramos da indústria madeireira.

De acordo com PATZAK (1977), os dados específicos sobre o consumo de energia revelaram vantagem econômica decisiva com relação à substituição das fontes de energia por resíduos de madeira para o setor da indústria madeireira, que tem combustível lenhoso à sua disposição praticamente sem ônus. Abstraindo dos demais aspectos, a madeira como

combustível alcança um valor equivalente ao preço que deveria ser pago para os outros combustíveis, os quais iria substituir.

A confrontação quantitativa da necessidade de energia, respectivamente, de combustível de setores industriais pré-determinados e de alguns exemplos dos potenciais possíveis de combustível com base em resíduos de madeira, transmite perspectivas relativamente boas para os combustíveis lenhosos no suprimento de energia à indústria da madeira (PATZAK, 1977).

Considerando a atual conjuntura brasileira, de significativa carência de energia elétrica, com ênfase às Regiões Norte e Nordeste, e que, num país em desenvolvimento é crescente e acelerado o processo de demanda de energia, é indiscutível a importância que assume o aproveitamento de resíduos e biomassa em geral, por qualquer dos processos disponíveis para a geração de energia (SOUZA, 1997).

Outro aspecto relevante a ser considerado no aproveitamento de resíduos e biomassa diz respeito ao seu caráter estratégico. Num país em desenvolvimento como o Brasil, nenhuma forma de energia deve ser esquecida ou subvalorizada, especialmente as de caráter renovável (SOUZA, 1997).

Além disso, nos últimos anos tem sido chamada a atenção deste tipo de fonte energética como favorável ambientalmente e como moderno suprimento de energia. Mudanças nas políticas energéticas têm favorecido o desenvolvimento de sistemas de obtenção de energia de madeira, e novas tecnologias de energia de biomassa são melhorias possíveis na economia da energia da madeira, particularmente em países que são essencialmente florestais e têm indústrias de processamento da madeira bem estabelecidas. Outro ponto importante é que os custos ambientais dos combustíveis fósseis tornam a madeira para combustível mais atrativo (FAO, 1999).

Neste contexto, a avaliação das quantidades e características dos resíduos gerados na indústria de base florestal contribui para a determinação dos volumes de resíduos e seu uso

potencial para a geração de energia e a eficiência de conversão dos mesmos em energia térmica e elétrica. E, aliado a avaliação do processo, é possível a determinação da distribuição da energia nos setores produtivos da indústria, a participação de cada tipo de energia para a fabricação dos diferentes tipos de produtos manufaturados e fechando o processo, quanto cada produto manufaturado contribui, em termos de resíduos gerados, para a geração de energia.

2 OBJETIVO GERAL

Avaliar o rendimento do processo produtivo e energético da matéria-prima de uma indústria de base florestal.

2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- a) Levantar as características do processo produtivo de uma indústria de base florestal, através de visitas e aplicação de questionários;
- b) Determinar o rendimento produtivo e o balanço de materiais de uma indústria de base florestal, através da avaliação das quantidades produzidas de produtos intermediários e finais e resíduos gerados durante o processo, bem como a destinação destes.
- c) Determinar o rendimento e balanço energéticos de uma indústria de base florestal, através da análise da disponibilização e uso de resíduos destinados para a geração de energia, quantidade de energia térmica e elétrica geradas, consumo e potencial produtivo destas dentro do processo industrial.

3 REVISÃO DE LITERATURA

3.1 PRODUÇÃO MUNDIAL DE MADEIRA E PRODUTOS MADEIRÁVEIS VERSUS UTILIZAÇÃO ENERGÉTICA

Grande parte da madeira colhida no mundo todo ano é usada para a produção de energia. Segundo HATAYAMA (1989), em 1983, era estimado que o tamanho das florestas no mundo era de aproximadamente 2,5 bilhões de hectares, e o total de estoque de árvores em crescimento era de mais ou menos 350 bilhões de metros quadrados. Estas florestas produziram, neste mesmo ano, cerca de 3,04 bilhões de metros cúbicos de madeira. Destes, 54%, isto é, 1,63 bilhões de metros cúbicos, foram destinados para a obtenção de combustíveis ou para a fabricação de carvão vegetal, e 1,41 bilhões de metros cúbicos foram destinados para a indústria de utilização da madeira. Na indústria, a madeira foi usada como toras para serraria, estacas de mina, compensados, chapas de partículas, chapas de fibras, polpa e outros usos.

De acordo com BRITO (s/d), a produção de toras para serraria e laminação no ano de 1991 foi de 37.968.000 m³, correspondendo a 4% da produção mundial, dos quais 20.085.000 m³ foram de madeira de coníferas e 17.883.000 m³ de folhosas. Deste total foram produzidos 18.713.000 m³ de madeira serrada, lâminas de madeira e compensados, o que dá um aproveitamento aproximado de 49,29%. Considerando então como resíduo das operações de processamento um percentual de 50,71%, chega-se ao valor de 19.255.000 m³ de resíduos. Os resíduos de coníferas perfizeram um total de 10.185.104 m³, e o resíduo de folhosas 9.068.469m³.

A produção de madeira serrada alcançou 17.179.000 m³, sendo 7.923.000 m³ de coníferas e 9.256.000 m³ de folhosas. A produção de lâminas de madeira e compensados seria

então de 1.534.000 m³. Portanto, os resíduos de madeira serrada para conífera correspondem a 42,34%, os resíduos de folhosas a 49,46%, e os resíduos de laminação e compensados a 8,18% (BRITO, s/d).

Já em 1995, dos 3.350 milhões de metros cúbicos de madeira colhida, em torno de 2.100 milhões de metros cúbicos, ou 63%, foi usado como madeira para combustível (FAO,1999).

Atualmente, a madeira para energia representa em torno de 7% do suprimento total de energia para o mundo. Em países em desenvolvimento, entretanto, onde a madeira é o maior recurso combustível para o uso doméstico, a sua participação média chega a 15%. Em 34 países em desenvolvimento, a madeira para combustível e o carvão suprem mais de 70% da demanda nacional de energia. A madeira para combustível constitui o maior recurso de energia para muitos países da África, América Central e Sudeste da Ásia Continental (FAO, 1999).

Porém, em países desenvolvidos, a madeira para energia contribui com apenas 2% do total da energia usada. Este panorama, entretanto, oculta a grande diferença no uso em níveis nacionais e subnacionais. Por exemplo, na Europa, relativamente pequenas quantidades de madeira para combustível são usadas na Bélgica, Alemanha e Reino Unido, enquanto grandes quantidades são consumidas em países densamente florestados como Áustria, Finlândia e Suécia. Na Finlândia, a madeira para energia supre em torno de 17% da demanda nacional de energia. Outro exemplo são os Estados Unidos, onde no ano de 1988, em torno de 3,7% da energia era derivada de biomassa, na forma de material vegetal ou resíduos de animais, usados como recursos combustíveis (ZERBE,1988).

Enquanto em países desenvolvidos apenas 33% da madeira produzida é usada para propósitos energéticos, nos países em desenvolvimento a madeira para combustível está estimada em 81% (91% na África, 82% na Ásia e 70% na América Latina). A madeira para combustível é a forma predominante da energia usada em áreas rurais de países em

desenvolvimento e o carvão continua sendo um significativo recurso de energia para muitos países da África, Ásia e América Latina, principalmente para uso doméstico urbano (FAO, 1999).

A TABELA 1 mostra a diferença de consumo de diferentes tipos de madeira para combustível por região e dá um panorama da contribuição da floresta para o setor energético.

TABELA 1 - CONSUMO DE MADEIRA PARA ENERGIA E PARTICIPAÇÃO DA MADEIRA PARA A ENERGIA TOTAL EM 1995.

Região	Madeira para energia (milhões de m ³ equivalentes)			Porcentagem de participação no total de energia usada (%)
	Madeira Energia	Carvão Vegetal	Licor negro	
Total, países em desenvolvimento	1533	131	34	15
África	445	72	3	35
Ásia – em desenvolvimento	859	25	12	52
Oceania - em desenvolvimento	6	0	0	12
América Latina ^a e Caribe	223	34	19	2
Total, países desenvolvidos	187	6	228	2
Europa, Israel e Turquia	56	2	51	3
USSR ^b	32	0	8	1
Canadá e Estados Unidos	96	4	146	3
Austrália, Nova Zelândia e Japão	3	0	23	1
Mundo	1720	137	262	7

FONTE: FAO (1999).

a - incluindo México, toda a América Central e países da América do Sul

b - incluindo Armênia, Azerbaijão, Belarus, Estônia, Geórgia, Kazakistão, Kyrgyzstão, Letônia, Lituânia, República de Moldova, Federação Russa, Tajikistão, Turcomenistão, Ucrânia e Uzbequistão.

O consumo de madeira para energia em países em desenvolvimento tem aumentado constantemente, juntamente com o crescimento da população, apesar de que parte dos combustíveis madeiráveis, no balanço energético nacional destes países, têm progressivamente diminuído como resultado do aumento do uso de combustíveis fósseis como óleo, carvão mineral e gás. Os combustíveis fósseis tem continuado a satisfazer o aumento da demanda por energia na maioria dos países desenvolvidos (FAO, 1999).

A utilização da biomassa está crescendo rapidamente no setor dos renováveis. Em todo o mundo, a biomassa é o quarto combustível mais usado depois do óleo, carvão mineral e gás

natural. Apesar da maioria da biomassa usada no mundo em desenvolvimento ser para aplicações térmicas, especialmente para cozinhar, o setor está aumentando a modernização para promover formas secundárias eficientes de energia (BAIN *et al*, 1999).

Portanto, estes panoramas ilustram a importância da madeira para energia e sua relevância para o setor florestal, especialmente para os países em desenvolvimento (FAO, 1999).

3.2 RESÍDUOS NA INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL

Para a avaliação da potencialidade da indústria em termos de geração e utilização dos resíduos é necessária a realização de avaliações que passam pela qualificação dos resíduos industriais, uma vez que estes são muito heterogêneos em termos de formas e características físicas, além de serem gerados em vários locais diferentes dentro da indústria. Os resíduos devem ser também quantificados, porque a quantidade disponibilizada é um dos fatores que determinam sua potencialidade de uso.

Outro fator importante na análise dos resíduos é a questão econômica para a determinação dos custos da falta de utilização e necessidade de alocação e os benefícios da utilização.

3.2.1 Qualificação dos Resíduos Gerados

Os resíduos florestais ou madeiráveis, além de serem utilizados para a geração de energia de diversas formas como queima direta, briquetes de madeira, carvão, briquetes de carvão e pellets, podem também ser utilizados de várias outras maneiras como na fabricação de pequenos objetos e utensílios tais como brinquedo, artigos de copa/cozinha, cabos de ferramentas, artigos desportivos, decorativos e de recreação; produção de chapas de partículas

de diferentes composições; cama para aviários, currais e estábulos; compostagem para adubação e complementos orgânicos para o solo; produção de fibras para diversos fins tais como chapas, isolamento termo-acústico, papel, papelão; produção de pacotes para contenção de encostas; obtenção de matéria-prima para a indústria de tintas, vernizes, corantes, adesivos, indústria alimentícia e solventes através da extração de voláteis, etc (SOUZA, 1997), ou ainda no paisagismo de jardins (NATIONAL ASSOCIATION OF FOREST INDUSTRIES, 1999).

As partículas de madeira ou resíduos que são utilizados para os usos anteriormente citados podem ser originários de muitas fontes, e entre elas as florestas nativas, plantações e resíduos de serrarias (NATIONAL ASSOCIATION OF FOREST INDUSTRIES, 1999).

O resíduo gerado em serrarias é uma importante matéria-prima em forma de partículas para a produção de polpa e produtos como chapas de partículas. É efetivamente usado como matéria-prima em plantas de produção de combustíveis de madeira, como cama para cultivo de cogumelos, e o restante é consumido em queima direta. A casca é usada como matéria-prima para produção de combustíveis de madeira, mas é parcialmente queimado sem aproveitamento energético ou abandonado (MIYAZAKI, 1989).

Porém, independente da fonte dos resíduos ou partículas de madeira, os principais componentes dos resíduos madeiráveis são três polímeros naturais: a celulose, as hemiceluloses (polioses) e a lignina. Tanto a celulose como as hemiceluloses são carboidratos poliméricos formados de moléculas de açúcares simples. A lignina é de natureza inteiramente diferente. Não é um carboidrato polimérico e sim um polímero tridimensional cuja unidade é o fenilpropano. O componente mais abundante nos recursos renováveis é sem dúvida a celulose, e a madeira é composta por 40 a 53% deste polímero (PERRONE, 1977).

Sendo a celulose o principal componente dos recursos renováveis é evidente que sua utilização eficiente contribuirá decisivamente para o aproveitamento eficaz da biomassa. A celulose pode ser queimada produzindo calor ou, como outro polissacarídeo vegetal, o amido pode ser hidrolisado produzindo glicose que, por fermentação, transforma-se em álcool ou

proteína unicelular. O álcool, por sua vez, poderá servir de combustível ou matéria-prima para a produção de um grande número de produtos úteis na indústria química (PERRONE, 1977).

A qualidade do resíduo aceito varia, dependendo dos equipamentos de manuseio e processamentos usados para o uso final do material. Em geral, o resíduo deve ser livre de metais, pedras, lama e outros materiais não madeiráveis. Pregos e grampos cravados na madeira, normalmente associados a manufatura, são usualmente aceitos. Madeira contendo plástico, ou lâminas de plástico podem ser rejeitadas, como também madeiras tratadas com creosoto, naftato de cobre ou pentaclorofenol. Materiais contendo sais, cloro, metais pesados, carcinogênio ou materiais tóxicos são raramente aceitos (CONEG, 1988)

3.2.2 Qualificação da Biomassa para a Geração de Energia

Primeiramente, tem-se que diferenciar se o resíduo de biomassa pode ser usado para uma finalidade mais nobre, e se a biomassa adequada poderá ser produzida para uma demanda específica. No caso de resíduos, seu uso é econômico se o custo marginal de seu aproveitamento ou utilização for menor ou igual ao valor de sua substituição por outra fonte de energia (KLEINHANSS & KÖGL, 1989).

O custo marginal engloba os de manuseio, utilização, transporte, estocagem e processamento, enfim todos aqueles relacionados à utilização do resíduo de biomassa. Além disso, devem ser analisados os custos de oportunidade pelo uso prévio (KLEINHANSS & KÖGL, 1989).

Aliado com a produção de biomassa que não tem bom preço de mercado, ao menos no momento, o debate levanta que são os preços adequados que propulsionam o início de sua produção e utilização para fins energéticos. Deve-se distinguir entre o custo das entradas de quantidades variáveis que dependem dos preços de mercado e dos custos dos fatores

permanentes ou estáveis que são derivados dos custos de oportunidade do seu uso alternativo (KLEINHANSS & KÖGL, 1989).

As companhias que reconhecem o valor econômico da madeira como combustível, cortam maior quantidade de madeira de qualidade inferior. Isso aumenta a produção da madeira para produtos primários, para a produção de subprodutos e a quantidade de resíduo adequado como combustível (SAEMAN, 1977 (b)).

O custo de transporte dos resíduos depende de fatores tais como: quantidade, coleta, destino final e estado das vias de transporte. Dentro dos custos podem estar incluídas as operações de carregamento e descarregamento, compactação e outras atividades necessárias para que o resíduo chegue ao seu destino em bom estado (AVILA & ORJUELA, 1992).

Considerando o uso dos resíduos para energia, os preços da madeira para combustível variam e dependem do tipo de combustível, o conteúdo de umidade, outros usos do recurso e condições específicas de mercado no período de compra (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC., 1990)

Além dos custos e da proximidade de abastecimento, o uso da madeira para energia é dependente das características da mesma como combustível. Embora nem sempre referido como resíduo, todas as categorias de madeira para combustível analisados aqui são produzidos como um subproduto de outra atividade (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC., 1990). Se o material produzido como resíduo não é usado como combustível este deve ser reutilizado para outro fim, como já citado, ou estar disponível em outra forma.

Segundo C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC. (1990), as três maiores categorias de madeira para combustível incluem:

1 - Resíduos Silviculturais - também denominados como madeira resultante da operação de colheita ou resíduos de biomassa. Consistem de árvores inteiras transformadas em partículas (cavacos); copa, galhos e ramos produzidos durante o manejo e práticas de transformação da

árvore em toras.

2 - Resíduos de conversões “in situ” - consistem de árvores inteiras transformadas em partículas; copas, galhos e ramos obtidos de conversões localizadas em rodovias, casas, comércios, indústrias e outras atividades desenvolvidas com a utilização de madeira.

3 - Resíduos de madeira - definidos como resíduos industriais. Incluem casca, partículas, destopos, serragem e restos gerados como resíduo das indústrias primária e secundária de produtos de madeira e outras indústrias, comércios e atividades residenciais.

HOOP *et al* (1997) concorda com C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC. (1990) na definição dos resíduos industriais da madeira e reforça que a disponibilização deste material acarreta problemas de poluição do ar e da água, sendo que uma solução comum de gerenciamento do resíduo é através do uso do mesmo como combustível .

3.2.3 Quantificação dos Resíduos Gerados

A conversão de toras em tábuas, pranchas, vigas ou outras peças de madeira implica, necessariamente, na produção de uma quantidade maior ou menor de desperdício, segundo os fatores que influem no seu volume, como a natureza da matéria-prima, a eficiência da máquinas empregadas pela indústria e as exigências do mercado (ANUÁRIO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL, 1957).

Este último aspecto exerce influência através das quantidades relativas de madeira serrada de diversas espessuras e comprimentos solicitados, já que, por exemplo, a obtenção de tábuas mais finas requer maior quantidade de cortes, o que aumenta o desperdício em forma de serragem (ANUÁRIO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL, 1957).

Estimativas grosseiras dos resíduos disponíveis podem ser feitas através das áreas florestais produtivas, a sua produção primária e o grau de rendimento. Para os resíduos nas

diferentes indústrias madeireiras, a disponibilidade pode ser determinada diretamente das estatísticas disponíveis ou pela relação “*input*” matéria-prima/“*output*” produtos (PATZAK, 1977), ou ainda que o volume de resíduos gerados pode ser expressado como a diferença entre a quantidade de matéria-prima que entra e a quantidade de produto que sai do processo, sendo este último o princípio do balanço de materiais.

Em geral, uma tora não produz mais que 59 ou 60% de madeira serrada. Pode-se calcular, a grosso modo, que a metade do volume do desperdício de uma serraria é serragem e a outra metade madeira em forma de destopos e costaneiras, além de outros tipos de resíduos (ANUÁRIO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL, 1957), sendo que, de acordo com JARA (1987), os motivos desta alta porcentagem podem ser discriminados da seguinte maneira:

- ✓ Pela mudança geométrica do produto

O diâmetro da tora e o seu grau de conicidade são fatores relativos à matéria-prima. A conicidade influi de tal maneira que o desdobro de uma tora fortemente cônica pode duplicar o desperdício em relação ao de uma tora cilíndrica (ANUÁRIO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL, 1957).

Com relação ao diâmetro, no desdobro de toras de 20 polegadas, o desperdício pode ser 25% inferior ao produzido quando é serrada uma tora de 8 polegadas, sendo que a diferença aumenta de modo proporcional. Portanto, fatores como matéria-prima e do tipo de madeira, determinantes diretos, até certo ponto, do volume de desperdício, escapam ao controle da indústria madeireira, de modo que muito pouco é o que esta pode fazer para reduzi-los (ANUÁRIO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL, 1957).

Assim, um criterioso e cuidadoso controle de qualidade da matéria-prima que ingressa na indústria é de grande importância. Evitar toras com um maior potencial gerador de resíduos

permite melhorias substanciais na economia e desempenho operacional da serraria. A implantação de um sistema de fiscalização padrão baseado na aplicação de regras de classificação, que rejeite ou penalize as toras defeituosas é uma boa alternativa no controle da geração de resíduos. Da mesma forma, a compra e venda neste esquema padronizado é muito vantajosa para a fluidez do mercado (JARA, 1987).

- ✓ Por falta de medidas de proteção das toras

Os pátios das serrarias são lugares ideais para o início dos processos de geração de resíduos. Normalmente, as toras permanecem armazenadas por tempo suficiente para permitir o surgimento de rachas nos topos ou ataque de insetos e fungos apodrecedores. Este fatores provocam a desclassificação do produto e finalmente a redução da lucratividade da empresa (JARA, 1987).

Tem-se detectado que em serrarias de grande porte os ataques biológicos nas toras provocam perdas de 5% do volume total serrado. Estima-se que estas perdas sejam bem superiores nas serrarias pequenas, devido a inexistência de medidas que venham a controlar estes tipos de ataques (JARA, 1987).

- ✓ Pela liberação de tensões durante o desdobro

Durante o desdobro, em muitos casos, são liberadas tensões de crescimento que ainda persistem nas toras. Estas se manifestam na forma de gretas, rachaduras ou torcimentos das peças serradas. Por este motivo, a madeira muitas vezes precisa ser reprocessada para se conseguir produtos em dimensões aceitáveis. Já existem técnicas especiais de desdobro para minimizar os efeitos destas tensões, mas que não resolvem totalmente este problema. Além

disso, algumas espécies tem maior tendência a rachar que outras. Por esta razão, a seleção de toras e sistemas de corte mais apropriados assume grande importância (JARA, 1987).

✓ Pela espessura do corte das serras

A espessura ou calibre das serras influem significativamente no volume dos resíduos. As serras circulares provocam mais perdas que as de fita. Porém, estas cifras podem ser aumentadas dramaticamente quando existem deficiências de manutenção, tanto das serras como dos componentes das máquinas. Deficiências na afiação, tensionamento e vibrações afastam as serras da linha de corte. Este fato provoca sub ou sobredimensionamento, que em geral precisam ser corrigidos perdendo-se boa parte da matéria-prima. Falta de alinhamento e paralelismo das serras com o carro, folgas nos componentes dos equipamentos levam aos mesmos resultados (JARA, 1987).

✓ Decisões inadequadas dos operadores das máquinas

A escolha do operador da serra principal, refiladeira e destopadeira tem muita importância. Estes operadores estão continuamente tomando decisões que dizem respeito a três elementos das máquinas, que por sua vez afetam o desempenho da indústria: produtividade, qualidade do produto e taxa de recuperação da matéria-prima. Em geral, os erros mais comuns observados são: excesso de espessura da costaneira, incorreta seleção do corte radial, sub dimensionamento da largura e comprimento das peças. Por este motivo, o adequado treinamento dos operadores é muito importante para o sucesso da empresa (JARA, 1987).

✓ Secagem de forma inadequada

Tanto na secagem da madeira ao ar livre como em estufas são produzidos resíduos que estão associados às contrações, trincas ou fendas superficiais, trincas de topo, colapso, empenamentos e a biodeterioração por ataque de fungos (JARA, 1987).

Quando isto ocorre, as peças precisam passar por um novo processo de refilamento, destopamento e/ou aplainamento. Todas estas operações são geradoras de resíduos, e maior consumo de mão-de-obra e energia. Por isso é necessário que as pessoas ligadas à indústria da madeira tenham os conhecimentos sobre as adequadas formas de conduzir a secagem da madeira (JARA, 1987).

Para exemplificar a importância da quantificação de resíduos na indústria de base florestal pode-se citar como exemplo o estudo realizado na Louisiana por HOOP *et al* (1997), onde foi utilizado um Sistema de Informações Geográficas (GIS) para mapear todos os locais que produzem e consomem resíduos de madeira. Este estudo revelou que, enquanto algumas empresas usam o resíduo de madeira em suas próprias caldeiras, ou vendem para outros para combustível, ainda existem recursos energéticos sem uso. Panorama este que não é muito diferente do Brasil.

No Brasil, se considerarmos que o estádio do Maracanã, no Rio de Janeiro, tem um diâmetro de 300 m e uma altura de 30 m (estimados), isto daria um volume de aproximadamente 2,1 milhões de metros cúbicos. Usando esta medida como padrão podemos dizer que geramos aproximadamente 36 maracanãs de resíduos florestais por ano. Se toda esta quantidade de resíduos fosse transformada em energia por exemplo, estaríamos ricos, vendendo energia (SOUZA, 1997).

3.2.4 Produção de Resíduos nas Indústrias Primárias da Madeira

A indústria que produz produtos primários de madeira são empresas que usam a tora inteira para gerar produtos primários como pranchas e vigas. Os produtos são industrializados depois que as toras são serradas, e após a retirada dos destopos, costaneiras e galhos. Baseado nesta definição, os resíduos produzidos pelas indústrias primárias da madeira são considerados sólidos, não necessitando assim de manuseio especial ou equipamentos para isso. Entretanto, grandes indústrias do setor primário geram grandes quantidades de resíduo como subproduto durante os processos de manufatura, incluindo partículas, serragem, casca, refilos e destopos, e uma variação de combinações destes resíduos (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC, 1990).

A TABELA 2 apresenta uma comparação entre os resultados obtidos por MIYAZAKI (1989) e OLANDOSKI *et al* (1997) em serrarias que desdobram madeiras de coníferas, respectivamente nos Estados Unidos e Brasil.

TABELA 2 - PRODUÇÃO DE RESÍDUOS EM SERRARIAS DE CONÍFERAS NOS ESTADOS UNIDOS E BRASIL.

Autor	Tipos de resíduos gerados (%)			
	Refilo	Destopo	Pó-de-lixa e serragem	Casca e outros resíduos
MIYAZAKI (1989)	14,40	1,60	8,50	6,70
OLANDOSKI <i>et al</i> (1997)	24,00	3,00	10,00	12,00

FONTE DOS DADOS: MIYAZAKI (1989) E OLANDOSKI *et al* (1997).

Nesta linha de pesquisa, KOCK (1976) foi além, pois quantificou os resíduos gerados na manufatura de madeira serrada aplainada de coníferas para uso em construção de casas e qualificou o resíduos para usos potenciais, como pode ser observado na FIGURA 1.

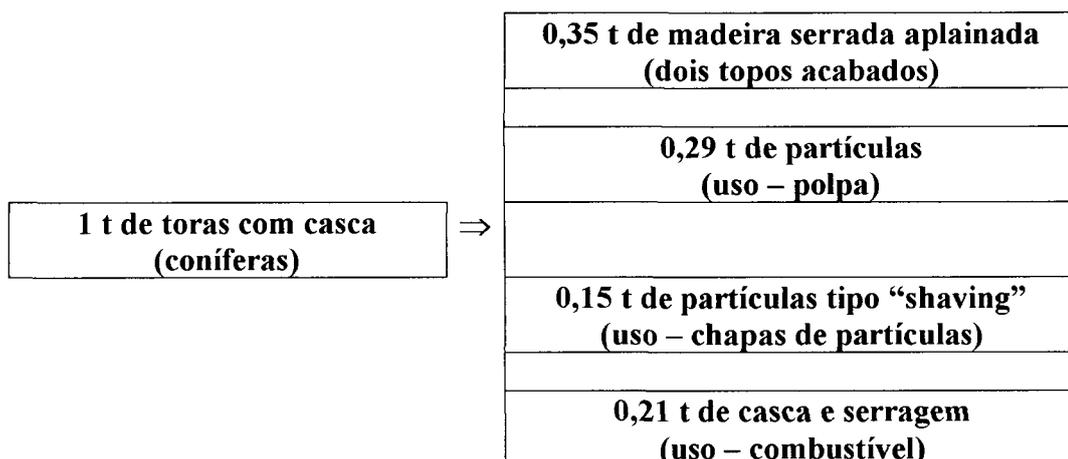


FIGURA 1 - FLUXOGRAMA DO RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA APLAINADA A PARTIR DE TORAS COM CASCA (MADEIRA DE CONÍFERAS) (FONTE DOS DADOS: KOCK (1976)).

Outro autor que trabalhou com balanço de matéria-prima em alguns tipos e indústrias de base florestal foi EKONO (1980), sendo que para serrarias com secagem ao ar e secagem em estufas o autor considerou a quantificação e qualificação do resíduos para usos potenciais apresentados na FIGURA 2.

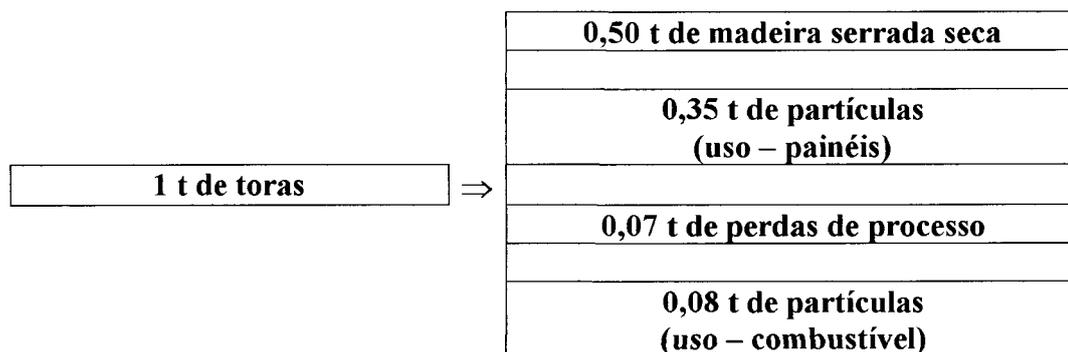


FIGURA 2 - FLUXOGRAMA DO RENDIMENTO EM MADEIRA SERRADA SECA AO AR E EM ESTUFA EM SERRARIAS DE PEQUENO PORTE LOCALIZADAS NAS FILIPINAS (MADEIRA DE FOLHOSAS) (FONTE DOS DADOS: EKONO (1980)).

3.2.5 Produção de Resíduos nas Indústria de Produtos Secundários da Madeira

As indústrias de produtos secundários de madeira incluem empresas que manufaturam produtos acabados de tábuas ou lâminas produzidas pela indústria primária. Como exemplos pode-se citar móveis; divisórias de escritórios; produtos manufaturados para o comércio como janelas, portas, armários, pisos, cercas; pallets; produtos para construção; etc. Estas empresas podem apenas trabalhar ou dar acabamento ao produto final, como também podem serrar ou dimensionar a madeira serrada. A quantidade de resíduos de madeira produzida varia muito com o tipo de atividade e pode ser pequeno ou grande, podendo incluir partículas, serragem, refilos, destopos e uma variação de combinações destes (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC, 1990).

Como na indústria primária da madeira, este resíduo é considerado sólido, porém isto não é positivo para as grandes indústrias que produzem grandes volumes de resíduos e que requerem especial manuseio. Certa quantidade do resíduo gerado é cedido ou vendido para outros usos, sendo que a venda cobre os custos de manuseio (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC, 1990).

MIYAZAKI (1989) também trabalhou com a quantificação de resíduos na indústria de produtos secundários da madeira, e os resultados da avaliação da indústria de compensados no Japão, onde a matéria-prima são toras de madeiras duras importadas e na indústria de fabricação de pisos e assoalhos, com dois processo produtivos, estão apresentados na TABELAS 3 e 4.

Para a indústria de compensados, o resíduo gerado tem a mesma destinação do resíduo gerado na serraria e na indústria de assoalho, sendo que quase todos os resíduos são consumidos como combustível.

TABELA 3 - PRODUÇÃO DE RESÍDUOS EM INDÚSTRIAS DE PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA MADEIRA (COMPENSADOS).

Tipo de resíduo	Quantidade (%)
Serragem	0,80
Destopo	1,90
Rolo resto do torno	6,60
Lâminas externas (verdes)	9,30
Lâminas secas	4,40
Resíduos de compensados	3,20
Pó-de-lixia	1,20
Casca	0,30

FONTE DOS DADOS: MIYAZAKI (1989).

TABELA 4 - PRODUÇÃO DE RESÍDUOS EM INDÚSTRIAS DE PRODUTOS SECUNDÁRIOS DA MADEIRA (FÁBRICA DE ASSOALHOS).

Tipo de resíduo		
Obtenção e manufatura das lâminas	Quantidade (%)	
Serragem	9,00	
Refilo	22,60	
Destopo	8,40	
Casca e outros	5,00	
Processamento dos blocos	Processo 1	Processo 2
Serragem	1,00	0,50
Destopo	12,40	12,60
Resíduos de aplainamento	35,20	37,80
Casca e outros resíduos	5,00	0,10

FONTE DOS DADOS: MIYAZAKI (1989).

Na avaliação da indústria de compensados, KOCK (1976) também contribui com a determinação do rendimento em produto e resíduos, bem como a destinação deste último, na fabricação de compensados de coníferas como demonstrado na FIGURA 3.

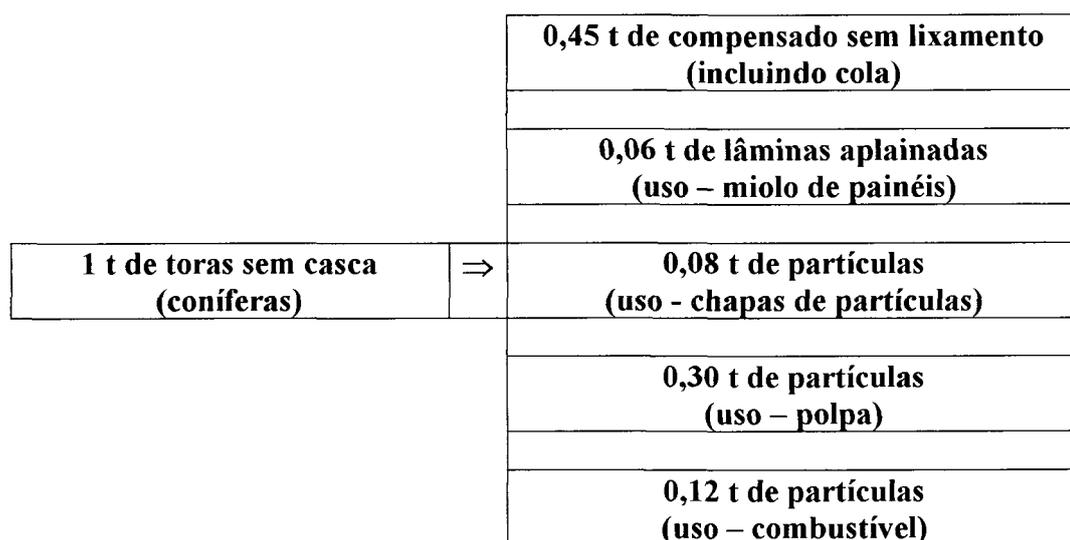


FIGURA 3 - FLUXOGRAMA DO RENDIMENTO EM PAINÉIS COMPENSADOS A PARTIR DE TORAS SEM CASCA (MADEIRA DE CONÍFERAS) (FONTE DOS DADOS: KOCK (1976)).

Da mesma forma que na serraria, EKONO (1980), a exemplo de KOCK (1976), também avaliou o rendimento, perdas e possível destinação dos resíduos gerados como apresentado na FIGURA 4.

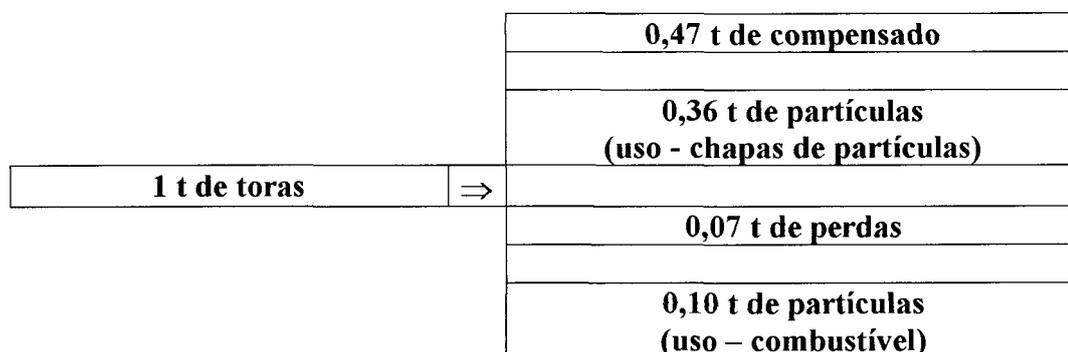


FIGURA 4 - FLUXOGRAMA DO RENDIMENTO EM PAINÉIS COMPENSADOS A PARTIR DE PLANTAS INSTALADAS NAS FILIPINAS (FONTE DOS DADOS: EKONO (1980)).

Além dos produtos já citados, na indústria de chapas de madeira o resíduo do processo é principalmente composto de pó-de-lixo, e 10% deste é utilizado como combustível. Na produção de partículas de madeira, 5% da produção em plantas produtoras de partículas ou

cavacos e 3% nas plantas produtoras de polpa são destinados ao uso como combustível ou outros usos. Como resíduo adicional da produção de partículas, a madeira deteriorada e casca são destinados para queima em plantas de aquecimento, desde que o resíduo de melhor qualidade seja usado como partículas para chapas ou como matéria-prima para plantas de produção de combustível (líquido ou gasoso) a partir da madeira ou outros usos (MIYAZAKI, 1989).

3.2.6 Considerações Gerais da Quantificação dos Resíduos Indústrias para a Geração de Energia.

Segundo BRITO (1993) citado por MENDES *et al* (1997) a produção de resíduos oriundos da indústria de base florestal, no Brasil, é muito grande, onde as operações desde o abate das árvores até a confecção do produto final, acarretam perdas valorosas. Por exemplo, em 1991, a indústria de madeira serrada, lâminas e compensados chegou a valores de 19.255.000 m³/ano de resíduos, em torno de 50,71% do volume original de toras.

Dados de 1996 indicavam que o Brasil tinha uma produção total (coníferas e folhosas) de 22,5 milhões de toneladas de madeira serrada, e segundo a FAO a expectativa é de crescimento acelerado para os próximos anos. As projeções indicam que no ano 2000 a produção de madeira serrada de *Pinus* deve atingir cerca de 8 milhões de metros cúbicos. O volume da madeira de *Eucalyptus* deverá também crescer, especialmente com a entrada de novas empresas no mercado, principalmente as empresas de celulose e de papel que vem demonstrando interesse (SOUZA, 1997).

Porém, apesar de uma produção de 22,5 milhões de toneladas de madeira serrada, a eficiência de utilização é em torno de 50%, o que gera nada menos que outros 22,5 milhões de toneladas de resíduos, incluindo pó-de-serra, costaneiras, destopos, lascas, casca e maravalha.

Apenas o pó-de-serra gerado anualmente seria suficiente para encher completamente 3 estádios do maracanã (SOUZA, 1997).

Portanto, apesar da grande produção de resíduos de madeira no país e sua potencial utilização para a geração de energia, a atual situação da Matriz Energética Brasileira mostra uma grande dependência de combustíveis derivados do petróleo (32,3%), o que representa um risco para o país, por se tratar de um recurso não renovável, além do dispêndio desnecessário de divisas (MENDES *et al*, 1997).

Analisando-se a Matriz Energética no Paraná, segundo dados da COPEL (1996) citado por CONTO *et al* (1997), a participação de lenha e dos resíduos madeireiros na matriz energética, no período de 1980 a 1995, caiu de 23,5% para 14,2%.

Na região de Curitiba, o consumo de lenha em 1995 foi de 313 tEP, e os maiores demandadores foram a indústria de cal (30%) e a cerâmica (15,6%). O consumo de resíduos de madeira foi de 96 tEP, sendo os maiores demandadores a indústria de cal (43,8%) e as cerâmicas (12,8%). A indústria de cal, que se encontra concentrada na região de Curitiba, em 1980, tinha na lenha 100% de sua demanda de energia e, em 1995, a serragem já participava com 28,4%. O primeiro ano em que foi registrado o consumo de serragem em substituição da lenha foi em 1992 com um consumo de 5 tEP, tendo chegado a 42 tEP em 1995 (CONTO *et al*, 1997).

3.2.7 Importância Econômica do Uso de Partículas de Madeira e Resíduos

A geração de resíduos florestais e agrícolas no Brasil tem mostrado valores expressivos, o que nos leva a considerar seriamente a sua utilização na cadeia produtiva. Resíduos não só representam um problema econômico, através do desperdício, como também um sério problema ambiental. Geramos atualmente nada menos que 23 milhões de toneladas de resíduos florestais somente das serrarias (SOUZA, 1997).

Segundo ABARE (1998), citado por NATIONAL ASSOCIATION OF FOREST INDUSTRIES (1999), entre 1996/97, 20,1 milhões de m³ de toras foram colhidas das florestas nativas e plantadas australianas, gerando 4,1 milhões de m³ de toras de madeira dura serrada, 5,2 milhões de m³ de toras de madeira dura para polpa, 5,9 milhões de m³ de toras serradas de madeira mole e 4,5 milhões de m³ de toras de madeira mole para polpa.

O processamento destas toras produziu em torno de 6,8 milhões de m³ de partículas de madeira dura e 6,2 milhões de m³ de partículas de madeira mole. Em torno de 20% das partículas de madeira dura foram processadas domesticamente, o remanescente foi exportado. Em torno de 70% das partículas de madeira mole foram processadas domesticamente (35% de painéis e 35% para a produção de papel), o restante foi exportado.

O mesmo autor afirma que a exportação australianas de partículas de madeira é uma renda sustentável regional. Com o recente reforço da demanda, a renda australianas das exportações de partículas de madeira aumentou para US\$ 647 milhões (US\$ 502 milhões de madeira dura e US\$ 145 milhões de madeira mole) em 1997/98. Sendo que, para o volume de partículas de madeira mole é esperada a continuidade do crescimento forte em resposta ao aumento da demanda do mercado.

Analisando-se os valores monetários, uma tonelada de partículas de madeira verde vale US\$ 75,00 no mercado mundial. Comparado com US\$ 60,00 a tonelada de carvão e US\$ 30,00 a tonelada de minério de ferro, as partículas de madeira são um produto valioso para a exportação. Porém, a Austrália poderia alcançar maiores benefícios econômicos pelo processamento de partículas de madeira que estão correntemente sendo exportados para polpa e papel ou em forma de painéis de madeira.

Enquanto as partículas de madeira são um importante “comoditie” econômico na Austrália, aumentando-se a quantidade de polpa e papel produzidos no mesmo país, poderia-se promover o suprimento do país, gerando assim muitos benefícios. Com mais fábricas de polpa e papel adicionando valor às partículas de madeira, poderia ser formada uma rede

exportadora de produtos florestais e reduzir o déficit do comércio nacional para menos de US\$ 1,5 bilhões.

Segundo BRITO (s/d), avaliando-se o caso brasileiro, mais precisamente a região sul do Brasil, a partir dos anos 80, a madeira de *Pinus* começou a substituir as madeiras de pinho e as folhosas, o que foi praticamente atingido no ano de 1994, quando a participação da madeira de *Pinus* atingiu 95% da produção da madeira serrada. A partir de projeções é esperado que no ano 2000 toda a madeira serrada nas regiões sul e sudeste seja baseada na madeira de *Pinus* de reflorestamento. Consequentemente, deverá ocorrer um aumento na produção de resíduos da madeira de *Pinus*. Estas informações sugerem que nas regiões sul e sudeste as atenções devam ser voltadas para os resíduos desta madeira, uma vez que a mesma será predominante nas serrarias.

Portanto, se a indústria de serrados se baseia quase que exclusivamente na madeira de *Pinus* de reflorestamento, pode-se pensar no suprimento das indústrias de aglomerados no Brasil, pois esta trabalha, praticamente, só com esta espécie de madeira. Além disso, os resíduos das serrarias e de laminação são produzidos em quantidade suficiente para suprir toda a indústria de aglomerados, sendo que estes resíduos podem atingir valores até três vezes menores que aqueles pagos pela madeira em tora.

No caso da indústria de aglomerado, a demanda no ano de 1991 foi de 916.667 m³ de madeira, sendo que a indústria nacional utiliza quase que exclusivamente madeira em toras e o custo da matéria-prima alcançou em torno de US\$ 7.177.502,00. Caso essa mesma indústria tivesse utilizado os resíduos ao invés de madeira roliça, os custos de matéria-prima teria sido de US\$ 2.337.500,00, o que daria uma economia de US\$ 4.840,00.

Com relação aos preços pagos pelo resíduo, os oriundos de indústrias de produtos de madeira são mais variáveis do que a madeira para combustível oriunda da floresta. O primeiro tipo de resíduo, apesar de ter preço mais alto que a madeira oriunda de atividades silviculturais, tem a vantagem de ter menor conteúdo de umidade. A variação de preço

existente depende do tipo ou espécie de madeira; de outros mercados para o resíduo; se o resíduo é vendido diretamente pela indústria ou por atravessadores; se o resíduo é colocado na indústria ou transportado para o local de uso e se o resíduo está em forma de partículas, serragem, destapos ou casca (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC., 1990).

AVILA & ORJUELA (1992) acrescentam ainda que o preço pode ser determinado pela demanda existente para cada um deles, enquanto que o custo de transporte depende de fatores ligados à classe do resíduo, quantidade, destino final e estado das vias de transporte. Em países desenvolvidos, onde a atividade industrial do setor florestal tem um aporte significativo na economia, 50% dos resíduos de madeira são utilizados industrialmente, com tendência a aumentar, em uma grande variedade de usos.

3.2.8 Mercado Futuro de Resíduos para a Geração de Energia

A energia da madeira deve continuar a ter um importante papel por algum tempo e vir a ser um recurso tradicional de energia em países em desenvolvimento, particularmente entre setores com populações de baixa renda. A madeira e o carvão vegetal também continuarão a ser queimados em quantidades limitadas para aquecimento de residências e pequenas indústrias e para usos especializados em países desenvolvidos (FAO, 1999).

Segundo C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC. (1990), a futura ligação entre a energia da madeira e o mercado do resíduo sólido dependem de um variedade de fatores, incluindo:

- tipos e quantidade de resíduos de madeira gerados e disponíveis na área de utilização;
- existência de práticas de classificação e movimentação dos resíduos de madeira; boa vontade dos produtores e transportadores de resíduos e facilidade de disponibilidade de operadores para separar a madeira de outros materiais;

- disponibilidade de empresas que manuseiem e processem o resíduo de madeira em materiais para outros usos;
- existência de mercados futuros para resíduos de madeira processados, incluindo combustível, matéria-prima para painéis, compostagem, resíduos sólidos compostos e fabricados para materiais de construção, etc;
- regulamento aprovado para a queima dos resíduos de madeira como combustível, preferencialmente a coloca-los em aterros.

Ainda, segundo CONEG (1988), outros fatores que influenciarão serão os preços competitivos do resíduo para que este seja aceito nas plantas e disponibilização de pessoal treinado capaz de operar e fazer a manutenção dos equipamentos de operação.

Em resposta aos desenvolvimentos recentes, tanto a floresta como o setor energético são apropriados para aumentar consideravelmente a importância do uso da madeira para energia no futuro. A melhoria do planejamento dependerá em parte de informações básicas, mas a presença de informações globais em energia da madeira ainda é extremamente débil. Portanto, esforços contínuos para melhorar a coleção de informações são essenciais, como será favorável a avaliação dos custos e benefícios do uso da madeira para energia, comparados aos dos combustíveis fósseis e outros recursos alternativos de combustível, além de condições econômicas e implicações ambientais deste uso (FAO, 1999).

3.3 UTILIZAÇÃO DOS RESÍDUOS PARA FINS ENERGÉTICOS

Na década de 70, os Estados Unidos já vinha se preocupando com a auto-suficiência energética através de estudos da utilização da madeira como fonte combustível, como citou SAEMAN (1977a) em sua palestra no seminário Floresta - potencial energético brasileiro.

Segundo o autor, nos Estados Unidos, a mais óbvia utilização de resíduos de madeira de baixa qualidade ou de madeira que não teve outra utilização é como combustível na indústria de processamento de madeira. Portanto, a auto-suficiência energética se transformou, nesta época, em um objetivo de muitas usinas de processamento de madeira.

Porém, segundo WEATHERS (1989), para que a indústria que deseja usar resíduos para a geração de energia seja bem sucedida é necessário que sejam seguidos os seguintes passos:

- completa avaliação do uso do fluxo de energia e demandas da indústria;
- detalhada análise técnica e de engenharia do balanço do sistema energético com as necessidades de energia da indústria, incluindo cogeração, se desejado;
- fonte confiável de resíduos industriais;
- resíduo confiável, conveniente e barato;
- disponibilidade de tecnologia para transformação de resíduos em energia que seja de boa qualidade e comercializável;
- adequado controle de poluição;
- disponibilidade de coleta e distribuição ou venda do “resíduo” (por exemplo a cinza da combustão);
- pessoal treinado para operação e manutenção dos equipamentos de geração de energia;
- eficiência na diminuição nos custos de distribuição ou venda, diminuição nos custos de energia e novas fontes de rendimento que excedam o capital do investimento, sistemas de operação e manutenção.

Porém, segundo o mesmo autor, o problema mais frequentemente citado pelas indústrias que usam resíduos de madeira para a geração de energia é a falta de capital para a construção inicial ou expansão da planta para geração de energia. Outros problemas citados pelas indústrias estudadas nos Estados Unidos incluem:

- ineficiência no uso da energia gerada;

- muita manutenção;
- necessidade de automação;
- dificuldade para encontrar critérios para o controle da poluição;
- baixa eficiência;
- excesso de resíduos e deficiências na armazenagem;
- baixo preço do álcool produzido;
- areia no digestor anaeróbico;
- resíduos de madeira muito valiosos para o uso como combustível líquido;
- poucas taxas de incentivos.

Portanto, problemas na utilização industrial de resíduos para a geração de energia podem ser oriundos da não observação dos passos acima citados, que comprometem o sucesso do empreendimento.

SOUZA (1997) identificou ainda como fatores inibidores para a plena utilização de resíduos florestais e agrícolas os custos de transporte e a heterogeneidade do resíduo.

Embora muitas vezes considerado como muito caro, existe considerável interesse na instalação ou expansão de instalações para a cogeração. De fato, a cogeração pode ser a resposta para aquelas empresas que possuem excesso de resíduos disponíveis. Um problema particular pode ser o uso de equipamentos ou sistemas estrangeiros, sendo necessário estar certo da adequada manutenção e assistência antes da compra e instalação do equipamento com esta característica (WEATHERS, 1989).

3.3.1 Benefícios e Dificuldades no Uso da Madeira e Resíduos de Madeira para Energia

Apesar da madeira ser volumosa e ter baixo poder calorífico, possui a vantagem de ser renovável; ter baixo conteúdo de cinzas e um conteúdo desprezível de enxofre (SAEMAN, 1977b).

Segundo C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC. (1990), como um recurso natural e renovável, o uso do combustível madeira pode ter uma variedade de impactos positivos na economia e meio ambiente. Portanto, os benefícios associados com a madeira e seu uso para energia incluem:

- decréscimo da dependência de importações de petróleo;
- aumento do uso de recursos naturais e renováveis;
- melhoria da diversidade e independência no suprimento de combustível;
- decréscimo nos custos energéticos;
- aumento de empregos regionais e salários;
- melhoria no gerenciamento florestal;
- desenvolvimento de novos mercados para madeira de baixa qualidade e resíduos de madeira.

Além destas vantagens, CONEG (1988) e C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC. (1990) afirmam que o aumento do uso de resíduos de madeira processada como combustível provê oportunidades para:

- o decréscimo da quantidade de resíduo que necessita ser liquidado, deste modo tornando o resíduo sólido limitado, além da vantagem do controle do volume de resíduos utilizáveis para outros materiais que não tem potencial para a reutilização ou reciclagem;
- a redução das taxas de transporte e eliminação de resíduos, e desta forma controlar os custos das indústrias e comércios que produzem resíduos de madeira no processo produtivo;
- a criação de um novo mercado de resíduos de madeira para combustível, cama para animais, serragem, e outras utilizações para os resíduos que antes eram considerados como tendo pouco ou nenhum valor;

- a disponibilização de um novo recurso para combustível para pequenos produtores de energia elétrica, interessados em reutilizar a madeira, para a venda ao serviço público;
- a disponibilização de um novo recurso de combustível para indústrias, comércios e instituições interessadas em usar a energia renovável da madeira, preferencialmente a combustíveis fósseis não renováveis como o carvão mineral, petróleo e gás natural.

Porém, segundo CONEG (1988), com o aumento do uso e processamento de resíduo de madeira podem ocorrer problemas como:

- entrada prematura no mercado de processadores ou supridores (atravessadores) de resíduos, antes da adequação do mercado e planejamento da demanda terem sido completados;
- inadequação de escalas de investimentos, para o processamento do resíduo de madeira e de equipamentos de manuseio e sortimento, antes de estimativas confiáveis dos custos e rendimentos associados com o negócio terem sido completadas;
- identificação incompleta dos mercados potenciais para o combustível, além de informações insuficientes das atuais e futuras instalações para o uso desta matéria-prima na região;
- seleção e instalação deficientes de novos equipamentos necessários para este negócio, antes de dados técnicos confiáveis serem reunidos para documentar a experiência de existência de processamento de resíduo e comércios para o suprimento.

3.3.2 Suprimento e Distância de Transporte de Madeira ou Resíduos para Combustível

Segundo C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC. (1990) vários tipos de suprimentos de madeira para combustível são usuais, incluindo:

- transformação de árvores em toras e partículas - produção de madeira para combustível

como resultado de atividades de conversão *in situ* e atividades silviculturais;

- indústrias de produtos de madeira - geração de resíduos de madeira como subproduto das operações industriais e comerciais;

- corretores de resíduos - compra de madeira para combustível de uma variedade de madeiras e geradores de resíduos de madeira e revenda deste para usos energéticos;

- processadores de resíduos de madeira - separação prévia do resíduo de madeira do fluxo de resíduos para disponibilização e processo do resíduo para combustível, e outros usos.

Em comparação com os recursos de energia fóssil, uma importante característica da biomassa é sua baixa densidade. Isto pode repercutir em consideráveis reduções de custos de transporte (KLEINHANSS & KÖGL, 1989), portanto a proximidade da madeira ou resíduo para combustível é um importante fator no desenvolvimento e locação da planta para queima da madeira (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC., 1990).

As características dos resíduos de madeira favorecem grandemente sua utilização próximo ao ponto de origem, preferencialmente pela própria indústria madeireira (SAEMAN, 1977b). Porém, dependendo da transportabilidade da matéria-prima, com respeito a biomassa derivada dos produtos, um ajuste regional da planta de conversão pode ser levado em consideração para alcançar uma redução no custo de transporte (KLEINHANSS & KÖGL, 1989).

Em geral, indústrias que consomem madeira para energia preferem comprar madeira até um raio de 80 a 112 Km do local onde está será utilizada. Entretanto, existem exemplos de suprimentos de madeira no sul da Nova Inglaterra onde o transporte é feito em distâncias maiores que 320 Km, devido a demanda local por madeira (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC., 1990).

3.3.3 Políticas de Incentivo para a Utilização de Resíduos para a Geração de Energia

Muitos países estão mudando suas políticas energéticas para encorajar a expansão do uso da energia da madeira (FAO, 1999). Portanto, o suporte governamental para o uso da madeira para energia é fundamental, e ocorre através de uma variedade de pesquisas e esforços de desenvolvimento, programas de informações públicas, serviços de assistência técnica, taxas seletivas de incentivo para o setor industrial e subsídios diretos para a instalação de equipamentos no setor público e privado (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC., 1990).

Ações tomadas pelos países para regular, liberalizar e privatizar os mercados de energia, a duas décadas, têm estimulado a competição entre os fornecedores de energia e tem apresentado novas oportunidades para outros combustíveis não fósseis e recursos energéticos. Alguns países têm também promovido taxas sobre os combustíveis fósseis, promovendo o decréscimo do uso destes e em alguns casos o aumento do uso de outros recursos energéticos (FAO, 1999).

Segundo THORNQVIST (1998), citado por FAO (1999), na Suécia, por exemplo, o preço da energia gerada com combustível fóssil dobrou entre 1980 e 1997, devido ao aumento das taxas nos combustíveis fósseis, enquanto que a energia da madeira permaneceu estável.

Segundo NOUSIAINEN & VESISENAHO (1998), citados por FAO (1999), em 1994, o governo Finlandês estabeleceu objetivos para a promoção da energia da madeira como um subsídio para aumentar o seu uso para 25% no ano 2005.

FAO (1999) afirma que iniciativas similares foram adotadas em outros países. Na Dinamarca, 50% do aquecimento das casas é com biocombustíveis. A Holanda começou um programa especial de investimento para a promoção de usinas elétricas e plantas de aquecimento utilizando biomassa de madeira como combustível.

Além disso, as comissões europeias recentemente adotaram o “White Paper”(EC, 1997) e dão especial atenção para a bio-energia (incluindo tanto a energia da madeira como

energia de resíduos de colheita da agricultura) e constituem uma estrutura para o desenvolvimento futuro da energia renovável como os 16 países da União Européia (EU).

O Serviço Canadense Florestal começou uma iniciativa em 1995 para facilitar a introdução da bio-energia (principalmente energia de madeira) para a geração de energia elétrica nas comunidades remotas, no nordeste do Canadá. O objetivo não foi somente promover mais energia nestas áreas isoladas, mas também criar empregos e favorecer auto confiança das comunidades indígenas.

Muitos programas de bio-energia bem sucedidos têm sido estabelecidos em países desenvolvidos. A Indonésia, Malásia, Filipinas e Tailândia têm recentemente adotado iniciativas de uso de energia da madeira como suporte de um programa de cooperação econômica entre a Comissão Européia e a Associação das Nações do Sudeste Asiático (ASEAN), o Programa EC-ASEAN COGEN.

Uma companhia privada no Chile, Chilgener, tem sido supridora das indústrias com energia gerada de resíduos da madeira, desde 1992. Na Nicarágua, duas indústrias de açúcar tem diversificado sua produção de açúcar com geração de eletricidade a partir do bagaço da cana (durante a estação de produção de cana de açúcar) e combustível de madeira derivado de plantações de *Eucalyptus* (quando o bagaço é inexistente). Ambas as indústrias vendem esta energia para a rede de energia nacional. Um projeto similar é feito em Honduras.

Em Connecticut, nos Estados Unidos, o uso da madeira para fins energéticos é sustentado por uma variedade de agências governamentais federais, estaduais e locais. Em geral, o suporte governamental para o uso da madeira como combustível é para encorajar o uso de recursos naturais renováveis, reduzir a dependência da importação de petróleo, e estimular a geração de empregos locais (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC., 1990).

Segundo o mesmo autor, a partir da criação de um “Plano de Resíduos Sólidos”, suas pretensões e implicações devem ser analisadas e atacadas por analistas energéticos e planificadores de resíduos sólidos. Pesquisas contínuas e estratégias específicas de parceria

devem ser desenvolvidas, sendo aparente a existência substancial de ligação entre as políticas públicas para o aumento do uso da energia renovável e políticas públicas para a redução da geração de resíduos e aumento do gerenciamento do volume de resíduos.

Mudanças recentes de políticas energéticas e experiências com programas de bio-energia, em muitos países, indicam que o combustível de madeira vem se tornando mais atrativo para países com recursos energéticos renováveis e modernos. Eles têm potencial para tornarem-se mais competitivos com os combustíveis fósseis em algumas situações, ambos por razões econômicas, como o rápido crescimento das plantações energéticas, desbastes de plantações de madeira para serraria e resíduos de indústrias florestais que tornam-se recursos inesgotáveis para energia, e também por razões ambientais (relativos aos esforços para mitigar o aquecimento global) (FAO, 1999).

3.3.4 Impactos Ambientais Devido a Queima da Madeira

A queima da madeira tem grande variedade de impactos ambientais com relação as emissões atmosféricas. Isto inclui a quantidade e disponibilização de cinza produzida durante a combustão; gerenciamento adequado da área de estocagem da madeira destinada para combustível; aumento do tráfego de caminhões na vizinhança, onde está localizada a planta para a queima do resíduo de madeira e as mudanças dos níveis de ruídos causados pelos equipamentos utilizados para a atividade (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC., 1990).

Porém, a tendência da poluição do ar causada pela queima de biomassa em relação a emissão de CO é 15%, de hidrocarbonetos é 10% e dos óxidos de nitrogênio é 5% inferiores aos produzidos pelos veículos com motor à gasolina; a emissão de particulados é 30% inferior a queima de carvão mineral e não existe emissão de enxofre (zebu.ouregon.edu/phys162.html).

A estrutura da Convenção de Mudanças Climáticas tem reconhecido o potencial da madeira como energia, como parte da estratégia de substituição para reduzir a emissão de CO₂ de combustíveis fósseis. O Protocolo Kyoto do FCCC, se ratificado, tem o potencial para implantar um papel catalítico no favorecimento do desenvolvimento da energia da madeira (FAO, 1999).

3.3.5 Processos de Obtenção de Energia a partir da Biomassa Florestal ou Residual

Largamente no mundo, a biomassa é o combustível não fóssil mais usado, além de ser expandido desde aplicações térmicas tradicionais até o mais usado para combustíveis líquidos e eletricidade (BAIN *et al*, 1999). Dentro deste contexto, a madeira para combustível engloba madeira *in natura*, carvão e licor negro (um subproduto da polpa e papel) (FAO, 1999). Além disso, a energia da madeira é um recurso natural e renovável capaz de prover energia em bases sustentáveis por longo período de tempo (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC., 1990).

A quantidade de licor negro representa uma alta proporção do total de madeira para combustível usado na maioria dos países desenvolvidos. Isto é, usado por grande parte das indústrias de polpa e papel para suprir suas necessidades para aquecimento e energia elétrica (FAO, 1999).

No entanto, a seleção da tecnologia de produção de um combustível com a utilização de uma categoria específica de resíduo segue certas diretrizes simples. As duas maiores decisões interdependentes que devem ser tomadas em um empreendimento, ao se decidir se vai ou não ser investido na geração de energia a partir de resíduos são: a escolha da tecnologia de utilização do resíduo e avaliação da possibilidade de utilização dos resíduos no local de produção ou necessidade de transporte dos mesmos para a planta. Estas decisões são influenciadas por informações a respeito da variabilidade, quantidade, concentração,

disponibilidade, conteúdo de umidade e competição de mercado no uso dos resíduos, bem como por requerimentos de energia em residências (WEATHERS, 1989).

Além disso, o desenvolvimento e adoção de novas tecnologias para a produção, transporte, manuseio e estocagem da madeira para combustível, com combustão mais eficiente e melhoria dos sistemas de planejamento, gerenciamento e organização dos sistemas de energia tem ajudado a tornar a madeira consideravelmente mais competitiva em termos de custos com outros recursos energéticos (FAO, 1999).

Outra realidade é que uma significativa redução em emissão global de dióxido de carbono fóssil requer a instalação de larga variedade de tecnologias de controle e escolha adequada do tipo de caldeira a ser utilizada (COBB *et al*, 1999).

As quatro tecnologias gerais para produção de combustíveis, que são principalmente usadas pelas indústrias são a combustão, gaseificação, fermentação para etanol e digestão anaeróbica para biogás (WEATHERS, 1989), sendo que, anteriormente, PINGREY (1976) havia agrupado os processos em apenas três grandes grupos:

- Processos de combustão;
- processos de pirólise, e
- processos de bioconversão.

Qualquer que seja a tecnologia a ser utilizada, a sua seleção deve ser feita com base nas características dos resíduos disponíveis, como mencionado anteriormente, porém a combustão é a tecnologia mais largamente implementada, seguida pela digestão anaeróbica (WEATHERS, 1989).

3.3.5.1 *Combustão*

Na combustão ou queima direta da madeira ocorrem reações químicas e físicas, sendo gerados nesta queima, calor, produtos químicos e gases. Quando tem-se a combustão

completa são gerados vapor d'água e CO₂, juntamente com cinzas não combustíveis. Quando a queima é incompleta, tem-se a formação de CO, hidrocarbonetos e outros gases (ROCHA & KLITZKE, 1998).

A madeira é o recurso de biomassa mais comumente usado para produção direta de calor (HALL, 1989b). Porém, a combustão deve ser o método escolhido para resíduos com pouca umidade. Para resíduos com alta porcentagem de umidade e saturados, a combustão é usualmente ineficiente e a tecnologia escolhida deve ser a digestão anaeróbica (WEATHERS, 1989).

A madeira é totalmente desintegrada ou é transformada em partículas quando é usada em fornalhas, fornos, lareiras ou em fornos para cozinhar ou aquecer água. Quando usada para muitas outras operações, a mesma pode ser transformada em cavacos ou pulverizada (HALL, 1989b).

O calor produzido pela queima de biomassa é o mesmo que o obtido pela queima de combustíveis fósseis. Pela queima direta, a qualidade de biomassa está relacionada com o conteúdo de umidade, calor de combustão, presença de materiais estranhos e químicos e uniformidade da densidade do material. A eficiência da combustão da madeira seca (10% de umidade) é de 80%, enquanto que com umidade de 50% a eficiência é de 60%. Em lareiras sem características especiais, a eficiência da conversão para calor é muito baixa, 10 a 15%, com a maior parte do calor perdida pela chaminé (HALL, 1989b), enquanto que em fornos modernos a queima pode ter eficiência acima de 95% (EOFF & SMITH, 1989).

Alguns artificios são usados para aumentar a eficiência na queima, que consistem em controlar a circulação do ar que entra na área de combustão, dirigir a circulação do ar através da lareira, radiar o calor dentro da câmara de combustão, controlar os locais de saída do cano da chaminé e circular o ar ao redor da caixa de fogo (EOFF & SMITH, 1989).

Nos processos de combustão, para a utilização de resíduos, os equipamentos e métodos mais usados são: Incinerador com paredes de água; combustível suplementar

(queima de resíduos de madeira com carvão mineral ou óleo combustível) e combustão em leito fluidizado (PINGREY, 1976).

Com mais de 1500 caldeiras alimentadas com carvão mineral nos Estados Unidos, a biomassa para queima é de interesse, e poderia abrir também mercado para os resíduos de madeira que atualmente são colocados em aterros com significantes custos que variam de US\$ 20 a 200,00/tonelada (COBB *et al*, 1999).

Em 1997, a queima de volumes de mistura de 30% de madeira (incluindo pedaços de pallets) e 70% de carvão mineral demonstraram sucesso para a alimentação de plantas de caldeira na Pittsburgh Brewing Company, inclusive sem dificuldade com os sistemas de alimentação do material, queimados apropriadamente em grelhas, com baixa emissão de SO₂ e NO_x (COBB *et al*, 1999).

A queima combinada de biomassa em caldeiras que queimam carvão representa um promissor atalho para aumentar o uso de energia renovável e reduzir a emissão de carbono fóssil, enquanto minimiza os requerimentos de custos e alcança alta eficiência térmica, quando relacionada a outras tecnologias renováveis para a geração de energia. A queima combinada de biomassa oferece outras vantagens ambientais, como a redução de emissão de SO₂ e NO_x e redução de necessidade de aterros para os resíduos de biomassa (FREEMAN *et al*, 1999).

Entretanto, a mistura combinada comercial deve definitivamente ser assegurada por instalações de queima de carvão mineral e assim oferecer múltiplos benefícios. Estes benefícios incluem a redução dos riscos e recursos de regulação ambiental sob um aumento dos custos da competitividade ambiental, trazidos pela desregulagem das instalações (FREEMAN *et al*, 1999).

Dados em escala piloto indicam que o padrão de deposição da cinza de biomassa e as emissões de NO_x podem exceder ou ser menor que aqueles de carvão, dependendo do tipo de biomassa. O potencial para a corrosão baseada no cloro pode ser significativamente menor

para a mistura que para combustíveis à base de biomassa pura, na maioria dos casos, mas não pode ser sempre negligenciado. Além disso, partículas de biomassa que são maiores que as partículas de carvão mineral podem ser eficientemente queimadas em uma caldeira que queima carvão pulverizado, com partículas de biomassa de tamanhos de 1/8 de polegada ou maiores, há um aumento nas trocas de combustão incompleta (ROBINSON *et al*, 1999).

Escolhas prudentes de combustível, desenho da caldeira, e operações da caldeira podem reduzir problemas na lareira quando usa-se a queima combinada. Portanto, se estas escolhas não forem bem feitas podem acarretar em danos significativos na caldeira e nos custos de operação (ROBINSON *et al*, 1999).

✓ *Aquecimento a partir de biomassa*

Praticamente toda matéria de biomassa pode ser queimada para a produção de calor. O calor pode ser produzido como um resíduo ou produto secundário de outro processo, tal como a incineração (HALL, 1989b).

O uso da biomassa para aquecimento pode ser considerada de forma direta ou indireta. No caso do uso direto, o produto é queimado e o calor do produto usado imediatamente. Para operações indiretas, o calor é usado para aquecer outro produto ou deixado a disposição antes do uso, como para aquecimento de água para geração de vapor (HALL, 1989b).

Como exemplo da utilização do vapor, pode-se dizer que o papel e produtos afins são responsáveis por 84% das necessidades de obtenção de energia da indústria de produtos florestais, e grande parte da energia usada por essas indústrias é sob a forma de vapor para aquecimento e secagem (SAEMAN, 1977b).

Segundo STIG ANDERSEN, citado por KEMSLEY (1996), se a possibilidade de uso econômico de resíduos de madeira, para suplementação ou substituição de combustíveis fósseis em produção de aquecimento, não for econômico hoje como combustível primário, os

custos futuros e a falta de disponibilidade de outros combustíveis tornará o uso da madeira viável.

Segundo KIRK SCHMIDT, citado por KEMSLEY (1996), faz sentido utilizar o combustível madeira. Se este pode produzir energia compatível com o gás natural, então esta é uma tecnologia explorável. Os custos do capital investido no projeto da usina de aquecimento podem ser recuperados em economia de custo de energia em menos de 20 anos.

Segundo ANDERSEN, citado por KEMSLEY (1996), se os preços do gás subirem, o custo de capital poderá ser recuperado mais cedo. Outro benefício do uso deste tipo de sistema de aquecimento inclui o fato de que, das perspectivas ambientais, está se queimando um combustível mais limpo que os combustíveis fósseis. Ao contrário dos combustíveis fósseis, a combustão da madeira não aumenta os níveis de dióxido de carbono, existindo muito pouca poluição quando se queima madeira. Porém, o que pode prover proibição da utilização da madeira para geração de aquecimento é o custo da armazenagem e transporte da mesma.

✓ Serragem como fonte de energia

Segundo CONTO *et al* (1997), a produção de serragem no processamento mecânico de madeira é considerada como um fator de poluição ambiental. Visando reduzir a deposição desse material no ambiente sem qualquer cuidado com a possível contaminação de águas superficiais ou do lençol freático, organismos ambientais vêm executando ações junto às serrarias, no sentido de serem buscadas formas de utilizar o material com menor risco de contaminação do ambiente. A queima da serragem como fonte de energia para a secagem de madeira já é tradicional. No entanto, há uma superprodução desses resíduos nas serrarias, portanto, existe a necessidade de se buscar usos alternativos para a mesma.

Recentemente, surgiram no Estado do Paraná indústrias especializadas no processo de secagem de serragem. A serragem seca tem sido usada pelas indústrias de cal e de tijolos. Para o uso de serragem seca foram desenvolvidos fornos ajustados à sua utilização, que possibilitam um melhor controle da temperatura e gasto de energia através do fluxo regulado de serragem. A secagem do material reduz o peso em aproximadamente 47,5%.

Para as indústrias que utilizam a serragem, a principal preocupação não tem sido calcada unicamente sobre o retorno que o investimento propicia, uma vez que existem benefícios indiretos relatados por produtores de tijolos e de cal que são de difícil quantificação. Entre outros, foram destacados: o não “aborrecimento” com a fiscalização; facilidade de estocagem e manuseio da serragem; facilidade de manutenção e limpeza da área; menor área de estocagem e redução de riscos de acidentes.

Segundo representantes de indústrias de cal e de tijolos estes aspectos seriam suficientes para justificar uma mudança na fonte de energia. Outra vantagem citada, mas não quantificada pelos representantes das indústrias é a melhor qualidade do produto final (cal e tijolo) em função da uniformidade da fonte de energia.

Na indústria de cal, para a produção de uma tonelada de cal, é utilizado 270 Kg de serragem seca enquanto que para a queima de um milheiro de tijolo, nas cerâmicas, é necessário 155 kg de serragem seca.

✓ Briquetagem

SOUZA (1997), em algumas partes da região Sul, Sudeste e Nordeste a lenha não pode ser considerada recurso renovável, conceito que se aplica quando a reposição do estoque for igual ou inferior ao consumo. Paralelamente, nestas regiões ou próximo a elas, são gerados grandes quantidades de resíduos agro-industriais que podem ser compactados e aproveitados energeticamente em substituição à lenha. Para estas regiões, que também concentram a maior

parte do consumo de carvão vegetal, a briquetagem de finos ou dos resíduos de biomassa carbonizados reverte-se de especial importância devido às distâncias crescentes que são cobertas entre as fontes de produção e os centros consumidores.

A desuniformidade granulométrica associada à variação de densidade dos resíduos florestais e agrícolas constituem os maiores obstáculos para a extensiva utilização energética destes materiais. A sua crescente disponibilidade, no entanto, demanda pesquisas e soluções que viabilizem o seu emprego como combustível industrial. A possibilidade de compactação desses insumos energéticos, visando seu melhor e maior aproveitamento, com vantagens técnicas e econômicas, consiste em uma linha de pesquisa desenvolvida pelo Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA.

Além do processo de queima direta do resíduo “in natura” sem nenhum tratamento, como é utilizado na maioria das indústrias, a compactação com sua pré-secagem é uma opção bastante interessante pelas vantagens qualitativas conferidas aos resíduos. Os resíduos com umidade superior a 13% devem passar por secagem, pois os processos de compactação, com exceção do enfardamento, o exigem. Dentre os processos de compactação, a extrusão é o mais utilizado em todo mundo, e além deste existem os processos de prensagem por pistão hidráulico e enfardamento.

A compactação de energéticos, no Brasil, assume grande importância devido a fatores como:

- necessidade de transporte a longas distâncias;
- baixa densidade dos resíduos de biomassa e do carvão vegetal;
- declínio acentuado na oferta de lenha.

A compactação e a briquetagem transformam o material disperso da biomassa em combustíveis industrializados, conferindo-lhes homogeneidade em constituição e dimensões, compactabilidade, facilidade e segurança no manuseio, estocagem, transporte e utilização,

fatores fundamentais para a maior penetração e difusão nas indústrias dos resíduos como material energético.

3.3.5.2 Pirólise

A pirólise, também chamada carbonização, é a destruição térmica ou quebra da biomassa ou combustível fóssil por aquecimento, com provimento externo de energia, com temperaturas de 600 a 1000 °C, sem a adição de oxigênio ou outro gás. Os produtos da pirólise, que se constituem em carvão vegetal, ácido pirolenhoso e outros componentes intermediários, como também o líquido e gases produzidos podem ser a base para outros processos de gaseificação ou liquefação (HALL, 1989a).

3.3.5.3 Gaseificação

A gaseificação de um combustível sólido como a madeira pode ser definido como a sua transformação em um gás combustível, constituído por uma mistura de monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H₂), metano (CH₄), pequenas quantidades de outros hidrocarbonetos leves (C_nH_m), dióxido de carbono (CO₂) e vapor de água (H₂O), além do nitrogênio (N₂) que está presente no ar fornecido para a reação (MENDES *et al*, 1997).

Assim, os combustíveis gasosos de biomassa incluem os gases que geram pouca energia, produzidos a partir da gaseificação, e o metano da gaseificação hidrogenada ou digestão anaeróbica (JONES, 1989).

A gaseificação termoquímica da madeira para a produção de gás combustível pode aumentar a utilidade da madeira para energia. A energia contida no gás combustível pode ser de 75% da energia contida na madeira. Se o aquecimento correto do gás for utilizado, muito mais alta será a eficiência da conversão total (EOFF & SMITH, 1989).

Existem dois métodos básicos predominantes para a produção de gás a partir de biomassa. A biomassa sólida pode ser aquecida na presença de ar ou oxigênio para produzir nitrogênio, carbono, monóxido de carbono e gases ricos em hidrogênio (produtor do gás) ou a combinação sólido-líquido pode ser digerida para produzir gases ricos em metano (biogás). A energia termal contida no produtor de gás é menor que a do biogás. A energia termal, no entanto, pode ser aumentada pela remoção dos gases de baixa energia termal e gases inertes, dos gases produzidos por um ou outro dos métodos (HALL, 1989a).

Na ausência de oxigênio, microorganismos específicos digerem materiais orgânicos para produzir gás metano, chamado biogás. Para completa digestão deve haver apropriada concentração de matéria seca, temperatura correta, período adequado, proporção carbono-nitrogênio adequado e ausência de antibióticos ou medicamentos nos resíduos que serão degradados pelos microorganismos. O biogás produzido por digestão anaeróbica possui 55 a 65% de metano. Aproximadamente 0,2 a 0,3 m³ de metano são produzidos por kg de sólidos secos em pressão atmosférica normal (HALL, 1989a).

A digestão anaeróbica para a produção de metano é particularmente aplicável onde um constante suprimento de biomassa está disponível e o metano possa ser utilizado no local onde é produzido. Os resíduos da digestão anaeróbica podem ser usados como fertilizantes para o solo (HALL, 1989a).

O biogás produzido por digestão anaeróbica contém alta porcentagem de metano (50 a 70%). Assim, um biogás com 60% de metano tem um poder calorífico de aproximadamente 5500 kcal/m³. Sua densidade é de 1,2 kg/m³ e seu ponto de inflamação é 600 °C. Se for elevada a porcentagem de metano para 70%, 1 m³ do mesmo poderia substituir 0,6 m³ de gás natural ou 0,8 litros de gasolina ou 0,3 kg de carvão, quantidades estas de grande interesse desde o ponto de vista social, meio ambiental e econômico (MARTIN, 1997).

O gás para a geração da energia elétrica é produzido em um conjunto gaseificador, purificado em filtros, em seguida é injetado na câmara de combustão do motor. O movimento

do eixo motor é transmitido para o gerador através de polias e correias, o campo elétrico do gerador é excitado e a energia mecânica é transformada em energia elétrica. Assim, os fatores que influenciam no processo são a granulometria, teor de carbono e umidade do material que será utilizado para a gaseificação e a potência do motor e regulador de tensão (MENDES *et al*, 1997).

Para gaseificação de resíduos de madeira deve-se utilizar gaseificadores concorrentes. Nestes, os gases produzidos passam pela zona de oxidação quebrando os materiais voláteis que poderiam entupir e desgastar o motor. Para utilizar um gaseificador contracorrente deve-se primeiramente carbonizar os resíduos para então gaseificá-los (MENDES *et al*, 1997).

Na gaseificação existem alguns fatores relacionados com a biomassa gaseificada que influenciam no processo de gaseificação. Estes fatores são relativos ao poder calorífico, tamanho das partículas, densidade, forma e dureza das partículas e umidade do material utilizado (MARTIN, 1997).

O gás produzido a partir de biomassa é tão bom como o produzido a partir dos hidrocarbonetos. Várias energias térmicas ou aquecimento dos conteúdos do gás são produzidos com diferentes tratamentos da biomassa disponível. A disponibilidade da biomassa é que impõe o processo que será usado para a produção do gás. Por exemplo, a produção direta de metano é feita eficientemente por digestão anaeróbica da fonte de carboidrato úmida. Pela remoção do dióxido de carbono inerte, o gás pode ser melhorado. Por outro lado, a digestão anaeróbica de partículas de madeira para a produção de biogás, sem outro tratamento, poderia ser um processo para o futuro (HALL, 1989a).

3.3.5.4 Hidrólise

A hidrólise processa-se através do ataque à celulose e polioses da madeira com água em meio ácido, convertendo-os em açúcares. Deste modo, separa-se os componentes

celulósicos na forma de açúcares da lignina que é insolúvel. Após a separação, a solução de açúcares é fermentada com levedura (*Saccharomyces cerevisiae*), transformando em etanol e dióxido de carbono (ROCHA & KLITZKE, 1998).

Durante o processo de hidrólise não enzimática da celulose, presente na matéria vegetal, as hemiceluloses (polioses), que são muito menos resistentes a este processo que a celulose, também são hidrolisadas em xilose e outras pentoses. A xilose pode ser facilmente transformada em furfural, que é utilizado como solvente ou como ponto de partida para síntese de outros produtos químicos industriais. Alternativamente as pentoses formadas podem ser utilizadas na produção de proteínas unicelulares (PERRONE, 1977).

Assim, o processo de hidrólise permite aproveitar tanto a celulose como as hemiceluloses. Como a lignina é insolúvel nas condições usadas para hidrólise, ela é obtida como um resíduo. Um grande número de pesquisas têm sido feitas tendo em vista o aproveitamento deste resíduo conhecido como lignina de hidrólise. A utilização que apresentaria maior interesse em nosso país, seria a transformação desta lignina, com rendimento de aproximadamente 50%, em coque metalúrgico de excelente qualidade (PERRONE, 1977).

Segundo SCHOLLER (1967), citado por PERRONE (1977) a lignina de hidrólise quando seca pode ser briquetada sem aglomerante e carbonizada facilmente. Após a carbonização a forma dos briquetes é mantida e obtém-se um rendimento de 50% de carvão e 18% de alcatrão. O coque, assim obtido, contém cerca de 2% de cinzas que podem ser reduzidas pelo modo com é feita a sacarificação. O alcatrão obtido pela carbonização da lignina contém 50 a 55% de fenóis e os gases combustíveis produzidos possuem um poder calorífico de 5000 a 6000 Kcal/mm³.

Os produtos da carbonização da lignina assemelham-se aos obtidos da madeira, sendo a principal diferença a presença de maior quantidade de fenóis no alcatrão. Portanto, a produção de coque metalúrgico pela carbonização da lignina seria acompanhada pela

formação de subprodutos valiosos que poderiam ser aproveitados como o são aqueles resultantes da fabricação do coque de carvão e do carvão vegetal (PERRONE, 1977).

3.3.5.5 *Geração de energia elétrica com o uso de resíduos industriais*

A biomassa das indústrias florestais têm sido utilizada em todo o mundo para gerar calor e eletricidade. Para estudar a viabilidade de uma central térmica a partir de biomassa residual, além de terem que ser considerados os aspectos econômicos devem ser levados em conta os custos de eliminação dos resíduos, se estes não forem utilizados para este fim, uma vez que seu armazenamento é complicado (MARTIN, 1997). Além disso, a utilização de resíduos de serrarias, casca, e serragem como combustível pode ser muito importante para a sustentabilidade da floresta (EARL, 1975).

A produção de energia elétrica é muito cara se comparada ao valor da energia suprimida diretamente de combustíveis. Mas a conversão da energia da madeira em eletricidade pode ter muitas vantagens em áreas onde o suprimento da madeira não é limitado (EARL, 1975). Assim, a utilização de resíduos para a geração de energia elétrica converte estes resíduos em recursos, e apesar de ser menos rentável que a aquisição de energia elétrica na rede, pode ser mais conveniente que sua armazenagem ou eliminação por outros meios (MARTIN, 1997).

As principais vias pelas quais é possível a obtenção de eletricidade da biomassa são: por digestão anaeróbica dos produtos residuais líquidos ou sólidos de onde o biogás é queimado em um motogerador e pelos processos termoquímicos de biomassa seca (combustão, gaseificação e pirólise), geralmente de origem lignocelulósica, de onde os produtos resultantes são acoplados em sistemas tais como turbinas ou motogeradores (MARTIN, 1997).

Segundo ANTOLÍN (1995), citado por MARTIN (1997), considerando estas vias de obtenção de eletricidade é possível afirmar que a porcentagem de rendimento energético para combustão é de 65 a 95%; para pirólise é de 30 a 90%; para gaseificação é de 65 a 75% e em digestão anaeróbica é de 20 a 35% .

A importância da biomassa para a produção de energia elétrica vem aumentando na Organização para a Cooperação Econômica e Desenvolvimento dos Países; os mercados de *eletricidade* tem encorajado exportações de eletricidade para as indústrias de polpa, papel e madeira serrada que são auto-geradoras de resíduos de biomassa a baixos custos em suas operações de processo (BAIN *et al*, 1999).

A legislação que regula as políticas de subsidiárias públicas nos Estados Unidos estima a instalação de mais de 9 gigawatts (GW) de capacidade usando uma grande variedade de recursos de biomassa. Entretanto, quase toda a capacidade é baseada em caldeiras tradicionais de vapor e sistemas de turbina. As indústrias requerem um aumento na proporção de energia elétrica e calor (CHP) e aplicações distritais de aquecimento, e o aumento da eficiência é essencial para viabilizar economicamente as estações de geração de energia elétrica (BAIN *et al*, 1999).

Tecnologias combinadas de aquecimento e eletricidade indicam a melhoria e eficiência da combinação aquecimento-energia elétrica para fortalecer a viabilidade econômica destes métodos de geração de energia elétrica. Esta tecnologia, que agora estão sendo testadas e demonstradas, empregam turbinas de gás aeroderivadas e industriais; são uma variedade de tipos de alimentação incluindo resíduos da agricultura, resíduos de colheita destinados a energia; e proporções de capacidades desde 8 MW até 75 MW (BAIN *et al*, 1999).

Nos Estados Unidos, já existem usinas elétricas a base de resíduos de madeira que tem capacidade de 80 a 100 Megawatts (zebu.uoregon.edu/phys162.html). Na TABELA 5 são citados alguns exemplos de usinas de geração de energia elétrica existentes na região nordeste

dos Estados Unidos. No entanto, a somatória de todas as usinas da região chegam a uma capacidade elétrica de 373,8 MW e um consumo de 4.006.750 toneladas/ano de madeira na forma de cavacos ou resíduos indústrias para a geração de energia (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC, 1990).

TABELA 5 - ALGUNS EXEMPLOS DE USINAS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA NA REGIÃO NORDESTE DOS ESTADOS UNIDOS

Nome da empresa e localização	Capacidade elétrica (MW)	Uso da madeira como combustível (toneladas/ano)	Tipo de madeira para combustível
Maine			
Fairfield Energy Venture Ft. Fairfield, ME	30,0	350.000	cavacos e resíduo da indústria
Stratton Energy Assoc. Stratten, ME	36,8	430.000	cavacos e resíduos da indústria
New Hampshire			
Bio-Energy Corp. W. Hopkinton, NH	12,0	250.000	cavacos e resíduos de madeira processada
Pine Tree Power Dev. Bethlehem, NH	15,0	246.000	cavacos e resíduo da indústria
Pine Tree Power Dev Tamworth, NH	26,0	250.000	cavacos e resíduo da indústria
Pennsylvania			
Viking Energy Northumberland, PA	18,0	180.000	Cavacos e resíduo de madeira processada
Vermont			
Burlington Electric Dept. Burlington, VT	50,0	435.000	Cavacos e resíduos da indústria, pallets, etc.

FONTE: C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC (1990)

Estas empresas são fábricas de polpa e papel, indústrias primárias e secundárias de produtos de madeira e instituições públicas que queimam madeira para aquecimento e cogeração de energia elétrica. Algumas destas empresas usam toda a energia elétrica gerada na própria empresa e outras vendem toda ou parte da energia produzida para a rede pública (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC, 1990).

Porém, segundo EARL (1975), uma estação de energia elétrica de tamanho razoável seria de 150 Megawatt, exigindo entrada de matéria-prima de aproximadamente 786.600 m³ de madeira seca ao ar, por ano. A área florestal necessária para sustentar a produção poderia

depender da quantidade de resíduos de madeira disponível e do incremento de florestas naturais ou plantações energéticas. Isto poderia levar a um novo conceito de gerenciamento florestal que poderia ser adotado para maximizar a produção de biomassa, ou para a retomada de velhas técnicas florestais.

Nos Estados Unidos, as usinas elétricas movidas pela queima de madeira e sistemas de cogeração combinam tecnologia desenvolvida do uso da madeira para energia em indústrias de polpa e papel com tecnologias desenvolvidas na produção de energia. Elas usam uma mistura de resíduos de madeira, derivados da operação de colheita florestal e a madeira separada do resíduo industrial, como combustível (C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC., 1990).

O desenvolvimento dos sistemas de geração de energia elétrica através da biomassa como combustível crescerá por meio de dois diferentes mercados: auto geração, principalmente por uso de indústrias florestais e agrícolas que usam a biomassa e geração mercantil, que serve o mercado de commodity de eletricidade (BAIN, *et al*, 1999).

Com base em todos os processos possíveis de obtenção de energia a partir de biomassa, o TABELA 6 mostra alguns exemplos de empresas que geram energia a partir de resíduos industriais, utilizando diferentes processos de obtenção.

TABELA 6 - EXEMPLOS DE UTILIZAÇÃO DE RESÍDUOS INDUSTRIAIS PARA A GERAÇÃO DE ENERGIA.

Resíduo de biomassa	Processo tecnológico para produção do combustível	Uso	Companhia e localização	Comentários
Resíduo de papel e madeira, partículas de madeira e casca	Gaseificação controlada	Vaporização e aquecimento	John Deere Tractor Works, IA	-
Licor negro (processo para obtenção de celulose)/resíduos de madeira	Combustão	No processo	Louisiana-Pacific, CA	75% de auto-suficiência na caldeira
Casca e outros resíduos consumidos para licor	Combustão (caldeira com grelha de passagem)	Processo para geração de eletricidade	Mead Paper, OH	100% de auto-suficiência em eletricidade
Licor negro, resíduos de madeira	Combustão (recuperação)	No processo	Brown-Simpon, CA	87% de auto-suficiência na caldeira e 100% de auto-suficiência em eletricidade
Resíduos de madeira, serragem e casca	Combustão (grade de passagem com tela alimentadora)	Processo/eletricidade	Chesapeake Corp., VA	10% do combustível comprado, 12% para grelha
Casca/serragem	Combustão	Processo/eletricidade	St. Joe Forest Prod., FL	90% é processo do resíduo, 2% para grelha, 100% óleo/madeira
Casca	Caldeira Erie City w/Detroit Stoker	Processo/eletricidade	U.S. Pulp & Newsprint, Al	deficiência de casca

FONTE: WEATHERS, 1989.

3.3.6 Fatores que Influenciam no Uso da Madeira e Resíduos para a Geração de Energia

Para a avaliação da potencialidade de uso da madeira como fonte de energia é necessário o conhecimento de alguns conceitos básicos relativos à produção energética.

Segundo BRITO (1993), os principais parâmetros a serem conhecidos para o cálculo da produção energética florestal são o poder calorífico, teor de umidade da madeira e a densidade ou massa específica.

O poder calorífico expressa a capacidade de geração de energia de um combustível durante a sua combustão. Sua unidade de medida é quilocaloria (kcal) por quilo (kg) ou calorias (cal) por grama (g) de combustível.

Sabe-se que o poder calorífico pode ser apresentado como “poder calorífico superior” (PCF) ou “poder calorífico inferior” (PCI), dependendo se o calor gerado pela condensação da água de constituição do combustível é ou não considerado, sendo que na prática o PCI é preferido.

Ainda segundo o mesmo autor, os valores de PCS encontrados para madeira podem variar entre 3500 e 5000 Kcal/kg. As espécies que contém importantes teores de resina em sua madeira respondem pelos maiores valores. Contudo, a maior concentração de valores médios de PCS de madeiras em geral situa-se na ordem de 4300 kcal/kg. Convertendo-se este valor para PCI, obtém-se um valor médio de 3976, que pode ser aproximado para 4000 kcal/kg.

Como exemplo pode ser citado o estudo realizado pela UNIVERSITY OF TECHNOLOGY VIENNA, que objetivou a análise do poder calorífico e composição elementar da biomassa seca de resíduos de compensados, onde o valor do poder calorífico do resíduo seco de compensados foi determinado como sendo em torno de 5100 kcal/Kg.

Com relação ao teor de umidade, este é talvez o fator que maior influência exerce sobre a combustão da madeira. Considera-se que para cada kg de água contida na madeira são

necessários em torno de 600 kcal de energia, na forma de calor, para evaporá-la, os quais devem ser deduzidos do seu poder calorífico (BRITO, 1993).

Além de representar perda de energia gasta para a evaporação, se houver grande e freqüente variação no teor de umidade, o processo torna-se de mais difícil controle. Este aspecto é importante em se considerando que o teor de umidade na madeira pode variar numa escala bastante ampla. Seu valor pode ir desde 10% na madeira seca ao ar até 60% na madeira recém cortada (BRITO, 1993).

A TABELA 7 mostra os valores líquidos do poder calorífico após a dedução da quantidade de energia gasta com a evaporação da água contida na madeira.

TABELA 7 – PODER CALORÍFICO LÍQUIDO EM FUNÇÃO DE DIFERENTES TEORES DE UMIDADE

Teor de umidade (%)	Poder calorífico líquido à umidade u (PCL _u)
0	4000
10	3540
20	3080
30	2620
40	2160
50	1750
60	1240

FONTE: BRITO (1993).

A influência da umidade pode ser percebida no estudo realizado por LEHTIKANGAS & JIRJIS (1998), onde foi avaliada a influência do tipo e tempo de estocagem sobre partículas de *Pinus* destinadas a geração de energia.

Os autores concluíram que na estocagem externa das partículas os valores caloríficos ficaram em torno de 4900 kcal/Kg em peso seco, diminuindo marginalmente durante a estocagem. As mudanças na eficiência dos valores de aquecimento foram diretamente relacionados às mudanças no conteúdo de umidade. A estocagem sob cobertura foi favorável e preveniu o congelamento das partículas. Na estocagem de casca, com e sem cobertura, a média inicial do valor calorífico variou entre 5000 e 5091 kcal/Kg. Efetivamente os valores de

aquecimento aumentaram durante a estocagem nas partes cobertas de 4135 a 4326 kcal/Kg, enquanto que as mudanças nas partes não cobertas foram marginais. Assim, cobrindo-se as pilhas, a atividade microbiana e perdas de material seco aumentam, portanto se o material é coberto, a ventilação é essencial.

A densidade ou massa específica, o terceiro fator de importância, segundo BRITO (1993), revela que madeiras mais densas possuem aproximadamente o mesmo poder calorífico que madeiras mais leves. Isto é verdadeiro se as comparações forem efetuadas considerando-se os poderes caloríficos por unidade de peso. Porém, a introdução da densidade faz com que surja o conceito do poder calorífico volumétrico (PCV), que expressa a quantidade de energia a ser liberada por unidade de volume sólido. Como, quanto mais denso for o material, maior será a concentração da “substância madeira” para uma mesma unidade de volume, maior será o PCV.

3.4 BALANÇO ENERGÉTICO NA INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL

De maneira geral, antes de se falar em balanço energético na indústria florestal é necessário ter como base a conceituação de balanço energético e sua estruturação. Com relação a conceituação, o princípio do balanço energético é o mesmo do balanço de materiais, ou seja, a relação entre as entradas e saídas dentro de um processo. Com relação a estrutura geral do balanço energético, o MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (1993) cita que o balanço é composto por quatro partes:

- energia primária;
- transformação;
- energia secundária e
- consumo final.

Como energia primária são considerados os produtos energéticos providos pela natureza na sua forma direta, como por exemplo o petróleo; gás natural; carvão mineral e vegetal; urânio; energia hidráulica, eólica e solar e biomassa.

A maior parcela de energia primária é consumida (transformada) nos Centros de Transformação (refinarias de petróleo, plantas de gás natural, coqueiras, usina hidrelétricas, etc...), onde é convertida em fontes de energia secundária (óleo diesel, gasolina, coque de carvão mineral, eletricidade, etc...), com as respectivas perdas na transformação. A outra parcela da energia primária é consumida diretamente nos diversos setores da economia. Este consumo é designado por consumo final. Exemplos: consumo de lenha para cocção de alimentos, consumo de carvão vapor em fornos e caldeiras, etc...

As energias secundárias são produtos secundários resultantes dos diferentes centros de transformação que têm como destino os diversos setores de consumo e eventualmente outro centro de transformação. Suas fontes são o óleo diesel, óleo combustível, gasolina, GLP, nafta, querosene, gás, coque de carvão, urânio, eletricidade, carvão vegetal, álcool etílico e outros.

Com a energia secundária acontece o mesmo que com a energia primária, sendo que a maior parcela vai diretamente para o consumo final nos setores da economia e a outra vai para os Centros de Transformação, onde é convertida em outras formas de energia secundária. Exemplos: óleo combustível em eletricidade, nafta em gás canalizado, etc.

É de se destacar ainda, que o consumo final de fontes primárias e secundárias se desagrega em energético e não energético, sendo que o consumo final energético abrange diversos setores da economia, tais como: o próprio setor energético, o residencial, o comercial, o público, o agropecuário, transporte e industrial

Ainda, considerando a estrutura do balanço energético, que é representada na FIGURA 5 como exemplo de estruturação de um balanço energético, o MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (1993) considera que:

- A oferta de energia é a quantidade de energia que se coloca à disposição para ser transformada e/ou para consumo final;
- a produção de energia é a energia primária que se obtém dos recursos disponíveis, e no balanço tem sinal positivo;
- a importação é a quantidade de energia primária e secundária proveniente do exterior, que entra no processo e faz parte da oferta no balanço, tendo sinal positivo;
- a variação de estoques é a diferença entre o estoque inicial e final de cada período. Um aumento de estoques num determinado período significa uma redução na oferta total. No balanço tem sinal negativo às entradas e positivo às saídas;
- a exportação é a quantidade de energia primária e secundária que se envia para fora do processo. É identificada com sinal negativo;
- a energia não aproveitada é aquela que, por condições técnicas e econômicas, atualmente não está sendo utilizada. É caracterizada com sinal negativo;
- a oferta interna bruta é a quantidade de energia que se coloca à disposição da empresa para ser submetida aos processos de transformação e/ou consumo final.

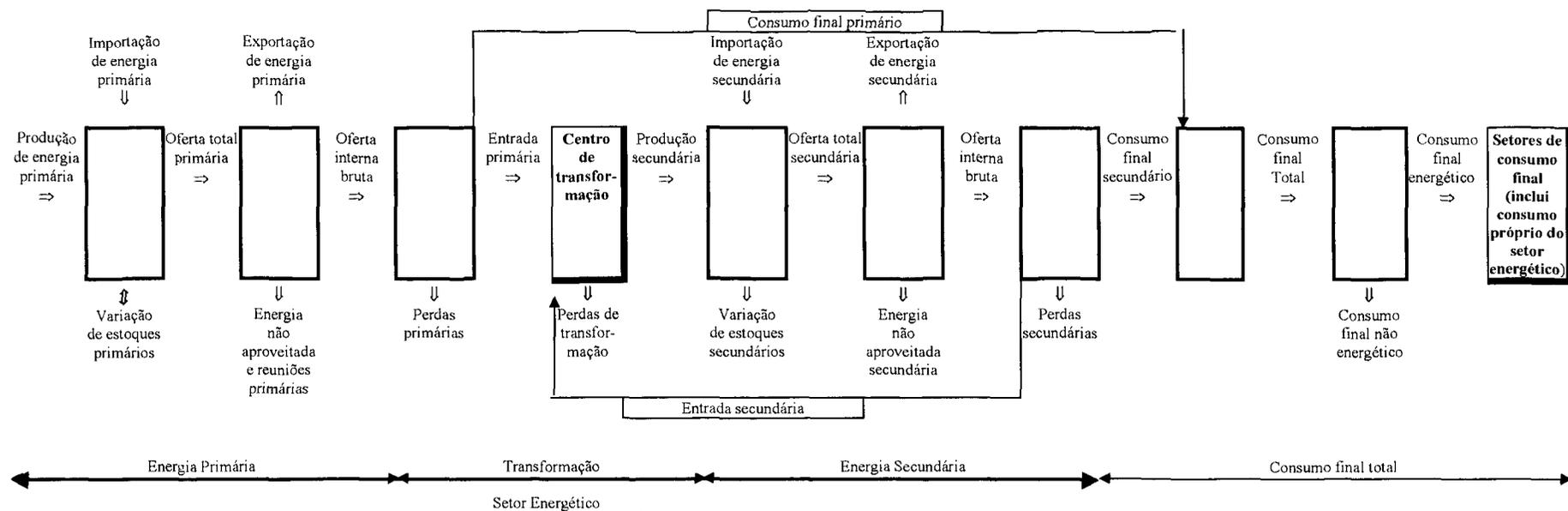


FIGURA 5 - FLUXOGRAMA DO BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL (FONTE: MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (1993)).

A transformação corresponde a todos os centros de transformação onde a energia que entra (primária e/ou secundária) se revertida em uma ou mais formas de energia secundária com suas correspondentes perdas no processo.

É importante salientar que toda energia primária e/ou secundária que entra (como insumo) no centro de transformação tem sinal negativo e que toda energia secundária produzida nos centros de transformação tem sinal positivo. Além disso, as perdas referem-se às perdas na distribuição e armazenagem. São aquelas ocorridas durante as atividades de produção, transporte, distribuição e armazenamento de energia.

No consumo final se detalham os diferentes setores para onde convergem a energia configurando o consumo final e a energia que se encontra disponível para ser usada por todos os setores de consumo final, incluindo o consumo final energético e não energético.

Toda a energia que tende a aumentar a energia disponível é positiva: produção, importação, retirada de estoque, saídas dos centros de transformação. E toda a quantidade que tende a diminuir a energia disponível é negativa: acréscimo de estoque, exportação, não-aproveitamento, reinjeção, energia transformada, perdas na transformação e perdas na distribuição e armazenagem.

Das considerações anteriores pode ser retirada uma fórmula muito importante para o balanço energético que é representação do fluxo energético:

Oferta total = produção + importação + ou - variação de estoque

Levando o princípio do balanço energético para o setor madeireiro, KOCK (1976) considera que a energia gasta na indústria é composta por três componentes: o combustível fóssil (diesel e gasolina) para a colheita e manuseio das toras; energia mecânica (Hp/h), e o processo de aquecimento consumidos na indústria.

No trabalho feito por este autor além do balanço de materiais que já foi citado, foram determinadas as quantidades de energia requerida (incluindo energia de colheita) e a contribuição dos resíduos da indústria para a energia potencial na manufatura de produtos importantes, ou potencialmente importantes, em construções residenciais. Estes produtos incluíam madeira serrada de coníferas e compensados de coníferas, itens que também são considerados neste trabalho.

KOCK (1976) entendeu que, na interpretação das informações, algumas explicações de anormalidades aparentes eram necessárias. Por exemplo, a baixa energia mecânica requerida para compensados, comparado com madeira serrada de coníferas, é em parte atribuído à transferência das toras comercializadas para algumas serrarias, mas não para plantas de compensados. Também, o descascador de tambor ou rotatório é inerentemente menos intensivo energeticamente que a serraria. Todos os produtos de painéis, incluindo partículas tipo shaving, flakes e fibras têm alto requerimento de energia mecânica devido à energia dos equipamentos ser inversamente proporcional ao tamanho da partícula. Substancialmente mais energia para os equipamentos é requerida para fazer uma tonelada de madeira em partículas do tipo shavings que é requerida para serrar uma tonelada em madeira serrada.

Para utilizar um modo uniforme de expressar a energia consumida e disponível dos resíduos, o autor utilizou uma unidade padrão, o milhão de Btu térmico (óleo). Por exemplo, um galão de diesel tem 138336 Btu ou 0,138 milhões de Btu térmico (óleo) e um Hp/hora mecânico é equivalente a 7825×10^6 milhões Btu térmicos (óleo), sendo que esta equivalência está baseada na hipótese de que o óleo pode ser convertido em energia mecânica com 32,5% de eficiência em média.

O autor considerou ainda que uma libra (0,4531 kg) do processo de vapor corresponde a 1200 Btu que, se gerado com uma caldeira de óleo com 82,5% de eficiência, requereria em torno de 1455×10^6 milhões de Btu térmico (óleo).

Na computação do crédito de energia para a manufatura residual (e.g. casca verde e serragem), foi assumido que o vapor descarregado das turbinas ou o vapor das máquinas ou motores foi usado no processo à vapor. Assim, uma turbina de não condensamento conectada em um gerador AC poderia consumir em torno de 16,3 libras de vapor (0,0074 t de vapor) a alta pressão para liberar um Hp mecânico de trabalho brechado, segundo MARKS (1941), citado por KOCK (1976).

As 16,3 libras de vapor gasto a baixa pressão são então disponibilizadas para o processo de aquecimento. Adicionalmente, foi assumido que 1 libra de casca verde (metade do peso sendo água) gerava em torno de 2,6 libras (0,0012 t de vapor) de vapor a alta pressão.

Assim, na manufatura de madeira serrada mole (softwood), um combustível seco com peso de 0,21 tonelada corresponde a 840 libras (0,38 t) de combustível verde. Esta quantidade de serragem e casca produzirá em torno de 134 Hp/hora de energia mecânica e 2148 libras (0,97 t) de vapor residual de escape, disponível para a secagem ou aquecimento, mais que suficiente para os requerimentos da indústria (TABELA 8). Assim, para este produto, com a inclusão do manuseio das toras, o consumo de energia é em torno de um milhão de Btu de óleo equivalente por tonelada de produto, se o resíduo da indústria é creditado contra a demanda de energia do processo industrial.

TABELA 8 - CONSUMO ENERGÉTICO PARA A PRODUÇÃO DE MADEIRA SERRADA

Produto	Quantidade produzida (t)	Energia elétrica (kW/h)	Vapor (t)
Madeira serrada aplainada	0,35	16,16	0,44
Cavacos para polpa	0,29	13,39	0
Chapas de partículas p/ mobiliário	0,15	6,93	0,19
Cavacos para energia	0,21	9,70	0
Total	1,00	46,18	0,63

FONTE: KOCK (1976).

Já na manufatura de compensados são gastos em média 7,5 kW/h por 1000 pés cúbicos (28,3 m³) de compensado com 3/8 de polegada, mais 5,15 kW/h para a iluminação, rendendo um total de 12,65 kW/h. Para produzir 1000 pés quadrados (92,9 m²) de 3/8 de polegada de compensado, o requerimento de energia é em torno de 3140 libras (1,42 t) de vapor para lâminas secas e pressão a quente. Adicionalmente, para aquecer uma tonelada de toras antes do descascamento, para lâminas é estimado o consumo de 191 libras (0,087 t) de vapor.

Portanto, a energia requerida (excluindo a resina) para converter uma tonelada de toras com casca em compensado pode ser distribuída como na TABELA 9.

TABELA 9 - CONSUMO ENERGÉTICO PARA A PRODUÇÃO DE PAINÉIS COMPENSADOS.

Produto	Quantidade produzida (t)	Energia elétrica (kW/h)	Vapor (t)
Compensado sem lixar	0,45	4,64	0,93
Lâminas aplainadas para miolo	0,06	0,62	0,12
Cavacos para celulose	0,30	3,10	0,03
Cavacos para chapas de partículas	0,08	0,82	0,17
Cavacos para energia	0,12	1,24	0,01
Total	1,01*	10,42	1,26

FONTE: KOCK (1976).

* Incluindo adesivos

Assim, a manufatura de uma tonelada de compensados de coníferas (softwood) requer em torno de 4 milhões de Btu, depois da compensação da energia gerada pelos resíduos da indústria, enquanto chapas reconstituídas, chapa de fibras e chapas de partículas requerem mais energia por tonelada manufaturada (alcance de 7 ½ para 20 milhões de Btu).

Com base em uma estufa, a estrutura para produtos de madeira requer de 1 a 3 ½ toneladas de fornecimento de madeira por tonelada de produtos manufaturados. As chapas reconstituídas tem rendimento mais alto, e madeira serrada mais baixo rendimento, enquanto produtos à base de lâminas têm rendimento intermediário.

De maneira geral, para a manufatura de uma tonelada seca de madeira serrada e compensados (excluindo as necessidades de resina e graxas) são necessárias as quantidades de matéria-prima e energia demonstradas nas TABELAS 10, 11 e 12, respectivamente.

TABELA 10 - CONSUMO DE MATÉRIA-PRIMA PARA A MANUFATURA DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA (MADEIRA DE CONÍFERAS)

Produto	Forma de entrada da matéria-prima	Quantidade consumida (t seca)
Madeira Serrada	Toras com casca	2,86
Compensado	Toras com casca	2,22

FONTE: KOCK (1976).

TABELA 11 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA A MANUFATURA DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA (MADEIRA DE CONÍFERAS)

Produto	Requerimento de energia elétrica (kW/hora)	
	Total¹	Líquido²
Madeira serrada	131,62	149,26
Compensados	22,80	102,21

FONTE: KOCK (1976).

1 - A energia total requerida inclui a energia necessária para a colheita, manufatura dos aditivos e manufatura do produto.

2 - A energia líquida refere-se somente a energia necessária para a manufatura do produto.

TABELA 12 - CONSUMO DE VAPOR PARA A MANUFATURA DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA (MADEIRA DE CONÍFERAS)

Produto	Requerimento de vapor (t)	
	Total¹	Líquido²
Madeira serrada	1,81	1,02
Compensados	2,80	1,54

FONTE: KOCK (1976).

1 - A energia total requerida inclui a energia necessária para a colheita, manufatura dos aditivos e manufatura do produto.

2 - A energia líquida refere-se somente a energia necessária para a manufatura do produto.

Ainda segundo KOCK (1976), todos os produtos reconstituídos requerem resina, e a maioria incorpora ceras como aditivos. Para a manufatura de cada tonelada destes aditivos é requerida a quantidade de energia demonstrada na TABELA 13.

TABELA 13 - CONSUMO ENERGÉTICO PARA MANUFATURA DE ADITIVOS DE PRODUTOS MADEIRÁVEIS RECONSTITUÍDOS.

Produto	Energia elétrica (kW/hora)	Processo de aquecimento (t de vapor)
Resina uréia-formoldeído	26,47	0,19
Resina Fenol-formoldeído	25	0,09
Ceras	35	0,12

FONTE: KOCK (1976).

Além de KOCK (1976), EKONO (1980), trabalhando com serrarias e indústrias de compensados nas Filipinas, também avaliou o consumo energético nestas indústrias. Portanto, para madeira seca ao ar e em estufa e compensados o autor determinou os consumos energéticos apresentados nas TABELAS 14 e 15.

TABELA 14 - CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA PARA A MANUFATURA DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA (MADEIRA DE FOLHOSAS)

Produto	Requerimento de energia elétrica (kWh/m³)
Madeira serrada seca ao ar	20,00
Madeira seca em estufa	40,00
Compensados	240,00

FONTE: EKONO (1980).

TABELA 15 - CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA PARA A MANUFATURA DE PRODUTOS NA INDÚSTRIA (MADEIRA DE FOLHOSAS)

Produto	Requerimento de energia térmica (Mcal/m³ (kWh))
Madeira serrada seca ao ar	0,00
Madeira seca em estufa	360 (418,60)
Compensados	1104 (1283,72)

FONTE: EKONO (1980).

4 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados necessários para a determinação do rendimento do processo produtivo e energético foram coletados em uma indústria de base florestal que utiliza somente madeira de espécies do gênero *Pinus*, principalmente *Pinus taeda* L. e *Pinus elliottii* var. *elliottii* Engelm. para produzir lâminas e madeira serrada para a venda e como matérias-primas para a produção de painéis manufaturados.

4.1 DESCRIÇÃO DA INDÚSTRIA

O trabalho foi desenvolvido na Empresa Battistella Indústria e Comércio Ltda, localizada na região norte do Estado de Santa Catarina. As instalações industriais estão situadas à margem direita da rodovia BR 280, Km 133, aproximadamente 10 km da cidade de Rio Negrinho.

Devido a diversidade de produtos produzidos, a indústria é composta por uma laminadora e uma serraria que são responsáveis pela produção de lâminas e madeira serrada destinadas à venda ou como matéria-prima para o setor que produz painéis laminados e sarrafeados. Além destes, a indústria possui também um setor responsável pela geração de energia térmica e elétrica que suprem a indústria.

A empresa é auto-suficiente em termos de matéria-prima, sendo que é comprada madeira de terceiros, em alguns períodos específicos, somente como estratégia de mercado. A auto-suficiência estende-se para o setor energético, onde a indústria produz energia térmica e elétrica para todo processo produtivo e de apoio.

Estas características são pouco comuns à maioria das empresas do setor madeireiro brasileiro, principalmente pelo fato da indústria ser auto-suficiente em termos energéticos, tanto térmico quanto elétrico.

4.2 COLETA DE DADOS

4.2.1 Análise da Indústria

Para a avaliação da indústria foram inicialmente realizadas algumas visitas à empresa que tiveram como objetivo o conhecimento e descrição da cadeia produtiva e das características relacionadas à utilização dos resíduos e geração de energia.

A partir destas visitas, determinou-se que a indústria seria dividida em setores para facilitar o estudo dos rendimentos e balanços de materiais e energéticos, como demonstrado no TABELA 16.

TABELA 16. DIVISÃO DA INDÚSTRIA EM SETORES

Setor	Composição	Descrição
Setor 1	Laminadora	Cozimento das toras, laminação, secagem e classificação de lâminas
Setor 2	Serrarias	Desdobro das toras e secagem da madeira serrada e picagem dos resíduos da laminadora e serraria em picador para venda ou energia
Setor 3	Manufatura de produtos	Classificação da madeira serrada, produção de painéis sarrafeados sem revestimento e painel sarrafeado multilaminado na coladeiras, produção de compensados, multilaminados e revestimento de painéis sarrafeados na prensa, esquadrejamento, lixamento, seccionamento, classificação e expedição de painéis acabados ou semi-acabados e picagem dos resíduos para venda ou geração de energia
Setor 4	Geração de energia	Recebimento dos resíduos dos setores anteriores, produção de energia térmica (caldeira) e elétrica (turbo gerador) e distribuição da energia na indústria

Ainda com base nas visitas, foram elaborados dois questionários (ANEXO I) para verificar a necessidade de coleta de dados em campo e a existência de dados da indústria que pudessem ser utilizados no trabalho.

Após a avaliação destes questionários, determinou-se que seria possível a utilização dos dados da empresa para a constituição de uma série histórica, devido ao fato dos dados apresentarem valores coerentes e sem variações abruptas de entradas de matérias-primas e saídas de produtos, bem como sem grandes variações entre os meses avaliados. A série histórica utilizada compreendeu um intervalo de dados de 18 meses, desde janeiro de 1998 a julho de 1999.

Os dados obtidos em escritório constituíram-se em tabelas de:

- consumo e entrada de matéria-prima em todos os setores da indústria;
- compra de matéria-prima;
- produção;
- estoques;
- e vendas.

Os dados de consumo e compra de matéria-prima, produção, estoques e vendas estão apresentados na TABELA 17, onde estão também indicadas as entradas e saídas do processo produtivo, informação útil para a determinação do rendimento e balanço de materiais realizados neste trabalho.

TABELA 17 - DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS OBTIDOS NA EMPRESA, DE FORMA SETORIZADA.

<i>Setor 1 – Laminadora</i>					
Atividade do processo produtivo	Consumo de matéria-prima (entrada)	Compras (entrada)	Produção (saída)	Estoques (entrada)	Venda (saída)
Laminação	Toras	-	Lâminas verdes	Lâminas verdes	Lâminas verdes
Secagem	Lâminas verdes	-	Lâminas secas	-	-
Classificação	Lâminas secas	-	Lâminas classificadas	Lâminas classificadas	Lâminas classificadas
Perdas	-	-	Casca, lâminas c/ defeitos, rolo resto	-	Resíduos verdes (rolo resto)
<i>Setor 2 – Serraria</i>					
Atividade do processo produtivo	Consumo de matéria-prima (entrada)	Compras (entrada)	Produção (saída)	Estoques (entrada)	Venda (saída)
Desdobro	Toras		Madeira serrada verde	Madeira serrada verde	Madeira serrada verde
Secagem	Madeira serrada verde	Madeira verde	Madeira serrada seca	Madeira serrada seca	Madeira serrada seca bruta
Perdas			Casca, serragem, costaneiras, refilos e destopos	Resíduos verdes	Resíduos verdes (cavacos celulose)
<i>Setor 4 – Geração de energia</i>					
Atividade do processo produtivo	Consumo de matéria-prima (entrada)	Compras (entrada)	Produção (saída)	Estoques (entrada)	Venda (saída)
Geração vapor	Resíduos verdes e secos	-	Vapor	Resíduo verde	-
Geração energia elétrica	Vapor	-	Energia elétrica		-

TABELA 17- DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS OBTIDOS NA EMPRESA, DE FORMA SETORIZADA (CONTINUAÇÃO).

<i>Setor 3 – Manufatura</i>					
Atividade do processo produtivo	Consumo de matéria-prima (entrada)	Compras (entrada)	Produção (saída)	Estoques (entrada)	Venda (venda)
Classificação	Madeira serrada seca	Madeira seca	Madeira serrada classificada	Madeira serrada classificada	Madeira serrada classificada
Preparação de sarrafos e Colagem de painéis	Madeira serr. seca classificada Tábuas de painel multilaminado		Painel sarrafeado s/ revestimento e miolo Painel sarrafeado multilaminado	Madeira serr. pré-cortada Madeira serrada aplainada Painel sarrafeado multilaminado	Painel sarrafeado s/ revestimento
Prensagem	Lâminas secas classificadas Miolo		Compensado e painel multilaminado Painel sarrafeado revestido	Compensado Painel sarrafeado revestido	
Emassamento	Painel sarrafeado s/ revest. Compensado Painel sarrafeado revestido		Painel sarrafeado s/ revest. Compensado Painel sarrafeado revestido	Painel sarrafeado s/ revest. Compensado Painel sarrafeado revestido	
Esquadrejamento	Compensado Painel sarrafeado revestido Painel multilaminado		Compensado Painel sarrafeado revestido Painel multilaminado	Compensados Painel sarrafeado revestido Painel multilaminado	Painel multilaminado
Lixamento	Compensado Painel sarrafeado revestido		Compensado Painel sarrafeado revestido	Compensado Painel sarrafeado revestido	
Classificação	Painel sarrafeado revestido Compensado		Painel sarrafeado revestido Compensado	Painel sarrafeado revestido Compensado	Painel sarrafeado revestido Compensado
Seccionamento	Painel sarrafeado revestido Compensado Painel multilaminado		Painel sarrafeado revestido Compensado Tábuas de painel multilaminado	Painel sarrafeado revestido Compensado Painel multilaminado	Painel sarrafeado revestido Compensado
Perdas			Serragem, destopos, refilos, pó-de-lixia, cavacos		Resíduos secos

As tabelas de consumo e entrada de matéria-prima continham a discriminação do equipamento de produção, a especificação dos produtos produzidos por equipamento, a produção por turno em peças e volume e a produção total mensal em peças e volume.

As tabelas de compra de matéria-prima limitaram-se a compra de madeira serrada de terceiros, com o local de origem de compra, volume comprado em cada bitola (25 e 32 mm), volume de madeira verde e seca e total de volume comprado mensalmente. Porém, a compra de madeira serrada não é uma prática corrente na indústria, sendo que estes dados são ocasionais.

As tabelas de produção discriminavam o equipamento de produção, a especificação dos produtos produzidos por equipamento, a produção por turno em peças e volume e a produção total mensal em peças e volume. Além disso, possuíam a produção do setor de geração de energia, denominado na empresa como utilidades. Estas tabelas apresentavam os valores de consumo de biomassa mensal, a produção de vapor e energia elétrica e os tempos e motivos de parada da caldeira.

As tabelas de estoque continham a discriminação mensal dos volumes estocados de produtos finais e intermediários, conforme já apresentado na TABELA 17.

As tabelas de venda de produtos traziam a discriminação de cada produto vendido, quantidades vendidas em peças e volume, o valor monetário do montante de vendas e a participação do produto no total vendido mensalmente pela indústria.

A partir dos dados fornecidos pela empresa determinou-se que seriam utilizados alguns dados mensais no período pré-estabelecido, conforme as necessidades para a determinação do rendimento do processo produtivo e rendimento energético da indústria.

Estes dados foram a base para a elaboração de planilhas de análise para a realização dos estudos propostos.

4.2.2 Determinação do Rendimento e dos Resíduos do Processo Produtivo através do Balanço de Materiais

A determinação do rendimento do processo produtivo foi feito com base no princípio do balanço de materiais, que consiste na determinação de todas as entradas (matéria-prima, compra de materiais e estoques) e saídas (produtos intermediários e finais, vendas de produtos e resíduos) do processo produtivo industrial e também com base no rendimento, que é a relação entre a quantidade de produto que sai do processo e quantidade de matéria-prima que entra no processo.

Sendo assim, o trabalho se constitui em uma mescla de balanço de materiais e análise de rendimento. Porém, para o balanço de materiais não foram considerados todos os insumos que entram na produção (adesivos, resinas, etc), limitando-se apenas à avaliação da matéria-prima madeira, como pode ser observado nas relações de entradas e saídas do processo.

Outro aspecto que deve ser observado é o fato de serem consideradas na avaliação somente as operações que geram resíduos ou perdas, ficando de fora o emassamento que não gera nenhuma perda ou desperdício. Além disso, como vendas (consideradas também como saídas), foram consideradas somente as realizadas durante as fases intermediárias do processo, ou seja, as vendas de lâminas verdes e secas, madeira serrada verde e seca e painéis multilaminados (matéria-prima para painéis sarrafeados multilaminados). Portanto, as vendas de painéis acabados, que se constituem na última fase do processo produtivo não foram consideradas.

4.2.3 Determinação do Rendimento Energético do Processo Produtivo

Para a análise do rendimento energético também foi utilizado o princípio do balanço energético, que é semelhante ao balanço de materiais. Ou seja, é a relação entre a quantidade

de material que entra na caldeira e a quantidade de energia gerada por ela.

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

Portanto, a análise do rendimento energético consiste em relacionar as quantidades de resíduos gerados na laminadora, serraria e manufatura que entram na caldeira e os valores de energia térmica e elétrica gerados. Através desta análise será possível a determinação da oferta interna de energia, o consumo total de energia e o consumo final por fonte, além da contribuição de cada fonte para a geração de energia, fechando um ciclo.

A exemplo da avaliação do processo produtivo, o balanço energético não contemplou todos os tipos de energia envolvidas no processo, limitando-se apenas a energia térmica e elétrica. Assim, neste processo a entrada é considerada somente como o consumo de biomassa pela caldeira e as saídas como vapor saído da caldeira e energia elétrica produzida no turbo-gerador.

No entanto, o consumo foi analisado separadamente, ou seja, foi determinada a contribuição percentual de cada setor gerador de resíduos (laminadora, serraria e manufatura) para a geração de energia. Neste sentido, determinou-se que os resíduos seriam avaliados segundo seu teor de umidade, sendo que os resíduos da laminadora e serraria foram classificados como resíduos verdes e o da manufatura como seco.

A distribuição do consumo e contribuição de energia de cada setor ou tipo de produto foi avaliado em termos de tonelada vaporh/m³ de produto e Kwh/m³ de produto.

A TABELA 18 mostra a distribuição do consumo de energia térmica e elétrica nos setores da indústria, em termos percentuais (fator de consumo (Fc)). Estes consumos foram obtidos a partir de dados já existentes na indústria e serviram de base para a determinação do rendimento energético da indústria.

TABELA 18 – DISTRIBUIÇÃO PERCENTUAL DO CONSUMO DE ENERGIA TÉRMICA E ELÉTRICA POR SETOR DA INDÚSTRIA

Setores	Fator de consumo de energia térmica (%) (Fct)	Fator de consumo de energia elétrica (%) (Fce)
Setor 1	13	25
Setor 2	70	43
Setor 3	17	20
Setor 4	0	12
Total	100	100

Os valores de fator de consumo de energia térmica e elétrica dos setores da indústria foram utilizados nas equações para a determinação do consumo de energia térmica e elétrica nos setores da indústria, no momento da determinação do balanço e rendimento energéticos.

4.3 EQUAÇÕES DOS RENDIMENTOS DO PROCESSO PRODUTIVO E ENERGÉTICO E GERAÇÃO DE RESÍDUOS

A elaboração de todas as equações utilizadas no trabalho basearam-se no princípio do balanço de materiais e energético e na análise do rendimento, ou seja:

Entrada – saída = resíduo destinado para a geração de energia, no balanço de materiais.

Entrada – saída = produção de energia térmica e elétrica a partir dos resíduos para o uso no processo, no balanço energético.

Rendimento de cada passo do processo produtivo = (volume de produto que sai do processo / volume de matéria-prima que entra) x 100.

A partir destes princípios foram estabelecidas as equações para a determinação do rendimento do processo produtivo e rendimento energético com base nos dados gerados a partir das planilhas de dados da empresa.

As referidas equações estão representadas nas TABELAS 19, 20 e 21 para cada setor da indústria.

TABELA 19 - EQUAÇÕES PARA A DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS.

<i>Setor 1 – Laminadora</i>		
Resíduos gerados (m³)	Variáveis envolvidas	Equação
Laminação (disponível para energia)	Resíduos da laminação das toras= volume de toras com casca que entram nos tornos – volume de lâminas que saem dos tornos - volume de rolo resto vendido	$RL=(TET-LST-RRV)$
Secagem ¹	Resíduos da secagem das lâminas = (volume de lâminas que saem do torno + estoque anterior de lâminas verdes) - (volume de lâminas verdes vendidas + volume de lâminas saídas do secador)	$RSL=(LST+EaLV)-(LVV+LSS)$
Classificação ² (disponível para energia)	Resíduos da classificação das lâminas = volume de lâminas saídas do secador – volume de lâminas classificadas secas	$RCL=(LSS-LC)$
Resíduos gerados por m³ de produto (m³/m³)	Variáveis envolvidas	Equações
Lâminas secas classificadas	m ³ de resíduos /m ³ de lâmina seca classificada = Volume de toras com casca que entra no processo para a geração de 1 m ³ de lâminas secas classificadas – 1 m ³ de lâminas secas classificadas	$m^3 \text{ de resíduos}/m^3 \text{ de lsc}=(TET/ m^3 \text{ de lsc}-1 m^3 \text{ de lsc})$
<i>Setor 2 – Serraria</i>		
Resíduos gerados (m³)	Variáveis envolvidas	Equação
Desdobro (disponível para energia)	Resíduos do desdobro das toras= (volume de toras com casca que entram na serraria) - (volume de madeira serrada verde + volume de resíduos vendidos para celulose)	$RD=TES-(MSV+RVC)$
Secagem ¹	Resíduos da secagem da madeira serrada = (volume de madeira serrada verde + estoque anterior de madeira verde + volume de madeira verde comprada) - (volume de madeira verde vendida + volume de madeira saída do secador)	$RSM=(MSV+EaMV+MVC)-(MVV+MSS)$
Resíduos gerados por m³ de produto (m³/m³)	Variáveis envolvidas	Equações
Madeira seca classificada	m ³ de resíduos/m ³ de madeira seca classificada = (volume de toras sem casca que entra no processo para a geração de 1 m ³ de madeira seca classificada – 1 m ³ de madeira seca classificada)	$m^3 \text{ de resíduos}/m^3 \text{ de msc}=(TET/ m^3 \text{ de msc} - 1 m^3 \text{ de msc})$

1 - O resíduo gerado durante o processo de secagem é referente a perda de água e de volume devido a contração, portanto os valores de perda nesta etapa do processo não são consideradas para efeito de geração de energia.

2 - Devido às características do processo todas as lâminas saídas do secador passam quase que imediatamente para classificação, sendo possível assim a consideração somente dos valores de saída do secador de lâminas e de saída da classificação.

TABELA 19 - EQUAÇÕES PARA A DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS (CONTINUAÇÃO).

<i>Setor 3 – Manufatura³</i>		
Resíduos gerados (m³)	Variáveis envolvidas	Equação
Classificação de madeira	Resíduos da classificação da madeira serrada = (volume de madeira saída do secador + estoque anterior de madeira seca + volume de madeira seca comprada) - (volume de madeira classificada + volume de madeira bruta vendida)	$RCM=(MSS+EaMS+MSC)-(MC+MBV)$
Preparação de sarrafos (madeira)	Resíduos da preparação de sarrafos de madeira = volume de madeira que entra nas plainas - (volume de miolo saído da coladeira + volume de painel sarrafeado saído da coladeira)	$RPM=MEP-(MBC+PC)$
Preparação de sarrafos (painel multilaminado)	Resíduos da preparação de sarrafos de painel multilaminado = volume de painel multilaminado que entra nas plainas - volume de painel sarrafeado multilaminado saído da coladeira	$RU=UEP-LC$
Prensas ⁴	Resíduos da prensagem dos painéis = (volume de miolo entra nas prensas + volume de lâminas que entram na prensa) - (volume de painel multilaminado sai das prensas + volume de compensado que sai das prensas + volume de painel sarrafeado revestido que sai das prensas)	$RP=(MP+LP)-(UP+PP+BP)$
Esquadrejadeira	Resíduos do esquadrejamento dos painéis = (volume de painel multilaminado que entra na esquadrejadeira + volume de compensado que entra na esquadrejadeira + volume de painel sarrafeado revestido que entra na esquadrejadeira) - (volume de painel multilaminado que sai da esquadrejadeira + volume de compensado que sai da esquadrejadeira + volume de painel sarrafeado revestido que sai da esquadrejadeira)	$RE=(UEE+PEE+BEE)-(EU+PE+BE)$
Lixadeira	Resíduos do lixamento dos painéis = (volume de compensado que entra na lixadeira + volume de painel sarrafeado revestido que entra na lixadeira) - (volume de compensado que sai da lixadeira + volume de painel sarrafeado revestido que sai da lixadeira)	$RLM=(PEL+BEL)-(PSL+BL)$
Seccionadora	Resíduos do seccionamento dos painéis = (volume de painel multilaminado que entra na seccionadora + volume de compensado que entra na seccionadora + volume de painel sarrafeado revestido que entra na seccionadora) - (volume de painel multilaminado que sai da seccionadora + volume de compensado que sai da seccionadora + volume de painel sarrafeado revestido que sai da seccionadora)	$RS=(UES+PES+BES)-(US+PS+BS)$
Resíduos gerados por m³ de produto (m³/m³)	Variáveis envolvidas	Equações
Chapas manufaturadas	m ³ de resíduos/m ³ chapas manufaturadas (volume de madeira e lâminas que entram no processo para a geração de 1 m ³ de chapa manufaturada - 1 m ³ de chapa manufaturada)	$m^3 \text{ de resíduos}/m^3 \text{ de cm}=(TET/ m^3 \text{ de mel} - 1 m^3 \text{ de cm})$

3 - A disponibilização dos resíduos gerados na manufatura de painéis é determinada somente no setor 4 (geração de energia), quando é subtraído o volume de resíduos secos vendidos, enquanto nos setores anteriores o ponto de venda de resíduos é detectado no processo produtivo, podendo ser quantificado neste momento.

4 - O resíduo gerado nas prensas é somente devido a compressão, não gerando resíduos destinados a geração de energia.

TABELA 19 - EQUAÇÕES PARA A DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS (CONTINUAÇÃO).

<i>Setor 4 – Geração de energia</i>		
Resíduos (m³)	Variáveis envolvidas	Equação
Resíduo verde (disponível para energia)	Resíduos verdes disponíveis para queima = (volume de resíduo da laminação + volume de resíduo da classificação das lâminas ⁵ + volume de resíduo do desdobro da serraria) – (volume de resíduo vendido verde)	$RVD=(RL+RCL+RD)-(RVV)$
Resíduo verde (usado para energia)	Resíduos verdes usados para queima = volume de biomassa que entra na caldeira – volume de resíduo seco	$RUE=RCC-RSE$
Resíduo seco (disponível para energia ⁶)	Resíduos secos disponíveis para queima = (volume de resíduo da preparação de sarrafos (madeira e painel multilaminado) + volume de resíduos da esquadrejadeira + volume de resíduos da lixadeira + volume de resíduos da seccionadora + volume de resíduos da classificação de madeiras) – (volume de resíduos secos vendidos)	$RSD=(RPM+RU+RE+RLM+RS+RCM)-(RSV)$
Total de resíduo (destinado para energia)	Total de resíduos destinados para queima = volume de resíduo verde para a geração de energia + volume de resíduo seco para a geração de energia	$TRQ=RUE+RSD$

5 - O resíduo da classificação das lâminas é incluído no resíduo verde porque as lâminas desclassificadas são depositadas na esteira que coleta o material verde do processo de laminação, conferindo assim umidade ao material seco.

6 - Neste caso, todo o resíduo seco gerado (após a subtração do resíduo seco vendido é destinado à geração de energia, desta forma, o volume disponível é igual ao volume utilizado para a geração de energia)

OSB: Na manufatura não existe geração de resíduos na classificação das chapas porque estas são somente desclassificadas para o uso inicialmente proposto, mas destinadas para outro uso, portanto não sendo descartadas.

TABELA 20 - EQUAÇÕES PARA A DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO.

<i>Setor 1 – Laminadora</i>		
Rendimento (%)	Variáveis envolvidas	Equação
Laminação	Rendimento da laminação das toras = (volume de lâminas verdes que sai do processo/volume de toras c/ casca que entra no processo)x100	$Rl=(LST / TET) \times 100$
Secagem	Rendimento da secagem das lâminas = (volume de lâminas secas que sai do processo/(volume de lâminas verdes que sai do torno + estoque anterior – volume de lâminas verdes vendidas)x100	$Rs=(LSS / (LST+EaLV-LVV) \times 100$
Classificação	Rendimento da classificação das lâminas = (Volume de lâminas que sai da classificação/volume de lâminas que sai do secador)x100	$Rc=(LC / LSS) \times 100$
Laminadora (geral)	Rendimento geral da laminadora = (volume de lâminas classificadas secas/volume de toras com casca que entram nos tornos – volume de lâminas vendidas verdes)x100	$Rgl=(LC) / (TET-LVV) \times 100$
Consumo de matéria-prima (m ³ toras/m ³ de produto)	Variáveis envolvidas	Equações
Lâminas secas classificadas	m ³ de toras para a produção de 1 m ³ de lâmina seca classificada = 100/rendimento da laminadora	m ³ de toras para produção de 1 m ³ lsc = 100/Rgl
<i>Setor 2 – Serraria</i>		
Rendimento (%)	Variáveis envolvidas	Equação
Desdobro	Rendimento do desdobro das toras = (volume de madeira serrada verde/volume de toras que entram na serraria)x100.	$Rd=(MSV / TES) \times 100$
Secagem	Rendimento da secagem da madeira serrada = (volume de madeira saída do secador/(volume de madeira serrada verde + estoque anterior de madeira verde + volume de madeira verde comprada – volume de madeira verde vendida))x100	$Rsm=(MSS / (MSV+EaMV+MVC-MVV) \times 100$
Serraria (geral)	Rendimento geral da serraria = (volume de madeira classificada)/(volume de toras que entram na serraria + volume de madeira verde comprada + volume de madeira seca comprada – volume de madeira verde vendida – volume de madeira seca bruta vendida)x100	$Rgs= (MC) / (TES+MVC+MSC-MVV-MBV) \times 100$
Consumo de matéria-prima (m ³ toras/m ³ de produto)	Variáveis envolvidas	Equações
Madeira seca classificada	m ³ de toras para produção de madeira seca classificada = 100/rendimento da serraria	m ³ de toras para produção de msc = 100/Rgs

TABELA 20 - EQUAÇÕES PARA A DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO (CONTINUAÇÃO).

<i>Setor 3 – Manufatura</i>		
Rendimento (%)	Variáveis envolvidas	Equação
Classificação de madeira serrada	Rendimento da classificação de madeira serrada = (volume de madeira classificada/(volume de madeira saída do secador + estoque anterior de madeira seca + volume de madeira seca comprada – volume de madeira bruta vendida)x100	$R_{cm} = (MC / (MSS+EaMS+MSC-MBV)) \times 100$
Preparação de sarrafos e coladeira	Rendimento da coladeira = ((volume de miolo + volume de painel sarrafeado + volume de painel sarrafeado multilaminado que saem da coladeira)/(volume de madeira e painel multilaminado que entram na coladeira))x100	$R_c = (MBC + PC + LC) / (MEP + UEP) \times 100$
Prensas	Rendimento da prensa = ((volume de painel multilaminado + volume de compensado + volume de painel sarrafeado revestido que saem das prensas)/(volume de miolo + volume de lâminas que entram na prensa))x100	$R_p = ((UP + PP + BP) / (MP + LP)) \times 100$
Esquadrejadeira	Rendimento da esquadrejadeira = ((volume de painel multilaminado + volume de compensado + volume de painel sarrafeado revestido que saem da esquadrejadeira) / (volume de painel multilaminado + volume de compensado + volume de painel sarrafeado revestido que entram na esquadrejadeira))x100	$R_e = ((EU+PE+BE) / (UEE+PEE+BEE)) \times 100$
Lixadeira	Rendimento da lixadeira = ((volume de compensado + volume de painel sarrafeado revestido que saem da lixadeira)/(volume de compensado + volume de painel sarrafeado revestido que entram na lixadeira))x100	$R_{lx} = ((PSL+BL) / (PEL+BEL)) \times 100$
Seccionadora	Rendimento da seccionadora = ((volume de painel multilaminado + volume de compensado + volume de painel sarrafeado revestido que saem da seccionadora) / (volume de painel multilaminado + volume de compensado + volume de painel sarrafeado revestido que entram na seccionadora))x100	$R_{sc} = ((US+PS+BS) / (UES+PES+BES)) \times 100$
Manufatura (geral)	Rendimento geral da manufatura de painéis = (volume de painéis classificados/volume de madeira e lâminas que entram na manufatura)x100	$R_{gp} = (cm/Mle) \times 100$
Consumo de matéria-prima (m³ de lâminas e mad. serr./m³ de produto)	Variáveis envolvidas	Equações
Chapas manufaturadas	m ³ de madeira serrada e lâmina para produção de painéis manufaturados = 100/rendimento da manufatura	m ³ de Mle para produção de cm = 100/Rgp

OBS: A partir dos valores de rendimento foram obtidos os valores percentuais de resíduos gerados no processo.

TABELA 21 - EQUAÇÕES PARA A DETERMINAÇÃO DO BALANÇO ENERGÉTICO E RENDIMENTO ENERGÉTICO.

<i>Setor 4 – Geração de energia</i>		
Participação dos resíduos (%)	Variáveis envolvidas	Equação
Resíduos verdes	Participação dos resíduos verdes para queima = (volume de resíduo verde utilizado para energia / volume total de resíduo consumido pela caldeira)x100	$\% RUE = (RUE / RCC) \times 100$
Resíduos secos	Participação dos resíduos secos para queima = (volume de resíduo seco utilizado para energia / volume total de resíduo consumido pela caldeira)x100	$\% RSD = (RSD / RCC) \times 100$
Consumo de energia térmica por setor (tvapor/mês)⁷	Variáveis envolvidas	Equação
Setor 1 – Laminadora	Consumo de energia térmica na laminadora = (consumo geral de energia térmica da ind. x Fator de consumo de energia térmica do setor) / 100	$ETL = (CETG \times Fct^8) / 100$
Setor 2 – Serraria	Consumo de energia térmica na serraria = (consumo geral de energia térmica da ind. x Fator de consumo de energia térmica do setor) / 100	$ETS = (CETG \times Fct) / 100$
Setor 3 –Manufatura	Consumo de energia térmica na manufatura = (consumo geral de energia térmica da ind. x Fator de consumo de energia térmica do setor) / 100	$ETM = (CETG \times Fct) / 100$
Consumo de energia elétrica por setor (kWmês)	Variáveis envolvidas	Equação
Setor 1 – Laminadora	Consumo de energia elétrica na laminadora = (produção de energia elétrica pela turbina x Fator de consumo de energia elétrica do setor) / 100	$EEL = (PEE \times Fce) / 100$
Setor 2 – Serraria	Consumo de energia elétrica na serraria = (produção de energia elétrica pela turbina x Fator de consumo de energia elétrica do setor) / 100	$EES = (PEE \times Fce) / 100$
Setor 3 –Manufatura	Consumo de energia elétrica na manufatura = (produção de energia elétrica pela turbina x Fator de consumo de energia elétrica do setor) / 100	$EEM = (PEE \times Fce) / 100$
Setor 4 – Geração de energia	Consumo de energia elétrica na geração de energia = (produção de energia elétrica pela turbina x Fator de consumo de energia elétrica do setor) / 100	$EEC = (PEE \times Fce) / 100$

7 – A quantidade de vapor consumido pela indústria (CETG) é diferente da quantidade gerada na caldeira, porque todo o vapor gerado passa pelo turbo gerador para a geração de energia elétrica. Neste processo existem perdas, além do que a quantidade de vapor gerado em função das necessidades do turbo gerador e não do processo produtivo. Desta forma, foi considerado que 80% do vapor gerado é utilizado na indústria, o restante é condensado e volta para a caldeira.

8 – O fator de consumo de cada setor foi fornecido pela empresa.

TABELA 21 - EQUAÇÕES PARA A DETERMINAÇÃO DO BALANÇO ENERGÉTICO E RENDIMENTO ENERGÉTICO (CONTINUAÇÃO).

Consumo de energia térmica por produto (tvapor/m³)	Variáveis envolvidas	Equação
Lâmina seca classificada	Consumo de energia térmica por m ³ de lâmina seca classificada = consumo de energia térmica na laminadora / volume de laminas secas classificadas produzidas	$t \text{ vapor/m}^3 \text{ lsc} = \text{ETL} / \text{LC}$
Madeira seca classificada	Consumo de energia térmica por m ³ de madeira seca classificada = consumo de energia térmica na serraria / volume de madeira seca classificadas produzido	$t \text{ vapor/m}^3 \text{ msc} = \text{ETS} / \text{MC}$
Chapas manufaturadas	Consumo de energia térmica por m ³ de painéis manufaturados = consumo de energia térmica na manufatura / volume de chapas manufaturas produzido	$t \text{ vapor/m}^3 \text{ cm} = \text{ETM} / \text{CM}$
Consumo de energia elétrica por produto (kWh/m³)	Variáveis envolvidas	Equação
Lâmina seca classificada	Consumo de energia elétrica por m ³ lâmina seca classificada = consumo de energia elétrica na laminadora / volume de laminas secas classificadas produzidas	$\text{kWh/m}^3 \text{ lsc} = \text{EEL} / \text{LC}$
Madeira seca classificada	Consumo de energia elétrica por m ³ de madeira seca classificada = consumo de energia elétrica na serraria / volume de madeira seca classificadas produzido	$\text{kWh/m}^3 \text{ msc} = \text{EES} / \text{MC}$
Chapas manufaturadas	Consumo de energia elétrica por m ³ de painéis manufaturados = consumo de energia elétrica na manufatura / volume de chapas manufaturas produzido ⁹	$\text{kWh/m}^3 \text{ cm} = \text{EEM} / \text{CM}$

9 – volume chapas manufaturas = (volume de painel multilaminado saído da seccionadora + volume de painel sarrafeado multilaminado saído da coladeira + painel sarrafeado saído da coladeira + painel sarrafeado revestido saído da classificação + compensado saído da classificação)

TABELA 21 - EQUAÇÕES PARA A DETERMINAÇÃO DO BALANÇO ENERGÉTICO E RENDIMENTO ENERGÉTICO (CONTINUAÇÃO).

<i>Setor 4 – Geração de energia</i>		
Potencial de ger. de energia térmica a partir dos resíduos¹⁰ (t vapor)	Variáveis envolvidas	Equação
Lâmina seca classificada	Potencial de geração de vapor a partir da laminadora (tvaporh/m ³ de resíduo) = (m ³ de resíduos/m ³ de lâmina seca classificada)/ (m ³ de biomassa/t vapor)	Pot. t vapor a partir laminadora (tvaporh/m ³ de resíduo) = (m ³ res./m ³ lsc)/(m ³ de biom./t vapor)
Madeira seca classificada	Potencial de geração de vapor a partir da serraria (tvaporh/m ³ de resíduo) = (m ³ de resíduos/m ³ de madeira seca classificada)/ (m ³ de biomassa/t vapor)	Pot. t vapor a partir serraria (tvaporh/m ³ de resíduo) = (m ³ res./m ³ msc)/(m ³ de biom./tvapor)
Chapas manufaturadas	Potencial de geração de vapor a partir manufatura (tvaporh/m ³ de resíduo) = (m ³ de resíduos/m ³ de painéis manufaturados)/(m ³ de biomassa/t vapor)	Pot. t vapor a partir manufatura (tvaporh/m ³ de resíduo) = (m ³ res./m ³ lsc)/(m ³ de biom./t vapor)
Potencial de ger. de energia elétrica a partir dos resíduos¹⁰ (kW)	Variáveis envolvidas	Equação
Lâmina seca classificada	Potencial de geração de eletricidade a partir da laminadora (kWh/m ³ de resíduo) = (m ³ de resíduos/m ³ de lâmina seca classificada)/ (m ³ de biomassa/kWh)	Pot. kWh a partir laminadora (kWh/m ³ de resíduo) = (m ³ de res./m ³ de lsc)/(m ³ de biom./kWh)
Madeira seca classificada	Potencial de geração de eletricidade a partir da serraria (kWh/m ³ de resíduo) = (m ³ de resíduos/m ³ de madeira seca classificada)/ (m ³ de biomassa/kWh)	Pot. kWh a partir serraria (kWh/m ³ de resíduo) = (m ³ de res./m ³ de msc)/ (m ³ de biom./kWh)
Chapas manufaturadas	Potencial de geração de eletricidade a partir da manufatura (kWh/m ³ de resíduo) = (m ³ de resíduos/m ³ de painéis manufaturados)/ m ³ de biomassa/kWh	Pot. kWh a partir manufatura (kWh/m ³ de resíduo) = (m ³ de res./m ³ de cm)/ m ³ de biom./kWh

10 – Para a determinação da potencialidade de geração de energia dos resíduos são necessárias algumas considerações que são obtidas a partir das seguintes equações:

m³ de biomassa/kWh = biomassa que entra na caldeira/produção elétrica (RCC/PEE)

m³ de biomassa/t vaporh = biomassa que entra na caldeira/produção térmica (RCC/PET)

Com relação à análise dos dados, para a aplicação nas equações elaboradas, são necessárias algumas considerações relacionadas à conversão de unidades que foram feitas para homogeneizar os dados e resultados.

Sendo assim, para a quantidade de biomassa que entra na caldeira, a empresa forneceu as quantidades em peso (toneladas/mês). Com base no conhecimento de teor de umidade médio, na base úmida e base seca, do material que entra na caldeira, e na informação de que a massa específica aparente básica (Peso seco/volume verde) do *Pinus* é em média de 415 kg/m^3 , segundo KLOCK *et al* (2000), foi calculado o volume verde de biomassa que entra na caldeira, padronizando assim os dados.

Outra variável considerada foi o tempo de trabalho diário e mensal da empresa para o cálculo do consumo energético horário e potencial produtivo energético horário da empresa. Os dados de tempo trabalhado mensalmente na empresa foi fornecido através de tabelas de tempo parado e motivos de parada. Neste aspecto existe mais uma consideração que deve ser feita. Alguns setores ou atividades são feitas somente em turnos de trabalho de 18 horas diárias, distribuídas em três turnos de 8:48 h, 8:36 h e 5:36. No entanto, outros setores ou equipamentos funcionam 24 horas por dia, como a caldeira e os secadores de madeira. No caso dos secadores, os mesmos somente param para o carregamento e descarregamento das pilhas de madeira. Portanto, estas peculiaridades de cada setor ou atividade foram consideradas para o cálculo de consumo energético.

4.3.1 Elaboração dos Fluxogramas do Balanço de Materiais e Energético

Para possibilitar a avaliação do balanço de materiais e energético da indústria, foram elaborados fluxogramas com base na linha produtiva de cada setor. Desta forma, foi desenvolvido um fluxograma para cada setor.

Cada fluxograma se inicia com a entrada da matéria-prima no setor, que pode ser toras com casca (laminadora e serraria), lâminas e madeira serrada (manufatura) ou ainda quantidade de resíduo verde e seco (geração de energia). A partir da entrada, a seqüência do processo será dada sempre pela atividade ou equipamento envolvido no processo produtivo (laminação, secagem e classificação de lâminas, desdobro de toras, secagem da madeira, classificação da madeira, coladeira, prensa, esquadrejadeira, caldeira, etc.).

A matéria-prima, após passagem pela atividade produtiva terá dois caminhos. O lado esquerdo dos fluxogramas é destinado para a saída dos produtos e sua destinação (venda e/ou estoque), e o lado direito para a saída dos resíduos gerados durante o processo e sua destinação (venda e/ou geração de energia).

Cada item componente dos fluxogramas contém a média mensal do período, representada pela letra " \bar{x} ". Após a média mensal é colocado um valor percentual correspondente ao rendimento da etapa produtiva imediatamente anterior aquele valor.

No setor 3 existe uma diferença em relação aos fluxogramas referente aos rendimentos. Esta porcentagem está vinculada a atividade e não ao produto, como nos setores anteriores, porque neste setor não é possível a determinação do rendimento do produto em cada fase. Isto é devido ao fato de que entram várias matérias-primas em um mesmo equipamento ou etapa do processo produtivo, saindo também vários produtos.

O modelo de configuração do fluxograma dos setores 1, 2 e 3 está representado na FIGURA 6.

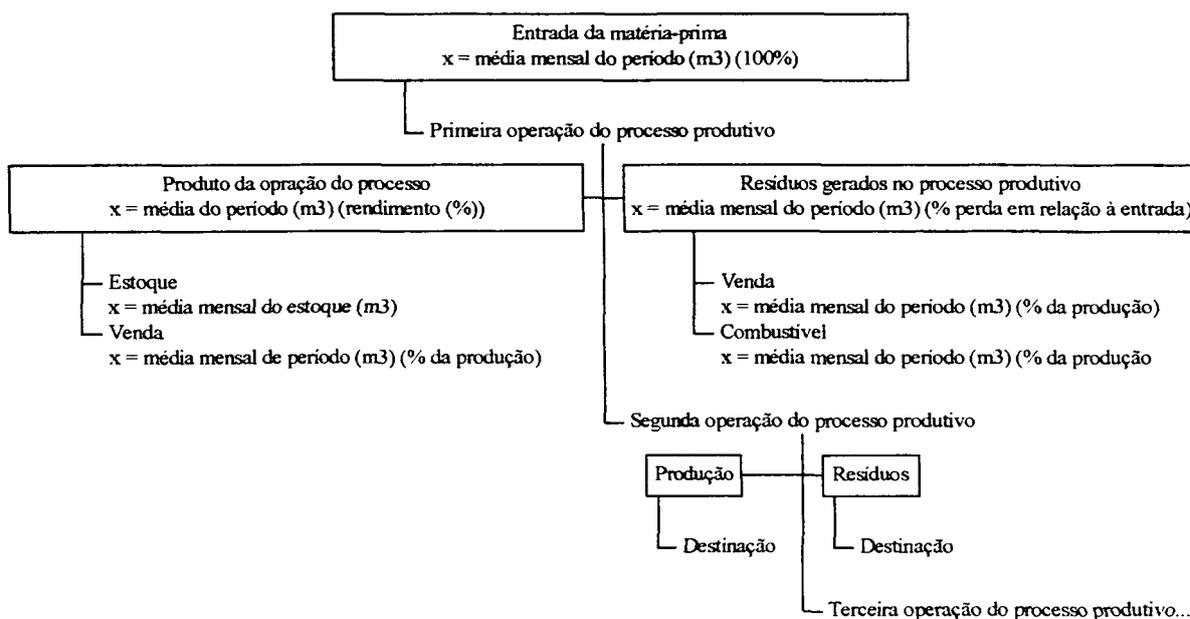


FIGURA 6 - ESQUEMA DE CONSTRUÇÃO DOS FLUXOGRAMAS DOS SETORES 1, 2 E 3 DA INDÚSTRIA.

O fluxograma do setor 4, representado na FIGURA 7, que refere-se a geração de energia, é um pouco diferente dos demais setores por haver somente dois passos produtivos, a caldeira e o turbo gerador.

A entrada de matéria-prima, neste caso, são os resíduos verdes e secos produzidos nos setores produtivos, o produto são a energia térmica e elétrica geradas na caldeira e turbo-gerador, respectivamente, e a destinação da energia gerada neste setor são os setores que geraram o resíduo e o próprio setor de geração de energia.

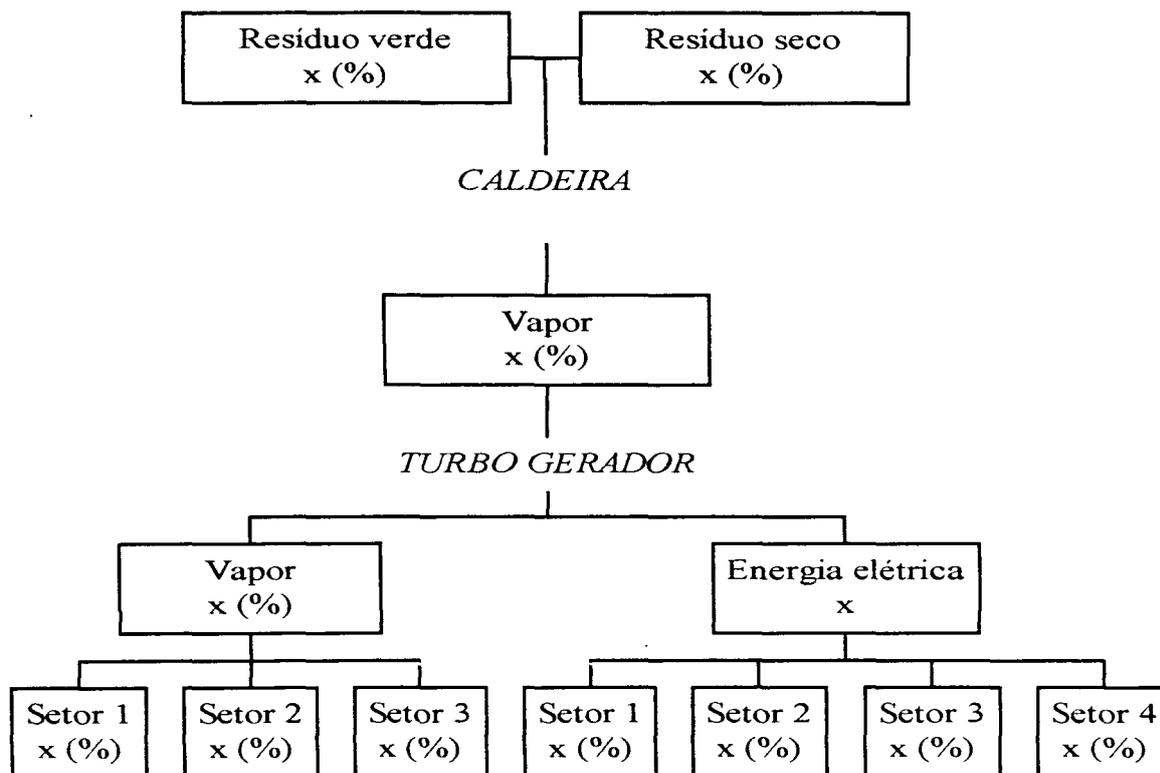


FIGURA 7 - ESQUEMA DE CONSTRUÇÃO DO FLUXOGRAMA DO SETOR 4 DA INDÚSTRIA.

Além deste fluxograma, fez-se necessário a construção de outro modelo, para a determinação do rendimento energético da indústria, através da avaliação da contribuição da matéria-prima e da energia para a manufatura de cada produto produzido na indústria; o volume de resíduos gerados a partir do processo e a potencialidade de geração de energia a partir deste resíduo. Este fluxograma está representado na FIGURA 8.

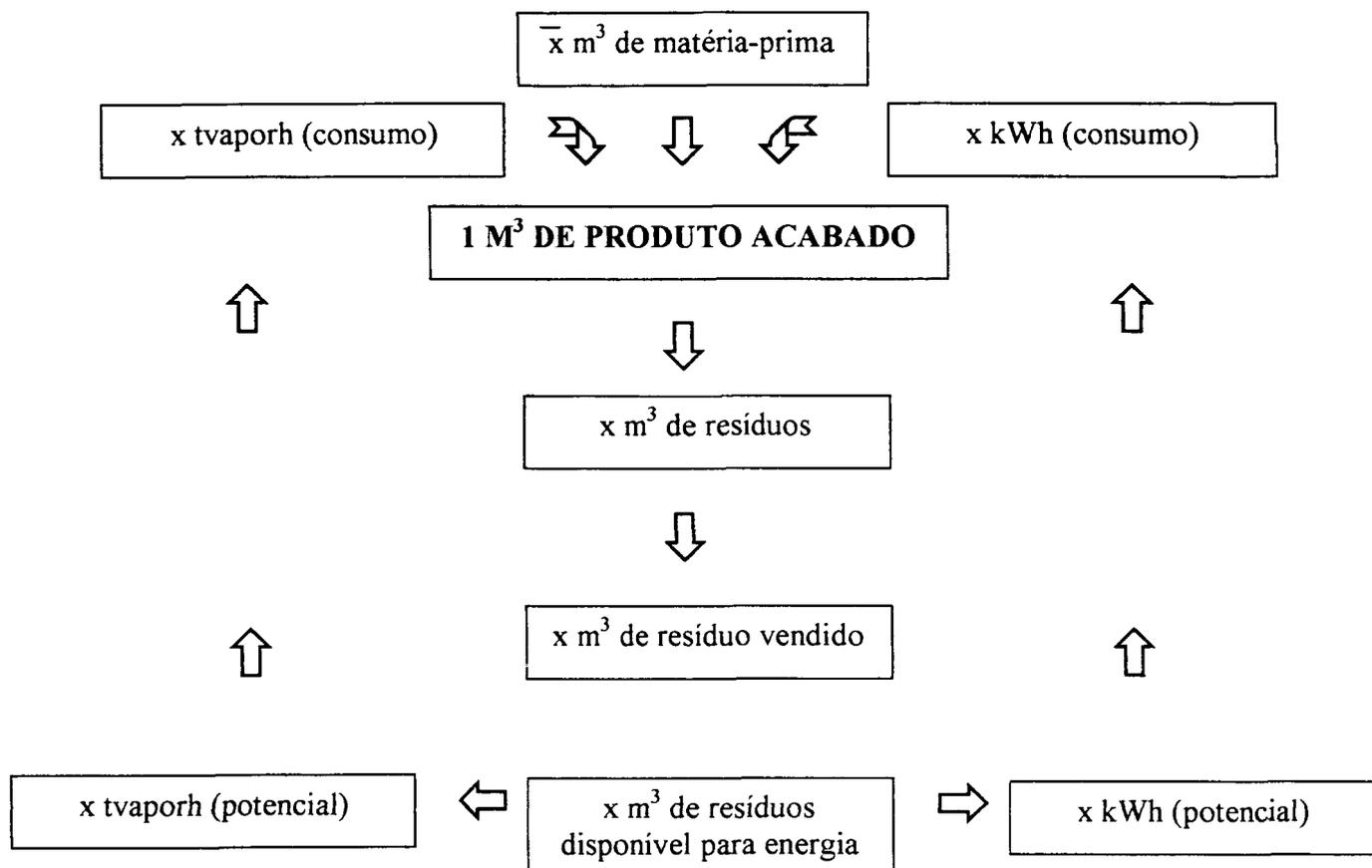


FIGURA 8 - ESQUEMA DE CONSTRUÇÃO DO FLUXOGRAMA DO CONSUMO ENERGÉTICO E DE MATÉRIA-PRIMA E FORNECIMENTO POTENCIAL DE ENERGIA DE 1 M³ DE PRODUTO.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 ANÁLISE DA INDÚSTRIA

A indústria é integrada, ou seja, composta por unidades geradoras de produtos que podem ser vendidos ou utilizados com matéria-prima nos setores subsequentes. Sendo assim, a divisão da indústria em quatro setores e sua análise de forma setorizada possibilitou o melhor acompanhamento do processo produtivo, tanto de produtos manufaturados como dos resíduos produzidos.

5.1.1 Setor 1 - Laminadora

A composição deste setor em termos de equipamentos e atividade está representada na TABELA 22.

TABELA 22 - EQUIPAMENTOS E ATIVIDADES COMPONENTES DO SETOR 1 (LAMINADORA)

Equipamento ou atividade	Quantidade	Descrição
Tanques de cozimento	02	Capacidade para 100 m ³ de toras
Tornos para laminação	02	Marca FEZER – laminação de toras com 1,30 m de comprimento; entrada média de 2400 toneladas de toras/mês e laminação média de 1600 m ³ de lâminas/mês Marca ACC - laminação de toras com 2,6 m de comprimento; entrada média de 5400 toneladas de toras/mês e laminação média de 1000 m ³ /mês
Guilhotinas	02	Equipadas com sensores eletrônicos responsáveis pela determinação da largura das lâminas e pela eliminação de defeitos das mesmas
Setor de estocagem	01	Estocagem de lâminas verdes
Secador de lâminas	01	Marca OMECO - capacidade para secar 3000 m ³ mensalmente
Juntadeiras laterais de lâminas (tacas)	02	Setor de fabricação de lâminas para miolo, a partir da colagem lateral de retalhos de lâminas
Classificação de lâminas	01	Classificação de lâminas saídas do secador
Correia transportadora de resíduos	01	Sistema de coleta e transporte de resíduos gerados durante o processo

5.1.1.1 Descrição do processo

As toras destinadas à laminação têm diâmetros superiores a 28 cm (previamente classificadas no pátio de toras). Estas toras são colocadas nos tanques de cozimento, onde permanecem em média por 4 horas. O cozimento é realizado com vapor vivo, a pressão ambiente, com temperatura entre 170 e 180° C , ou seja, o vapor proveniente da caldeira não sofre nenhum tipo de resfriamento. Este vapor é conduzido para os tanques através de tubulações de aço carbono, na linha mestre com 12 polegadas de diâmetro e entra em uma ramificação de 2 ½ polegadas.

Após o cozimento, os diâmetros sem casca, nas duas extremidades da tora, são medidos para o controle do rendimento do setor. A medição é feita na ponta que está virada para o funcionário que faz a medição, de modo que, em valores médios, o diâmetro obtido nesta operação é bastante representativo e se aproxima muito dos valores reais de volume de

entrada de tora na laminação. Estando a tora medida, a mesma é colocada no torno para laminação.

As primeiras lâminas retiradas da tora, que contém casca ou imperfeições são eliminadas através do encaminhamento das mesmas para a correia transportadora, localizada abaixo dos tornos e que encaminha este material para o picador. Além das lâminas iniciais, parte dos rolos resto, que tem diâmetros entre 10 e 12 cm, que não são vendidos para a fabricação de pallets (para outras indústrias), cai na correia e vai para o picador.

A espessura das lâminas produzidas nos tornos são bastante variadas, dependendo das exigências dos clientes e do produto que está sendo produzido no setor de manufatura, podendo ser de 2; 2,1; 2,2; 3; 3,1 ou 3,2 mm. A determinação da largura das lâminas, bem como a eliminação de defeitos indesejáveis é realizada pelas guilhotinas, localizadas após os tornos e que são equipadas com dispositivos eletrônicos de leitura. Neste ponto também existe geração de resíduos, que são depositados na correia transportadora.

Como o secador de lâminas é normalmente o gargalo da indústria, devido a menor velocidade de produção em relação aos tornos, após a laminação, as lâminas ficam estocadas e daí passam para o secador ou são vendidas verdes. A secagem é contínua, sendo que o tempo de secagem depende da espessura da lâmina e do teor de umidade final desejado. As lâminas saem do secador com umidade média de 6 a 8%.

A classificação das lâminas é a última atividade realizada no setor 1, juntamente com a montagem de lâminas a partir de retalhos, produzidos durante a laminação ou secagem e que compõe lâminas destinadas para miolo de painéis. Esta classificação é baseada em uma norma interna da indústria. Esta atividade é o outro ponto no qual são gerados resíduos (lâminas desclassificadas), e este também é colocado na correia transportadora que vai para o picador.

Após a classificação, as lâminas podem ter dois destinos, a venda ou o encaminhamento para o setor de manufatura de painéis.

Com exceção de parte dos rolos resto¹ destinada a venda para fabricação de pallets, o restante do resíduo é destinado a geração de energia térmica e elétrica no setor 4 (geração de energia).

5.1.2 Setor 2 - Serrarias

Este setor é composto por três linhas produtivas denominadas de Serraria de Tora Grossa (TG) com desdobro médio mensal de 10.500 toneladas de toras e duas Serrarias de Toras Finas com desdobro médio mensal de 12.000 toneladas de toras. O volume de madeira serrada produzido pelas serrarias é determinado pelas solicitações do setor comercial e pelas necessidades do setor de manufatura de painéis, porém é em média de 5.000 m³ para a serraria de toras grossas e 4.000 m³ para as serrarias de toras finas.

Nestas serrarias, de forma geral, as bitolas serradas são 25, 32 e 38 mm de espessura.

A composição, em termos de equipamentos, das três linhas produtivas está representada na TABELA 23.

¹ Porção final da tora que não é laminada, com diâmetro igual ao das garras que fixam a tora no torno laminador

TABELA 23 - EQUIPAMENTOS E ATIVIDADES COMPONENTES DO SETOR 2 (SERRARIA)

Serraria de Toras Grossas (TG)		
Equipamento ou atividade	Quantidade	Descrição
Serra de fita dupla	01	Primeira serra de desdobro. Retira duas costaneiras
Serra de fita simples	03	Uma serra de fita de 3ª face (retirada da terceira costaneira) e duas fitas de reaproveitamento
Serra de fita quádrupla	02	Última serra de desdobro. Obtenção de tábuas
Serra circular dupla	01	Refilo das tábuas de reaproveitamento
Serra circular pendular	02	Destopo das tábuas de reaproveitamento
Setor de montagem de pilhas	01	Preparação das pilhas para secagem
Secador de madeira ¹	07	Secagem da madeira
Picador de tambor ²	01	Transformação do resíduos da laminadora e serrarias em cavacos para geração de energia
Picador com rotor	01	Produção de cavacos, vendidos para celulose
Correia transportadora de resíduos ³	04	Coleta e transporte de resíduos gerados durante o processo de desdobro (TG e TFs)
Serrarias de Toras Finas (TFs)		
Descascador de tambor	01	Alimenta as duas serrarias com toras sem casca
Serra de fita dupla	02	Uma serra em cada serraria. Retirada de duas costaneiras
Serra circular múltipla de dois eixos	02	Um em cada serraria. Obtenção de tábuas
Setor de montagem de pilhas	02	Um em cada serraria. Preparação das pilhas para secagem

1 – Os secadores atendem as três linhas de produção

2 – Equipamentos utilizados tanto para atender as serrarias (TG e TF) como o setor 1 (laminadora).

3 - Ao final das linhas produtivas, as correias transportadoras das Serrarias e laminadora convergem para uma correria que coleta todo o resíduo gerado e leva ao picador de tambor.

5.1.2.1 Descrição do processo da serraria de toras grossas (TG)

Nesta linha entram as toras com diâmetros entre 18 e 28 cm, previamente classificadas no pátio de toras, sendo que a medição do diâmetro das toras é feito por amostragem em cada turno de produção, com a determinação do diâmetro sem casca, para a determinação do rendimento do setor 2.

As toras são depositadas em uma correia transportadora e colocadas no carro da serra fita. O operador movimenta a tora de forma que o desdobro proporcione o melhor

aproveitamento da mesma. Na serra de fita dupla são retiradas duas costaneiras, transformando a tora em um semi-bloco.

Após o desdobro principal, o semi-bloco passa por uma serra de fita simples onde é retirada a terceira costaneira. O semi-bloco segue para a serra de fita quádrupla onde são obtidas tábuas nas bitolas desejadas e a última costaneira.

As duas primeiras costaneiras geradas são transportadas por correias para a segunda serra de fita simples, onde é obtida uma ou mais tábuas de reaproveitamento e o restante do material, que ainda contém casca, cai na correia que vai para o picador.

As costaneiras geradas na primeira serra de fita simples e na quádrupla são encaminhadas para a última serra de fita simples onde o reaproveitamento é feito através da retirada de uma ou mais tábuas e o descarte do restante do material com casca.

As tábuas oriundas da serra de fita quádrupla vão direto para a montagem de pilhas e entablicamento para secagem, enquanto que as tábuas obtidas do reaproveitamento das costaneiras são depositadas em uma bica metálica que leva as mesmas para o piso inferior da serraria onde é realizado o refilo em serra circular dupla, e o destopo em serra circular pendular.

As peças oriundas do reaproveitamento das costaneiras têm bitolas que podem ser de 25, 32 ou 38 mm de espessura e o limite de comprimento é 900 mm.

5.1.2.2 Descrição do processo das serrarias de toras finas (TFs)

Nas duas linhas da TF, os diâmetros das toras são inferiores a 18 cm. Como na serraria de toras grossas, as toras são levadas até o carro da serra de fita por uma correia transportadora e o operador movimenta a tora para melhor aproveitamento da mesma. Na serra de fita dupla são retiradas duas costaneiras e o semi-bloco segue para a serra circular

múltipla de dois eixos onde é feito o desdobro final com a obtenção de duas costaneiras e tábuas com bitolas variadas, segundo as exigências de mercado ou da indústria.

As tábuas obtidas na serra circular múltipla são encaminhadas para a confecção das pilhas destinadas ao secador.

Secagem da madeira serrada (TG e TFs)

Após a confecção das pilhas, a madeira serrada proveniente das três linhas de produção é encaminhada para os secadores que têm capacidade individual de 120 m³ em média. Os secadores utilizam o vapor da caldeira para aquecimento e secagem. A porcentagem média de umidade das peças que saem do secador é de 8 a 10%.

Após a secagem, a madeira é classificada e destinada a venda ou para a manufatura de painéis. A classificação da madeira seca não faz parte da serraria, sendo realizada no setor 3 (manufatura) e portanto neste trabalho será considerada como atividade do setor 3.

Geração de resíduos na serraria

A quantidade de resíduos gerados durante o processo de transformação das toras em madeira serrada é grande, e a exemplo da laminadora, a serraria é localizada em um nível superior, sendo que no nível inferior estão localizadas as correias transportadoras destes resíduos.

Todas as serras envolvidas no processo de desdobro geram resíduos. Na serraria de toras grossas o primeiro ponto de geração de resíduos é na correia transportadora das toras para o carro da serra de fita dupla. Neste local, parte da casca das toras se solta e cai na primeira esteira transportadora da linha de produção. O segundo ponto é a própria serra de fita dupla, onde o principal resíduo é a serragem da retirada das costaneiras.

As demais serras do processo de transformação, tanto da serraria de toras grossas com a de toras finas, também geram o mesmo tipo de resíduos. As serras circulares que fazem o refilo e o destopo geram peças retiradas no processo de determinação da largura e comprimentos finais das tábuas de aproveitamento.

Quando o descascador está em atividade o resíduo gerado pelas costaneiras está sem casca sendo destinado para um picador que reduz o material em cavacos que são vendidos para celulose. Quando o descascador não está funcionando as costaneiras são destinadas para o picador, para geração de energia.

A casca retirada das toras no descascador também é encaminhada para a primeira esteira da serraria para geração de energia.

Sistema de transporte de resíduos na laminadora e serraria

Como já mencionado, tanto os tornos como a serraria estão localizados em um nível superior, sob o qual está instalado o sistema de coleta e transporte de resíduos.

Na laminadora existe somente uma correia transportadora na qual são depositados os resíduos do torno, guilhotina, secador e classificação de lâminas. Esta correia transportadora leva todo o material coletado até uma esteira geral, localizada na serraria, que reúne todo o material da laminadora e serraria para o picador, que alimenta o pátio de resíduos da caldeira.

As serrarias estão dispostas em paralelo o que permite que a mesma correia transportadora colete material de todas as serrarias ao mesmo tempo.

A primeira correia transportadora, localizada sob as serras de fita duplas, coleta a casca que se solta das toras da TG, a serragem das serras de fita duplas, tanto da serraria de toras grossas como das serras de toras finas e a casca proveniente do descascador. Esta primeira correia coleta somente resíduos de pequenas dimensões como serragem e casca e são

conduzidos para um local de armazenamento ao tempo, separado do material que sai do picador, devido ao seu maior teor de umidade.

A segunda correia também coleta somente serragem da primeira serra de fita simples de aproveitamento das costaneiras da TG e das serras circulares múltiplas de dois eixos das TFs.

A terceira correia coleta as costaneiras com ou sem casca das TFs. Quando as costaneiras estão sem casca, a correia leva o material para o picador de cavacos para celulose. Quando as mesmas têm casca o destino é o picador para geração de energia.

A quarta correia coleta as costaneiras das serras de fita simples de desdobro do semi-bloco (quando não permitem reaproveitamento) e de reaproveitamento das costaneiras da TG; a serragem das duas últimas serras de fita simples da TG, da serra quádrupla e das serras circulares da TG; os refilos e destopos das serras circulares destinadas a este fim.

Ao final da linha de produção as correias da laminadora e serraria se unem em apenas uma que leva ao picador de tambor, onde todo o material é reduzido em cavacos, depositados em outra correia, levando o material para o pátio de alimentação da caldeira.

5.1.3 Setor 3 - Manufatura

Este setor é composto por várias linhas de produção, onde são fabricados painéis compensados, sarrafeados e artefatos de madeira, sendo que sua composição está representada na TABELA 24.

TABELA 24 - EQUIPAMENTOS E ATIVIDADES COMPONENTES DO SETOR 3 (MANUFATURA).

Equipamento ou atividade	Quantidade	Descrição
Setor de classificação de madeira serrada	01	Classificação da madeira saída do secador
Plainas	08	Preparação de sarrafos para os painéis
	02	Preparação de quadradinho
Destopadeira (Serra circular)	02	Preparação de sarrafos para os painéis
	02	Preparação de quadradinho
	10	Preparação de pré-cortados
Coladeira	08	Produção de miolo para painel sarrafeado revestido e painel sarrafeado multilaminado
Prensa passadeira de cola	02	Produção de compensado, painel multilaminado e revestimento de painel sarrafeado
Esquadrejadeira	02	Determinação das dimensões finais dos painéis produzidos no setor
Setor de emassamento	01	Correção de defeitos nos painéis
Lixadeira	01	Acabamento dos painéis
Seccionadora	01	Desdobramento de painéis em dimensões menores
Setor de classificação	01	Classificação dos painéis
Setor de expedição	01	Embalagem e carregamento de produtos

5.1.3.1 *Descrição do processo*

As lâminas destinadas à manufatura já vêm classificadas da laminadora, porém a madeira serrada, após a saída dos secadores, pode ir para estoque ou para classificação, já no setor de manufatura. A classificação é feita em duas mesas classificadoras, onde a madeira de 1ª de 25, 32 e 38 mm e 2ª de 25 e 38 mm de espessura vão diretamente para expedição, a de 3ª com 32 x 100 mm, com marcação, vai para a confecção do produto denominado na empresa de quadradinho, a 3ª de 32 x 100 mm, sem marcação, vai para a confecção de sarrafos para a produção dos painéis sarrafeados. A 3ª, marcada, com dimensões de 38 x 150 mm passa por uma serra tripla e é novamente classificada, onde as classes 1ª e 2ª são destinadas a expedição e a 3ª é destinada para pré-cortados, clear e sarrafo.

Pré-cortados

A madeira denominada pré-cortado é preparada em 10 destopadeiras, sendo que o pré-cortado e clear de 25 mm de espessura são destinados para expedição e o descarte vai para as plainas, para preparação de sarrafos para os painéis. Na madeira de 38 mm, o pré-cortado vai para a expedição, o clear para a plaina e o descarte para a confecção de sarrafos.

Preparação do “quadrado”

A madeira destinada a confecção deste produto vem da mesa de classificação com dimensões de 32 x 100 x 2000 mm ou 32 x 100 x 2600 mm. Para a preparação deste produto são utilizadas duas plainas e duas destopadeiras, que deixam as peças finais com 30 x 30 mm com comprimentos variáveis. A madeira passa inicialmente pela plaina, que contém um conjunto de serras circulares múltiplas de dois eixos, onde as peças são retiradas com 30 x 30 mm de base. Após este procedimento, as peças passam pela destopadeira para a determinação do comprimento, principalmente em função dos defeitos.

A linha de “quadrado” é alimentada somente pela madeira serrada das serrarias de toras finas, pois estas serram toras com comprimento de 2 m. O mercado consumidor deste produto aceita somente 10% do produto com comprimentos inferiores a este (1,9 m; 1,5 m; 1,0 m; 0,9 m até 0,5 ou 0,4 m que é o limite mínimo).

Preparação de sarrafos

As linhas de preparação de sarrafos são divididas pela bitola das peças que entram no processo.

Na linha onde entram peças de 32 x 125 mm, são produzidos sarrafos de 15,3 x 30,2

mm, pois a espessura torna-se a largura da peça após a passagem na plaina. Os sarrafos livres de defeitos são destinados diretamente para a coladeira, enquanto que os sarrafos com defeitos passam por uma destopadeira para a eliminação dos mesmos. Das peças com espessura de 25 mm e larguras variáveis são obtidos sarrafos de 12,3 x 23,5 mm. As peças de 38 mm de espessura dão origem a sarrafos de 13 x 35,5 mm e as peças de 32 x 100 mm dão origem a sarrafos mais finos, de 9,3 x 32,2 mm.

Painéis sarrafeados sem revestimento

Após cada linha de preparação de sarrafos está localizada uma coladeira. Nas coladeiras são colocados os sarrafos livres de defeitos que são colados utilizando-se cola tipo PVA, de forma a compor um painel sarrafeado que terá dimensões variáveis em função da espessura do sarrafo e do pedido feito pelos clientes.

Após a saída da coladeira, os painéis que não receberão revestimento, e que na empresa são denominados de “poliplac”, são embalados e destinados à expedição.

Painéis sarrafeados com revestimento de lâmina

Parte dos painéis sarrafeados recebem duas lâminas para revestimento das superfícies. Estes painéis, denominados na empresa como “blockboard”, recebem as lâminas superficiais na prensa, seguindo para a esquadrejadeira onde as dimensões finais são determinadas, passam pelo emassamento para a correção de defeitos e pelo lixamento para o acabamento do produto, de onde segue para a expedição.

Painéis compensados e multilaminados

Os painéis constituídos de lâminas são confeccionados em duas prensas. A primeira prensa, com 25 pratos, é destinada a confecção de painéis compensados, denominados na empresa como “plywood” e painéis multilaminados, com maior número de camadas, denominado na empresa como “uniplac”. A segunda prensa, com 10 pratos, é destinada para a confecção de painéis sarrafeados revestidos (blockboard) e painéis compensados (plywood).

Os painéis compensados são montados através do princípio da laminação cruzada e prensados em prensa a quente. A resina utilizada pode ser uréia-formoldeído ou fenol-formoldeído e com número variável de camadas, dependendo do uso final pretendido. Após a prensagem, estes painéis seguem para a esquadrejadeira onde as dimensões finais são determinadas, passam pelo emassamento para a correção de defeitos e pelo lixamento para o acabamento do produto. As lâminas utilizadas para o miolo são de qualidade inferior e as lâminas de capa de melhor qualidade.

Os painéis multilaminados são confeccionados através da prensagem de várias camadas de lâminas coladas no mesmo sentido, ou seja, sem o princípio de laminação cruzada. Após a divisão deles ao meio na esquadrejadeira, são feitas tábuas na seccionadora e os sarrafos retirados na plaina, tornando-se assim matéria-prima para a produção de painéis sarrafeados multilaminados, que também recebem lâminas para o revestimento das superfícies.

Geração de resíduos

Todos os equipamentos de corte que constituem o setor de manufatura geram resíduos de pequenas dimensões como serragem, pó de lixa e pequenos cavacos que são captados por exaustores localizados sobre cada máquina. Este resíduo é encaminhado para um silo de onde

é vendido como “maravalha” para outras indústrias que utilizam este material seco como combustível, representando uma venda média de 1000 toneladas/mês.

Além deste resíduo, a produção de pré-cortados, preparação de sarrafos e “quadrado” também geram resíduo, de dimensões maiores, os quais são depositados em uma correia transportadora que leva o material para um picador e diretamente para a caldeira, para geração de energia.

5.1.4 Setor 4 - Geração de energia

Este tem sua composição representada na TABELA 25.

TABELA 25 – EQUIPAMENTOS E ATIVIDADES COMPONENTES DO SETOR 4 (GERAÇÃO DE ENERGIA).

Equipamento ou atividade	Quantidade	Descrição
Pátio de resíduos	01	Armazenamento do resíduo gerado na serraria e laminadora
Caldeira	01	Marca SF 150 ZANINI/DEDINI; capacidade de trabalho de 60 toneladas/hora; pressão de 42 Kgf/ cm ² de trabalho e 8,0 Kgf/ cm ² de processo; vapor superaquecido; utiliza combustível sólido (resíduo verde e seco proveniente dos setores produtivos da indústria)
Turbo gerador	01	Geração de energia elétrica, capacidade de geração de 3600 kWh

5.1.4.1 Descrição do Processo

A caldeira é alimentada com uma mistura de resíduos oriundos da laminadora, serraria e manufatura, que após serem picados, são armazenados sob condições ambientais como é o caso dos resíduos da serraria e laminadora ou são destinados diretamente para a queima na caldeira como é o caso dos resíduos da manufatura.

Porém, as proporções desta mistura variam em função das condições climáticas, uma vez que os resíduos oriundos da laminadora e serraria ficam estocados ao tempo. Sendo assim, os resíduos constituídos de partículas menores, como é o caso da serragem, em dias de chuva, terá teores de umidade superiores aos dos resíduos de partículas maiores. Portanto, nestas condições, em dias de alta umidade relativa do ar, a mistura conterá menor proporção de resíduos de menores partículas.

A média do teor de umidade dos resíduos que entram na caldeira em dias secos, fornecido pela empresa, é de 140%, na base seca, o que representa, o que representa uma umidade de 58,33% na base úmida.

O consumo de energia térmica e elétrica é diferenciado entre os setores componentes da indústria, sendo que o consumo médio de vapor de cada setor ou atividade está representado na TABELA 26:

TABELA 26 - CONSUMO DE VAPOR NOS SETORES DA INDÚSTRIA

Equipamento ou local de consumo	Consumo de vapor (toneladas/hora)
Tanque de cozimento de toras e cozinha	0,5
Secador de Lâminas	6,0
Secadores de Madeira*	30,0
Prensas	1,0
Coladeiras	1,0
Total	38,5

* O consumo de vapor somente é contínuo nos secadores de madeira, os demais setores funcionam durante os turnos de trabalho.

O turbo gerador funciona a partir da passagem de todo vapor produzido na caldeira por ele para a geração de energia elétrica. Após a passagem do vapor pela turbina, o mesmo é destinado para o setor produtivo. Desta forma, a produção de vapor está em função das necessidades de geração de energia elétrica, sendo que atualmente, existe super oferta de vapor e suprimento adequado de energia elétrica. Desta forma, a diferença existente entre o

vapor gerado e o consumo de vapor na indústria deve-se ao desbalanceamento entre o consumo de energia e vapor. O vapor excedente é condensado e retorna para o circuito fechado de processo da caldeira.

A energia elétrica produzida pelo turbo gerador é em média de 3100 kWh e consumida em todos os setores da indústria, sendo que é utilizado um fator de potência de 0,90. O fator de potência é a relação entre a corrente ativa (IA) e a corrente opoente (reativa) (IAp):

$$FP = \frac{IA}{IAp}$$

$$IAp$$

sendo que a energia ativa é aquela que efetivamente produz trabalho e a energia reativa é aquela que não produz trabalho. Este fator é aplicado para a obtenção de um equilíbrio entre a energia ativa e reativa, através de bancos de capacitores.

O fator de potência apresentado pela indústria pode ser considerado bom quando comparado a outras indústrias do setor florestal. Este fator é influenciado pelo tempo (idade) e condições de uso dos equipamentos.

A indústria é auto-suficiente, tanto em termos de energia térmica como elétrica. Porém, existe um contrato de demanda suplementar de reserva com a concessionária pública, no qual a energia elétrica desta somente é utilizada quando ocorrem problemas com a caldeira, atendendo neste caso somente 60% das necessidades energéticas da indústria.

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

Durante a utilização, tanto da energia térmica como elétrica existem perdas no processo. Estas perdas são devido a condensação do vapor e vazamentos nas tubulações, utilização do condensado para limpeza, no caso da energia térmica. Com relação à energia elétrica, devido aos transformadores, motores e cabos mal dimensionados, etc.

5.1.4.2 *Uso da energia térmica e elétrica na indústria*

Com base nos dados levantados na análise da indústria, até aqui apresentados, foi elaborado o fluxograma da FIGURA 09, no qual está representada a distribuição das energias térmica e elétrica, geradas na caldeira e turbo gerados, respectivamente, para os equipamentos e/ou atividades da indústria. Após cada equipamento ou setor consumidor de energia está representada a potencialidade do mesmo em gerar resíduos. Estes resíduos estão acompanhados das letras E e/ou V que indicam a possível destinação dos mesmos (geração de energia (E) ou venda (V)).

A avaliação da FIGURA 09 permite observar que somente os pontos que consomem energia elétrica produzem resíduos que contribuem para a geração de energia térmica e elétrica. Em contrapartida, os pontos de consumo de energia térmica não geram resíduos na forma de material para queima na caldeira. Porém, isto não significa que nestes pontos (secador de lâminas, secador de madeiras e prensas), não hajam perdas no processo. No entanto, estas perdas são volumétricas, devido a evaporação de água nos secadores, ou devido a compressão do material nas prensas.

5.2 DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS E DO RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO

5.2.1 Setor 1 – Laminadora

O fluxograma da FIGURA 10 representa o balanço de materiais do setor.

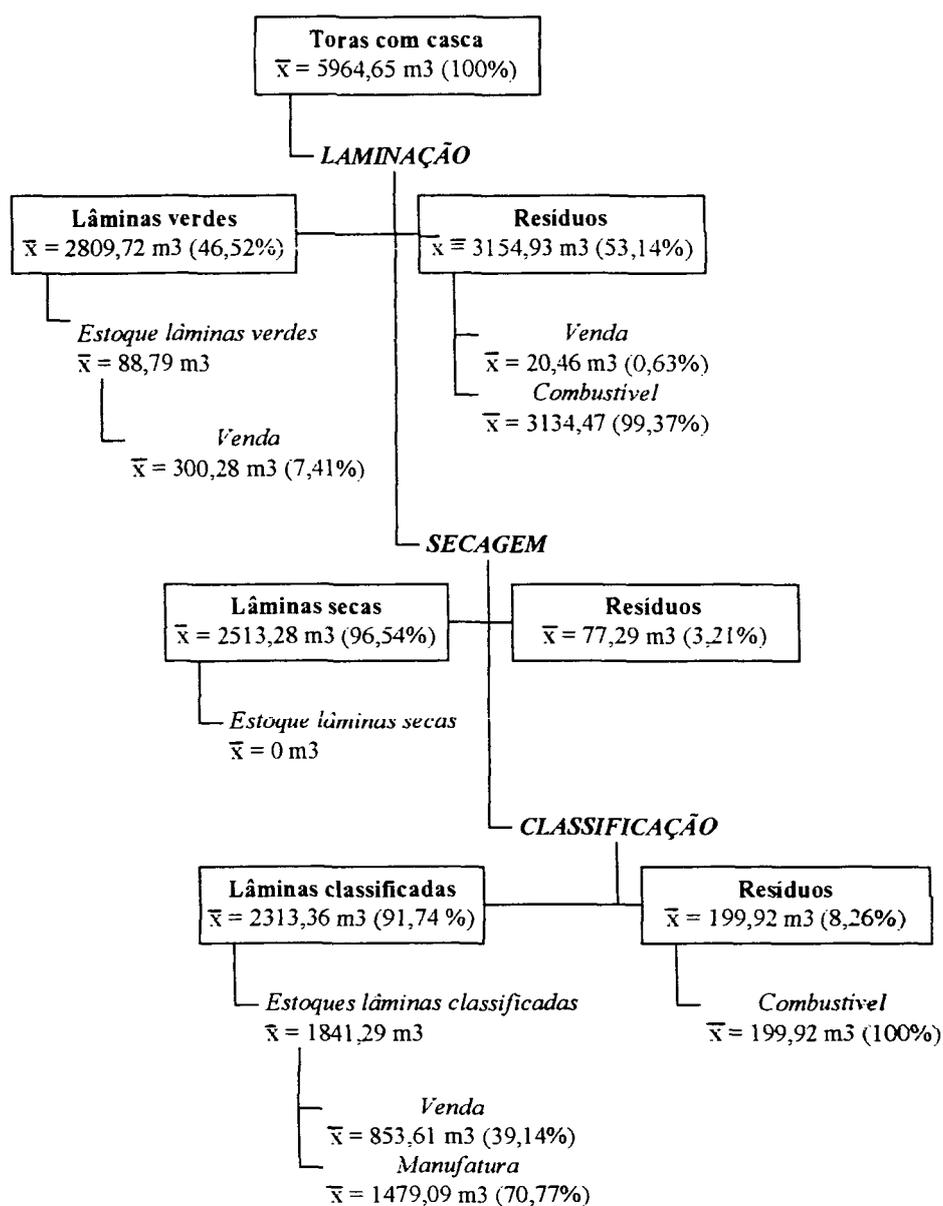


FIGURA 10 - FLUXOGRAMA DO BALANÇO DE MATERIAIS DA LAMINADORA. ²

² Como na entrada das toras na laminadora é determinado o diâmetro sem casca, para os cálculos de rendimento e geração de resíduos, bem como para a determinação do rendimento geral da laminadora foi acrescido ao valor fornecido pela empresa, um valor correspondente a 12%, o que equivale em média a porcentagem de casca para o *Pinus*.

Vale salientar que observando-se o fluxograma da FIGURA 10 alguns valores apresentados não corresponderão às porcentagens relacionadas a eles. Porém, este fato é devido ao uso dos valores médios encontrados para o intervalo de tempo analisado.

O balanço foi composto considerando-se somente a madeira utilizada no setor, portanto foi iniciado a partir do volume de toras que entra no processo de laminação, seguido das operações de secagem e classificação das lâminas. Para a estruturação do balanço foram consideradas todas as entradas e saídas do processo, e como o próximo passo é a determinação do rendimento energético, foram considerados os volumes de resíduos destinados a venda e a geração de energia.

A distribuição das etapas produtivas, com suas respectivas gerações de resíduos e destinação dos mesmos mostra que a laminação e classificação são as operações que efetivamente contribuem para a geração de resíduos destinados à energia, lembrando que os resíduos desta linha produtiva são considerados verdes, por serem misturados na mesma correia transportadora e picados juntamente com o resíduo verde da serraria.

Ocorre venda de parte dos resíduos gerados na laminação das toras, porém a porcentagem de vendas dos resíduos ainda é muito pequena, não chegando a 1% do volume total produzido, caracterizada somente por rolos resto, destinados para a fabricação de pallets. O potencial de venda é muito maior, como demonstra a TABELA 27. Ainda nesta tabela é feita uma comparação entre a porcentagem de rolo resto produzida na indústria estudada como dados apresentados por MIYAZAKI (1989).

TABELA 27 - PRODUÇÃO E VENDA DE RESÍDUOS DA LAMINAÇÃO (ROLOS RESTO).

	Produção e Potencial de venda (m³)	Venda real (m³)	Venda (%)	Rolo resto na laminação (%)	Rolo resto na laminação (%) (MIYAZAKI, 1989)
Média	362,85	20,46	0,63	5,93	6,60
DP	146,99	20,40	0,60	1,20	-

A porcentagem de rolo resto produzida no setor 1, a partir do volume de toras que entra na indústria se aproxima bastante dos dados obtidos por MIYAZAKI (1989), apesar deste autor ter trabalhado com espécies tropicais e de que a porcentagem de rolo resto é muito influenciado pelo tipo de equipamento utilizado na laminação das toras.

Através da tabela pode-se perceber ainda que o potencial de venda dos rolos resto produzidos na laminação das toras é bem superior ao praticado pela empresa no período de coleta dos dados, uma vez que a porcentagem de rolos resto vendido era somente de 0,63% do total produzido.

A análise do fluxograma do setor 1, permite ainda a constatação de que as perdas verificadas na secagem e o rendimento na laminação foram menores que os valores usualmente admitidos pela indústria, que são em torno de 10 a 12% para secagem e em torno de 50% para laminação. Com relação ao menor rendimento da atividade de laminação pode-se dizer que um dos fatores que contribuiu para este fato é que nesta análise foi considerado o rendimento incluindo-se a casca no cálculo, enquanto que a empresa, por medir os diâmetros sem casca antes das toras entrarem no processo, desconsidera a mesma no cálculo do rendimento da laminação.

Ainda com relação aos valores médios de cada etapa do processo produtivo e de seus respectivos rendimentos, a TABELA 28 apresenta de forma sumarizada estes valores, juntamente com seus desvios padrão para a visualização da dispersão dos dados.

TABELA 28 - DADOS MÉDIOS DE CADA PROCESSO DA LAMINADORA DURANTE O PERÍODO AVALIADO (1998/1999).

Operação	Entrada Matéria-prima (m ³)		Saída do Produto (m ³)		Saída de Resíduo (m ³)		Rendimento da Produção (%)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Laminação	5964,65	1729,49	2809,72	1015,68	3154,93	912,64	46,52	6,39
Secagem de lâminas	3198,79	1458,49	2513,28	692,63	77,29	86,55	96,54	2,98
Classificação de Lâminas	2513,28	692,63	2313,36	650,06	199,92	101,31	91,74	3,67
Geral	5964,65	1729,49	2313,36	650,06	2313,36	650,06	40,71	3,39

Estes valores refletem a tendência conhecida de que o rendimento aumenta do início para o final do processo, ou seja, as quantidades de perdas diminuem a medida que o produto vai se aproximando das etapas finais do processo.

Após o término das atividades produtivas do setor 1, as lâminas, como já mencionado podem ter dois destinos, a venda ou a fabricação de painéis. Neste sentido, grande parte da produção de lâminas é destinada para o consumo da própria indústria para a manufatura de painéis, sendo que a proporção é em média de 70,77% de lâminas irem para manufatura de painéis e apenas 39,14% de lâminas irem para a venda.

O rendimento geral do setor 1 foi em média de 40,71%, indicando que mais da metade da matéria-prima que entra no processo torna-se resíduo. Vários fatores influenciam o rendimento, entre eles os principais são o tipo de equipamento utilizado, as espécies e o diâmetro das toras.

Além disso, o rendimento determinado neste trabalho é menor que o encontrado em literatura. MIYAKAKI (1989), por exemplo, cita que a perda na laminação de toras de madeiras tropicais é em torno de 23,30%.

Para uma melhor avaliação dos resultados obtidos no setor 1, o ANEXO II apresenta a distribuição dos dados obtidos através da aplicação dos questionários e visitas realizadas à empresa e o ANEXO III os resultados obtidos a partir da aplicação destes dados nas equações

elaboradas para a análise do setor. Os valores de ambos os anexos são mensais e ao final estão os valores médios e os desvios padrões utilizados para a confecção das tabelas que foram discutidas anteriormente.

5.2.2 Setor 2 - Serrarias

A exemplo do balanço de materiais da laminadora, no setor 2 (serrarias), o fluxograma (FIGURA 11) é composto por todas as entradas e saídas do material madeira no processo produtivo de madeira serrada seca classificada.

Vale salientar que observando-se o fluxograma da FIGURA 11 alguns valores apresentados não corresponderão às porcentagens relacionadas a eles. Porém, este fato é devido ao uso dos valores médios encontrados para o intervalo de tempo analisado.

O balanço foi constituído a partir dos passos produtivos da serraria que são desdobro, secagem e classificação. A serraria é o setor da indústria com maior volume de resíduos gerados, devido o volume de madeira processado ser em torno de 5 vezes maior que a laminadora e também devido ao baixo rendimento apresentado pela atividade de desdobro das toras. Porém, em comparação com a laminadora, as atividades de secagem e classificação da madeira apresentam valores de rendimento superiores aos apresentados no setor 1.

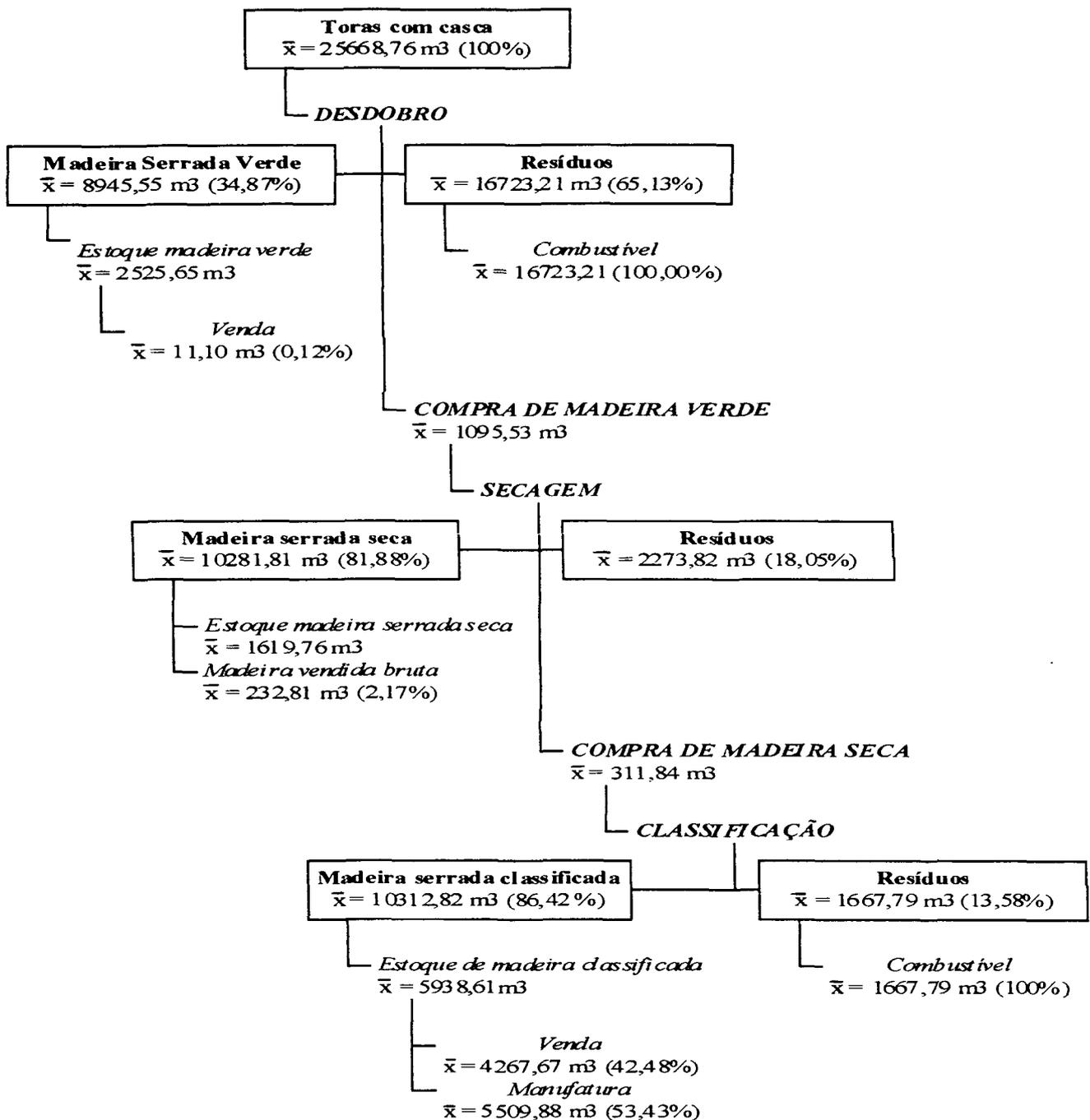


FIGURA 11 - FLUXOGRAMA DO BALANÇO DE MATERIAIS DA SERRARIA³.

³ Como na entrada das toras na Serraria é determinado o diâmetro sem casca, para os cálculos de rendimento e geração de resíduos, bem como para a determinação do rendimento geral da laminadora foi acrescido ao valor fornecido pela empresa, um valor correspondente a 12%, o que equivale em média a porcentagem de casca para o *Pinus*.

A TABELA 29 apresenta os valores de entrada de matéria-prima, saída de produtos e resíduos e rendimento de cada atividade do setor, além do rendimento geral do mesmo.

TABELA 29 - DADOS MÉDIOS DE CADA PROCESSO DA SERRARIA DURANTE O PERÍODO AVALIADO (1998/1999).

Operação	Entrada Matéria-prima (m ³)		Saída do Produto (m ³)		Saída de Resíduo (m ³)		Rendimento da Produção (%)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Desdobro	25668,76	2136,76	8945,55	768,18	16723,21	1522,67	34,87	1,54
Secagem	12503,69	1183,84	10281,81	1102,93	2273,82	762,70	81,88	5,49
Classificação	11980,60	1373,13	10312,82	944,98	1667,79	774,65	86,42	5,13
Geral	25668,76	2136,76	10312,82	944,98	16723,21¹	774,65	38,62	4,29

1 - Na quantidade total de resíduos gerados não está incluída a quantidade de resíduos gerados na classificação de madeiras porque para a geração de energia o resíduo gerado na classificação de madeira entra na somatória do resíduo gerado na manufatura, uma vez que a atividade de classificação de madeira é feita no setor 3.

Para permitir melhor análise do valor do rendimento geral da serraria foi construída a TABELA 30, na qual os valores obtidos na empresa foram comparados com valores de autores que realizaram trabalhos similares em indústrias de base florestal.

TABELA 30 - DADOS COMPARATIVOS DO RENDIMENTO DA SERRARIA.

	Madeira serrada verde	Madeira serrada seca classificada	% resíduos
<i>Setor 2</i>	34,87*	38,62	65,13* 61,38
BRITO		42,34	57,66
KOCK (1976)		35,00	65,00
MIYAZAKI (1989)	68,80		31,2
OLANDOSKI <i>et al.</i> (1997)	49,00		51,00
BORGES	52,27		47,73

* Este valor considera somente o rendimento do desdobro.

Através da avaliação da TABELA 30 pode-se perceber que os valores obtidos neste trabalho estão bem próximos dos obtidos por BRITO (s/d) no Brasil, para madeira serrada seca e classificada e também aos dados de KOCK (1976), que trabalhou com coníferas nos Estados Unidos. Para rendimento em madeira verde, os valores deste trabalho se aproximam mais ao encontrado por OLANDOSKI *et al.* (1997), que também trabalhou no Brasil com desdobro de *Pinus*.

Com relação aos resíduos gerados na serraria, no período avaliado, todo o resíduo foi destinado para a geração de energia, sendo que ao final deste período estava sendo instalado um silo para a venda de parte do resíduo sem casca para indústrias de celulose. Neste sentido, KOCK (1976) afirma que a quantidade de resíduos a ser destinado para a obtenção de celulose pode representar 29% da quantidade de matéria-prima que entra no processo.

Para uma melhor avaliação dos resultados obtidos no setor 2, os ANEXOS IV e V apresentam a distribuição dos dados obtidos através da aplicação dos questionários e visitas realizadas à empresa (ANEXO IV) e os resultados obtidos a partir da aplicação destes dados nas equações elaboradas para a análise do setor (ANEXO V). Os valores de ambos os quadros são mensais e ao final estão os valores médios e os desvios padrões utilizados para a confecção das tabelas que foram discutidas anteriormente.

5.2.3 Setor 3- Manufatura

Os balanços de materiais das figuras 12, 13 e 14 foram construídos a partir das entradas e saídas de matéria-prima e produtos em equipamentos ou atividades dentro do processo produtivo de chapas manufaturadas. Portanto, os pontos de referência do balanço são as coladeiras, prensas, esquadrejadeiras, lixadeiras, classificação e seccionadoras. A operação de emassamento não é apresentada no fluxograma porque não contribui e não altera o fluxograma, não sendo necessária também para a avaliação do rendimento energético feito posteriormente.

O balanço de materiais no setor 3 é iniciado na coladeira. Neste ponto está incluída a atividade de preparação dos sarrafos, tanto de madeira sólida como de painéis multilaminados, que antecede a operação de colagem lateral dos tapetes dos painéis sarrafeados, nas coladeiras.

Nesta atividade, como nas demais etapas do processo produtivo do setor, o resíduo poderá ter dois destinos, a venda ou a geração de energia. Assim, todo o resíduo gerado pelos cortes das serras (serragem e pó-de-lixia) são captados por exaustores, instalados sobre cada equipamento de corte, que levam o material para um silo do qual sai para a venda. Os demais resíduos gerados no processo produtivo e que tem dimensões maiores, caem nas correias transportadoras, instaladas sob os equipamentos, que levam o material para um picador e posteriormente para a caldeira.

Devido a esta característica e ao fato de haver entrada de diferentes matérias-primas e saídas de diferentes produtos em um mesmo ponto do processo, não foi possível a determinação do rendimento e quantidade de resíduos por produto. Desta forma, neste setor o rendimento está vinculado ao equipamento ou atividade e não ao produto.

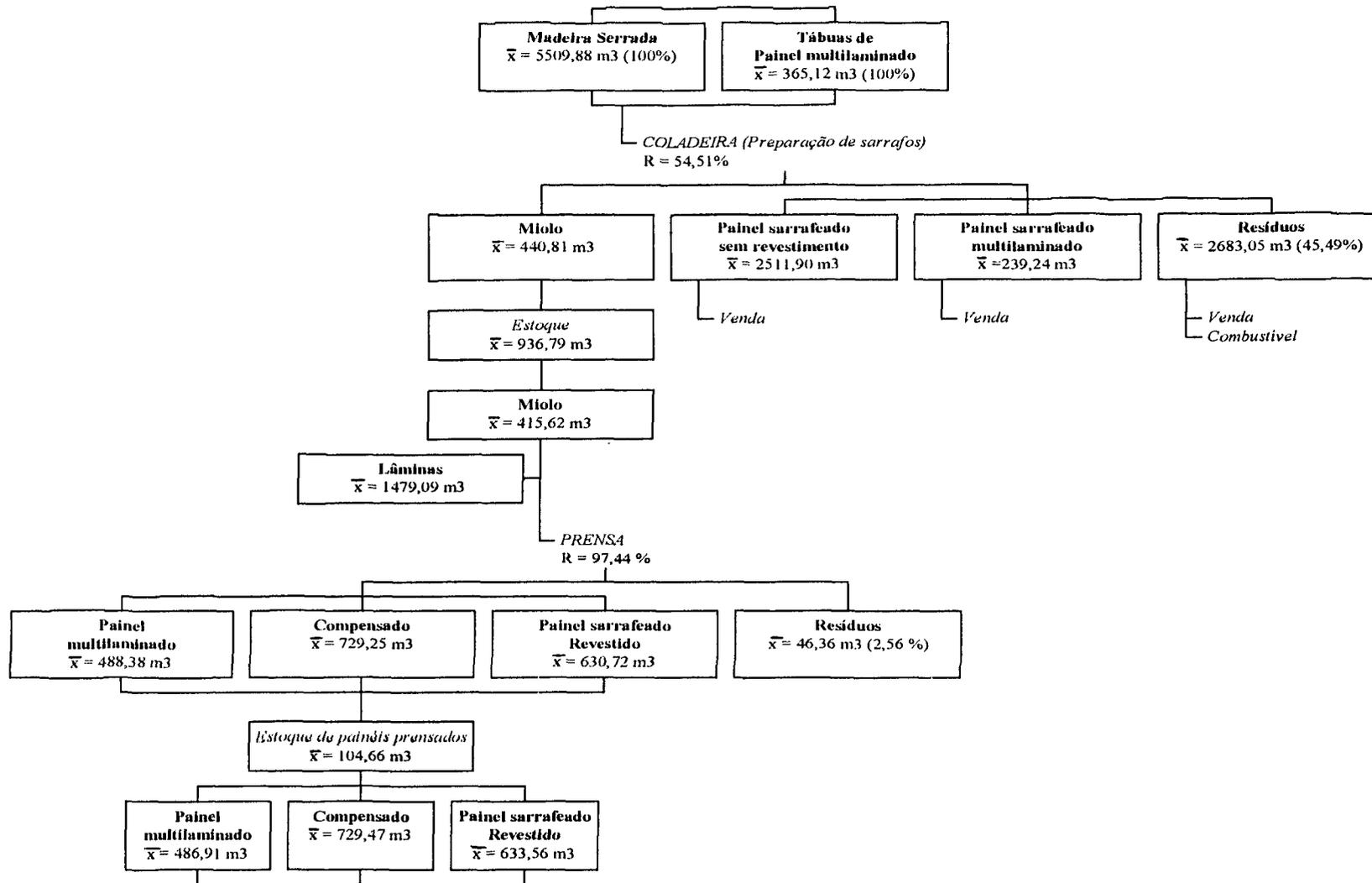


FIGURA 12 – FLUXOGRAMA DO BALANÇO DE MATERIAIS DA MANUFATURA (PARTE 1)

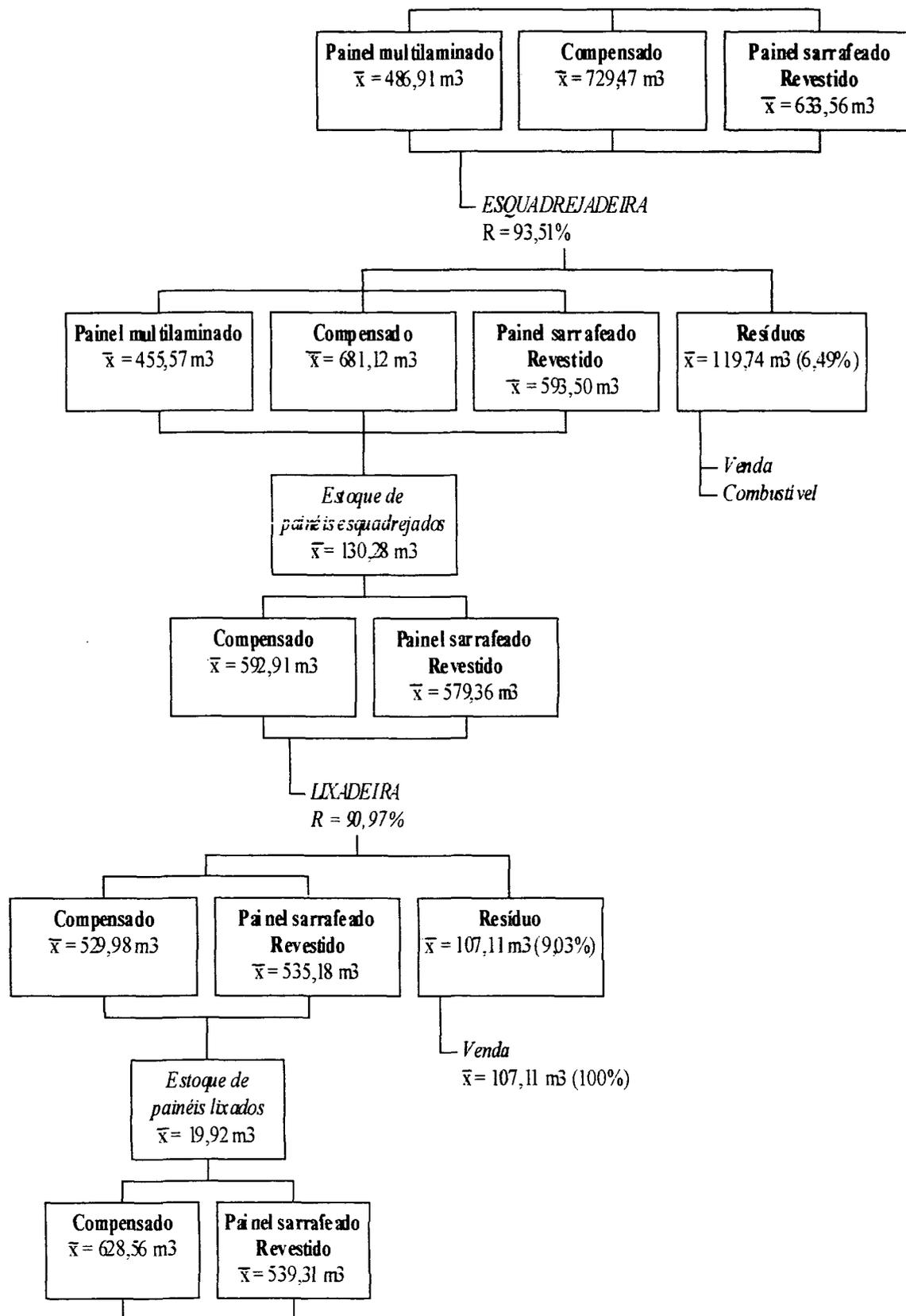


FIGURA 13 - FLUXOGRAMA DO BALANÇO DE MATERIAIS DA MANUFATURA (PARTE 2).

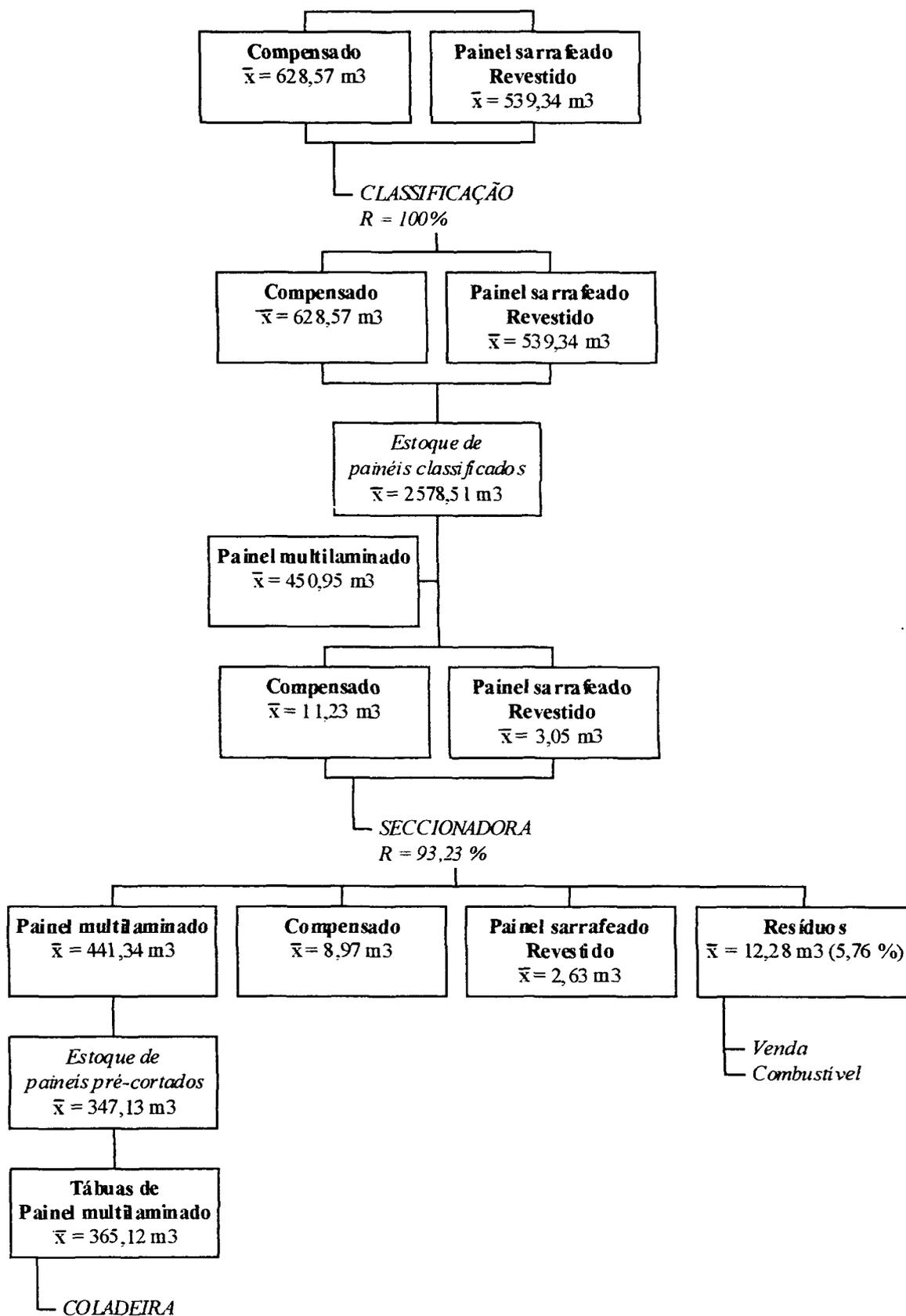


FIGURA 14 - FLUXOGRAMA DO BALANÇO DE MATERIAIS DA MANUFATURA (PARTE 3).

Observando-se a FIGURA 12 pode-se perceber que na coladeira, tanto o painel sarrafeado sem revestimento (poliplac) como o painel sarrafeado multilaminado (lamiplac) são considerados produtos acabados e saem da coladeira diretamente para a expedição. O outro produto produzido, o miolo, segue para a prensa e nesta etapa entram as lâminas secas e classificadas vindas do setor 1 para a composição de compensados, painéis multilaminados e o revestimento do miolo (painel sarrafeado), que neste ponto passa a ser denominado painel sarrafeado revestido (blockboard).

Da prensa, os painéis passam obrigatoriamente pelo esquadrejamento, representado já na FIGURA 13. A operação de lixamento somente é realizada no painéis compensados e sarrafeados revestidos, enquanto que os painéis multilaminados seguem para a seccionadora para a confecção de tábuas destinadas a preparação dos sarrafos para a composição do painel sarrafeado multilaminado na coladeira.

Depois do lixamento, os painéis compensados e sarrafeados revestidos passam pela classificação (FIGURA 14) e a maior parte deles são destinados a expedição, sendo que apenas uma pequena parcela destes segue para a seccionadora.

Através dos fluxogramas pode-se perceber ainda que os pontos geradores de resíduos são a preparação de sarrafos, esquadrejadeira, lixadeira e seccionadora, sendo que as perdas observadas nas prensas são somente devidas à compressão e a atividade de classificação dos painéis tem rendimento de 100%, não gerando desta forma resíduos. A lixadeira é o único ponto onde todo o resíduo gerado é destinado para a venda, sendo que as demais etapas do processo produtivo contribuem tanto para a venda como para a geração de energia.

Ainda com relação à geração de resíduos, o ponto com maior produção de resíduos é a preparação de sarrafos.

Além do acompanhamento das etapas do processo produtivo, com base nos dados das FIGURAS 12, 13 e 14 e dos ANEXOS VI e VII foi elaborada a TABELA 31 para a avaliação dos rendimento das etapas do processo e o rendimento geral do setor 3.

TABELA 31. DADOS GERAIS MÉDIOS DE CADA OPERAÇÃO DO PROCESSO DE MANUFATURA DURANTE O PERÍODO AVALIADO (1998/1999)

Operação	Entrada Matéria-prima (m ³)		Saída do Produto (m ³)		Saída de Resíduo (m ³)		Rendimento da Produção (%)	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP	Média	DP
Prep. Sarrafos/ coladeira (mad./p. mult.)	5874,99	1303,02	3191,95	674,69	2683,05	706,70	54,51	4,25
Prensagem	1894,71	383,44	1848,35	385,99	46,36	35,27	97,44	1,97
Esquadrejamento	1849,94	423,70	1730,19	398,30	119,74	26,10	93,51	0,33
Lixamento	1172,27	425,64	1065,16	381,00	107,11	49,59	90,97	1,76
Seccionamento	465,23	529,06	452,94	517,82	12,28	11,56	93,92	11,33
Geral	6988,97	1213,18	4360,39	811,80	3781,39	1075,36	63,16	12,01

O rendimento de cada etapa do processo produtivo do setor 3 é maior que nas etapas dos setores discutidos anteriormente, porque neste setor, a não ser a atividade de preparação de sarrafos, todas as outras atividades são características de acabamento de produtos, pois os mesmos estão semi-acabados. Conseqüentemente, o rendimento geral deste setor também será maior que dos setores anteriores.

5.2.4 Setor 4 - Geração de Energia

Como anteriormente mencionado, toda a energia térmica e elétrica utilizadas na indústria são geradas na própria empresa, através da queima dos resíduos produzidos durante a processo produtivo.

Porém, como a indústria estudada foi dividida em setores, foi importante separar os resíduos segundo suas características, pois cada setor gera resíduos com algumas particularidades que devem ser consideradas durante a determinação do rendimento energético da indústria. Assim, inicialmente os resíduos foram quantificados em cada fase do processo, como demonstrado no fluxograma de cada setor e qualificados segundo seu teor de umidade como apresentado na TABELA 32.

TABELA 32 - VALORES MÉDIOS MENSAIS DA QUANTIFICAÇÃO E QUALIFICAÇÃO DOS RESÍDUOS GERADOS NA INDÚSTRIA.

Setor /atividade	Resíduo verde (m ³)			Resíduo seco (m ³)		
	Volume gerado	Volume vendido	Volume queimado	Volume gerado	Volume vendido	Volume queimado
<i>Setor 1</i>		20,46	1308,48			
Laminação	3154,93	20,46		-	-	-
Classificação	199,92	-		-	-	-
<i>Setor 2</i>			6499,89			
Desdobro	16723,21	-		-	-	-
<i>Setor 3</i>					808,58	3781,39
Classificação de madeira	-	-	-	1667,79	-	1667,79
Coladeira	-	-	-	2683,05	-	-
Esquadrejadeira	-	-	-	119,74	-	-
Lixadeira	-	-	-	107,11	107,11	-
Seccionadora				12,28		

Nesta tabela estão apresentadas somente as atividades que geram resíduos destinados à venda ou a geração de energia.

Através destes dados pode-se perceber que o setor que contribui com a maior quantidade de resíduos para a queima é o setor 2, que gera somente resíduos verdes, enquanto o que contribui com maior volume para venda é o setor 3, que gera somente resíduos secos.

Somente em três pontos do processo é possível a determinação do volume exato destinado para cada finalidade, que é o caso da venda de rolos resto no processo de laminação; da classificação da madeira serrada onde todo o resíduo gerado cai na correia transportadora que leva o material diretamente para a caldeira e na lixadeira, onde todo o resíduo é captado pelos exaustores e encaminhado diretamente para o silo de material que é vendido.

O setor 3 tem um particularidade em relação aos setores anteriores, sendo que todo o resíduo disponível para queima (após subtração do volume vendido) é encaminhado diretamente para a caldeira. Portanto o volume disponível é igual ao volume queimado. Enquanto nos setores 1 e 2 existe estoque de resíduos verdes, sendo que na TABELA 32 foi mostrado somente o volume queimado na caldeira, que é diferente do volume disponível.

A diferença entre o resíduo verde disponível para queima e o efetivamente queimado, referente ao estoque, pode ser vista na TABELA 33, onde a quantidade de resíduo queimado foi determinado a partir das porcentagens de contribuição de cada setor para o total de resíduos disponíveis para queima.

TABELA 33 - QUANTIDADE DE RESÍDUOS QUEIMADOS, A PARTIR DA PORCENTAGEM DE CONTRIBUIÇÃO DE CADA SETOR PARA O TOTAL DE RESÍDUOS DISPONIBILIZADOS PARA QUEIMA.

Características dos resíduos	Média	DP
Volume total de resíduos verdes disponíveis p/ queima (m ³ RVD)	20057,61	1829,16
Volume de resíduos verdes do setor 1 disponíveis p/ queima (m ³ TVLD)	3334,39	908,49
Volume de resíduos verdes do setor 2 disponíveis p/ queima (m ³ TVSD)	16723,21	1522,67
% de participação de TVLD	16,52	4,11
% de participação de TVSD	83,43	4,11
Volume de resíduos verdes do setor 1 queimados na caldeira (m ³ TVLQ)	1308,48	432,73
Volume de resíduos verdes do setor 2 queimados na caldeira (m ³ TVSQ)	6499,89	1169,58

Portanto o estoque de resíduos verdes é em média de 12249,24 m³, com desvio padrão de 1663,02.

Além da determinação da contribuição por setor para a geração de energia foi possível a determinação de cada etapa do processo produtivo para o total de resíduos disponíveis para queima de cada setor, como pode ser visto nas TABELAS 34 e 35.

TABELA 34 - QUANTIDADES E PARTICIPAÇÃO DE CADA TIPO DE RESÍDUOS VERDE PARA A MÉDIA MENSAL TOTAL DISPONÍVEL PARA QUEIMA.

Tipo de resíduo verde	Quantidade disponível para queima (m³)		Participação do total de resíduo disponível para queima (%)	
	Média	DP	Média	DP
Desdobro (Setor 2)	16723,21	1522,67	83,48	4,11
Laminação (Setor 1)	3134,47	888,74	15,53	4,11
Classificação (Setor 1)	199,92	101,31	0,98	0,47
Total	20057,61	1829,16	100	

Novamente, através destes dados é possível verificar que além de maior contribuição na queima efetiva dos resíduos, o setor 2 também contribui com maior disponibilidade de resíduos para a queima, representando em média 83,48% do total disponível.

A TABELA 35 mostra os mesmo dados relativos à produção de resíduos em cada etapa do processo que podem ser destinados a venda ou geração de energia. Porém, os dados fornecidos pela empresa indicam que em torno de 18,66% dos resíduos secos gerados são vendidos. Portanto a TABELA 35 presta-se mais para indicar qual a contribuição de cada etapa para o total de resíduos gerados no setor 3.

TABELA 35 - QUANTIDADES E PARTICIPAÇÃO DE CADA TIPO DE RESÍDUOS SECO PARA A MÉDIA MENSAL TOTAL GERADA.

Tipo de resíduo seco	Quantidade de resíduos gerados (m ³)		Participação do total de resíduo gerado (%)	
	Média	DP	Média	DP
Classificação de madeira	1667,79	774,65	43,86	13,03
Preparação de sarrafos de madeira para coladeira	2557,17	784,10	68,87	14,66
Preparação de sarrafos de painel multilam. p/ coladeira	125,87	156,54	4,32	6,15
Esquadrejadeira	119,74	26,10	3,55	1,74
Lixadeira	107,11	49,59	3,22	2,10
Seccionadora	12,28	11,56	0,41	0,49

A atividade do setor 3 que mais contribui para a geração de resíduos é a preparação dos sarrafos de madeira sólida para a coladeira, sendo que este dado é bastante coerente porque esta é a primeira atividade do processo de fabricação de painéis, juntamente com a prensa, e a exemplo dos setores anteriores as primeiras etapas do processo são sempre as que geram maior quantidade de resíduos.

A segunda etapa com maior potencial gerador de resíduos é a classificação de madeiras, que também tem grande importância, pois como mencionado, todo o resíduo produzido na classificação de madeira é destinado diretamente para a caldeira.

Em contrapartida, a etapa com menor geração de resíduos é a seccionadora, em grande parte pelo pequeno volume de painéis que passam por esta etapa.

De posse de todas as informações referentes a produção e destinação dos resíduos gerados nos setores 1, 2 e 3 foi possível a construção do fluxograma do setor de geração de energia que está representado na FIGURA 15, onde é considerada como entrada de matéria-prima os resíduos verdes e secos e como produto as quantidades de energia térmica e elétrica produzidas na caldeira e turbo-gerador, respectivamente, que por sua vez são distribuídas entre os setores produtivos através da utilização de fatores de consumo fornecidos pela empresa.

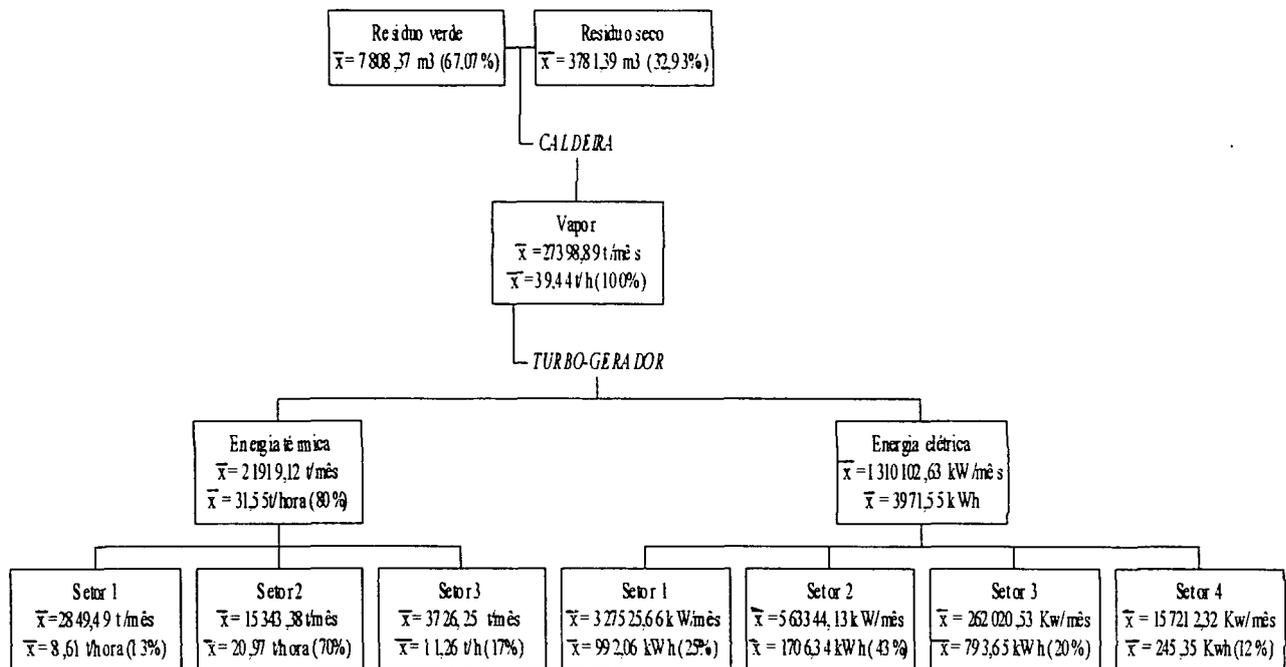


FIGURA 15 - FLUXOGRAMA DO BALANÇO DE MATERIAIS NA GERAÇÃO DE ENERGIA.

Através do fluxograma da FIGURA 15 é possível perceber que o setor com maior consumo de vapor é o setor 2, principalmente pelo número de secadores de madeira e pelo fato de que os mesmos funcionam praticamente 24 horas por dia, com paradas apenas para carregamento e descarregamento. O setor 3 é o segundo em consumo de energia térmica, e o

último é o setor 1, pois os tanques de cozimento e o secador de lâminas funcionam apenas nos turnos de trabalho.

Com relação à energia elétrica, o setor 2 também é o maior consumidor de energia, seguido do setor 1, 3 e o 4 que também consome parte da energia elétrica produzida por ele.

Os dados utilizados para a avaliação do processo produtivo e posteriormente do rendimento e balanço energético da indústria estão sumarizados no ANEXO VIII, onde está apresentada a distribuição dos dados obtidos na empresa, e no ANEXO IX, onde estão os resultados obtidos a partir da aplicação destes dados nas equações elaboradas para a análise do setor.

5.3 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO ENERGÉTICO DA INDÚSTRIA

Antes da elaboração dos fluxogramas para a determinação do rendimento energético, através do consumo de matéria-prima e energia e fornecimento potencial de energia de 1 m³ de produto de cada setor avaliado são necessárias algumas considerações. Elas estão relacionadas a cada item que compõe estes fluxogramas, começando pelo consumo de matéria-prima e de energia térmica e elétrica, de cada setor, para a produção, passando para produção e venda (saída) de resíduos e potencialidades destes resíduos em gerar energia elétrica e térmica, devolvendo assim, toda ou parte da energia consumida, fechando desta forma um ciclo.

O consumo de matéria-prima para a produção de cada produto da indústria está representado na TABELA 36.

TABELA 36 – CONSUMO DE MATÉRIA-PRIMA PARA A OBTENÇÃO DE PRODUTO ACABADO

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

Segundo KOCK (1976), são necessárias 2,86 toneladas de toras secas com casca para a manufatura de 1 tonelada de madeira serrada seca. Utilizando-se a massa específica aparente básica para o *Pinus* de 415 kg/m³ (KLOCK *et al*, 2000), e a massa específica aparente de 450 kg/cm³ (12% de umidade) usualmente utilizada como média para espécies de *Pinus*, é possível fazer o seguinte cálculo para saber se os dados obtidos no setor 2 estão de acordo com a literatura:

Para a manufatura de 1 m³ de madeira serrada seca no setor 2 são necessárias 2,62 m³ de toras verdes com casca (TABELA 36).

$$\text{Massa específica aparente básica de } 415 \text{ kg/m}^3 = \frac{\text{Peso seco (kg)}}{\text{Vol. verde (m}^3\text{)}} = \frac{\text{Peso seco (kg)}}{2,62 \text{ m}^3 \text{ toras verdes}}$$

Portanto, são necessárias 1,0873 toneladas de toras secas para produzir 1 m³ de madeira serrada seca.

$$\text{Massa específica aparente (12\%)} \text{ de } 450 \text{ kg/m}^3 = \frac{\text{Peso a 12\%}}{\text{Volume a 12\%}} = \frac{\text{Peso a 12\%}}{1 \text{ m}^3}$$

Portanto, 1,0873 toneladas de toras secas produzem 450 kg de madeira serrada seca. Assim, para produzir 1 tonelada de madeira serrada seca são necessárias 2,42 toneladas de toras secas com casca.

O valor obtido de 2,42 toneladas de toras secas para produzir 1 tonelada de madeira seca no setor 2 está próximo do valor encontrado por KOCK (1976), que foi de 2,86 toneladas de toras secas para a produção de 1 tonelada de madeira seca.

Para compensados feitos com lâminas de coníferas o mesmo autor afirma que o consumo de matéria-prima é de 2,2 toneladas de toras com casca seca.

Usando o mesmo princípio de cálculo e valores de massa específica utilizados para madeira serrada seca tem-se que são necessários 2,28 toneladas de toras secas com casca para produzir 1 tonelada de lâminas secas classificadas.

A partir da entrada das lâminas secas na manufatura de painéis compensados, no setor 3, sabe-se que existem as perdas ocorridas na prensa, esquadrejadeira, e lixadeira que são de 2,56%, 6,49% e 9,03%, respectivamente nestes equipamentos, totalizando um valor de 18,08% no total de perdas no processo. Acrescendo-se este percentual ao valor de 2,28 toneladas de toras necessárias para a manufatura de 1 tonelada de lâmina seca classificada, tem-se que são necessárias 2,78 toneladas de toras secas com casca para a manufatura de 1 tonelada de painéis compensados.

Comparando-se este valor com o fornecido por KOCK (1976) (2,22 toneladas de toras secas com casca) pode-se dizer que o valor obtido neste trabalho também está próximo do obtido por este autor.

O consumo de energia é o segundo fator que deve ser considerado para a construção do fluxograma de análise do rendimento energético da empresa.

O consumo de energia térmica e elétrica pode ser avaliado tanto em termos de setor, através da aplicação do fator de consumo, como já visto anteriormente no Fluxograma do balanço energético do setor 4 e nas TABELAS 37 e 38, ou através do consumo médio de energia térmica e elétrica por produto.

TABELA 37 - CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA TÉRMICA POR SETOR DA INDÚSTRIA.

Setor	Consumo (Energia térmica)				Fc(%)
	Tvapor/mês		t vapor/h		
	Média	DP	Média	DP	
Setor 1	2849,49	200,32	8,61	1,17	13
Setor 2	15343,38	1078,67	20,97	4,06	70
Setor 3	3726,25	261,96	11,26	1,53	17

TABELA 38 - CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA ELÉTRICA POR SETOR DA INDÚSTRIA.

Setor	Consumo (Energia elétrica)				Fc (%)
	KW/mês		KWh		
	Média	DP	Média	DP	
Setor 1	327525,66	29667,70	992,06	169,28	25
Setor 2	563344,13	51028,44	1706,34	291,15	43
Setor 3	262020,53	23734,16	793,65	135,42	20
Setor 4	157212,32	14240,50	245,35	96,12	12

Porém, para que possam ser feitas comparações e até para um melhor entendimento da determinação do rendimento energético é interessante a determinação do consumo energético por tipo de produto produzido na indústria, como pode ser visualizado na TABELA 39.

TABELA 39 - CONSUMO MÉDIO DE ENERGIA PARA CADA M³ DE PRODUTO ACABADO.

Tipo de Produto (m ³)	Consumo Médio de Energia			
	Térmica (tvaporh/m ³)		Elétrica (kWh/m ³)	
	Média	DP	Média	DP
Lâmina Seca Classificada	2,57	0,92	292,23	87,82
Madeira Seca Classificada	1,43	0,36	111,26	21,40
Painéis Manufaturados	1,76	0,30	123,86	23,97

Avaliando-se a TABELA 39 pode-se dizer que o produto que requer maior consumo de energia para manufatura é a lâmina seca classificada, seguida da manufatura de painéis e a madeira serrada classificada.

Aliando a informação do potencial produtivo de resíduos pelos setores, pode-se perceber que o setor que mais gera resíduos (Setor 2) é o que menos consome energia para a produção.

KOCK (1976) também avaliou o consumo de indústrias de base florestal e segundo o autor, para a manufatura de uma tonelada seca de madeira serrada, com rendimento de 35%, são gastos 131,62 kWh e 1,02 t de vapor. Considerando que a massa específica média da madeira serrada “seca” (12% de umidade) de *Pinus* está em torno de 0,45g/cm³ (para obter uma tonelada de madeira serrada são necessários 2,22 m³ de madeira serrada), pode-se dizer que para uma tonelada seca de madeira serrada na indústria estudada seriam gastos 247 kWh e 3,17 t de vapor, o que permite dizer que o consumo do setor 2 é bem superior aos dados de literatura.

Com relação ao consumo energético, para a manufatura de uma tonelada seca de compensados, o autor considera que são consumidos 22,80 kWh de energia elétrica e 1,54 t de vapor. Comparando-se estes valores, mesmo que de forma grosseira com a manufatura dos painéis da Battistella Indústria e Comércio Ltda pode-se dizer que o consumo também é maior que nas indústrias analisadas por KOCK (1976).

EKONO (1980) apresenta valores inversos aos mostrados por KOCK (1976), afirmando que o consumo de energia elétrica é maior para a manufatura de compensados que para a manufatura de madeira serrada, sendo de 120 kWh/m³ e 40 kWh/m³, respectivamente para estes dois produtos.

A indústria analisada apresenta a mesma tendência de maior consumo de energia elétrica para painéis manufaturados em relação a madeira serrada, mencionada por este autor. Porém, enquanto o valor de consumo de energia elétrica encontrado no setor 3, para os painéis manufaturados, se aproxima do valor citado pelo autor, o valor apresentado por EKONO (1980) para o consumo de energia elétrica para a manufatura de madeira serrada foi quase três vezes menor que a obtida neste estudo.

O próximo passo para a avaliação do rendimento energético é a determinação da potencialidade de geração de energia dos resíduos gerados a partir de cada metro cúbico de produto. A potencialidade de geração de energia dos resíduos pode ser observado na TABELA 40.

TABELA 40 - POTENCIAL GERADOR DE ENERGIA A PARTIR DOS RESÍDUOS.

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

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

Com base em todos os dados levantados até o momento foi possível a construção dos fluxogramas de consumo energético e de matéria-prima e fornecimento potencial de energia elétrica a partir dos resíduos gerados em relação a um metro cúbico de produto, conforme as FIGURAS 16, 17 e 18.

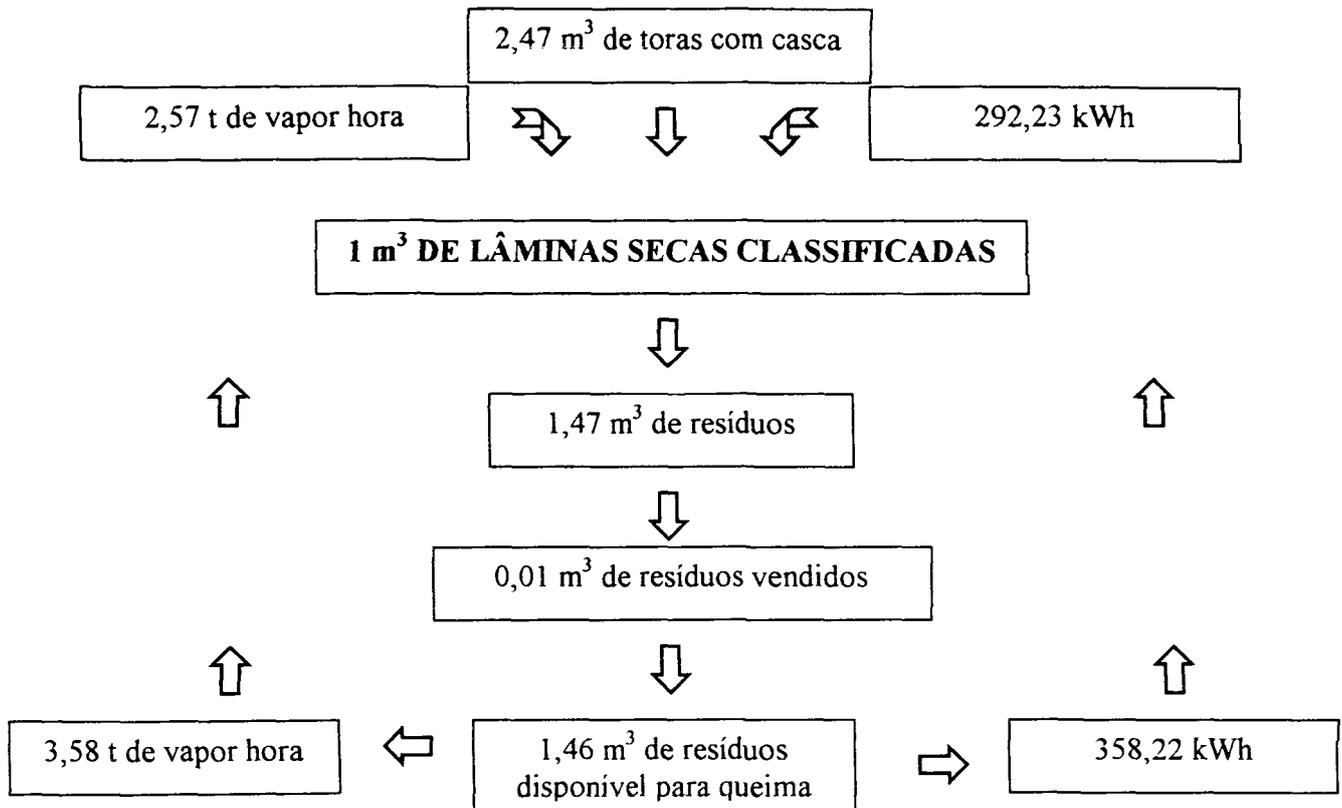


FIGURA 16 - FLUXOGRAMA DO CONSUMO ENERGÉTICO E DE MATÉRIA-PRIMA E FORNECIMENTO POTENCIAL DE ENERGIA DE 1 M³ DE PRODUTO NA LAMINADORA.

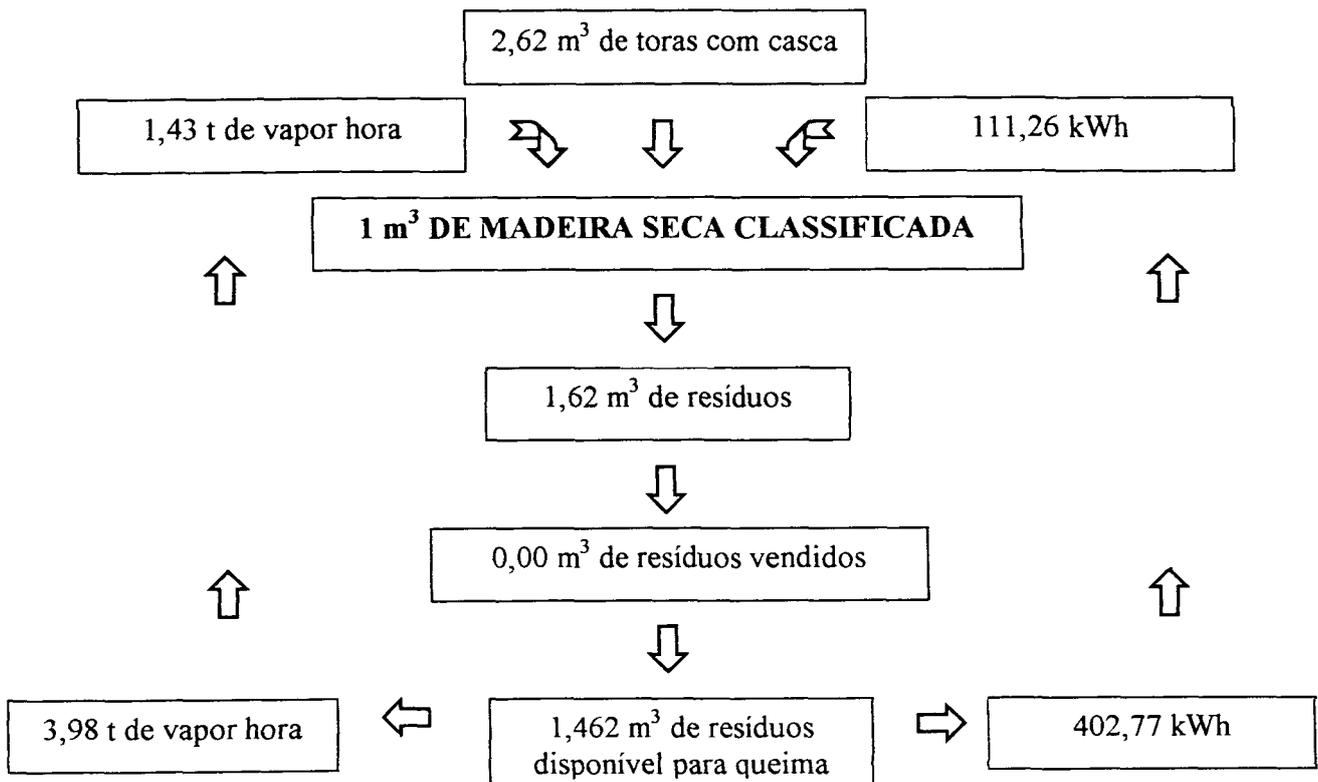


FIGURA 17 - FLUXOGRAMA DO CONSUMO ENERGÉTICO E DE MATÉRIA-PRIMA E FORNECIMENTO POTENCIAL DE ENERGIA DE 1 M³ DE PRODUTO NA SERRARIA.

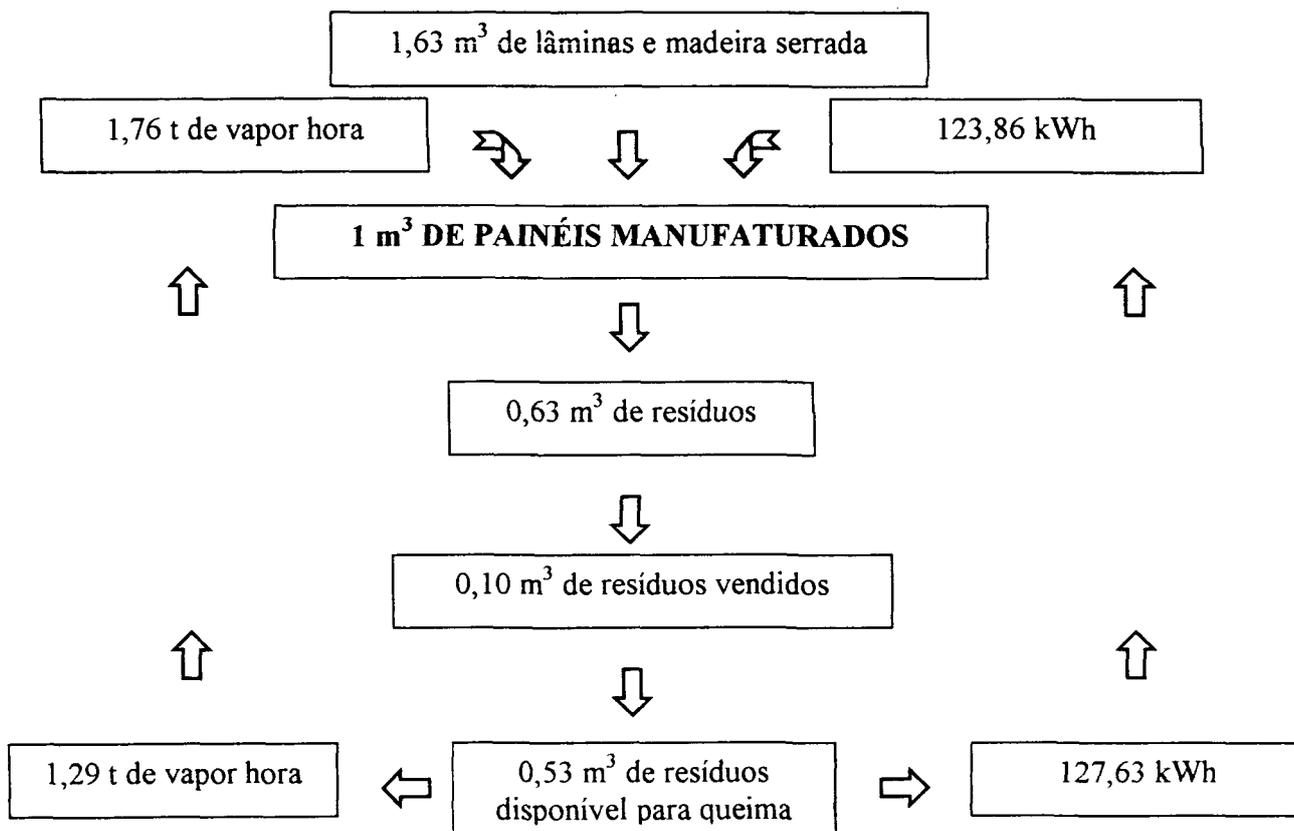


FIGURA 18 - FLUXOGRAMA DO CONSUMO ENERGÉTICO E DE MATÉRIA-PRIMA E FORNECIMENTO POTENCIAL DE ENERGIA DE 1 M³ DE PRODUTO NA MANUFATURA.

Através da avaliação dos fluxogramas das FIGURAS 16, 17 e 18 pode-se dizer que os setores 1 e 2 são auto-suficientes energeticamente, ou seja, a quantidade de resíduos gerados por estes setores tem potencial para gerar mais energia do que eles consomem no processo produtivo.

Somente o setor 3 consome mais vapor do que consegue gerar, enquanto que para a energia elétrica, o setor gera praticamente a quantidade que consome.

Normalmente as laminadoras, quando não fazem parte de uma indústria integrada também consomem mais energia do que tem capacidade de gerar.

6 IMPORTÂNCIA DESTE TRABALHO PARA A INDÚSTRIA DE BASE FLORESTAL

É indiscutível a importância da madeira como fonte energética, como também é inquestionável a necessidade de gerenciamento dos resíduos produzidos na indústria madeireira. Neste aspecto, fica clara a viabilidade de utilização destes resíduos, que por algum motivo não podem ter outra destinação, para a geração de energia.

O Brasil, por exemplo, possui grande demanda energética e em contrapartida grande produção de resíduos madeiráveis. A solução da demanda de energia, pelo menos nas indústrias, está na utilização dos resíduos, gerados por elas, para o suprimento de suas necessidades e talvez até para a venda às concessionárias públicas de geração de energia.

Daí conclui-se que, para o sucesso da utilização dos resíduos de madeira, gerados pela indústria, como fonte energética, é necessário e fundamental a realização de estudos detalhados:

- da demanda de energia de fontes renováveis;
- da disponibilidade destes resíduos para fins energéticos;
- do estabelecimento de especificações para os resíduos (qualificação dos resíduos) destinados ao uso energético;
- do local de produção do resíduo e onde este será utilizado para energia;
- das legislações vigentes sobre o assunto;
- dos métodos e equipamentos disponíveis para a transformação do resíduo em energia; e outros fatores como incentivos governamentais para a atividade, interesse da comunidade empresarial, levantamento dos custos pela utilização ou não utilização dos resíduos, etc.

Alguns destes aspectos foram abordados neste trabalho com a intenção de iniciar estudos mais detalhados para a utilização dos resíduos, produzidos na indústria, para o suprimento de suas demandas energéticas.

A exemplo de outros países que já possuem planificação energética, o Brasil deve tomar como ponto de partida a realização de um estudo regional, abrangendo todos os pontos acima citados e até mesmo outros que possam ser característicos de cada região.

Além do aspecto de utilização do resíduo para energia, a indústria Battistella tem outras duas características muito importantes que devem ser analisadas por outras empresas e profissionais do setor, como pontos de discussão. A indústria em questão é auto-suficiente em termos de matéria-prima e energeticamente:

- trabalhando com o sistema integrado, ou seja, possui vários setores produtivos, de forma que os setores anteriores suprem os posteriores com matéria-prima em quantidade e qualidade exigidos pelo produto que está sendo produzido;
- e possuindo um sistema de cogeração através da produção de vapor na caldeira e passagem deste vapor por um turbo-gerador para a produção de energia elétrica.

Ambos os fatores caracterizam um modelo de indústria pouco comum no Brasil, principalmente no ramo de transformação primária da madeira, enquanto na indústria de celulose e papel a auto-suficiência de matéria-prima e energética e a cogeração são mais comuns.

O modelo integrado da indústria, além de garantir o fornecimento da matéria-prima para os últimos setores da indústria em quantidade e qualidade exigidas, permite a agregação de valor ao produto, sem que a madeira da transformação primária sai para outra indústria, para a manufatura de produtos secundários.

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

O modelo integrado de indústria e a cogeração possibilitam a distribuição da energia necessária gerada, de forma que os setores superavitários supram as necessidades dos setores deficitários, tornando a indústria auto-suficiente.

Neste sentido o estudo da viabilização deste tipo de indústria é muito importante para o desenvolvimento da indústria de base florestal. Portanto, este trabalho contribuiu para a avaliação de um caso que pode ser estendido para outras indústrias que têm grande geração de resíduos e alto consumo energético no processo produtivo.

7 CONCLUSÕES

7.1 ANÁLISE DA INDÚSTRIA

- a) A indústria Battistella Indústria e Comércio Ltda produz painéis manufaturados, principalmente painéis compensados multilaminados e compensados sarrafeados, a partir de lâminas e madeira serrada. Os demais produtos fabricados, como “quadrado”, e as vendas intermediárias de produtos são atividades realizadas para o aproveitamento de material que não se destina para a produção de painéis ou para ingresso em nichos de mercado ocasionais.
- b) A indústria é auto-suficiente em matéria-prima na forma de toras e também auto-suficiente em matéria-prima para a manufatura de painéis, devido ao fato de ser integrada.
- c) A indústria trabalha com o sistema de cogeração de energia para o suprimento do consumo energético, através da geração de vapor e energia elétrica, o que garante à indústria auto-suficiência energética.

7.2 DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS E DO RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO

- a) O balanço de materiais do setor 1 demonstra que a atividade com maior potencial gerador de resíduos foi a laminação das toras e que a maior parte da produção de lâminas secas classificadas foi destinada à manufatura de painéis.
- b) O potencial de venda de resíduos no setor 1 foi maior que o praticado pela empresa no período avaliado.

- c) O balanço de materiais no setor 2 demonstra que a atividade com maior potencial gerador de resíduos foi o desdobro das toras e que a porcentagem da produção destinada à manufatura de painéis foi menor que na laminadora.
- d) A instalação do picador e silo para venda de cavacos sem casca para a celulose, que estava sendo realizada no final do período de coleta de dados, proporciona redução do estoque de resíduos verdes (setor 2), otimiza o uso e agrega valor ao resíduo gerado pela indústria.
- e) No balanço de materiais no setor 3, a atividade que contribuiu com a maior quantidade de resíduos para a geração de energia foi a preparação de sarrafos de madeira sólida para a manufatura de painéis, seguida da classificação de madeira serrada, que devido ao layout da indústria está incluído no setor de manufatura.
- f) O rendimento geral do setor 1 foi menor que o encontrado em literatura e que o admitido pela indústria, o do setor 2 estava bem próximo dos valores encontrados na literatura e o rendimento do setor 3 foi o maior da indústria.
- g) No balanço de materiais do setor 4, o uso de resíduos verdes para a geração de energia foi maior, representando aproximadamente 70% do total de resíduos que entram na caldeira.
- h) A serraria foi o setor que mais contribuiu para a geração de energia, com resíduos verdes, seguido da manufatura de painéis (resíduos secos) e o que menos contribuiu foi a laminadora (resíduos verdes).
- i) Com relação aos resíduos secos, a atividade que mais contribuiu com a geração de energia foi a preparação de sarrafos (madeira sólida e tábuas de painel multilaminado), seguida da classificação da madeira.
- j) O maior consumidor, tanto de energia elétrica como térmica foi setor 2. Com relação a energia térmica, o segundo maior consumidor foi o setor 3, enquanto que para a energia elétrica foi o setor 1.

7.3 DETERMINAÇÃO DO RENDIMENTO ENERGÉTICO DA INDÚSTRIA

- a) O produto acabado que consumiu mais energia, tanto elétrica quanto térmica, foi a lâmina seca classificada, seguido pelos painéis manufaturados e por último pela madeira serrada classificada. Assim, o consumo energético por produto acabado foi inversamente proporcional à disponibilização de resíduos para a geração de energia.
- b) Enquanto que o maior consumidor energético por setor foi a serraria, o menor consumidor energético por produto acabado foi a madeira seca classificada, devido ao maior volume produzido neste setor.
- c) O setor com maior potencial de contribuição para a geração de energia, através da geração de resíduos, foi o setor 2, seguido do setor 1 e do 3. Isso tanto para a energia térmica, quanto elétrica.
- d) Os setores 1 e 2 foram auto-suficientes tanto em energia térmica como elétrica.
- e) O setor 3 não foi auto-suficiente em termos de energia térmica e o consumo de energia elétrica praticamente foi equivalente ao potencial produtivo deste tipo de energia, através da geração de resíduos.
- f) Devido à característica integrada da indústria, apesar da manufatura de painéis não ser auto-suficiente energeticamente, a indústria de forma geral foi auto-suficiente. Além disso, as laminadoras que não compõe sistemas integrados, normalmente não são auto-suficientes energeticamente.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANUÁRIO BRASILEIRO DE ECONOMIA FLORESTAL. **Aproveitamento dos resíduos de serraria**. Vol 9. 1957. P.97-98.
- AVILA, CG. & ORJUELA, JM. Estimación y usos de los residuos generados por industrias de la transformación de madera en Bogotá. **Colombia Forestal**. Vol 5(3), 1992. p. 27-35.
- BAIN, RL.; CRAIG, KC.& OVEREND, RP. **Biomass Gasification – Commercialization and Development: The Combined Heat and Power (CHP) Option**. National Renewable Energy Laboratory, 1999.
- BORGES, AS.; GINIGLIO, G. & BRITO, JO. Considerações energéticas e econômicas sobre resíduos de madeira processada em serraria. **1º Congresso Florestal Panamericano e 7º Congresso Florestal Brasileiro. 19 a 24 de setembro**. Vol 3, Curitiba, 1993. p. 603–606.
- BRITO, EO. Estimativa da produção de resíduos na indústria brasileira de serraria e laminação. **Revista Floresta**. Vol 26, Ano IV. p. 34-39.
- BRITO, J.O Expressão da produção florestal em unidades energéticas. **1º Congresso Florestal Panamericano e 7º Congresso Florestal Brasileiro**. Vol 3, Curitiba, 1993. p. 280–282.
- C.T.DONOVAN ASSOCIATES INC. **Opportunities and Constraints Associated with Using Wood Waste for Fuel in Connecticut**. Connecticut: Office of Policy and Management, Energy Division, 1990.
- COBB, JT.; ELDER, WW.; FREEMAN, MC.; JAMES, RA.; McCREERY, LR.; BIEDENBACH, W. & BURNETT, WE. **Demonstration program for wood/Coal cofiring in Western Pennsylvania**. Chapter 3: Burning and Coburning, 1999.
- CONEG - Coalition of Northeastern Governors. **Using Recycled Wood Waste as Fuel in the Northeast**. Policy Research Center, Inc - Northeast Regional Biomass Program, 1988.
- CONTO, AJ.; SCHAITZA, EG. & HOEFLICH, VA. Uso de serragem como fonte alternativa de energia. **Workshop sul-americano sobre usos alternativos de resíduos de origem florestal e urbana**. Curitiba, 1997. p.171-174.
- EARL, DE. **Forest energy and economic development**. Clarendon Press Oxford, 1975. 117 p.
- EKONO. **Power and heat plants**. Estudo preparado para a FAO, portfolio de indústrias florestais de pequeno porte para o países em desenvolvimento. Finlândia, 1980.
- EOFF, K. M. & SMITH, W. H. Energy. **Biomass Handbook**. Editors KITANI, O. & HALL, CW. New York: Gordon and Breach Science Publishers. USA, 1989. p. 563-577.

- FAO. Contribution of woodfuels to energy sector. **State of the world's forests**. Editorial Group FAO Information Division. Rome: FAO, 1999. p 37-40.
- FREEMAN, MC.; GOLDEBERG, PM. & PLASYNSKI, SI. **Biomass cofiring r&d and utility experiences: what's happened, what's next?** Chapter 3: Burning and Coburning, 1999.
- HALL, CW. Gas from biomass. **Biomass Handbook**. Editors KITANI, O. & HALL, CW. New York: Gordon and Breach Science Publishers. USA, 1989a. p. 590-595.
- HALL, CW. Heat from Biomass. **Biomass Handbook**. Editors KITANI, O. & HALL. CW. New York: Gordon and Breach Science Publishers. USA, 1989b. p. 596-599.
- HATAYAMA, Y. Construction materials. **Biomass Handbook**. Editors KITANI, O. & HALL, CW. New York: Gordon and Breach Science Publishers. USA, 1989. p. 651-659.
- HOOP,CF. DE; KLEIT, S.; CHANG, SJ.; GAZO, R. & BUCHART, ME. Survey and mapping of wood residue users and producesrs in Louisiana. **Forest Products Jounal** 47 (3), 1997. p. 31-37.
- JARA, ERP. A geração de resíduos pelas serrarias. **Boletim ABNT n° 59**. São Paulo: IPT, 1987.
- JONES, MR. Biomass for energy (general). **Biomass Handbook**. Editors KITANI, O. & HALL, CW. New York: Gordon and Breach Science Publishers. USA, 1989. p. 97-106.
- KEMSLEY, R. Forest analyst the costs of using wood waste for fuel. **Northern Ontario Business**, 1996.
- KLEINHANSS, W. & KÖGL, H. Economics of biomass systems. **Biomass Handbook**. Editors KITANI, O. & HALL, CW. New York: Gordon and Breach Science Publishers. USA, 1989. p. 745-760.
- KLOCK,U.; MATOS, JM.; MUÑIZ, GIB.; BITTENCOURT, E.; ANDRADE, AS.; VERONESE, PA. & OLIVEIRA, AC. Densidade básica da madeira ao longo do fuste ma madeira juvenil de *Pinus taeda* L. e *Pinus maximinoi* H. E. Moore. **Pesquisa Florestal Online**. Curitiba, 2000. p. 165.
- KOCK, Peter. **Material balances and energy required for manufacture of ten wood commodities..** ENERGY and the wood products industry. Forest Products Research Society. Georgia, 1976. 173p.
- LEHTIKANGAS, P.; JIRJIS, R. **Storage of wood chips and bask in northen Sweden**. Swedish: Department of Forest Products, 1998. 30p.
- MARTÍN, F. M. **Otros aprovechamientos forestales**. Edita: Fernando Martín Asín. Madrid, 1997.

- MENDES, LM.; SILVA JRM. da; TRUGILHO, PF. Gaseificação de resíduos da indústria madeireira para geração de energia elétrica em pequenas propriedades rurais. **Workshop sul-americano sobre usos alternativos de resíduos de origem florestal e urbana**. Curitiba, 1997. p. 145-149.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço energético nacional 1993**. Ano base 1992. Departamento Nacional de Desenvolvimento Energético (DNDE), 1993. 140 p.
- MIYAZAKI, M. Forestry products and waste. **Biomass Handbook**. Editors KITANI, O. & HALL, CW. New York: Gordon and Breach Science Publishers. USA, 1989. p. 160-170.
- NATIONAL ASSOCIATION OF FOREST INDUSTRIES. **Forest Today. woodchips**. Disponível: www.nafi.com.au/faq/woodchips.html. Capturado em outubro de 1999.
- OLANDOSKI, DP.; BRAND, MA. & GORNIK, E. Avaliação do rendimento, quantidade, qualidade e aproveitamento de resíduos no desdobro de *Pinus* spp. **5º EVINCI - Evento de Iniciação Científica da UFPR**. Curitiba, 1997. p. 379.
- PATZAK, W. Energia da madeira e de resíduos: estágio atual da pesquisa e da prática na Alemanha ocidental. **Seminário FLORESTA: potencial energético brasileiro**, 1977. p. 73-83.
- PERRONE, JC. Os processos hidrolíticos no aproveitamento dos recursos renováveis. **Seminário FLORESTA: potencial energético brasileiro**, 1977. p. 22 a 33.
- PINGREY, D. W. Forest Products energy Overview. **Forest Research Society: Energy and the wood products industry**. Georgia, 1976. 176 p.
- ROBINSON, A.; BAXTER, L.; JUNKER, H.; SHADDIX, C.; FREEMAN, M.; JAMES, R. & DAYTON, D. **Fireside issues associated with coal-biomass cofiring**. Chapter 3: Burning and Coburning. Disponível: www.caldeiras.htm. Capturado em agosto/1999.
- ROCHA, MP. & KLITZKE, RJ. **Energia da Madeira**. Curitiba, FUPEF, 1998. 86 p.
- SAEMAN, JF. Energias e matérias-primas obtidas da biomassa florestal. **Seminário FLORESTA: potencial energético brasileiro**, 1977a. p. 39-49.
- SAEMAN, JF. Estratégias e prioridades no uso da madeira para minimizar a crise energética. **Seminário FLORESTA: potencial energético brasileiro**, 1977b. p. 36-38.
- SOUZA, MR. Tecnologias para usos alternativos de resíduos florestais: experiência do laboratório de produtos florestais - IBAMA na área de utilização de resíduos florestais e agrícolas. **Workshop sul-americano sobre usos alternativos de resíduos de origem florestal e urbana**. Curitiba, 1997. p. 49-70.
- UNIVERSITY OF TECHNOLOGY VIENNA, Institute of Chemical Engineering, Fuel and Environmental Technology, Austria. Disponível: www.edv1.vt.tuwien.ac.at/AG_HOFBA/BIOBIB/fuel267.htm. Capturado em agosto/1999.

WEATHERS, P. J. Fuels from industrial biomass processing wastes. **Biomass Handbook**. Editors KITANI, O. & HALL, CW. New York: Gordon and Breach Science Publishers. USA, 1989. p.175-191.

ZERBE, J. I. Biofuels: production and potential. **Forum for applied research and public policy**. Vol 3(4), 1988. p. 38-47.

* Sem título. Disponível: <http://zebu.uoregon.edu/phys162.html>. Capturado em outubro/1999.

ANEXO**ANEXO I - QUESTIONÁRIOS ENVIADOS PARA A EMPRESA****QUESTIONÁRIO 1****LAMINADORA**

1. Qual a temperatura do vapor que entra nos tanques de cozimento?
2. Este vapor vem da caldeira grande através de que tipo de tubulação?
3. Existe algum tipo de resfriamento do vapor para o cozimento das toras?
4. As toras que entram nos tornos são medidas individualmente pela ponta fina. Qual é a fórmula utilizada para o cálculo do volume das toras e qual é o fator de conicidade utilizado para o cálculo das perdas devido a conicidade?
5. Qual é o volume de toras que entra em cada torno mensalmente (valores separados para cada um dos tornos)?
6. Quais são as espessuras das lâminas produzidas em cada torno?
7. A guilhotina que retira os defeitos das lâminas utiliza que tipo de classificação para a eliminação de defeitos? Como ela funciona?
8. As duas guilhotinas são iguais ou tem métodos diferentes de funcionamento?
9. Quais são das dimensões mínimas (comprimento) que a guilhotina permite a passagem, sem considerar como resíduo? Ou os cortes nas lâminas são feitos somente visando a eliminação dos defeitos, independente da largura que sai?
10. Se houver um comprimento mínimo, abaixo dele a peça vai para a esteira de resíduos ou segue para secagem e reaproveitamento?
11. Qual é o volume de lâminas verdes que sai de cada torno mensalmente? E se houver variação na espessura, qual é o volume de lâminas produzidas em cada espessura?

12. Qual é o volume de lâminas verdes vendido mensalmente?
13. Qual é o volume de lâminas que entra no secador mensalmente?
14. Qual é o teor de umidade das lâminas que entram no secador?
15. Qual é o volume de lâminas secas que sai do secador mensalmente?
16. Qual é o teor de umidade das lâminas que saem do secador?
17. Existe conhecimento da porcentagem de perda durante a secagem das lâminas?
18. As lâminas que são reaproveitadas através da colagem lateral vem de onde (do secador diretamente ou após a classificação das lâminas elas são separadas e levadas para a juntadeira lateral)?
19. A empresa utilizada as seguintes classes de qualidade para as lâminas: B, C e D, dentro desta classificação quais são os limites de tolerância em termos de defeitos ou outras características (exemplo: tamanho de nó admitido na classe B, desbitolamente, etc)?
20. As lâminas após a classificação são armazenadas ou passam diretamente para o processo produtivo? Se forem armazenadas elas são novamente secadas para entrar no processo produtivo? Qual o teor de umidade das lâminas que entram no processo produtivo?
21. Toda a produção de lâminas secas vai para o processo produtivo da indústria ou parte é vendida?
22. Se forem vendidas lâminas secas sem manufatura, qual é o volume vendido mensalmente?
23. Qual o rendimento (percentual) em termos de lâminas de cada torno mensalmente?
24. Qual é a capacidade instalada dos equipamentos utilizados na laminadora?

SERRARIA

1. O fator de conicidade utilizado na serraria é o mesmo da laminadora? Qual é?
2. É feita a cubagem das toras antes da entrada nas serrarias?
3. Como é feita esta cubagem (com ou sem casca) e qual a metodologia adotada?
4. Qual o volume de toras que entra em cada serraria (TG e nas duas TF) mensalmente?

5. Existe um controle de qual diâmetro entra em maior volume nas serrarias? Por exemplo, dentro do limite de diâmetro que entra na serraria tem um diâmetro que ocorre com maior frequência?
6. Quais são as bitolas serradas em cada serraria?
7. Qual é o volume de madeira serrada verde, em cada bitola, produzido mensalmente (em cada serraria)?
8. Na TG existe o reaproveitamento das costaneiras, quais são os limites de comprimentos das peças geradas neste reaproveitamento e qual a espessura das tábuas que são geradas a partir das costaneiras? Abaixo de que comprimento a peça é colocada na esteira de resíduos?
9. A empresa tem um histórico de rendimento em madeira serrada a partir das toras com casca em cada serraria? Se tem, fornecer o histórico do último ano.
10. É vendido madeira serrada verde? Se é, qual o volume mensal vendido?
11. Qual é o teor de umidade médio da madeira que entra nas estufas?
12. Qual é o volume de madeira seca que sai das estufas mensalmente?
13. Qual é a porcentagem de perdas na secagem nas estufas? Quais são os principais defeitos de secagem que ocorrem nas estufas?
14. Qual é a porcentagem de umidade das peças que saem da estufa?
15. Qual é o volume de madeira que sai das estufas mensalmente?
16. Qual a capacidade instalada dos equipamentos utilizados na serraria?

MANUFATURA

1. É vendida madeira serrada seca “sem nenhum tipo de manufatura”, qual o volume comercializado por mês?
2. Quais são os produtos produzidos pelo setor de manufatura da indústria? Citar e especificar cada produto?

3. Qual é o produto que necessita de mais processamento ou etapas de manufatura? Quais são os passos de manufatura?
4. Qual é o volume de madeira serrada (em cada bitola) que entra na manufatura de cada produto?
5. Qual é o volume de lâminas que entra na manufatura dos produtos a base de lâmina?
6. Qual é o rendimento da matéria-prima para a produção de cada produto?
7. Qual é a produção de cada equipamento da manufatura?
8. Qual é volume vendido mensalmente de cada produto?
9. O material que não se enquadra nas especificações para a produção de um determinado produto é utilizado em outra linha ou é considerado resíduo? Aonde isto ocorre – especificar onde isto ocorre e como é feito o reaproveitamento.
10. A coleta de resíduos é feita através de esteiras como na laminadora e serraria?

GERAÇÃO DE ENERGIA

1. Qual é o volume de cavacos para celulose vendidos mensalmente?
2. Qual é o volume de serragem mais casca vendido mensalmente?
3. Qual é o volume de cavacos sujos vendido mensalmente?
4. Qual é o volume de maravalha da manufatura (seca) vendida mensalmente?
5. Os compradores da serragem + casca, cavaco sujo e maravalha usam estes resíduos para que?
6. Existe o conhecimento do teor de umidade médio dos resíduos que entram na caldeira em dias secos?
7. Quais são as especificações técnicas da caldeira?
8. Quais são os resíduos que compõe a mistura que entra na caldeira?
9. Qual é a proporção de mistura de cada um destes resíduos em dias secos e em dias chuvosos?

10. Qual é consumo de resíduos por hora na caldeira (toneladas)?
11. Quanto de vapor é gerado na caldeira por hora?
12. É utilizada toda a potência instalada da caldeira ou não?
13. Qual é a capacidade da turbina para a geração de energia elétrica?
14. Quanto de energia elétrica é gerada por hora através da turbina?
15. O vapor gerado na caldeira é utilizado em que equipamentos da indústria? Especificar os equipamentos e quanto de vapor cada um consome?
16. Este vapor é utilizado sete dias por semana ou não? Especificar quais equipamentos funcionam sempre a quais param nos finais de semana?
17. Em quais equipamentos é necessário o resfriamento do vapor? Como é feito este resfriamento?
18. A energia elétrica é utilizada em que setores ou equipamentos da indústria?
19. Quanto de energia elétrica é comprada da concessionária pública? Esta parcela de energia elétrica é utilizada ou não? No caso de falha na caldeira quais os setores da indústria param e quais funcionam?

OBS: AS INFORMAÇÕES A SEGUIR, QUE POSSUEM UM ASTERISCO ANTES DA FRASE, FORAM OBTIDAS NA INDÚSTRIA E GOSTARIA QUE FOSSEM CONFIRMADAS.

- * As caldeiras são movidas somente com resíduos.
- * Somente a caldeira grande opera normalmente, a caldeira pequena só entra em atividade quando existem problemas com a caldeira grande.
- * Quando chove a proporção de serragem jogada na caldeira é menor devido ao maior capacidade deste material em absorver umidade.
- * A energia elétrica é utilizada de forma geral na indústria e não de forma setorizada.
- * Os compressores ficam sempre ligados.

- * As toras são cubadas antes da entrada no torno. É determinado o volume sem casca, e a medição do diâmetro é feito na ponta fina da tora (sem casca) e o volume é calculado como um cilindro.
- * As toras que entram na laminadora tem 28 cm ou mais e o comprimento é determinado com base na capacidade dos tornos, sendo que pode ser 1,30 m ou 2,60 m.
- * O cozimento das toras é feito a temperatura de 170°C e pressão de 8 kg, e o tempo usual de cozimento é de 4 horas.
- * As toras que entram no tanque no final da sexta-feira ficam cozinhando até segunda-feira.
- * Parte das lâminas são vendidas verdes.
- * O tamanho das lâminas que são prensadas para a confecção dos painéis é de 2,48 m por 1,28m.
- * A secagem no secador de lâminas é feito até 06 a 08% de TU.
- * A classificação das lâminas é feita em quatro classes: B (perfeita); C1, C2, D (lixo) e retalho.
- * O consumo geral hoje (25/06/99) é de 3200 a 3400 kw/hora. O fator de potência utilizado é de 0,92.

QUESTIONÁRIO 2

1. O que é fator de potência, onde e como é aplicado?
2. Qual a pressão de vapor da caldeira?
3. Quantas lâmpadas existem na fábrica, qual a potência, quantas horas funcionam?
4. Além das lâmpadas, quais os outros fatores que compõe o consumo geral de energia (não incluindo a energia utilizada para produção na indústria), e qual é o consumo destes itens?
5. Qual o consumo de vapor (se possível histórico mensal (período jan. 98 a julho 99) em cada equipamento que consome vapor (secador de lâminas, secador de madeira, prensas, coladeiras) e fora da produção também a cozinha?

6. Qual o consumo de energia elétrica (se possível histórico) em cada equipamento ou pelo menos por setor da indústria (laminadora, serraria, manufatura)?
7. Tenho a tabela do resumo anual de produção do período de jan. 98 à julho 99 na qual consta a quantidade em toneladas de consumo de biomassa pela caldeira, produção mensal de vapor em ton., a geração mensal de energia elétrica em KW. Com relação a esta tabela minha dúvida é a seguinte:
8. O valor do vapor é o valor total produzido pela caldeira ou é o valor após a utilização de parte do vapor para a geração de energia elétrica?
9. Qual a porcentagem de eficiência (ou rendimento) (não sei qual o termo mais adequado) na conversão de energia térmica em elétrica?
10. Após a geração de energia elétrica na turbina quais são as perdas que ocorrem até a chegada ao destino de utilização?
11. Com que percentual de resíduos cada setor da (laminadora, serraria, manufatura) da indústria contribui para a geração de energia?
12. Qual o percentual do total da energia térmica e elétrica que é consumida pelos setores laminadora, serraria, manufatura?

ANEXO II - TABULAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIOS E VISITAS A EMPRESA DO SETOR 1

Período Avaliado	TET m ³	LST m ³	ELV m ³	LVV m ³	LES m ³	LSS m ³	ELS m ³	LEC m ³	LC m ³	ELC m ³	ELSC m ³	LCV m ³	RR %	RRV m ³	RRV m ³	ELPM m ³	LP m ³
Dez/97			0,00				0,00				1445,60			Real	Potencial		
Jan/98	6394,09	2554,70	113,33	0,00	2554,70	2494,70	0,00	2494,70	2243,30	2494,70	2029,69	568,80	5,29	51,40	338,24	3120,10	1138,50
Fev	4454,89	2034,80	55,11	0,00	2148,13	2086,90	0,00	2086,90	1918,80	2086,90	2900,10	95,50	4,59	15,50	204,56	3852,99	991,70
Mar	1528,52	619,30	69,72	0,00	674,41	634,70	0,00	634,70	549,70	634,70	1678,96	551,40	5,90	1,20	90,19	2898,40	1216,70
Abr	2266,70	1138,90	115,35	0,00	1208,62	1093,20	0,00	1093,20	964,10	1093,20	1629,30	246,20	4,03	6,00	91,30	2396,86	771,30
Mai	5969,32	2689,80	79,59	0,00	2805,15	2679,10	0,00	2679,10	2359,60	2645,80	2022,25	1128,80	5,64	60,50	336,46	2860,10	1020,50
Jun	5250,80	2303,80	17,29	0,00	2383,39	2331,80	0,00	2331,80	2045,30	2331,80	2282,69	716,80	3,87	8,10	203,35	3350,75	1095,40
Jul	4602,50	1827,30	17,63	0,00	1844,59	1826,90	0,00	1826,90	1668,00	1826,90	1913,38	760,30	6,07	15,70	279,38	3190,39	1314,00
Ago	6085,11	2298,60	144,21	0,00	2316,23	2315,80	0,00	2315,80	2310,90	2284,10	1361,80	1737,30	5,29	31,10	321,88	2486,98	1360,50
Set	6739,55	2849,90	192,36	0,00	2994,11	2805,80	0,00	2805,80	2698,70	2804,80	1192,16	1536,50	5,21	9,50	351,16	2524,00	1251,00
Out	6466,93	2838,80	145,15	0,00	3031,16	2757,30	0,00	2757,30	2724,60	2846,70	1385,70	949,50	6,29	3,60	406,63	2967,26	1429,20
Nov	7152,05	2984,30	123,08	0,00	3129,45	3063,30	0,00	3063,30	2857,80	2857,70	1064,98	1398,60	7,91	58,30	565,43	2844,90	1771,80
Dez	6254,43	2691,40	75,81	0,00	2814,48	2714,00	0,00	2714,00	2506,30	2506,30	1196,55	1033,90	6,56	18,60	410,41	2537,38	1562,50
Jan/99	6008,30	3038,10	73,83	20,00	3133,91	2983,30	0,00	2983,30	2781,20	2781,10	1373,45	887,70	7,50	21,20	450,71	3090,05	1748,40
Fev	7265,57	3109,00	63,76	296,50	3479,33	2854,70	0,00	2854,70	2697,40	2697,30	1773,24	1211,10	7,86	8,10	571,36	2859,75	1637,20
Mar	7408,18	3815,30	66,09	736,40	4615,46	3106,60	0,00	3106,60	2870,60	2870,60	2378,64	1037,60	6,23	5,80	461,36	3606,24	1806,40
Abr	7081,59	3831,30	158,41	1000,20	4897,59	2706,30	0,00	2706,30	2478,90	2470,70	2227,98	496,30	5,14	4,00	363,66	4361,24	2186,30
Mai	7622,50	4326,80	176,29	986,90	5472,11	3339,50	0,00	3339,50	2975,70	2975,40	2391,37	352,90	5,36	0,00	408,63	4850,78	2483,90
Jun	6532,16	3819,10	0,00	1029,90	5025,29	2928,00	0,00	2928,00	2625,40	2625,40	2736,66	769,80	6,32	53,90	412,96	4246,97	1735,50
Jul	8245,11	4613,40	-	1635,40	6248,80	3030,50	-	3030,50	2677,60	2677,70	-	739,60	7,60	16,20	626,51	4674,66	1581,90
Média	5964,65	2809,72	88,79	300,28	3198,79	2513,28	0,00	2513,28	2313,36	2395,36	1841,29	853,61	5,93	20,46	362,85	3301,04	1479,09
DP	1729,49	1015,68	58,22	507,01	1458,49	692,63	0,00	692,63	650,06	616,48	540,60	432,46	1,20	20,40	146,99	757,74	425,58

OBS: A representação do conteúdo de cada coluna foi feita segundo a representação gráfica utilizada na elaboração das equações, sendo que siglas que não estão apresentadas nas equações estão listadas abaixo:

ELPM = entrada potencial de lâminas na manufatura

LES = lâminas que entram no secador

LEC = lâminas que entram na classificação

ANEXO III - RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS E RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO SETOR 1

Período Avaliado	RL m ³	RLcrr m ³	RSL m ³	RCL m ³	RL %	RSL %	RCL %	RI %	Rs %	Rc %	Rgl %	RLcrr %	LVV %	rrV %	RLc %	LCV %	LCM %
Jan/98	3787,99	3839,39	60,00	251,40	59,24	2,35	10,08	39,95	97,65	89,92	35,08	60,05	0,00	1,34	98,66	25,36	50,75
Fev	2404,59	2420,09	61,23	168,10	53,98	2,85	8,06	45,68	97,15	91,94	43,07	54,32	0,00	0,64	99,36	4,98	51,68
Mar	908,02	909,22	39,71	85,00	59,41	5,89	13,39	40,52	94,11	86,61	35,96	59,48	0,00	0,13	99,87	100,31	221,34
Abr	1121,80	1127,80	115,42	129,10	49,49	9,55	11,81	50,24	90,45	88,19	42,53	49,76	0,00	0,53	99,47	25,54	80,00
Mai	3219,02	3279,52	126,05	319,50	53,93	4,49	11,93	45,06	95,51	88,07	39,53	54,94	0,00	1,84	98,16	47,84	43,25
Jun	2938,90	2947,00	51,59	286,50	55,97	2,16	12,29	43,88	97,84	87,71	38,95	56,12	0,00	0,27	99,73	35,05	53,56
Jul	2759,50	2775,20	17,69	158,90	59,96	0,96	8,70	39,70	99,04	91,30	36,24	60,30	0,00	0,57	99,43	45,58	78,78
Ago	3755,41	3786,51	0,43	4,90	61,71	0,02	0,21	37,77	99,98	99,79	37,98	62,23	0,00	0,82	99,18	75,18	58,87
Set	3880,15	3889,65	188,31	107,10	57,57	6,29	3,82	42,29	93,71	96,18	40,04	57,71	0,00	0,24	99,76	56,93	46,36
Out	3624,53	3628,13	273,86	32,70	56,05	9,03	1,19	43,90	90,97	98,81	42,13	56,10	0,00	0,10	99,90	34,85	52,46
Nov	4109,45	4167,75	-79,35	205,50	57,46	-2,66	6,71	41,73	97,89	93,29	39,96	58,27	0,00	1,40	98,60	48,94	62,00
Dez	3544,43	3563,03	100,48	207,70	56,67	3,57	7,65	43,03	96,43	92,35	40,07	56,97	0,00	0,52	99,48	41,25	62,34
Jan/99	2949,00	2970,20	110,61	202,10	49,08	3,58	6,77	50,57	96,42	93,23	46,44	49,43	0,66	0,71	99,29	31,92	62,86
Fev	4148,47	4156,57	31,63	157,30	57,10	1,10	5,51	42,79	98,90	94,49	38,71	57,21	9,54	0,19	99,81	44,90	60,70
Mar	3587,08	3592,88	36,06	236,00	48,42	1,15	7,60	51,50	98,85	92,40	43,03	48,50	19,30	0,16	99,84	36,15	62,93
Abr	3246,29	3250,29	190,89	227,40	45,84	6,59	8,40	54,10	93,41	91,60	40,76	45,90	26,11	0,12	99,88	20,02	88,20
Mai	3295,70	3295,70	158,81	363,80	43,24	4,54	10,89	56,76	95,46	89,11	44,84	43,24	22,81	0,00	100,00	11,86	83,47
Jun	2659,16	2713,06	37,49	302,60	40,71	1,26	10,33	58,47	98,74	89,67	47,71	41,53	26,97	1,99	98,01	29,32	66,10
Jul	3615,51	3631,71	-52,50	352,90	43,85	-1,76	11,64	55,95	101,76	88,36	40,51	44,05	35,45	0,45	99,55	27,62	59,08
Média	3134,47	3154,93	77,29	199,92	53,14	3,21	8,26	46,52	96,54	91,74	40,71	53,48	7,41	0,63	99,37	39,14	70,77
DP	888,74	912,64	86,55	101,31	6,35	3,29	3,67	6,39	2,98	3,67	3,39	6,39	12,03	0,60	0,60	21,84	38,52

OBS: A representação do conteúdo de cada coluna foi feita segundo a representação gráfica utilizada na elaboração das equações, sendo que siglas que não estão apresentadas nas equações estão listadas abaixo:

RLcrr= resíduos da laminação com rolo resto

% rrV = porcentagem de rolos resto vendidos

%RLc = porcentagem de resíduos de laminação que são destinados para queima na caldeira

%LCV = porcentagem de lâminas secas classificadas vendidas e %LCM = porcentagem de lâminas secas classificadas que entram na manufatura de painéis

ANEXO IV - TABULAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIOS E VISITAS A EMPRESA DO SETOR 2

Período Avaliado	TES m ³	MSV m ³	MVC m ³	MVV m ³	EMV m ³	MES m ³	MSS m ³	MSC m ³	MBV m ³	E MS m ³	ME C m ³	MC m ³	EMC m ³	EMPC m ³	EMA m ³	MCv m ³	EPMM m ³	MEP m ³
Dez/97					3618,46					2342,21			2638,95	254,25	0,00			
Jan/98	23148,41	7747,20	1665,89	0,00	1856,72	13031,55	11202,70	562,11	126,10	3209,61	13980,92	10103,50	3858,19	528,68	0,00	2749,50	9992,95	6531,30
Fev	24510,91	8519,10	1507,22	0,00	2436,95	11883,04	9780,50	542,24	20,20	1138,96	13512,15	11312,50	5731,28	577,50	0,00	2415,80	12754,89	7152,80
Mar	28545,34	9441,90	1883,73	76,10	3036,53	13686,47	9806,60	798,54	286,90	791,44	11457,20	10466,00	5924,16	941,30	0,00	2287,00	13910,28	8020,20
Abr	21847,61	7674,30	1447,34	0,00	1196,51	12158,16	9932,20	245,45	323,60	861,00	10645,49	9664,40	5275,80	888,90	0,00	3011,90	12576,66	7884,10
Mai	27418,86	9697,30	2092,09	0,00	2937,27	12985,90	11256,80	398,75	319,70	1657,26	12196,85	10227,10	6238,65	263,53	0,00	3282,90	12220,00	6803,70
Jun	26076,02	8583,90	1670,74	0,00	2261,65	13191,90	10608,50	589,74	454,90	876,37	12400,60	10824,00	7329,40	485,07	0,00	346,40	16716,25	6361,50
Jul	26905,11	9293,10	1416,54	30,00	2235,42	12941,29	11383,50	383,52	142,80	1012,12	12500,59	11379,10	8006,10	828,77	220,34	2838,90	15869,60	7122,20
Ago	24170,68	8543,20	1987,99	57,10	1472,28	12709,51	11012,40	506,93	230,50	2109,23	12300,95	10661,80	9373,27	1231,87	220,34	3261,20	15406,70	5587,70
Set	24291,25	8985,00	2108,71	18,70	2304,80	12547,30	10237,80	540,35	331,50	1883,78	12555,89	10929,40	8712,68	581,39	220,34	4951,40	15351,27	5994,50
Out	24282,50	9332,50	1711,24	0,00	2697,82	13348,55	11512,60	487,55	528,80	2426,33	13355,12	10876,40	8452,51	1259,89	43,00	5688,60	13900,48	5019,50
Nov	28258,30	9431,50	1776,12	4,00	4345,47	13901,44	10116,40	475,32	278,50	2460,11	12739,55	10748,50	7374,28	1346,91	401,22	5589,60	13611,41	4783,40
Dez	23791,59	8138,70	1547,48	0,00	3628,52	14031,64	10919,10	394,45	485,90	2828,74	13287,76	10937,80	7138,11	2066,54	127,45	5462,50	12849,58	4809,80
Jan/99	23074,32	8255,00	0,00	25,00	1503,29	11858,52	9903,40	0,00	111,20	1559,55	12620,94	11153,30	6638,32	2394,39	801,03	4467,60	13823,81	5063,00
Fev	25091,70	8222,30	0,00	0,00	1954,16	9725,59	8291,90	0,00	133,60	741,40	9717,85	9030,60	6944,76	2019,92	328,24	4484,20	11184,72	4897,20
Mar	28284,20	9418,60	0,00	0,00	2104,50	11372,76	9907,90	0,00	147,70	1318,75	10501,60	9728,10	4461,10	1189,21	1228,04	6473,70	10199,16	4676,10
Abr	25494,09	8816,10	0,00	0,00	3393,67	10920,60	7758,40	0,00	50,80	395,66	9026,35	7567,90	3241,70	327,37	1801,16	7103,60	4925,40	3859,20
Mai	28822,16	10362,10	0,00	0,00	1801,92	13755,77	10851,00	0,00	67,10	1943,25	11179,56	10368,30	2922,40	1214,72	2210,20	5624,50	7985,50	4211,80
Jun	25457,61	9214,50	0,00	0,00	3201,40	11016,42	8901,50	0,00	303,20	1219,71	10541,55	9166,10	2571,97	1215,90	2638,63	5184,70	6903,80	3168,40
Jul	28235,80	10289,10	0,00	0,00		13490,50	11971,20	0,00	80,40		13110,51	10798,70	-	-	-	5861,80	7508,87	2741,30
Média	25668,76	8945,55	1095,53	11,10	2525,65	12503,69	10281,81	311,84	232,81	1619,76	11980,60	10312,82	5938,61	1032,43	538,95	4267,67	11983,75	5509,88
DP	2136,10	768,18	879,95	21,86	849,83	1183,84	1102,93	266,91	152,18	789,60	1373,13	944,98	2143,46	619,56	821,75	1740,30	3292,66	1509,36

OBS: A representação do conteúdo de cada coluna foi feita segundo a representação gráfica utilizada na elaboração das equações, sendo que as siglas que não estão apresentadas nas equações estão listadas abaixo:

MES = madeira que entra no secador e MEC = madeira que entra na classificação;

EMC = estoque de madeira seca classificada;

EMPC = estoque de madeira pré-cortada;

EMA = estoque de madeira aplainada;

MCv = madeira seca classificada vendida EPMM = entrada potencial de madeira na manufatura;

ANEXO V - RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS E RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO SETOR I.

Período Avaliado	RD m ³	RSM m ³	RCM m ³	RD %	RSM %	RCM %	Rd %	Rsm %	Rcm %	Rgs %	MVV %	MBV %	MCv %	MEP %
Jan/98	15401,21	1828,85	3877,42	66,53	14,03	27,73	33,47	85,97	72,27	40,01	0,00	1,07	27,21	64,64
Fev	15991,81	2102,54	2199,65	65,24	17,69	16,28	34,76	82,31	83,72	42,62	0,00	0,20	21,36	63,23
Mar	19103,44	3879,87	991,20	66,92	28,35	8,65	33,08	71,26	91,35	33,91	0,81	2,71	21,85	76,63
Abr	14173,31	2225,96	981,09	64,87	18,31	9,22	35,13	81,69	90,78	41,63	0,00	3,18	31,16	81,58
Mai	17721,56	1729,10	1969,75	64,63	13,32	16,15	35,37	86,68	83,85	34,56	0,00	2,74	32,10	66,53
Jun	17492,12	2583,40	1576,60	67,08	19,58	12,71	32,92	80,42	87,29	38,82	0,00	4,06	3,20	58,77
Jul	17612,01	1557,79	1121,49	65,46	12,04	8,97	34,54	87,76	91,03	39,88	0,32	1,21	24,95	62,59
Ago	15627,48	1697,11	1639,15	64,65	13,35	13,33	35,35	86,26	86,67	40,42	0,67	2,00	30,59	52,41
Set	15306,25	2309,50	1626,49	63,01	18,41	12,95	36,99	81,47	87,05	41,10	0,21	3,08	45,30	54,85
Out	14950,00	1835,95	2478,72	61,57	13,75	18,56	38,43	86,25	81,44	41,91	0,00	4,41	52,30	46,15
Nov	18826,80	3785,04	1991,05	66,62	27,23	15,63	33,38	72,75	84,37	35,56	0,04	2,63	52,00	44,50
Dez	15652,89	3112,54	2349,96	65,79	22,18	17,69	34,21	77,82	82,31	43,32	0,00	4,29	49,94	43,97
Jan/99	14819,32	1955,12	1467,64	64,22	16,49	11,63	35,78	83,34	88,37	48,62	0,30	1,12	40,06	45,39
Fev	16869,40	1433,69	687,25	67,23	14,74	7,07	32,77	85,26	92,93	36,18	0,00	1,61	49,66	54,23
Mar	18865,60	1464,86	773,50	66,70	12,88	7,37	33,30	87,12	92,63	34,57	0,00	1,49	66,55	48,07
Abr	16677,99	3162,20	1458,45	65,42	28,96	16,16	34,58	71,04	83,84	29,74	0,00	0,65	93,86	50,99
Mai	18460,06	2904,77	811,26	64,05	21,12	7,26	35,95	78,88	92,74	36,06	0,00	0,62	54,25	40,62
Jun	16243,11	2114,92	1375,45	63,80	19,20	13,05	36,20	80,80	86,95	36,44	0,00	3,41	56,56	34,57
Jul	17946,70	1519,30	2311,81	63,56	11,26	17,63	36,44	88,74	82,37	38,35	0,00	0,67	54,28	25,39
Média	16723,21	2273,82	1667,79	65,13	18,05	13,58	34,87	81,88	86,42	38,62	0,12	2,17	42,48	53,43
DP	1522,67	762,70	774,65	1,54	5,48	5,13	1,54	5,49	5,13	4,29	0,24	1,34	20,19	13,88

ANEXO VI - TABULAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIOS E VISITAS A EMPRESA DO SETOR 3

Período Avaliado	MEP m ³	UEP m ³	ETC m ³	MBC m ³	PC m ³	LC m ³	LP m ³	MP m ³	UP m ³	PP m ³	BP m ³	BEE m ³	PEE m ³	UEE m ³	BE m ³	PE m ³	EU m ³	BEL m ³	PEL m ³
Jan/98	6531,30	338,30	6869,60	847,80	2827,50	210,50	1138,50	931,90	463,50	206,00	1354,20	1287,00	205,00	479,80	1200,20	187,50	438,90	1118,20	62,50
Fev	7152,80	69,00	7221,80	365,10	3254,70	35,00	991,70	354,30	387,30	420,00	520,90	588,00	398,10	396,20	550,30	370,50	369,50	676,60	122,20
Mar	8020,20	0,00	8020,20	477,50	3681,50	0,00	1216,70	469,00	206,20	730,20	718,30	718,30	727,30	206,20	673,40	670,40	192,20	552,60	215,60
Abr	7884,10	0,00	7884,10	490,10	3553,30	0,00	771,30	348,30	45,10	438,50	570,50	496,40	384,10	72,50	465,50	357,00	67,90	464,70	191,60
Mai	6803,70	0,00	6803,70	1052,60	2343,80	0,00	1020,50	1281,60	0,00	303,60	1930,40	1986,80	342,60	0,00	1863,10	318,50	0,00	1541,60	254,60
Jun	6361,50	399,80	6761,30	310,40	3088,70	258,50	1095,40	308,00	444,70	436,50	487,40	448,00	417,10	398,40	420,20	387,90	371,70	640,90	344,70
Jul	7122,20	0,00	7122,20	519,70	3262,70	0,00	1314,00	466,90	437,70	529,10	714,30	765,80	462,70	483,90	720,00	434,00	451,20	726,40	283,30
Ago	5587,70	725,50	6313,20	352,00	2651,70	431,60	1360,50	360,10	861,60	235,20	564,90	594,90	323,30	716,60	557,10	299,20	671,20	713,60	293,80
Set	5994,50	222,30	6216,80	824,90	2387,60	133,30	1251,00	611,50	170,20	654,10	955,30	823,40	662,10	174,00	763,80	616,60	163,20	625,60	596,50
Out	5019,50	96,80	5116,30	515,20	2190,30	58,20	1429,20	517,30	133,30	972,60	708,90	904,20	932,50	207,30	853,30	869,70	194,40	621,40	759,90
Nov	4783,40	32,80	4816,20	212,50	2283,90	20,80	1771,80	159,70	198,90	1500,70	230,20	265,80	1525,90	178,90	249,10	1430,90	167,70	435,00	1476,70
Dez	4809,80	38,20	4848,00	302,70	2234,00	20,80	1562,50	217,50	0,00	1405,80	352,50	352,40	1359,20	20,00	330,50	1274,50	18,80	416,20	1202,30
Jan/99	5063,00	0,00	5063,00	567,90	2169,60	0,00	1748,40	83,20	137,70	1525,90	136,40	136,40	1564,90	137,60	127,90	1462,90	129,10	130,80	1385,00
Fev	4897,20	0,00	4897,20	37,70	2767,10	0,00	1637,20	168,80	0,00	1520,50	276,80	217,40	1519,60	0,00	203,90	1426,20	0,00	70,30	1513,30
Mar	4676,10	724,40	5400,50	184,40	3082,20	451,90	1806,40	739,10	883,30	443,80	1139,10	1086,10	464,20	782,60	1018,10	429,20	733,90	1151,70	338,60
Abr	3859,20	1245,90	5105,10	145,40	2010,30	890,40	2186,30	327,30	1604,30	416,60	484,70	597,00	417,90	1591,50	558,40	392,00	1492,40	558,40	263,80
Mai	4211,80	1589,00	5800,80	0,00	2157,30	1111,70	2483,90	0,00	1893,70	572,50	0,00	0,00	595,10	1945,80	0,00	558,10	1824,70	0,00	561,70
Jun	3168,40	1147,60	4316,00	70,80	1504,00	743,00	1735,50	71,90	1089,50	540,70	117,70	117,70	528,00	1010,60	110,30	491,40	947,70	0,00	499,00
Jul	2741,30	307,60	3048,90	1098,60	275,90	179,90	1581,90	480,40	322,20	1003,40	721,20	652,00	1030,40	449,30	611,40	964,80	421,40	563,90	900,20
Média	5509,88	365,12	5874,99	440,81	2511,90	239,24	1479,09	415,62	488,38	729,25	630,72	633,56	729,47	486,91	593,50	681,12	455,57	579,36	592,91
DP	1509,36	491,45	1303,02	324,93	788,69	337,51	425,58	314,23	544,95	453,26	467,60	468,90	453,57	533,13	439,21	426,14	500,01	394,00	477,25

OBS: A representação do conteúdo de cada coluna foi feita segundo a representação gráfica utilizada na elaboração das equações, sendo que as siglas que não estão apresentadas nas equações estão listadas abaixo:

ETC = entrada total de matéria-prima na coladeira

ANEXO VI - TABULAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIOS E VISITAS A EMPRESA (SETOR 3)
(CONTINUAÇÃO)

Período Avaliado	BL m ³	PSL m ³	ECB m ³	ECP m ³	SCB m ³	SCP m ³	BES m ³	PES m ³	UES m ³	BS m ³	PS m ³	US m ³	EM m ³	ECP m ³	ECE m ³	ECL m ³	ECC m ³	ECPC m ³	CM m ³
Jan/98	1036,10	62,50	1030,50	168,60	1030,60	168,60	3,10	0,00	396,90	2,90	0,00	386,90	334,74	38,13	73,30	3,13	2440,87	204,24	4624,10
Fev	630,00	112,80	625,40	375,70	625,30	375,70	11,60	5,60	263,30	9,70	1,50	258,80	454,26	0,00	140,15	5,70	2683,31	247,48	4549,50
Mar	511,80	199,00	510,50	634,40	510,50	634,40	0,00	8,90	0,00	0,00	4,40	0,00	544,44	29,00	193,75	0,00	2145,14	426,56	4826,40
Abr	425,00	180,00	460,10	383,20	460,20	383,40	0,00	0,00	127,50	0,00	0,00	125,40	507,79	36,03	420,04	1,31	1689,68	430,89	4522,30
Mai	1422,20	244,50	1347,00	302,70	1346,90	302,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	909,60	272,81	425,50	0,00	1524,74	471,41	3993,50
Jun	590,10	320,10	616,10	408,30	616,30	408,20	16,20	0,00	595,40	13,20	0,00	581,70	403,71	38,70	389,68	84,93	2282,70	471,41	4953,40
Jul	672,10	252,10	679,70	343,60	680,00	343,70	0,00	0,00	384,50	0,00	0,00	378,20	314,76	128,76	61,12	40,14	2658,85	156,64	4664,60
Ago	656,70	270,40	676,40	306,90	676,40	306,90	13,60	5,70	870,50	11,10	3,10	854,90	315,99	94,32	121,02	32,53	2759,15	512,87	4921,50
Set	580,50	557,80	578,20	634,50	578,20	634,50	0,00	8,50	146,50	0,00	8,40	143,70	485,23	85,71	28,08	3,72	3007,82	505,38	3877,30
Out	575,00	670,50	627,70	734,00	627,70	734,00	0,00	11,00	123,90	0,00	7,20	121,30	835,48	205,78	44,13	2,52	3150,90	435,28	3731,50
Nov	403,20	1300,20	415,60	1290,20	415,60	1290,20	0,00	0,00	193,70	0,00	0,00	189,40	1122,45	86,88	97,18	33,14	3247,09	267,35	4199,90
Dez	382,40	1070,50	393,30	1080,50	393,30	1080,50	5,30	9,40	65,20	5,10	7,60	60,70	1315,09	46,29	82,52	30,80	3112,65	281,29	3789,30
Jan/99	119,70	1219,60	130,80	1385,00	130,80	1385,00	2,30	15,30	0,00	2,20	14,70	0,00	1125,10	72,46	33,44	4,51	2984,86	177,15	3685,40
Fev	64,30	1340,50	37,50	1314,30	37,50	1314,30	0,00	59,00	0,00	0,00	53,20	0,00	1858,86	61,43	67,12	36,63	2334,55	189,21	4118,90
Mar	1059,90	298,70	1081,40	436,20	1081,40	436,20	0,00	51,00	721,80	0,00	41,50	705,90	2038,38	121,87	79,40	41,51	2504,45	243,56	5757,60
Abr	519,60	232,80	494,40	286,00	494,40	286,00	0,00	0,00	1475,70	0,00	0,00	1442,70	1764,99	259,65	38,76	7,58	3236,54	316,79	5123,80
Mai	0,00	495,60	27,20	488,50	27,20	488,50	5,90	30,00	1880,20	5,70	24,40	1844,50	898,18	154,59	94,90	38,07	3346,85	327,37	5629,20
Jun	0,00	443,10	0,00	454,30	0,00	454,30	0,00	0,00	947,70	0,00	0,00	925,20	716,02	79,93	26,72	1,98	2447,09	583,91	3626,50
Jul	519,90	798,90	515,10	915,70	515,10	915,70	0,00	8,90	375,20	0,00	4,50	366,20	1853,89	176,25	58,50	10,26	1434,52	346,73	2252,80
Média	535,18	529,98	539,31	628,56	539,34	628,57	3,05	11,23	450,95	2,63	8,97	441,34	936,79	104,66	130,28	19,92	2578,51	347,13	4360,39
DP	363,88	418,73	354,87	384,24	354,87	384,23	5,18	17,20	526,56	4,30	15,03	515,90	580,17	77,78	131,94	22,55	580,64	129,91	811,80

ECB = entrada na classificação de painel sarrafeado revestido e ECP = entrada na classificação de painel compensado

SCB = saída da classificação de painel sarrafeado revestido e SCP = saída da classificação de painel compensado

EM = estoque de miolo para painel sarrafeado revestido

ECP = estoque de chapas prensadas

ECE = estoque de chapas esquadrejadas

ECL = estoque de chapas lixadas

ECC = estoque de chapas classificadas e ECPC = estoque de chapas pré-cortadas

ANEXO VII - RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS E RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO SETOR 3.

Período Avaliado	RPM m ³	RU m ³	RTC m ³	RP m ³	RE m ³	RLM m ³	RS m ³	SRS m ³	RSV m ³	RSV %	RPM %	RU %	RP %	RE %	RLM %	RS %
Jan/98	2856,00	127,80	2983,80	46,70	145,20	82,10	10,20	7098,72	968,00	13,64	43,73	37,78	2,26	7,36	6,95	2,55
Fev	3533,00	34,00	3567,00	17,80	92,00	56,00	10,50	5925,15	1134,00	19,14	49,39	49,28	1,32	6,66	7,01	3,74
Mar	3861,20	0,00	3861,20	31,00	115,80	57,40	4,50	5030,10	0,00	0,00	48,14	0,00	1,84	7,01	7,47	50,56
Abr	3840,70	0,00	3840,70	65,50	62,60	51,30	2,10	4937,79	0,00	0,00	48,71	0,00	5,85	6,57	7,82	1,65
Mai	3407,30	0,00	3407,30	68,10	147,80	129,50	0,00	5654,35	950,50	16,81	50,08	0,00	2,96	6,34	7,21	0,00
Jun	2962,40	141,30	3103,70	34,80	83,70	75,40	16,70	4856,10	907,50	18,69	46,57	35,34	2,48	6,62	7,65	2,73
Jul	3339,80	0,00	3339,80	99,80	107,20	85,50	6,30	4660,29	1048,00	22,49	46,89	0,00	5,60	6,26	8,47	1,64
Ago	2584,00	293,90	2877,90	58,90	107,30	80,30	20,70	4725,35	855,00	18,09	46,24	40,51	3,42	6,56	7,97	2,33
Set	2782,00	89,00	2871,00	82,90	115,90	83,80	2,90	4700,09	884,50	18,82	46,41	40,04	4,45	6,98	6,86	1,87
Out	2314,00	38,60	2352,60	131,70	126,60	135,80	6,40	5100,12	822,00	16,12	46,10	39,88	6,77	6,19	9,83	4,74
Nov	2287,00	12,00	2299,00	1,70	122,90	208,30	4,30	4625,55	889,00	19,22	47,81	36,59	0,09	6,24	10,90	2,22
Dez	2273,10	17,40	2290,50	21,70	107,80	165,60	6,50	4920,36	909,00	18,47	47,26	45,55	1,22	6,23	10,23	8,14
Jan/99	2325,50	0,00	2325,50	31,60	119,00	176,50	0,70	4089,34	940,00	22,99	45,93	0,00	1,73	6,47	11,64	3,98
Fev	2092,40	0,00	2092,40	8,70	106,90	178,80	5,80	3071,15	862,00	28,07	42,73	0,00	0,48	6,15	11,29	9,83
Mar	1409,50	272,50	1682,00	79,30	151,70	131,70	25,40	2764,30	1007,50	36,45	30,14	37,62	3,12	6,50	8,84	3,29
Abr	1703,50	355,50	2059,00	8,00	163,60	69,80	33,00	3783,85	878,00	23,20	44,14	28,53	0,32	6,28	8,49	2,24
Mai	2054,50	477,30	2531,80	17,70	158,10	66,10	41,50	3608,76	1052,10	29,15	48,78	30,04	0,71	6,22	11,77	2,17
Jun	1593,60	404,60	1998,20	59,50	106,90	55,90	22,50	3558,95	712,00	20,01	50,30	35,26	3,29	6,45	11,20	2,37
Jul	1366,80	127,70	1494,50	15,50	134,10	145,30	13,40	4099,11	544,00	13,27	49,86	41,51	0,75	6,29	9,92	3,49
Média	2557,17	125,87	2683,05	46,36	119,74	107,11	12,28	4589,97	808,58	18,66	46,27	26,21	2,56	6,49	9,03	5,76
DP	784,10	156,54	706,70	35,27	26,10	49,59	11,56	1022,20	312,16	8,60	4,45	18,86	1,97	0,33	1,74	11,08

OBS: A representação do conteúdo de cada coluna foi feita segundo a representação gráfica utilizada na elaboração das equações, sendo que as siglas que não estão apresentadas nas equações estão listadas abaixo:

RTC = somatória dos resíduos que saem da coladeira

SRS = somatória dos resíduos secos

ANEXO VII - RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS E RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO SETOR 3 (CONTINUAÇÃO)

Período Avaliado	ETC m ³	VSC m ³	Rc %	VEP m ³	VSP m ³	Rp %	VEE m ³	VSE m ³	Re %	VEL m ³	VSL m ³	Rlx %	VES m ³	VSS m ³	Rsc %
Jan/98	6869,60	3885,80	56,57	2070,40	2023,70	97,74	1971,80	1826,60	92,64	1180,70	1098,60	93,05	400,00	389,80	97,45
Fev	7221,80	3654,80	50,61	1346,00	1328,20	98,68	1382,30	1290,30	93,34	798,80	742,80	92,99	280,50	270,00	96,26
Mar	8020,20	4159,00	51,86	1685,70	1654,70	98,16	1651,80	1536,00	92,99	768,20	710,80	92,53	8,90	4,40	49,44
Abr	7884,10	4043,40	51,29	1119,60	1054,10	94,15	953,00	890,40	93,43	656,30	605,00	92,18	127,50	125,40	98,35
Mai	6803,70	3396,40	49,92	2302,10	2234,00	97,04	2329,40	2181,60	93,66	1796,20	1666,70	92,79	0,00	0,00	
Jun	6761,30	3657,60	54,10	1403,40	1368,60	97,52	1263,50	1179,80	93,38	985,60	910,20	92,35	611,60	594,90	97,27
Jul	7122,20	3782,40	53,11	1780,90	1681,10	94,40	1712,40	1605,20	93,74	1009,70	924,20	91,53	384,50	378,20	98,36
Ago	6313,20	3435,30	54,41	1720,60	1661,70	96,58	1634,80	1527,50	93,44	1007,40	927,10	92,03	889,80	869,10	97,67
Set	6216,80	3345,80	53,82	1862,50	1779,60	95,55	1659,50	1543,60	93,02	1222,10	1138,30	93,14	155,00	152,10	98,13
Out	5116,30	2763,70	54,02	1946,50	1814,80	93,23	2044,00	1917,40	93,81	1381,30	1245,50	90,17	134,90	128,50	95,26
Nov	4816,20	2517,20	52,27	1931,50	1929,80	99,91	1970,60	1847,70	93,76	1911,70	1703,40	89,10	193,70	189,40	97,78
Dez	4848,00	2557,50	52,75	1780,00	1758,30	98,78	1731,60	1623,80	93,77	1618,50	1452,90	89,77	79,90	73,40	91,86
Jan/99	5063,00	2737,50	54,07	1831,60	1800,00	98,27	1838,90	1719,90	93,53	1515,80	1339,30	88,36	17,60	16,90	96,02
Fev	4897,20	2804,80	57,27	1806,00	1797,30	99,52	1737,00	1630,10	93,85	1583,60	1404,80	88,71	59,00	53,20	90,17
Mar	5400,50	3718,50	68,85	2545,50	2466,20	96,88	2332,90	2181,20	93,50	1490,30	1358,60	91,16	772,80	747,40	96,71
Abr	5105,10	3046,10	59,67	2513,60	2505,60	99,68	2606,40	2442,80	93,72	822,20	752,40	91,51	1475,70	1442,70	97,76
Mai	5800,80	3269,00	56,35	2483,90	2466,20	99,29	2540,90	2382,80	93,78	561,70	495,60	88,23	1916,10	1874,60	97,83
Jun	4316,00	2317,80	53,70	1807,40	1747,90	96,71	1656,30	1549,40	93,55	499,00	443,10	88,80	947,70	925,20	97,63
Jul	3048,90	1554,40	50,98	2062,30	2046,80	99,25	2131,70	1997,60	93,71	1464,10	1318,80	90,08	384,10	370,70	96,51
Média	5874,99	3191,95	54,51	1894,71	1848,35	97,44	1849,94	1730,19	93,51	1172,27	1065,16	90,97	465,23	452,94	93,92
DP	1303,02	674,69	4,25	383,44	385,99	1,97	423,70	398,30	0,33	425,64	381,00	1,74	529,06	517,82	11,32

VSC (volume que sai da coladeira) = MBC+PC+LC

VEP (volume que entra na prensa) = MP+LP e VSP (volume que sai na prensa) = UP+PP+BP

VEE (volume que entra na esquadrejadeira) = UEE+PEE+BEE e VSE (volume que sai da esquadrejadeira) = EU+PE+BE

VEL (volume que entra na lixadeira) = PEL+BEL e VSL (volume que sai da lixadeira) = PSL+BL

VES (volume que entra na seccionadora) = (UES+PES+BES e VSS (volume que sai da seccionadora) = US+PS+BS

ANEXO VIII - TABULAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIOS E VISITAS A EMPRESA DO SETOR 4

Período Avaliado	RL m ³	RD m ³	RCL m ³	RVV m ³	TVLD m ³	TVSD m ³	RVD m ³	RL %	RD %	RCL %	TVLD %	TVSD %	TVLQ m ³	TVSQ m ³	RUE m ³	E rv m ³
Jan/98	3787,99	15401,21	251,40	0,00	4039,39	15401,21	19440,60	19,48	79,22	1,29	20,78	79,22	942,95	3595,24	4538,19	14902,41
Fev	2404,59	15991,81	168,10	0,00	2572,69	15991,81	18564,50	12,95	86,14	0,91	13,86	86,14	827,10	5141,27	5968,37	12596,13
Mar	908,02	19103,44	85,00	0,00	993,02	19103,44	20096,46	4,52	95,06	0,42	4,94	95,06	314,06	6041,86	6355,93	13740,54
Abr	1121,80	14173,31	129,10	0,00	1250,90	14173,31	15424,22	7,27	91,89	0,84	8,11	91,89	493,48	5591,38	6084,86	9339,36
Mai	3219,02	17721,56	319,50	0,00	3538,52	17721,56	21260,08	15,14	83,36	1,50	16,64	83,36	1240,84	6214,35	7455,19	13804,90
Jun	2938,90	17492,12	286,50	0,00	3225,40	17492,12	20717,52	14,19	84,43	1,38	15,57	84,43	949,91	5151,61	6101,52	14615,99
Jul	2759,50	17612,01	158,90	0,00	2918,40	17612,01	20530,41	13,44	85,78	0,77	14,22	85,78	1221,22	7369,86	8591,08	11939,33
Ago	3755,41	15627,48	4,90	0,00	3760,31	15627,48	19387,80	19,37	80,60	0,03	19,40	80,60	1642,94	6827,91	8470,86	10916,94
Set	3880,15	15306,25	107,10	0,00	3987,25	15306,25	19293,50	20,11	79,33	0,56	20,67	79,33	1751,37	6723,16	8474,53	10818,96
Out	3624,53	14950,00	32,70	0,00	3657,23	14950,00	18607,23	19,48	80,35	0,18	19,65	80,35	1579,30	6455,83	8035,13	10572,10
Nov	4109,45	18826,80	205,50	0,00	4314,95	18826,80	23141,74	17,76	81,35	0,89	18,65	81,35	1520,83	6635,63	8156,47	14985,27
Dez	3544,43	15652,89	207,70	0,00	3752,13	15652,89	19405,02	18,27	80,66	1,07	19,34	80,66	1407,69	5872,52	7280,21	12124,81
Jan/99	2949,00	14819,32	202,10	0,00	3151,10	14819,32	17970,41	16,41	82,47	1,12	17,53	82,47	1523,56	7165,17	8688,74	9281,68
Fev	4148,47	16869,40	157,30	0,00	4305,77	16869,40	21175,17	19,59	79,67	0,74	20,33	79,67	1774,11	6950,71	8724,82	12450,35
Mar	3587,08	18865,60	236,00	0,00	3823,08	18865,60	22688,69	15,81	83,15	1,04	16,85	83,15	1790,64	8836,18	10626,82	12061,87
Abr	3246,29	16677,99	227,40	0,00	3473,69	16677,99	20151,68	16,11	82,76	1,13	17,24	82,76	1477,41	7093,37	8570,78	11580,90
Mai	3295,70	18460,06	363,80	0,00	3659,50	18460,06	22119,56	14,90	83,46	1,64	16,54	83,46	1588,00	8010,52	9598,52	12521,04
Jun	2659,16	16243,11	302,60	0,00	2961,76	16243,11	19204,87	13,85	84,58	1,58	15,42	84,58	1131,08	6203,17	7334,26	11870,62
Jul	3615,51	17946,70	352,90	0,00	3968,41	17946,70	21915,11	16,50	81,89	1,61	18,11	81,89	1684,55	7618,18	9302,73	12612,38
Média	3134,47	16723,21	199,92	0,00	3334,39	16723,21	20057,61	15,53	83,48	0,98	16,52	83,48	1308,48	6499,89	7808,37	12249,24
DP	888,74	1522,67	101,31	0,00	908,49	1522,67	1829,16	4,11	4,11	0,47	4,11	4,11	432,73	1169,58	1489,72	1663,02

OBS: A representação do conteúdo de cada coluna foi feita segundo a representação gráfica utilizada na elaboração das equações, sendo que as siglas que não estão apresentadas nas equações estão listadas abaixo:

TVLD = total de resíduo verde da laminadora disponível para queima e TVLD (%) = % de participação deste tipo de resíduos para o total de resíduo verde disponível para queima

TVSD = total de resíduo verde da serraria disponível para queima e TVSD (%) = % de participação deste tipo de resíduo para o total de resíduo verde disponível para queima

TVLQ = total de resíduo verde da laminadora queimado na caldeira e TVSQ = total de resíduo verde da serraria queimado na caldeira

E rv = estoque de resíduos verdes

ANEXO VIII - TABULAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIOS E VISITAS A EMPRESA DO SETOR 4
(CONTINUAÇÃO)

Período Avaliado	RCM m ³	RPM m ³	RU m ³	RE m ³	RLM m ³	RS m ³	SRS m ³	RSV m ³	RSD m ³	RCM %	RPM %	RU %	RE %	RLM %	RS %	RSV %
Jan/98	3877,42	2856,00	127,80	145,20	82,10	10,20	7098,72	968,00	6130,72	63,25	46,59	2,08	2,37	1,34	0,17	13,64
Fev	2199,65	3533,00	34,00	92,00	56,00	10,50	5925,15	1134,00	4791,15	45,91	73,74	0,71	1,92	1,17	0,22	19,14
Mar	991,20	3861,20	0,00	115,80	57,40	4,50	5030,10	0,00	5030,10	19,71	76,76	0,00	2,30	1,14	0,09	0,00
Abr	981,09	3840,70	0,00	62,60	51,30	2,10	4937,79	0,00	4937,79	19,87	77,78	0,00	1,27	1,04	0,04	0,00
Mai	1969,75	3407,30	0,00	147,80	129,50	0,00	5654,35	950,50	4703,85	41,88	72,44	0,00	3,14	2,75	0,00	16,81
Jun	1576,60	2962,40	141,30	83,70	75,40	16,70	4856,10	907,50	3948,60	39,93	75,02	3,58	2,12	1,91	0,42	18,69
Jul	1121,49	3339,80	0,00	107,20	85,50	6,30	4660,29	1048,00	3612,29	31,05	92,46	0,00	2,97	2,37	0,17	22,49
Ago	1639,15	2584,00	293,90	107,30	80,30	20,70	4725,35	855,00	3870,35	42,35	66,76	7,59	2,77	2,07	0,53	18,09
Set	1626,49	2782,00	89,00	115,90	83,80	2,90	4700,09	884,50	3815,59	42,63	72,91	2,33	3,04	2,20	0,08	18,82
Out	2478,72	2314,00	38,60	126,60	135,80	6,40	5100,12	822,00	4278,12	57,94	54,09	0,90	2,96	3,17	0,15	16,12
Nov	1991,05	2287,00	12,00	122,90	208,30	4,30	4625,55	889,00	3736,55	53,29	61,21	0,32	3,29	5,57	0,12	19,22
Dez	2349,96	2273,10	17,40	107,80	165,60	6,50	4920,36	909,00	4011,36	58,58	56,67	0,43	2,69	4,13	0,16	18,47
Jan/99	1467,64	2325,50	0,00	119,00	176,50	0,70	4089,34	940,00	3149,34	46,60	73,84	0,00	3,78	5,60	0,02	22,99
Fev	687,25	2092,40	0,00	106,90	178,80	5,80	3071,15	862,00	2209,15	31,11	94,71	0,00	4,84	8,09	0,26	28,07
Mar	773,50	1409,50	272,50	151,70	131,70	25,40	2764,30	1007,50	1756,80	44,03	80,23	15,51	8,64	7,50	1,45	36,45
Abr	1458,45	1703,50	355,50	163,60	69,80	33,00	3783,85	878,00	2905,85	50,19	58,62	12,23	5,63	2,40	1,14	23,20
Mai	811,26	2054,50	477,30	158,10	66,10	41,50	3608,76	1052,10	2556,66	31,73	80,36	18,67	6,18	2,59	1,62	29,15
Jun	1375,45	1593,60	404,60	106,90	55,90	22,50	3558,95	712,00	2846,95	48,31	55,98	14,21	3,75	1,96	0,79	20,01
Jul	2311,81	1366,80	127,70	134,10	145,30	13,40	4099,11	544,00	3555,11	65,03	38,45	3,59	3,77	4,09	0,38	13,27
Média	1667,79	2557,17	125,87	119,74	107,11	12,28	4589,97	808,58	3781,39	43,86	68,87	4,32	3,55	3,22	0,41	18,66
DP	774,65	784,10	156,54	26,10	49,59	11,56	1022,20	312,16	1075,36	13,03	14,66	6,15	1,74	2,10	0,49	8,60

OBS: A representação do conteúdo de cada coluna foi feita segundo a representação gráfica utilizada na elaboração das equações, sendo que as siglas que não estão apresentadas nas equações estão listadas abaixo:

SRS = somatória dos resíduos gerados no setor 3

ANEXO VIII - TABULAÇÃO DOS DADOS OBTIDOS ATRAVÉS DE QUESTIONÁRIOS E VISITAS A EMPRESA DO SETOR 4
(CONTINUAÇÃO)

Período Avaliado	RCC m ³ /mês	RCC m ³ /hora	PEE kW/mês	PET t/mês	PEE kW/h	PET t/hora	CETG* t/hora	CETG t/mês
Jan/98	10668,92	14,82	1166732,00	25458,00	3272,74	35,53	28,42	20366,40
Fev	10759,52	14,94	1136622,00	25675,00	3508,09	37,54	30,03	20540,00
Mar	11386,02	15,81	1226950,00	25989,00	3408,19	36,10	28,88	20791,20
Abr	11022,65	15,31	1114040,00	26303,00	3164,89	36,94	29,55	21042,40
Mai	12159,04	16,89	1317278,00	29013,00	3659,11	40,30	32,24	23210,40
Jun	10050,12	13,96	1136622,00	23981,00	4148,26	37,82	30,26	19184,80
Jul	12203,37	16,95	1332332,00	29120,00	3732,02	40,61	32,49	23296,00
Ago	12341,20	17,14	1369969,00	28809,00	3805,47	40,01	32,01	23047,20
Set	12290,12	17,07	1397978,00	28690,00	3960,28	40,24	32,19	22952,00
Out	12313,25	17,10	1407605,00	29382,00	3987,55	41,21	32,97	23505,60
Nov	11893,01	16,52	1400078,00	29379,00	3889,11	40,80	32,64	23503,20
Dez	11291,57	15,68	1272114,00	26945,00	3666,03	38,11	30,49	21556,00
Jan/99	11838,07	16,44	1387207,00	27859,00	4134,75	40,06	32,04	22287,20
Fev	10933,98	15,19	1287168,00	26091,00	3894,61	37,79	30,23	20872,80
Mar	12383,61	17,20	1445240,00	28907,00	4014,56	40,15	32,12	23125,60
Abr	11476,63	15,94	1339859,00	27386,00	3721,83	38,04	30,43	21908,80
Mai	12155,18	16,88	1497933,00	29005,00	4160,93	40,28	32,23	23204,00
Jun	10181,20	14,14	1195930,00	23238,00	6040,05	41,65	33,32	18590,40
Jul	12857,83	17,86	1460293,00	29349,00	5290,92	46,15	36,92	23479,20
Média	11589,75	16,10	1310102,63	27398,89	3971,55	39,44	31,55	21919,12
DP	808,89	1,12	118670,79	1926,20	672,37	2,41	1,93	1540,96

OBS: A representação do conteúdo de cada coluna foi feita segundo a representação gráfica utilizada na elaboração das equações, sendo que as siglas que não estão apresentadas nas equações estão listadas abaixo:

CETG* = Consumo de energia térmica geral da indústria (corresponde a 80% do total de vapor gerado na caldeira, devido a quantidade de vapor gerada ser em função das necessidades do turbo-gerado e não do processo produtivo).

ANEXO IX - RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS E RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO SETOR 4

Período Avaliado	RVD m ³	RUE m ³	RSD m ³	TRQ m ³	RCC m ³ /mês	RCC m ³ /h	RUE %	R SE %	EEL kW/mês	EES Kw/mês	EEM Kw/mês	EEC Kw/mês	EEL kW/h	EES kW/h	EEM kW/h	EEC ¹ kW/h
Jan/98	19440,60	4538,19	6130,72	10668,92	10668,92	14,89	42,54	57,46	291683,00	501694,76	233346,40	140007,84	818,19	1407,28	654,55	195,41
Fev	18564,50	5968,37	4791,15	10759,52	10759,52	15,73	55,47	44,53	284155,50	488747,46	227324,40	136394,64	877,02	1508,48	701,62	199,41
Mar	20096,46	6355,93	5030,10	11386,02	11386,02	15,81	55,82	44,18	306737,50	527588,50	245390,00	147234,00	852,05	1465,52	681,64	204,49
Abr	15424,22	6084,86	4937,79	11022,65	11022,65	15,48	55,20	44,80	278510,00	479037,20	222808,00	133684,80	791,22	1360,90	632,98	187,76
Mai	21260,08	7455,19	4703,85	12159,04	12159,04	16,89	61,31	38,69	329319,50	566429,54	263455,60	158073,36	914,78	1573,42	731,82	219,55
Jun	20717,52	6101,52	3948,60	10050,12	10050,12	15,85	60,71	39,29	284155,50	488747,46	227324,40	136394,64	1037,06	1783,75	829,65	215,13
Jul	20530,41	8591,08	3612,29	12203,37	12203,37	17,02	70,40	29,60	333083,00	572902,76	266466,40	159879,84	933,01	1604,77	746,40	222,98
Ago	19387,80	8470,86	3870,35	12341,20	12341,2	17,14	68,64	31,36	342492,25	589086,67	273993,80	164396,28	951,37	1636,35	761,09	228,33
Set	19293,50	8474,53	3815,59	12290,12	12290,12	17,24	68,95	31,05	349494,50	601130,54	279595,60	167757,36	990,07	1702,92	792,06	235,28
Out	18607,23	8035,13	4278,12	12313,25	12313,25	17,10	65,26	34,74	351901,25	605270,15	281521,00	168912,60	977,50	1681,31	782,00	234,60
Nov	23141,74	8156,47	3736,55	11893,01	11893,01	16,82	68,58	31,42	350019,50	602033,54	280015,60	168009,36	1008,70	1734,97	806,96	237,64
Dez	19405,02	7280,21	4011,36	11291,57	11291,57	16,24	64,47	35,53	318028,50	547009,02	254422,80	152653,68	947,92	1630,43	758,34	219,49
Jan/99	17970,41	8688,74	3149,34	11838,07	11838,07	17,14	73,40	26,60	346801,75	596499,01	277441,40	166464,84	1049,32	1804,84	839,46	241,08
Fev	21175,17	8724,82	2209,15	10933,98	10933,98	15,19	79,80	20,20	321792,00	553482,24	257433,60	154460,16	893,87	1537,45	715,09	214,53
Mar	22688,69	10626,82	1756,80	12383,61	12383,61	17,20	85,81	14,19	361310,00	621453,20	289048,00	173428,80	1003,64	1726,26	802,91	240,87
Abr	20151,68	8570,78	2905,85	11476,63	11476,63	15,94	74,68	25,32	334964,75	576139,37	267971,80	160783,08	930,46	1600,39	744,37	223,31
Mai	22119,56	9598,52	2556,66	12155,18	12155,18	16,88	78,97	21,03	374483,25	644111,19	299586,60	179751,96	1040,23	1789,20	832,19	249,66
Jun	19204,87	7334,26	2846,95	10181,20	10181,2	18,25	72,04	27,96	298982,50	514249,90	239186,00	143511,60	1510,01	2597,22	1208,01	257,19
Jul	21915,11	9302,73	3555,11	12857,83	12857,83	20,22	72,35	27,65	365073,25	627925,99	292058,60	175235,16	1322,73	2275,09	1058,18	634,91
Média	20057,61	7808,37	3781,39	11589,75	11589,75	16,69	67,07	32,93	327525,66	563344,13	262020,53	157212,32	992,06	1706,34	793,65	245,35
DP	1829,16	1489,72	1075,36	808,89	808,89	1,21	10,31	10,31	29667,70	51028,44	23734,16	14240,50	169,28	291,15	135,42	96,12

OBS: A representação do conteúdo de cada coluna foi feita segundo a representação gráfica utilizada na elaboração das equações, sendo que as siglas que não estão apresentadas nas equações estão listadas abaixo:

1 - Enquanto nos outros setores o consumo de energia elétrica ocorre somente durante as horas trabalhadas (320h/mês), a caldeira trabalha 24h por dia, correspondendo a 720 h mensais.

ANEXO IX - RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS E RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO SETOR 4 (CONTINUAÇÃO)

Periodo Avaliado	ETL t/mês	ETS t/mês	ETM t/mês	ETL t/hora	ETS ² t/hora	ETM t/hora	tvapor/h/m ³ lsc	tvapor/h/m ³ msc	tvapor/h/m ³ cm	kWh/m ³ lsc	kWh/m ³ msc	kWh/m ³ cm	m ³ tora / m ³ lsc	m ³ tora / m ³ msc	m ³ Mle / m ³ cm
Jan/98	2647,63	14256,48	3462,29	7,43	19,90	9,71	2,3721	1,4110	1,5048	261,32	99,7986	101,4216	2,85	2,50	1,66
Fev	2670,20	14378,00	3491,80	8,24	21,02	10,78	2,9378	1,2710	1,6203	312,63	91,2089	105,4857	2,32	2,35	1,79
Mar	2702,86	14553,84	3534,50	7,51	20,21	9,82	2,9377	1,3906	1,4647	333,42	100,8195	101,6866	2,78	2,95	1,91
Abr	2735,51	14729,68	3577,21	7,77	20,69	10,16	5,7392	1,5241	1,6000	584,33	100,2609	99,6572	2,35	2,40	1,91
Mai	3017,35	16247,28	3945,77	8,38	22,57	10,96	2,5575	1,5886	1,9761	279,13	110,7703	131,9422	2,53	2,89	1,96
Jun	2494,02	13429,36	3261,42	9,10	21,18	11,90	2,8215	1,2407	1,5235	321,47	104,4805	106,1894	2,57	2,58	1,51
Jul	3028,48	16307,20	3960,32	8,48	22,74	11,09	3,6465	1,4331	1,7052	401,06	101,1169	114,7305	2,76	2,51	1,81
Ago	2996,14	16133,04	3918,02	8,32	22,41	10,88	2,5930	1,5132	1,5922	296,41	110,5042	111,3456	2,63	2,47	1,41
Set	2983,76	16066,40	3901,84	8,45	22,53	11,05	2,2332	1,4700	2,0326	261,58	111,0932	145,6518	2,50	2,43	1,87
Out	3055,73	16453,92	3995,95	8,49	22,85	11,10	2,2431	1,5128	2,1417	258,31	111,2997	150,8889	2,37	2,39	1,73
Nov	3055,42	16452,24	3995,54	8,81	23,27	11,51	2,1784	1,5307	1,9383	249,55	114,1203	135,8417	2,50	2,81	1,56
Dez	2802,28	15089,20	3664,52	8,35	21,70	10,92	2,3178	1,3795	2,0048	263,05	103,6738	139,1880	2,50	2,31	1,68
Jan/99	2897,34	15601,04	3788,82	8,77	22,59	11,46	2,1765	1,3988	2,1479	260,52	111,7374	157,2819	2,15	2,06	1,85
Fev	2713,46	14610,96	3548,38	7,54	20,29	9,86	2,0119	1,6179	1,7230	238,59	122,5793	125,0011	2,58	2,76	1,59
Mar	3006,33	16187,92	3931,35	8,35	22,48	10,92	2,0946	1,6640	1,3656	251,73	127,7646	100,4057	2,32	2,89	1,13
Abr	2848,14	15336,16	3724,50	7,91	21,30	10,35	2,2979	2,0265	1,4538	270,25	152,2587	104,5989	2,45	3,36	1,18
Mai	3016,52	16242,80	3944,68	8,38	22,56	10,96	2,0274	1,5666	1,4015	251,69	124,2462	106,4402	2,23	2,77	1,19
Jun	2416,75	13013,28	3160,37	12,21	23,32	15,96	2,5942	1,4197	2,4559	320,94	158,1097	185,8733	2,10	2,74	1,35
Jul	3052,30	16435,44	3991,46	11,06	4,80	14,46	1,1399	0,1227	1,7718	136,34	58,1483	129,6425	2,47	2,61	1,92
Média	2849,49	15343,38	3726,25	8,61	20,97	11,26	2,5748	1,4253	1,7591	292,23	111,26	123,86	2,47	2,62	1,63
Desvio	200,32	1078,67	261,96	1,17	4,06	1,53	0,9165	0,3574	0,3034	87,82	21,40	23,97	0,20	0,30	0,27

OBS: A representação do conteúdo de cada coluna foi feita segundo a representação gráfica utilizada na elaboração das equações, sendo que as siglas que não estão apresentadas nas equações estão listadas abaixo:

2 - Enquanto nos outros setores o consumo de energia térmica ocorre somente durante as horas trabalhadas (360h/mês), os secadores de madeira trabalham 24h por dia, correspondendo a 720 h mensais.

ANEXO IX - RESULTADOS DA DETERMINAÇÃO DO BALANÇO DE MATERIAIS E RENDIMENTO DO PROCESSO PRODUTIVO DO SETOR 4 (CONTINUAÇÃO)

Período Avaliado	m ³ resíduo/ m ³ lsc	m ³ resíduo/ m ³ msc	m ³ resíduo/ m ³ cm	m ³ res.c/V/ m ³ lsc	m ³ res.c/V/ m ³ msc	m ³ res.c/V/ m ³ cm	m ³ biom/ kWh	m ³ biom/ tvapor h	t vapor/ kW	Potenc. tvh/ m ³ res lsc	Potenc. tvh/ m ³ res msc	Potenc. tvh/ m ³ res cm	Potenc. kWh/ m ³ res. lsc	Potenc. kWh/ m ³ res. Msc	Potenc. kWh/m ³ res. cm
Jan/98	1,85	1,50	0,66	1,83	1,50	0,57	0,0045	0,4170	92,11	4,38	3,59	1,36	403,19	331,11	125,64
Fev	1,32	1,35	0,79	1,31	1,35	0,64	0,0043	0,3981	93,46	3,30	3,38	1,60	308,29	316,00	150,00
Mar	1,78	1,95	0,91	1,78	1,95	0,91	0,0046	0,4381	94,42	4,06	4,45	2,09	383,26	420,05	196,95
Abr	1,35	1,40	0,91	1,34	1,40	0,91	0,0048	0,4144	85,67	3,24	3,38	2,21	277,83	289,90	188,94
Mai	1,53	1,89	0,96	1,50	1,89	0,80	0,0046	0,4191	90,81	3,58	4,52	1,90	325,35	410,23	172,90
Jun	1,57	1,58	0,51	1,56	1,58	0,41	0,0034	0,3690	109,67	4,24	4,27	1,11	464,48	468,34	122,13
Jul	1,76	1,51	0,81	1,75	1,51	0,63	0,0045	0,4173	91,89	4,19	3,61	1,50	385,19	331,92	138,00
Ago	1,63	1,47	0,41	1,62	1,47	0,34	0,0045	0,4284	95,11	3,78	3,44	0,79	359,62	327,27	74,88
Set	1,50	1,43	0,87	1,49	1,43	0,71	0,0043	0,4242	98,42	3,52	3,38	1,66	346,54	332,44	163,62
Out	1,37	1,39	0,73	1,37	1,39	0,61	0,0043	0,4150	96,76	3,31	3,34	1,47	319,94	323,20	142,42
Nov	1,50	1,81	0,56	1,48	1,81	0,45	0,0042	0,4048	95,31	3,66	4,48	1,12	348,84	426,68	106,66
Dez	1,50	1,31	0,68	1,49	1,31	0,56	0,0043	0,4115	96,19	3,62	3,18	1,35	347,76	305,83	129,91
Jan/99	1,15	1,06	0,85	1,14	1,06	0,65	0,0040	0,4105	103,22	2,79	2,57	1,59	287,92	265,72	164,27
Fev	1,58	1,76	0,59	1,58	1,76	0,42	0,0039	0,4019	103,07	3,93	4,39	1,05	405,34	452,32	108,19
Mar	1,32	1,89	0,13	1,32	1,89	0,08	0,0043	0,4284	99,99	3,09	4,42	0,19	308,58	441,68	18,68
Abr	1,45	2,36	0,18	1,45	2,36	0,14	0,0043	0,4191	97,85	3,46	5,64	0,33	338,91	551,51	32,26
Mai	1,23	1,77	0,19	1,23	1,77	0,13	0,0041	0,4191	103,29	2,93	4,23	0,32	303,14	437,08	33,08
Jun	1,10	1,74	0,35	1,07	1,74	0,28	0,0023	0,3395	145,06	3,16	5,14	0,83	458,76	745,06	120,36
Jul	1,47	1,61	0,92	1,46	1,61	0,80	0,0034	0,3870	114,66	3,78	4,15	2,06	433,15	476,20	236,15
Média	1,47	1,62	0,63	1,46	1,62	0,53	0,00	0,41	100,37	3,58	3,98	1,29	358,22	402,77	127,63
DP	0,20	0,30	0,27	0,20	0,30	0,25	0,0006	0,02	12,77	0,45	0,75	0,60	55,41	113,19	57,47

OBS: A representação do conteúdo de cada coluna foi feita segundo a representação gráfica utilizada na elaboração das equações, sendo que as siglas que não estão apresentadas nas equações estão listadas abaixo:

m³ res. c/V = quantidade de resíduo com o desconto da porcentagem de resíduos vendidos (quantidade real com potencial para gerar energia).