Campus de São Carlos

**CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO
FLUXO PRODUTIVO DE HABITAÇÃO EM
MADEIRA DE PLANTIOS FLORESTAIS
SEGUNDO INDICADORES DE
SUSTENTABILIDADE – CONSUMO DE
ENERGIA E RESÍDUOS GERADOS**

Juliana Cortez Barbosa

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Akemi Ino

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

**ESCOLA DE ENGENHARIA
DE SÃO CARLOS**

DEDALUS - Acervo - EESC

31100044269

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos
Centro de Recursos Hídricos e Ecologia Aplicada
Área Ciências da Engenharia Ambiental

**"CARACTERIZAÇÃO E AVALIAÇÃO DO
FLUXO PRODUTIVO DA HABITAÇÃO EM
MADEIRA DE PLANTIOS FLORESTAIS
SEGUNDO INDICADORES DE
SUSTENTABILIDADE - CONSUMO DE
ENERGIA E RESÍDUOS GERADOS"**

Serviço de Pós-Graduação EESC/USP

EXEMPLAR REVISADO

Data de entrada no Serviço: *08.10.04*

Ass: *Leandro Corradi*

JULIANA CORTEZ BARBOSA

Tese apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, para a obtenção do título de Doutor em Ciências da Engenharia Ambiental

Profª. Dra. **AKEMI INO**
Orientador

São Carlos – SP
Dezembro de 2003

Class.	TESE
Cuti.	0579
Tombo	T015/04
Sysno	1357632

Ficha catalográfica preparada pela Seção de
Tratamento
da Informação do Serviço de Biblioteca – EESC/USP

B238c Barbosa, Juliana Cortez
Caracterização e avaliação do fluxo produtivo de
habitação em madeira de plantios florestais segundo
indicadores de sustentabilidade – consumo de energia e
resíduos gerados / Juliana Cortez Barbosa. -- São Carlos,
2003.

Tese(Doutorado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-
Universidade de São Paulo, 2003.
Área: Ciências da Engenharia Ambiental.
Orientador: Prof^a. Dr^a Akemi Ino.

1. Índice de desempenho energético. 2. Resíduos
gerados. 3. Painéis. 4. Habitação de madeira. I. Título.

FOLHA DE JULGAMENTO

Candidata: Arquiteto e Urbanista **JULIANA CORTEZ BARBOSA**

Tese defendida e julgada em 23-10-2003 perante a Comissão Julgadora:

Prof.ª. Dra. **AKEMI INO (Orientadora)**
(Escola de Engenharia de São Carlos/USP)

APROVADA.

Prof.ª. Dra. **ADRIANA MARIA NOLASCO**
(Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"/USP)

Aprovado

Prof. Dr. **MARCOS TADEU TIBÚRCIO GONÇALVES**
(UNESP/Campus de Bauru)

APROVADA

Prof. Dr. **JOSÉ ANGELO CAGNON**
(UNESP/Campus de Bauru)

Aprovado

Prof. Assoc. **HOLMER SAVASTANO JÚNIOR**
(Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos/USP)

APROVADA

Prof. Doutor **VALDIR SCHALCH**
Coordenador do Programa de Pós-Graduação
em Ciências da Engenharia Ambiental

Prof.ª. Assoc. **MARIA DO CARMO CALIJURI**
Presidente da Comissão de Pós-Graduação

Dedico este trabalho:

A minha amada mãe, Helena, que se dedicou inteiramente e fez o impossível, anos e anos de sua vida, para que os filhos tivessem a melhor formação profissional.

A meu querido pai, Uriel, que sempre serviu de exemplo de pessoa por sua alegria de viver e por sua incansável capacidade de trabalhar com otimismo.

A meu amado Cyro, sempre ao meu lado me auxiliando e preenchendo nossas vidas com muita felicidade e paz para avançar em nossos projetos.

E a minha filhinha, Sofia, um presente que surgiu em nossas vidas durante o doutorado, e que teve que se acostumar desde cedo, mesmo sem entender, a ficar sem a mamãe alguns finais de semana e horas a fio em companhia do papai para que o trabalho pudesse ser finalizado.

AGRADECIMENTOS

A Deus por toda a luz e proteção durante mais esta etapa de minha vida.

Meus mais profundos e sinceros agradecimentos a minha orientadora Akemi Ino pela amizade, confiança e liberdade para o desenvolvimento deste trabalho.

Ao grande amigo Alexandre Duarte de Souza pelas incontáveis horas de trabalho em conjunto, pela companhia nas viagens de coleta de dados e pelo auxílio constante nas horas mais difíceis e urgentes.

Aos professores e amigos Marcos Tadeu T. Gonçalves,IVALDO Valarelli, Ângelo Cagnon pela companhia e agradável convívio nas viagens de coleta de dados e pelo inestimável auxílio durante o desenvolvimento da pesquisa.

As amigas de trabalho do HABIS Ana Flávia Galinari, Naguissa Yuba, Luciana Zorzal, Renata Peres, Adriana Lopes e demais participantes do Grupo, por transformarem o trabalho árduo em momentos mais alegres.

Aos amigos do LAMEM, Fátima, Guilherme e em especial ao Bragatto pela ajuda na revisão bibliográfica.

Aos professores da ESALQ Adriana Nolasco e Ezer D. Oliveira pela colaboração na pesquisa bibliográfica.

Pelos amigos do CHREA, Mariana Carvalhaes, Carol e Mau-Mau, Patrícia P. Souza, Clauciana, Celina, Andrea, Caê, Pinzon e muitos outros que fizeram do dia a dia das aulas e trabalhos das disciplinas mais leves, divertidos e produtivos.

As eternas amigas, Marina Marchioreto, Lúcia Helena Rossi, Patrícia Helena Brancallion e Luciana Bonvino Figueiredo pela "simples" razão de estarem sempre ao meu lado.

A FAPESP pelo financiamento da pesquisa.

SUMÁRIO

	Lista de Abreviaturas.....	III
	Lista de Tabelas.....	IV
	Lista de Figuras.....	VI
	Resumo.....	VII
	Abstract.....	VIII
1.	CAPÍTULO INTRODUTÓRIO.....	1
1.1.	Justificativa.....	4
1.2.	Hipótese.....	7
1.3.	Objetivo geral.....	8
1.4.	Objetivos específicos.....	8
1.5.	Metodologia.....	8
2.	USO SUSTENTÁVEL DAS FLORESTAS COMO MATERIAL PARA CONSTRUÇÃO.....	15
2.1.	Monoculturas – Impacto das florestas econômicas.....	15
2.1.1	Qualidade da água e equilíbrio hídrico.....	18
2.1.2	Ciclagem de nutrientes e biodiversidade.....	21
2.1.3	Problemas sócio-econômicos.....	26
2.2	Desenvolvimento sustentável - Princípios e conceitos.....	28
2.3	Uso Sustentável das florestas econômicas como material para construção.....	30
2.4	Situação dos plantios florestais no Estado de São Paulo.....	36
2.4.1	Estimativa do Potencial Florestal.....	36
2.4.2	Análise do atual mercado florestal.....	42
3.	SUSTENTABILIDADE NO SETOR DA CONSTRUÇÃO.....	45
3.1	Sustentabilidade na construção – princípios e conceitos.....	45
3.2	Cadeia produtiva e indicadores de sustentabilidade.....	46
3.3	Indicadores de desempenho ambiental.....	48
3.3.1	Consumo de energia.....	50
3.3.2	Produção de resíduos.....	52
3.3.3	Emissão de Co ₂ e a questão do sequestro do carbono.....	53
3.4	Indicadores selecionados para a Coleta de Campo.....	55
3.4.1	Critérios de avaliação dos materiais de construção e edifícios.....	56
3.4.2	Indicadores selecionados.....	57

4. ANÁLISE ENERGÉTICA DE TRÊS TIPOS DE PAINÉIS EM MADEIRA.....	58
4.1 Projetos selecionados para análise	58
4.2 Consumo energético na fase da floresta	63
4.3 Consumo energético na Fase da Serraria.....	66
4.3.1 Cálculo do consumo energético na produção de componentes nas serrarias.....	69
4.3.2 Dados das serrarias – consumo energético dos equipamentos	69
4.3.3 Aplicação dos dados obtidos - fase serraria.....	75
4.3.4 Cálculo final das peças dos projetos.....	76
4.5 Fase do canteiro - Montagem	81
4.5.1 Serramento de destopo - Serra circular portátil.....	81
4.5.2 Furação	82
4.5.3 Pregação - Pinador pneumático	83
4.6 Consumo energético total na produção de painéis de vedação	84
5. ANÁLISE DOS RESÍDUOS GERADOS – PRODUÇÃO DE TRÊS TIPOS DE PAINÉIS.....	86
5.1 resíduos Gerados na fase da floresta.....	87
5.2 Resíduo gerado na fase da Serraria.....	89
5.3 Resíduo gerado na fase do Beneficiamento	95
5.4 Fase de Canteiro / Montagem.....	96
5.5 Total de resíduos gerados durante o fluxo produtivo.....	97
6. CONSIDERAÇÕES FINAIS	98
7. BIBLIOGRAFIA	110
7.1 Bibliografia Citada	110
7.2 Bibliografia Consultada	115
8. ANEXOS	
ANEXO 1 – Exemplos de medições do consumo energético de alguns equipamentos (alpha)	
ANEXO 2 – Layout das serrarias analisadas	
ANEXO 3 – Tabelas de cálculo da energia: global da empresa, local e complementar	
ANEXO 4 – Consumo energético para cada seção de peça – simulação de 11 sequências de corte	

LISTA DE ABREVIATURAS

ACV	Análise do Ciclo de Vida
BL.	Bloco
Ca	Cálcio
cal	Caloria
cm	Centímetro
CO ₂	Gás carbônico
cost.	Costaneira
DAP	Diâmetro na altura do peito
E.	Eucaliptus
GER	<i>Gross Energy Requirement</i>
H ₂ O	Água
ha	Hectare
J	Joule
K	Potássio
kcal	Quilocaloria
kg	Quilograma
kW	Quilowatt
kWh	Quilowatts hora
kWs	Quilowatts segundo
LCA	<i>Life Cycle Analysis</i>
m	Metro
m ³	Metro cúbico
Mcal	Megacaloria
Mg	Magnésio
min	Minuto
MJ	Megajoule
mm	Milímetro
mst	Metro cúbico estéreio
N	Nitrogênio
O ₂	Oxigênio
op.	Operação
P	Fósforo
pç	Peça
PER	<i>Process Energy Requirement</i>
pH	Potencial hidrogeniônico
PIB	Produto Interno Bruto
ppm	Partes por milhão
Qt	Quantidade
s	Segundo
s. circ.	Serra circular
s. fita	Serra fita
t	Tonelada
tC	Toneladas de Carbono
un.	Unidade
Us\$	Dólares americanos
var.	Variedade
Vf	Velocidade de avanço
Vp	Velocidade de processamento

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Índice energético na produção de materiais de construção no Brasil.....	3
Tabela 2.	Etapas; Material e Método e Resultados Obtidos (produtos).....	13
Tabela 3.	Comparação de remoção de nutrientes do solo por diferentes culturas agrícolas.....	22
Tabela 4.	Taxa instantânea de decomposição (K) e tempo necessário para decomposição.....	25
Tabela 5.	Áreas plantadas com pinus e eucaliptos no Brasil (ha) – 2000.....	37
Tabela 6.	Áreas de florestas de eucalipto e pinus no Estado de São Paulo.....	39
Tabela 7.	Áreas de plantios de florestas de pinus e eucalipto.....	40
Tabela 8.	Evolução dos plantios de pinus e eucalipto no Estado de São Paulo.....	40
Tabela 9.	Idade das áreas de plantio de pinus no Estado de São Paulo.....	41
Tabela 10.	Detentores das Áreas de reflorestamentos na Região Administrativa de Sorocaba.....	41
Tabela 11.	Comparação de três edifícios em madeira, aço e concreto.....	49
Tabela 12.	Valores obtidos pelo PER para materiais de construção.....	51
Tabela 13.	Conteúdo energético de alguns materiais de construção.....	51
Tabela 14.	Estoque de Carbono no Brasil.....	54
Tabela 15.	Sistemas de avaliação de materiais de construção e do edifício.....	56
Tabela 16.	Componentes construtivos do painel da Sede do Parque dos Mananciais em Campos do Jordão.....	60
Tabela 17.	Componentes construtivos do painel do Protótipo 001.....	61
Tabela 18.	Componentes construtivos do painel do Protótipo 002.....	62
Tabela 19.	Comparação do consumo energético para diferentes culturas agrícolas.....	63
Tabela 20.	Consumo energético no plantio de 1 hectare de eucalipto.....	64
Tabela 21.	Consumo energético no plantio de 1 hectare de pinus.....	65
Tabela 22.	Consumo energético na produção de madeira em toras seca por hectare (kWh/ha).....	65
Tabela 23.	Consumo energético por m ³ de madeira serrada de pinus e eucalipto (kWh/m ³).....	66
Tabela 24.	Consumo energético por m ² de acordo com o tipo de painel na fase da floresta.....	66
Tabela 25.	Dados de produção da Serraria A.....	72
Tabela 26.	Consumo energético para cada equipamento aferidos em metro linear na (kWh/m) - Serraria A.....	72
Tabela 27.	Seqüência de corte e Consumo energético para cada seção de madeira serrada – Serraria A.....	72
Tabela 28.	Resumo do consumo energético nas seções das toras analisadas (kWh).....	73
Tabela 29.	Resumo do consumo energético dos equipamentos na simulação da Linha I e Linha II (kWh/m).....	74
Tabela 30.	Consumo energético adotado por operação a partir das serrarias analisadas.....	75
Tabela 31.	Médias de consumo energético das linhas de produção I e II - peças de semibloco e costaneiras.....	76
Tabela 32.	Consumo energético das peças utilizadas nos três sistemas de vedação.....	78
Tabela 33.	Consumo mensal de aplainamento e fresamento.....	79
Tabela 34.	Consumo energético da plaina 4 faces por peça e por metro linear.....	79
Tabela 35.	Consumo energético da plaina 4 faces – Campos do Jordão.....	80
Tabela 36.	Consumo energético da plaina 4 faces – Protótipo 001.....	80
Tabela 37.	Consumo energético da plaina 4 faces – Protótipo 002.....	80
Tabela 38.	Consumo energético da operação serramento de destopo na serra circular portátil em madeira de pinus.....	81
Tabela 39.	Consumo energético da operação serramento de destopo – painel de Campos Jordão.....	81
Tabela 40.	Consumo energético da operação serramento de destopo – painel do Protótipo 001.....	82
Tabela 41.	Consumo energético da operação serramento de destopo – painel do Protótipo 002.....	82
Tabela 42.	Tempo médio gasto na operação de furação em peças de seção (6 x 12cm).....	83
Tabela 43.	Consumo energético por furo.....	83

Tabela 44.	Consumo energético por prego fixado.....	83
Tabela 45.	Consumo energético total das operações de destopo e pregação – painel Campos do Jordão.....	83
Tabela 46.	Consumo energético total das operações de destopo, furação e pregação – Protótipo 001	84
Tabela 47.	Consumo energético total das operações de destopo, furação e pregação – Protótipo 002	84
Tabela 48.	Consumo energético total da cadeia de produção de madeira serrada	84
Tabela 49.	Consumo energético total da cadeia de produção incluindo energia complementar	85
Tabela 50.	Total de resíduos gerados por mês na Serraria A	94
Tabela 51.	Produtos, produção e volume resíduo gerado em relação ao maciço nas serrarias analisadas.....	94
Tabela 52.	Volume total de resíduo gerado para a produção dos painéis - fase serraria	94
Tabela 53.	Volume de resíduo gerado na operação 4 faces – painel Campos Jordão	95
Tabela 54.	Volume de resíduo gerado na operação 4 faces – painel Protótipo 001	95
Tabela 55.	Volume de resíduo gerado na operação 4 faces – painel Protótipo 002	95
Tabela 56.	Volume de resíduo gerado por painel na fase de montagem – Campos do Jordão.....	96
Tabela 57.	Volume de resíduo gerado por painel na fase de montagem – Protótipo 001	96
Tabela 58.	Volume de resíduo gerado por painel na fase de montagem – Protótipo 002	97
Tabela 59.	Volume total de resíduo gerado por painel considerando fluxo completo de produção	97
Tabela 60.	Consumo energético nas quatro fases de produção de parede dupla de madeira serrada.....	102
Tabela 61.	Conteúdo energético da produção de painéis de madeira serrada - serraria e beneficiamento.....	103
Tabela 62.	Conteúdo energético para a produção de painéis de madeira serrada – floresta a montagem	103
Tabela 63.	Energia embutida nos resíduos gerados (Mcal)	108

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Depósito de resíduo invadindo a área de preservação e o curso d'água – Município de Itararé.....	2
Figura 2.	Área de estudo – municípios de Itapeva e Itararé.....	10
Figura 3.	Consumo de madeira industrial em toras no Brasil (1.000m ³).....	16
Figura 4.	Produção de carvão vegetal no Brasil (1.000 mdc).....	17
Figura 5.	Consumo de toras para produção de madeira serrada no Brasil (1.000m ³).....	17
Figura 6.	Consumo de toras para produção de laminados e compensados no Brasil (1.000m ³).....	17
Figura 7.	Esquema do balanço hídrico - vegetação natural de cerrado e plantação de eucalipto e pinus	20
Figura 8.	Representação esquemática da acumulação de nutrientes.....	23
Figura 9.	Fluxograma das perdas de solo e nutrientes em atividades silviculturais.....	24
Figura 10.	Áreas plantadas de pinus e eucalipto no Brasil (ha).....	37
Figura 11.	Concentração de áreas reflorestadas no Estado de SP	38
Figura 12.	Região Administrativa de Sorocaba	38
Figura 13.	Pólo de Reflorestamento Itapeva/Capão Bonito/Buri.....	38
Figura 14.	Áreas de florestas de eucalipto e pinus no Estado de São Paulo.....	39
Figura 15.	Evolução dos plantios de pinus e eucalipto no Estado de São Paulo.....	40
Figura 16.	Detentores das Áreas de reflorestamentos na Região da Sorocaba.....	41
Figura 17.	Cadeia de Produção da Madeira.....	47
Figura 18.	Cadeia produtiva da madeira serrada para a produção habitacional.....	47
Figura 19.	Consumo de energia renovável e não renovável.....	52
Figura 20.	Protótipo 001.....	59
Figura 21.	Protótipo 002.....	59
Figura 22.	Sede Administrativa do Parque dos Mananciais.....	59
Figura 23.	Projeto Campos do Jordão - Ossatura do painel/janela.....	60
Figura 24.	Componentes do sistema de vedação do Protótipo 001.....	61
Figura 25.	Componentes do sistema de vedação do Protótipo 002.....	62
Figura 26.	Layout da serraria A e sequência de corte.....	68
Figura 27.	Seqüência do fluxo de produção Serraria A	69
Figura 28.	Seqüência de corte – simulação de corte de uma tora de 21cm de diâmetro	70
Figura 29.	Resíduos gerados na cadeia de produção de madeira serrada.....	86
Figura 30.	Posição correta para o corte.....	88
Figura 31.	Desperdício devido a rachadura.....	88
Figura 32.	Seção transversal da tora sendo cortada em serra quádrupla e desenho da área de material removido	90
Figura 33.	Seção transversal do semibloco sendo cortado em serra múltipla e desenho da área de material removido	91
Figura 34.	Serra de fita horizontal e desenho da área de material removido.....	92
Figura 35.	Seção transversal sendo cortada em serra circular dupla e desenho da área de material removido.....	92
Figura 36.	Seção transversal da costaneira sendo cortada em serra fita e desenho da área de material removido	93
Figura 37.	Serra circular dupla de destopo e resíduos - serragem e destopo	93
Figura 38.	Fluxograma de entrada de energia em cada etapa do fluxo produtivo da madeira serrada.....	102
Figura 39.	Fluxograma de entrada de energia e saída de resíduos gerados no fluxo produtivo da madeira serrada.....	107

RESUMO

O setor da construção civil é hoje considerado não somente o maior consumidor de recursos e energia, mas também o maior gerador de resíduos nos centros urbanos. Uma reformulação no setor faz-se necessária para a melhoria dos processos de produção e prevenção dos efeitos da poluição. Estas mudanças são essenciais para que se desenvolvam tecnologias construtivas mais limpas e mais eficientes, que reduzam os impactos ao meio ambiente através de um uso mais racional dos recursos naturais (com menor consumo energético e diminuição dos resíduos gerados), minimizando o desperdício de matéria-prima já escassas.

Este trabalho foi realizado a partir de dados coletados em 10 serrarias que processam madeira serrada de pinus na Região Administrativa de Sorocaba. Nesta região concentra-se atualmente o maior potencial madeireiro do Estado de São Paulo, 42,3% de toda a área de florestas plantadas do Estado, sendo também o maior centro produtor de pinus do Estado, com 58,5%. Esses dados foram convertidos para o cálculo do consumo energético no processamento do eucalipto.

Dada a relevância do consumo de energia e a quantidade de entulhos gerados pelo setor da construção civil, o presente trabalho tem como objetivo analisar, dentro da cadeia produtiva da madeira serrada, o consumo energético e os resíduos gerados na produção de componentes construtivos utilizados em painéis de vedação para casas de madeira. Foram analisadas peças de seções comerciais utilizadas em três tipos diferentes de painéis. Dois destes sistemas pré-fabricados, executados na cidade de São Carlos - SP, possuem sistema estrutural em madeira serrada de eucalipto com paredes duplas de pinus. Um deles possui na face interna, lambri e, na externa, *deck* horizontal, enquanto o outro sistema construtivo possui na face interna, lambri e, na face externa, tábua mata-junta. O terceiro sistema de vedação, construído em Campos do Jordão - SP, é composto por estrutura em pórticos de madeira serrada de pinus com paredes externas de fechamento duplo de lambri de 2,2 cm de espessura. A parede interna é simples com apenas uma camada de lambri de igual espessura.

O consumo de energia foi medido para cada tipologia de painel construído, calculando-se o número de operações de corte e a potência de cada equipamento envolvido. Os resíduos gerados foram obtidos a partir do cálculo da área de material particulado removido. O índice de desempenho energético foi aferido em kWh por metro quadrado de painel (energia) e em metros cúbicos por metro quadrado de painel (resíduo). Estes resultados poderão vir a ser comparados com diferentes materiais de construção utilizados em sistemas de vedação, assim como fornecer informações para análise do grau de sustentabilidade na produção de um edifício de madeira em relação ao consumo energético.

Palavras chaves: índice de desempenho energético, resíduos gerados, painéis, habitação de madeira

ABSTRACT

The civil construction sector today is considered not only the greatest consumer of material and energy resources in urban centres, but also a major generator of waste. The sector needs a reformulation for the improvement of production processes and for the prevention of pollution. It is therefore essential to consider cleaner and more efficient technological processes, i.e., to decrease environmental impacts through a more rational use of resources (with lower consumption of energy and less production-related waste), minimizing the squandering of scarce resources.

The study reported on here was based on data collected from ten pine sawmills in the region of Sorocaba, state of São Paulo, Brazil. This region currently possesses the greatest potential for sawed wood in the state of São Paulo, 42.3% of all the forest planted in State, and is the state's largest pinewood producer, about 58.5%. Those datas were also aplicated to calculate the energy consumed for sawn eucalyptus pieces.

Given the relevance of energy consumption and the quantity of produced rubbish by the construction sector, the purpose of this work is to analyse the consumption of energy and the produced waste in the productive cycle of boards for wooden housing, from the cutting stage, processing, and prefabrication of components to the assembly of wall panels. This study involved wooden boards of commercial dimensions applied in three different types of panelling in three buildings. Two of these prefabricated systems, executed in the city of São Carlos, have a structural system made of sawn eucalyptus wood with double walls of pine. One of them is lined internally with wainscoting and externally with horizontal decking, while the other system has internal wainscotting and external match boarding. The third system, built in Campos de Jordão, is composed of a structural framework of sawed pine, with external double shutter walls of 2.2 mm match boarding and simple internal walls consisting of a single layer of 2.2 mm thick match boarding

The consumption of energy was measured for each kind of board produced, calculated from the number of cutting operations and the power of each machines involved. The produced waste was calculated by the area of removed particulate material. The energy performance index were expressed in kWh consumed per square meter of wood panel produced (energy) and in m³ produced per square meter of wood panel produced (waste). These data will serve as the basis for a comparison with various types of construction materials used in wall systems (concrete, brick and others), and provide information for the analysis of the sustainability of wooden construction systems from the standpoint of energy consumption.

Keywords: energy performance index, produced waste, boards, wooden houses

1 | CAPÍTULO INTRODUTÓRIO

O presente trabalho vem de encontro a necessidade de serem descobertas soluções para o atual estado de degradação em que se encontra o meio ambiente. Visa contribuir para o entendimento de que a conquista de relativa qualidade de vida futura é dependente de mudanças de atitude de profissionais, das comunidades e, sobretudo, das autoridades administrativas na capacidade de desenvolver políticas públicas integradas ao gerenciamento das questões ambientais.

A indústria da construção civil representa hoje uma das atividades de maior impacto ao meio ambiente. Vários estudos demonstram que grande parte destes impactos são provocados pela expansão rápida e desordenada dos centros urbanos. Dentre os danos causados ao meio ambiente pelo setor destacam-se o assoreamento dos rios e mananciais, devido principalmente ao desmatamento e extração de recursos naturais, a contaminação do solo e dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos e a poluição atmosférica.

Apesar dos países em desenvolvimento serem provavelmente responsáveis pelos maiores danos ao ambiente biofísico, devido aos menores níveis de industrialização do setor da construção, em praticamente todos os países o setor da construção civil representa hoje uma incontestável ameaça ao meio ambiente. Com mais de 110 milhões de empregados no mundo todo, sendo que 74 por cento deste montante somente nos países de baixa renda, a construção representa o maior setor industrial do globo. O ambiente construído é responsável também por mais da metade do capital real e as construções representam a maior parte do Produto Interno Bruto dos países (10 a 12% na União Européia) (CIB & UNEP-IETC, 2003).

O setor da construção tem uma estreita relação com o meio físico dada a demanda de recursos naturais, em especial os não renováveis relacionados ao rápido crescimento populacional. A indústria da construção é hoje o maior consumidor de recursos - energia e matéria-prima. *Estima-se que as construções consumam cerca de 40% do total de energia do país, sejam responsáveis por 30% das emissões de CO₂ e gerem aproximadamente 40% de todos os resíduos produzidos pelo homem* (CIB, 1999).

Segundo dados fornecidos pela publicação da Secretaria do Meio Ambiente sobre Aspectos Ambientais Urbanos dos Municípios do Estado de São Paulo (1998), cerca de 70% dos municípios apresentam graves problemas com a poluição das águas, sendo um dos fatores de degradação dos recursos hídricos as atividades minerárias. Entre as mineradoras analisadas no Estado de São Paulo, consta que as principais são destinada à construção civil (areia, argila e brita), causando graves problemas às várzeas de rios, córregos, mananciais, fauna e flora, eliminando a cobertura vegetal, provocando o deslizamento

das margens dos rios, o assoreamento e a degradação visual pelo abandono das áreas após a exploração.

Em áreas urbanas, na implantação de novas construções, principalmente habitações, o ecossistema é destruído e o solo compactado. As árvores são muitas vezes quase que totalmente removidas dando lugar a solos erodidos e a extinção de pequenos cursos d'água e nascentes. Segundo SUNDQUIST – CIB (2000), erosões e outras formas de degradação do solo roubam no mundo todo de 70.000 a 140.000 km² por ano de terras não edificadas. A urbanização sozinha é responsável pela perda de 20.000 a 40.000 km² por ano.

Outro fator agravante à degradação ambiental causada pela indústria da construção civil é a quantidade de resíduos sólidos produzidos em seu processo de transformação, mesmo considerando a capacidade de reutilização e reciclagem do mesmo, no final do processo de produção ou em cada uma das etapas da cadeia produtiva. Os resíduos gerados no processo de transformação da matéria-prima e os entulhos gerados na construção e demolição das edificações, apesar de serem considerados inerte, representam enorme volume de material, tanto em países em desenvolvimento quanto nos desenvolvidos superando, muitas vezes, os resíduos sólidos urbanos. De acordo com CIB & UNEP-IETC (2003) a maior quantidade de resíduos gerados são originados da indústria cimenteira. Os resíduos do setor da construção freqüentemente são lançados em represas, cursos d'água e valas. Na **Figura 01** observa-se a situação encontrada em 1993 em uma das serrarias analisadas na região de estudo. Atualmente estes depósitos de resíduos foram notavelmente reduzidos, pois a maior parte deste material é vendido para queima e geração de energia e outras indústrias produtoras de cal, cerâmica e celulose, muitas instaladas principalmente na própria região.

Figura 1. Depósito de resíduo invadindo a área de preservação e o curso d'água – Município de Itararé

Os resíduos produzidos na demolição de edificações, segundo SZOKOLAY (1997) podem ser substancialmente reutilizados ou reciclados. Muito pode ser feito no estágio do projeto para assegurar

que pelo menos alguns materiais possam ser utilizados de maneira mais racional, contribuindo para se reduzir a geração de resíduos.

LAWSON (1997) estima que na Europa, apesar de em média somente 5% dos resíduos sólidos das construções serem reciclados, de todo material utilizado até 75% é passível de ser reaproveitado. Afirma ainda que na Austrália cerca de 40% dos materiais de construção já estão sendo reciclados de alguma forma.

Outro aspecto de suma importância para a análise do impacto ambiental neste setor é a energia usada durante o tempo de vida de uma construção, proveniente muitas vezes de recursos fósseis e de alto poder poluidor. De acordo com CANADIAN WOOD COUNCIL (1997), no Canadá, a energia usada para aquecimento, resfriamento, ventilação e iluminação nos edifícios representam mais que 30% do consumo nacional. Por esta razão, na escolha dos materiais de construção e na elaboração do projeto, deve ser necessariamente considerado o consumo de energia, tanto para a fabricação quanto para a eficiência no uso da edificação.

Na Austrália, as edificações são responsáveis por cerca de 25% de todo o consumo de energia no país, nos Estados Unidos em torno de 40% e no Reino Unido cerca de 45%. (SZOKOLAY, 1997).

De acordo com PRESCO (1999), em cidades européias, o consumo de energia nos setores residenciais (incluindo educação, recreação, saúde, serviços e outros) corresponde a 40% do consumo total da cidade, sendo o restante dividido em cerca de 30% para a indústria e 30% para o setor de transporte.

Quando analisado o material isoladamente, estima-se que o aço é um dos maiores consumidores de energia. Juntos o aço e o ferro são responsáveis por 4,1% da energia global utilizada. Cabe lembrar que estes materiais também utilizam em seu processamento grandes quantidades de água (CIB & UNEP-IETC, 2003). Na **Tabela 1** estão apresentados alguns valores de consumo de energia na produção de materiais no Brasil.

Tabela 1. Índice energético na produção de materiais de construção no Brasil

Material	KWh/Kg	KWh/m ³
madeira serrada	0,7	350
cimento	1,4	1.750
concreto	0,3	700
tijolo	0,8	1.360
aço	5,9	46.000
PVC	18,0	24.700
alumínio	52,0	141.500

Fonte: CIB & UNEP-IETC, 2003

A energia consumida no processamento destes materiais, especialmente nos países desenvolvidos, é praticamente em sua totalidade obtida a partir de combustíveis fósseis, liberando grandes quantidades de CO₂.

PRESCO (1999) e CIB (1999) afirmam que, a partir de estudos realizados em cidades européias, as emissões de CO₂ pelo setor da construção civil são altamente relevantes atingindo cerca de 30% das emissões totais das cidades.

Dois dos materiais responsáveis pelo alto consumo energético e emissões de CO₂ são o concreto e o aço que são a base das construções modernas. O cimento é ainda usado duas vezes mais que o total de todos os outros materiais de construção, incluindo madeira, aço, plástico e alumínio. O cimento é depois dos combustíveis fósseis, o maior contribuinte antropogênico para a emissão de gases causadores do efeito estufa. A produção de cimento, ferro, aço, e metais ferrosos, assim como outros materiais como o vidro, cal e tijolos são também responsáveis por 20% das emissões de dioxinas e furanos, isto excluindo o PVC, tintas, selantes, plásticos e preservativos de madeira (CIB & UNEP-IETC, 2003).

Outra importante fonte geradora de CO₂ são as extensas queimadas das florestas nas regiões Centro e Norte do país, assim como os desmatamentos. De acordo com RICHTER & HOFER (1996), as atividades humanas utilizam mundialmente 6 milhões de toneladas de carbono por ano. Destes, aproximadamente 5 milhões de toneladas provêm do consumo de energia fóssil e 1 milhão de toneladas da queima de florestas, provocando um aumento na concentração de CO₂ em 0,5% por ano na atmosfera.

O Brasil apesar de ser um dos países que possuem como fonte principal de energia as hidrelétricas, consideradas de baixa emissão de CO₂, possui outras grandes fontes emissoras de CO₂, como a indústria de cimento (6 a 8% do CO₂ produzido no país), transporte (1% das emissões mundiais), e as extensas queimadas das florestas (cerca de 9% das emissões mundiais) (GREENPEACE, 2000; JOHN, 2000).

1.1. JUSTIFICATIVA

Neste contexto apresentado, onde o setor da construção é responsável por proeminente geração da carga tóxica global e inúmeros impactos ao meio ambiente, faz-se necessário pesquisar materiais e seus processos de transformação, assim como estratégias de comercialização e uso que possam reduzir esses impactos. Uma das prioridades do setor rumo ao desenvolvimento sustentável é a redução do uso dos recursos, não apenas pela possibilidade de exaustão ou escasseamento de muitos destes, mas principalmente pelos danos causados na extração e no processamento dos mesmos. A minimização dos danos causados ao meio ambiente pode ser alcançada de diversas formas, diretas e indiretas, como:

- a redução do uso de materiais descartáveis na construção (fôrmas para concreto, pontaletes, etc.). Neste sentido o gerenciamento, o *design* e as técnicas construtivas têm uma grande influência na velocidade deste descarte, possibilitando a redução de custos e tornando as habitações mais adequadas. As técnicas tradicionais, na medida do permitido, devem ser incorporadas aos processos mais modernos de produção e, constatada a impossibilidade de aproveitá-las, novos materiais e técnicas devem ser desenvolvidos (CIB & UNEP-IETC, 2003);

- a redução dos resíduos gerados desde a extração da matéria-prima até a montagem do edifício. Aumentar o uso de resíduos recicláveis, reaproveitando-os ao longo da cadeia produtiva, representa significativos benefícios ao meio ambiente, como a redução do consumo de recursos naturais, a redução das áreas necessárias para recebimento de materiais de descarte e a otimização da energia consumida para a produção dos materiais;
- maior eficiência energética nos edifícios, que pode ser alcançada com cortes de consumo e da energia embutida nos materiais. A redução do consumo energético no processamento dos materiais e componentes construtivos ao uso do edifício, pode ser atingida por melhorias tecnológicas, pelo desenvolvimento de um código de energia, pela melhoria dos sistemas de ventilação, iluminação e aquecimento da água e pelo uso de energias alternativas (CIB & UNEP-IETC, 2003), procurando reduzir o uso da energia fóssil nos diversos setores da construção civil, principalmente no aproveitamento dos materiais locais para minimizar o impacto causado pelo transporte;
- conservação da água, através da educação ambiental, *design* e mudanças técnicas, desenvolvendo, por exemplo, sistemas de reuso da água, aproveitamento de água da chuva, tecnologias para economizar água entre outros (CIB & UNEP-IETC, 2003);
- trabalhar os aspectos de durabilidade e manutenção dos edifícios. O aumento da vida útil dos edifícios é um dos grandes desafios para se aumentar a sustentabilidade da indústria da construção. É necessário ainda se pensar em edifícios flexíveis e com possibilidades de ampliação;
- desenvolvimento de produtos, atividades e processos de produção que venham reduzir as emissões de gases causadores do efeito estufa, em especial o CO₂ e;
- desenvolvimento de produtos menos agressivos em substituição aos produtos tóxicos.

Um dos caminhos que pode ser trilhado é o incentivo de uso de materiais a base de fontes renováveis, como a madeira de reflorestamento que, em comparação ao aço e ao concreto, como relatado anteriormente, em muitos aspectos, representa uma alternativa mais viável do ponto de vista ambiental. Segundo MOREIRA (1999), a madeira é um importante exemplo de implantação de biotecnologias preventivas, ou seja, tecnologias que possibilitem a substituição de materiais considerados de alto impacto por outros que evitem ainda maior degradação do meio ambiente, como aço, ferro e concreto.

Outro aspecto relevante da madeira é a possibilidade de reaproveitamento e reciclagem dos resíduos nas etapas da cadeia produtiva ou mesmo no final do processo de produção, resultando em menor quantidade de resíduos nocivos ao meio ambiente no final da cadeia.

A madeira ainda desempenha um importante papel no estoque de carbono pelas florestas e derivados da madeira e, por requerer menor consumo energético em seu processamento, contribui para reduzir a

emissão de gases causadores do efeito estufa, uma característica importante para classificação dos materiais em relação ao impacto ao meio ambiente.

As decisões no modo de produção devem considerar a energia embutida e o peso que este representa para o meio ambiente. Na Alemanha, por exemplo, de acordo com a legislação, os arquitetos e engenheiros devem considerar também: o planejamento urbano, o design, a funcionalidade do edifício, a tecnologia, as características físicas das construções, a economia, os gastos com energia e a ecologia da paisagem. Em relação às exigências no uso da energia é requerida a eficiência do uso e a utilização de energias renováveis. A madeira, no código alemão, foi classificada como um dos materiais de construção que satisfaz ambas as exigências (VOLZ, 1998).

Segundo WINTER (1998), usando a madeira para construção economiza-se a quantidade de energia em duas etapas: uma na formação da matéria-prima que se faz através da absorção da energia solar (fotossíntese) e a outra com o baixo consumo de energia necessária para a transformação da madeira. A utilização da madeira apresenta ainda outra vantagem em relação ao consumo de energia, que é a possibilidade de aproveitamento de seus resíduos como energia calorífica.

Outro importante indicador de sustentabilidade que influencia diretamente na classificação dos materiais em relação aos danos ambientais é a quantidade de resíduos sólidos produzidos em seu processo de transformação, considerando ainda a capacidade de reutilização e reciclagem do mesmo, no final do processo de produção ou em cada uma das etapas da cadeia produtiva. De acordo com CANADIAN WOOD COUNCIL (1997), a manufatura dos produtos da madeira produz pouco resíduo em comparação a outros materiais e os mesmos (cascas, cavaco e pó-de-serra) podem ser reutilizados ou reciclados na produção de outros derivados da madeira: compensado, placas, MDF e outros (WEGENER & ZIMMER, 1998).

As florestas cobrem cerca de 39% da superfície da terra e armazenam cerca de 85% de todo carbono orgânico vivo. A extrema importância das florestas para o equilíbrio de carbono global está no interior das árvores e no solo onde há mais carbono estocado do que o existente atualmente na atmosfera (HOUGHTON, 1995).

Com o ciclo completo de uma floresta sendo derrubada, seguido por recrescimento e recuperação completa da mesma, não ocorre nenhum ganho em termos de balanço de CO₂ livre na atmosfera em relação ao fixado na biomassa, contudo, se a madeira cortada for usada em construções, mobília e outros produtos duradouros, haverá um considerável acúmulo líquido positivo de carbono na terra, contribuindo para a redução das taxas de CO₂ na atmosfera.

Portanto, na dimensão ecológica da sustentabilidade, sendo a árvore um agente natural de estocagem de carbono e considerando o uso prolongado desta matéria-prima, a utilização da madeira representa grandes ganhos para o meio ambiente. Com o plantio de árvores retira-se da atmosfera o excedente já

liberado de CO₂ e através da transformação desta matéria-prima em bens mais duráveis forma-se um estoque de carbono. Essa transformação contribui, ainda, para a diminuição das emissões de CO₂ devido ao seu processamento de menor consumo energético, em relação aos outros materiais.

Segundo RICHTER (1998) a madeira, além de contribuir para minimizar o efeito estufa quando prolongada a vida útil do material na construção, tem a possibilidade de ser usada como combustível, substituindo o uso intensivo de combustíveis fósseis.

A liberação de dióxido de carbono pela queima do combustível fóssil é feita sem que haja a possibilidade de reposição. No caso do uso do carvão vegetal essa reposição pode ser feita pelos reflorestamentos, absorvendo novamente o que foi liberado. Portanto, o uso do carvão vegetal é mais vantajoso, do ponto de vista ambiental, do que o do carvão mineral (REIS et al.).

O uso da madeira de reflorestamento contribui inegavelmente para o equilíbrio do meio ambiente: permite a proteção ao uso intensivo das florestas nativas, protege os solos, as nascentes e cursos d'água quando corretamente manejadas, contribui para a diminuição do efeito estufa com a retenção de CO₂ da atmosfera, além de representar um produto competitivo na economia globalizada (BRANDÃO, 1997).

Conclui-se que a madeira possui um potencial de utilização como material de construção que pode ser altamente favorável ao meio ambiente por representar um recurso renovável, não fóssil, de baixa demanda energética em seu processo de produção e com grandes possibilidades de aproveitamento do poder calorífico dos resíduos produzidos, além de ter um importante papel como medida estratégica na diminuição da concentração de CO₂ na atmosfera.

O incentivo aos reflorestamentos (com manejo florestal adequado às diversas regiões) e ao uso da madeira de reflorestamento na produção habitacional, representa ainda uma alternativa para solucionar problemas habitacionais, com potencial gerador de trabalho e renda. Possibilitaria a promoção de maior desenvolvimento às regiões produtoras de madeira, além de reafirmar a sua importância rumo à concretização de soluções construtivas mais amigáveis ao meio ambiente.

De acordo com CIB & UNEP-IETC (2003) existe ainda uma relação direta de sustentabilidade econômica deste setor com os impactos ambientais. Na indústria da construção economicamente eficiente aumenta-se a sustentabilidade ambiental garantindo menor custo de produção e garantindo ainda melhor locação dos recursos naturais, além de contribuir para a menor produção de resíduos.

1.2. HIPÓTESE

A cadeia produtiva da madeira de plantios florestais para a produção de habitação e componentes construtivos possui baixo impacto ambiental em relação ao *consumo de energia* e aos *resíduos gerados*, considerando que estes últimos possam ser reaproveitados novamente, seja em forma de energia, na

própria serraria e em outras indústrias, seja como subprodutos da madeira para a elaboração de outros materiais.

1.3. OBJETIVO GERAL

Gerar dados que permitam analisar o grau de sustentabilidade, na sua dimensão ecológica, para a produção de habitação de madeira proveniente de florestas plantadas, verificando o consumo energético (principal foco da pesquisa) e os resíduos gerados em cada etapa de produção da madeira serrada em regiões de potencial florestal e madeireiro.

1.4. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Definir os indicadores a serem aplicados para gerar informações sobre o fluxo produtivo da madeira serrada na Região Sudoeste do Estado de São Paulo;
- Gerar e analisar informações das etapas de produção para a produção de habitação em madeira - **sub-sistema de vedação**, quanto ao uso dos recursos energéticos dentro da cadeia produtiva da madeira (colheita da matéria-prima na floresta, processamento, construção/montagem).
- Produzir informações em relação ao potencial energético que permitam mensurar o grau de recuperação energética através da energia embutida nos resíduos gerados no processo de transformação da madeira;
- Quantificar e analisar os *resíduos gerados* nas várias etapas do processamento da madeira serrada, pinus e eucalipto, na produção de componentes construtivos para o sub-sistema de vedação;
- Comparar, através de dados de pesquisa de diversos autores, a energia consumida nas várias etapas de madeira serrada, com os valores obtidos no presente trabalho.

1.5. METODOLOGIA

Em relação à metodologia foi utilizada a *Análise do Ciclo de Vida (ACV ou LCA – Life Cycle Analysis)*, baseada em dados coletados em nosso país. A LCA foi estabelecida na década de 90 pelas agências ambientais dos países da Europa e América do Norte para a produção de dados de processos de produção visando a melhoria de desempenho dos materiais, a orientação de profissionais e a atribuição de certificações ambientais de edifícios. Contudo, os dados produzidos em países desenvolvidos raramente permitiram comparações diretas com os materiais e componentes produzidos no Brasil pelas diferenças encontradas nos processo produtivos, nas tipologias construtivas e nas matérias-primas

utilizadas. Desta maneira o LCA foi apenas utilizado como uma referência para se desenvolver uma metodologia apropriada à realidade da indústria da construção civil no Brasil. Contribuiu assim, de maneira efetiva, na sistematização de informações objetivas que permitem a identificação do grau de impacto ambiental na utilização da madeira de reflorestamento para a produção de habitações e componentes construtivos, assim como na classificação da mesma frente aos demais materiais de construção.

A metodologia fundamentada na análise da cadeia global de produção de madeira serrada foi dividida em três grandes etapas, apresentadas na **Tabela 2**, são elas:

- *Revisão Bibliográfica;*
- *Pesquisa de Campo;*
- *Avaliação e aplicação de Dados Coletados / Conclusão.*

A **Revisão Bibliográfica** aborda basicamente os critérios, princípios e definições de desenvolvimento sustentável e sua aplicação no setor da construção civil e na produção florestal, assim como aspectos sobre impacto ambiental da construção civil e das monoculturas florestais. Na pesquisa bibliográfica foram levantados dados a respeito de alguns indicadores de sustentabilidade, como a produção de resíduos, o consumo de energia, a emissão de gases e o uso de produtos tóxicos, indicadores estes utilizados para classificar os materiais e técnicas construtivas, fornecendo informações científicas para posteriores comparações entre materiais de construção como tijolo, concreto e aço, entre outros.

Os dados a respeito do fluxo produtivo da madeira encontrados na literatura científica serviram parcialmente como comparação aos dados processados durante a pesquisa de campo, pois existe considerável variação dos resultados uma vez que estes são dependentes de muitas e diferentes condicionantes para o seu levantamento, como local, equipamentos e qualidade da matéria-prima, entre outros fatores.

Dentro da análise da cadeia produtiva da madeira serrada, somente a etapa da floresta foi exclusivamente elaborada a partir de dados encontrados na literatura existente; nas demais fases além de levantamentos bibliográficos foram feitas pesquisas de campo. Foram ainda levantados critérios para avaliação do desempenho ambiental na produção habitacional utilizados em diversos países industrializados (Capítulo III).

Na Segunda etapa – **Pesquisa de Campo**, foram definidas as áreas de estudo e traçado um planejamento para início das atividades de coleta de dados. As áreas de estudo estão concentradas na região Sudoeste do Estado de São Paulo, onde se desenvolve grande parte das atividades madeireiras, de produção de pinus e eucalipto, mais especificamente nos municípios de Itapeva e Itararé (**Figura 2**).

Figura 2. Área de estudo – municípios de Itaipava e Itararé

A partir dos indicadores de sustentabilidade levantados na Revisão Bibliográfica foram definidos os indicadores **consumo de energia** e **resíduos gerados** (Capítulo III), por fazerem parte de qualquer processo produtivo, representando dois dos maiores danos causados ao meio ambiente pelo setor da construção no Brasil. Para tanto serão analisados três tipologias diferentes pertencentes a três projetos executados pelo Grupo Habis. Cabe salientar que maior enfoque foi dado à questão energética, sendo quantificada a energia consumida em cada operação do processamento da madeira. O volume do resíduo foi calculado considerando-se o volume original das toras, o volume da madeira serrada aproveitável, o volume do material particulado removido das toras (através da análise da espessura das lâminas utilizadas nos equipamentos de corte) e as sobras de peças menores descartáveis incluindo costaneiras. A esse montante de resíduo foi atribuída uma quantidade de energia considerada desperdiçada. Tendo em vista estes dois aspectos a serem analisados na cadeia produtiva da madeira, esta etapa de coleta foi dividida em três fases distintas:

- **serraria:** etapas e atividades desenvolvidas dentro das serrarias para transformação da matéria-prima bruta (desdobro, serramento e destopamento). As atividades de secagem ocorrem ao ar livre (em sistema de secagem em varal) não havendo consumo de energia elétrica. Na fase de tratamento apenas peças estruturais foram autoclavadas sendo que as demais receberam tratamento apenas por pincelamento o que resultou em baixa demanda energética;
- **beneficiadora:** processamento secundário da madeira, em geral nos locais mais próximos ao canteiro de obras. Nesta fase foi analisado o consumo de energia e calculado o resíduo gerado em plaina quatro faces.

- **canteiro de obras:** montagem das casas e/ou componentes construtivos. Nesta fase foram coletados dados dos equipamentos de *pregação* – pinador pneumático, *destopamento* – serra circular portátil e *furação* – furadeira portátil.

Posteriormente, no Capítulo IV e V, é descrita a metodologia específica para cada fase do trabalho (serraria, beneficiadora e canteiro de obras), devido a complexidade de informações necessárias para a coleta de campo e aplicação dos resultados obtidos.

A etapa de **uso e manutenção** do edifício não foi inserida no presente trabalho como parte integrante da cadeia produtiva da madeira devido a vários aspectos como a necessidade de acompanhamento da vida útil das edificações ao longo do tempo, a necessidade da análise dos fatores que envolvem a reposição de peças, entre outros, fazendo que esta etapa deva ser analisada em pesquisa específica de pós-ocupação.

A coleta de dados iniciou-se pela etapa das **serrarias** nos Municípios de Itapeva e Itararé, com a formalização da parceria (em março de 2001) entre as universidades USP e UNESP e 10 serrarias selecionadas na região através do Programa PATME - SEBRAE¹. O referido projeto vem de encontro ao potencial florestal e madeireiro da região (43 serrarias em Itapeva e 16 em Itararé) e a necessidade do aumento de produtividade com melhoria da qualidade e redução de custos associados às questões ambientais (geração e emprego dos resíduos não aproveitados na cadeia de produção, GONÇALVES et al, 2002). Algumas etapas e atividades de coleta de dados do projeto SEBRAE foram traçadas com o objetivo comum ao trabalho de doutorado, como:

- Desenhar o *layout* das serrarias e entender o fluxo de produção da madeira serrada;
- Quantificar e classificar as toras utilizadas em relação ao volume de m³ de madeira serrada produzidos por mês (relação mst por m³/mês);
- Quantificar o resíduo gerado no processo de transformação da madeira, sendo que as informações sobre resíduos foram coletadas em cada uma das etapas de transformação da madeira;
- Quantificar o *consumo de energia elétrica global* na entrada da rede da indústria (incluindo o setor de produção, administração, almoxarifado, iluminação em geral, etc.), através de um analisador de energia (equipamento da marca Yokogawa);
- Quantificar o *consumo de energia elétrica local* em cada etapa de produção na serraria, se atendo ao setor de transformação da madeira, através de alicate amperímetro (equipamento da

¹ Programa de Apoio Tecnológico de pequenas e médias empresas - título do projeto “Caracterização de resíduos e otimização de processos produtivos em indústrias madeireira”

marca *Alfa*, denominação utilizada recorrentemente neste trabalho e deve ser entendida como sinônimo de alicate amperímetro) que propicia a mensuração do consumo por equipamento ou motor.

A terceira etapa ***Avaliação e aplicação dos dados coletados*** (Capítulo IV e V) descreve como os dados coletados foram posteriormente transferidos para se calcular o consumo energético das peças descritas nos três projetos selecionados e a energia embutida nos resíduos gerados. Elaborou-se para esse fim, a simulação de duas linhas de produção, uma vez que as seções produzidas na região de estudo não correspondiam às mesmas seções dos painéis avaliados.

A seguir será apresentada a ***Tabela 2*** que ilustra as etapas de trabalho com as respectivas metodologias aplicadas e os resultados obtidos.

Tabela 2. Etapas; Material e Método e Resultados Obtidos (produtos)

Revisão Bibliográfica	ETAPAS	MATERIAL E MÉTODO	RESULTADOS (PRODUTOS)
	1. O setor Florestal	<ul style="list-style-type: none"> Análise do material bibliográfico existente a respeito das monoculturas florestais e seus impactos, do uso sustentável dos plantios de florestas industriais e do potencial florestal do Estado de São Paulo; Obtenção de dados referentes aos resíduos e energia gerada. 	<ul style="list-style-type: none"> Estudo sobre o impacto das florestas industriais em relação a qualidade da água e equilíbrio hídrico, ciclagem de nutrientes, biodiversidade e problemas sócio-econômicos; Princípios, conceitos de sustentabilidade; Análise do potencial florestal do Estado de São Paulo.
	2. O setor da Construção	<ul style="list-style-type: none"> Levantamento de literaturas relacionadas aos critérios, princípios, definições de sustentabilidade, análise do ciclo de vida dos materiais de construção, através de pesquisa em bibliotecas e em web sites; Levantamento dos critérios utilizados em diversos países para avaliação do desempenho ambiental na produção de materiais e de edificações, através dos <i>softwares</i> e da bibliografia existentes; Levantamento dos indicadores utilizados para avaliação do desempenho ambiental de materiais de construção em geral e da madeira serrada, assim como da edificação; Levantamento do fluxo produtivo da madeira serrada para a produção de componentes construtivos utilizados em casas de madeira; Levantamento mais específico de publicações sobre os indicadores selecionados (consumo de energia e resíduos gerados), utilizando-se alguns princípios do método de análise LCA – “Life Cycle Analysis”, compostos basicamente pelas seguintes etapas: colheita na floresta, serragem, processamento/beneficiamento e montagem. 	<ul style="list-style-type: none"> Revisão bibliográfica sobre os aspectos da sustentabilidade no setor da construção; Estudo sobre critérios de avaliação de desempenho ambiental dos materiais na construção e na produção de habitação; Quadro comparativo de aspectos/indicadores de desempenho ambiental dos materiais e da construção analisados na literatura pertinente incluindo a madeira serrada; Fluxogramas das etapas da cadeia produtiva na utilização da madeira serrada para construção.
	3. O Objeto de estudo	<ul style="list-style-type: none"> Levantamento dos possíveis projetos a serem estudados, e após definidos os três sistemas construtivos, compilação de todos os dados sobre a produção dos mesmos. O material necessário para este estudo foi obtido a partir de relatórios dos projetos executivos e dos diários de campo na execução das obras. 	<ul style="list-style-type: none"> Descrição e detalhamento dos componentes construtivo existentes sobre os projetos e sub-sistemas selecionados para análise.

ETAPAS		MATERIAL E MÉTODO	RESULTADOS (PRODUTOS)
Pesquisa de campo	4. O Local de estudo	<ul style="list-style-type: none"> A partir de visitas, estudos sobre a concentração de florestas (pinus e eucaliptos) e serrarias existentes foram definidas as regiões e serrarias a serem analisadas; Após definidas as serrarias a serem analisadas, foram coletados os dados de produção de cada uma das empresas, preenchendo as planilhas sobre: espécies utilizadas, quantificação e qualificação de toras utilizadas, relação de conversão de metro estéreo para metro cúbico de madeira serrada produzida por mês; 	<ul style="list-style-type: none"> Diagnóstico da região: quantificação e localização das áreas de plantio de florestas industriais, espécies, população dos municípios e déficit habitacional; Quantificação e caracterização da produção das serrarias na região e seleção das empresas a serem analisadas.
	5. O consumo de Energia	<ul style="list-style-type: none"> Nesta etapa de trabalho de campo, a coleta foi dividida em três fases: <i>serrarias</i>, <i>beneficiadora</i> e <i>canteiro</i>. Apenas na etapa da <i>floresta</i>, os dados foram coletados a partir da bibliografia científica existente; Os dados coletados foram organizados em planilhas específicas para cada fase de produção; Para o acompanhamento do fluxo produtivo dentro da fase de serraria foi traçado o layout de cada uma das Linhas de Produção nas serrarias analisadas; Utilização de um analisador de energia (marca Yokogawa) para se obter o <i>consumo de energia elétrica global</i> da empresa; Utilização de alicate amperímetro (marca alfa) para se medir o consumo por equipamento ou motor, ou seja, o <i>consumo de energia elétrica local</i> em cada etapa de produção. 	<ul style="list-style-type: none"> Planilhas de coleta de dados para cada uma das etapas produtivas; Elaboração do layout das serrarias analisadas, divididas em Linha de Produção I (L.I, diâmetros maiores de tora) e Linha de Produção II (L.II, diâmetros menores); Quadro de quantificação de energia consumida nas etapas de produção por equipamento e por volume total de madeira serrada produzida em cada uma das empresas.
	6. O Resíduo gerado	<ul style="list-style-type: none"> Para a quantificação dos resíduos gerados em cada uma das etapas de transformação da madeira considerou-se o volume original das toras, o volume da madeira serrada aproveitável, o volume do material particulado removido das toras (através da análise da espessura das lâminas utilizadas nos equipamentos de corte) e as sobras de peças menores descartáveis incluindo costaneiras. 	<ul style="list-style-type: none"> Quadro das especificações dos equipamentos e ferramentas para permitir a realização dos cálculos de material removido; Quadro de resíduo gerado em cada etapa produtiva da madeira serrada para produção dos painéis,
Conclusões	7. A Análise de dados	<ul style="list-style-type: none"> O resultado de consumo energético total foi obtido através da soma do consumo em cada uma das etapas analisadas; O total de resíduo gerado total foi obtido através da soma do material removido em cada operação de corte; Para análise do índice de desempenho energético da madeira serrada para a produção de painéis, foram feitas comparações dos resultados obtidos da pesquisa com informações existentes na literatura pertinente. 	<ul style="list-style-type: none"> Quadro de desempenho energético aferido em: kWh para cada tipo de painel, kWh por metro quadrado de painel e kWh por metro cúbico utilizado em cada painel; Quadro de resíduo gerado nas etapas produtivas para a produção de painéis, assim como, a quantificação da energia embutida nestes resíduos; Sistematização dos dados coletados e comparação com os dados encontrados na literatura analisada.

2 | USO SUSTENTÁVEL DAS FLORESTAS COMO MATERIAL PARA CONSTRUÇÃO

2.1. MONOCULTURAS - IMPACTO DAS FLORESTAS ECONÔMICAS

Entre os diversos sistemas monoculturais introduzidos no Brasil, estão os plantios de florestas de espécies exóticas (pinus e eucaliptos), em especial a partir do incentivo fiscal no final da década de 60. Com a introdução de sistemas modificados, os agroecossistemas, novas interações nesses ambientes foram surgindo. Sérios problemas começaram a despontar, não somente pela introdução de extensas e monótonas florestas econômicas, mas principalmente pela substituição de florestas naturais para dar espaço a grandes reflorestamentos como os existentes no Estado do Espírito Santo e na Bahia. *O que era antes parte integrante de um ecossistema equilibrado passa a ser indesejável e os sistemas naturais perderam em complexidade, estabilidade e biodiversidade. Ervas invasoras, pragas e doenças surgem como empecilho à produção em larga escala.* (MATTOS, 1998).

Ao lado das irreparáveis perdas das qualidades intrínsecas das florestas nativas, em especial a biodiversidade da Mata Atlântica. Sérias alterações nos ecossistemas começaram a ser observados e, em consequência, inúmeras práticas operacionais de elevado impacto ambiental foram identificadas e, na medida do possível, modificadas para se tentar evitar possíveis desastres ecológicos envolvendo a fauna e a flora, assim como a própria humanidade. Algumas dessas práticas são:

- uso do fogo como ferramenta de manejo;
- corte raso das florestas em ciclo curto;
- remoção da manta orgânica de proteção do solo;
- depredação dos habitat adequados para plantas nativas e espécies de animais;
- abertura de estradas inapropriadas a certas características do sítio (relevo, solo, etc.);
- plantio de extensas áreas de uma mesma espécie comercial, não observando áreas de preservação permanentes, como matas ciliares e mananciais, assim como importantes santuários e nichos ecológicos de espécies animais.

Muitos dos problemas observados devem ser contornados e pesquisados para se evitar as catástrofes advindas das destruições sistemáticas das florestas naturais.

Nota-se que muito há de ser elucidado sobre os problemas causados pelas monoculturas florestais, contudo, ainda mais sobre o valor ecológico e econômico destas espécies exóticas para conscientizar a coletividade da importância da reposição florestal no Brasil, especialmente em áreas já degradadas.

LIMA (1993) afirma em seus estudos que as plantações florestais de rápido crescimento podem dar significativas contribuições para a recuperação de áreas degradadas, fornecer proteção a áreas críticas, como estabilização de dunas, no controle de erosão, no funcionamento hidrológico em microbacias, funcionando como quebra-ventos, etc..

A transformação da madeira em bens duráveis, como móveis e componentes construtivos, faz deste material também uma fonte de considerável importância no estoque de carbono, em especial as espécies de rápido crescimento e ciclos mais curtos de exploração. Para plantios econômicos em pleno desenvolvimento, principalmente em seus 10 primeiros anos, é intensa a necessidade de absorção de carbono para formação da biomassa, e a partir do momento que se aproxima a estabilização deste processo de absorção e liberação de CO₂ para a atmosfera, a madeira já está pronta para ser cortada e substituída por novas plântulas, reiniciando novamente o ciclo.

De maneira geral, além dos benefícios diretos da madeira de reflorestamento, como madeira serrada para construção, papel, celulose e lenha, entre outros, deve-se considerar a importância indireta dessas plantações no alívio da pressão sobre as florestas naturais remanescentes no país. De acordo com LIMA (1993), pode-se confirmar essa premissa, observando na **Figura 3** a demanda da madeira por diferentes setores industriais. Nota-se que a cada ano a utilização de madeira de florestas plantadas vem aumentando em praticamente todos os setores. Observando-se os setores destinados à produção de carvão vegetal, laminados e compensados (**Figuras 4 e 6**), nota-se que grande parte desta madeira provinha de desmatamentos de florestas naturais, porém de 1990 a 2000 houve uma inversão deste quadro. Em 1987, 80% de toda a madeira transformada em carvão (cerca de 65 milhões de toneladas) ainda provinham de remanescentes florestais (LIMA, 1993). Em 2001 no entanto, 74% de toda a madeira transformada em carvão originou-se das florestas plantadas (Abracave, STCP, Abipa, Abimci, Bracelpa, SBS, 2001). No setor da madeira serrada nota-se também um aumento significativo no uso de madeiras originadas de florestas plantadas (**Figura 5**). Com uma maior procura de madeiras oriundas dos plantios econômicos torna-se mais evidente a necessidade urgente de um programa de reposição florestal.

Figura 3. Consumo de madeira industrial em toras no Brasil (1.000m³)

Fonte: Abracave, STCP, Abipa, Abimci, Bracelpa, SBS, 2001

Figura 4. Produção de carvão vegetal no Brasil (1.000 mdc)

Fonte: Abracave, 2001

Figura 5. Consumo de toras para produção de madeira serrada no Brasil (1.000m³)

Fonte: Abracave, 2001

Figura 6. Consumo de toras para produção de laminados e compensados no Brasil (1.000m³)

Fonte: Abracave, 2001

Nota-se que apesar da demanda por madeiras oriundas de plantios econômicos estarem a cada ano sendo maiores para a substituição ao uso das madeiras nativas, a perspectiva para o uso desta matéria-prima não é totalmente favorável. Um dos aspectos a ser considerado é a falta de uma política para a reposição das florestas destinadas a produção de principalmente madeira serrada, o chamada "Apagação Florestal". Outra questão reside no fato de que as florestas plantadas hoje são em sua grande maioria conduzidas para a indústria de celulose e papel, e todo o melhoramento genético desenvolvido destina-se a atender as exigências deste setor. A indústria da madeira serrada permanece assim obsoleta, com muitos defeitos e pouco apropriada para a maioria dos usos mais nobres (móveis, objetos, componentes construtivos), além da concorrência, na obtenção da matéria-prima, com o setor de celulose que poderá reduzir ainda mais a disponibilidade para a madeira serrada.

De acordo com POGGIANI (1998a), é preciso tornar públicas as questões sobre os benefícios das florestas plantadas e as implicações ecológicas que estas acarretam ao meio ambiente com o objetivo de esclarecer os fatos e contornar cientificamente os problemas que possam efetivamente ocorrer.

A seguir serão apresentadas algumas destas questões e os respectivos avanços das técnicas de manejo florestal visando minimizar os impactos oriundos dos plantios florestais econômicos.

2.1.1 Qualidade da água e equilíbrio hídrico

As Condições hidrológicas em uma micro bacia podem ser drasticamente alteradas com o uso intensivo do solo pela produção florestal de rápido crescimento, principalmente durante as etapas de corte, retirada, transporte, devido à compactação do solo e a retirada da serrapilheira quando não atentadas as diretrizes de um manejo adequado. Desprovidos deste planejamento, os plantios ainda podem vir a afetar a recarga de água para o lençol freático, causar o ressecamento da camada superficial do solo, alterar a precipitação ou a capacidade de interceptação da água da chuva e, com a compactação e a descobertura periódica do solo, ocorre a aceleração do processo de erosão, afetando a qualidade da água.

Em relação a possíveis **alterações nas precipitações**, muitos estudos comprovam que, em escala global, a evaporação oriunda das florestas, tem uma parcela não significativa no ciclo hidrológico, comparativamente à evaporação dos oceanos. De acordo com uma extensa revisão bibliográfica a respeito, LIMA (1993) afirma que em estudos de diversos autores sobre precipitação dentro e fora de florestas são apresentados mais resultados especulativos que sistemáticos sobre o assunto, sendo que muitos deles não consideram a influência da ação do vento, o que diminui consideravelmente os valores de precipitações. Porém, em áreas significativamente extensas como a Floresta Amazônica, há uma notável influência da cobertura florestal sobre a precipitação local, como resultado da entrada do vapor de

água pela Bacia Amazônica proveniente do oceano Atlântico (SHUTTLEWORTH, 1988 citado por LIMA, 1993).

De acordo com LIMA (1993), um dos efeitos mais significativos em relação à alteração nas precipitações é a capacidade de interceptação da chuva pela copa das árvores. A perda por interceptação, ou capacidade de armazenamento da copa, é considerado um fator importante no consumo de água por uma floresta e é, em média, menor em plantações de eucalipto do que em florestas tropicais.

Um dos principais papéis das florestas está relacionado com o equilíbrio do deflúvio dos rios e com a qualidade da água - turbidez, condutividade, pH, conteúdo de sais, etc.. As copas das árvores, a serrapilheira, assim como o complexo sistema radicular das plantas constitui importante camada protetora que atenua o impacto das chuvas torrenciais favorecendo a infiltração da água. Nas florestas não perturbadas pela ação do homem não ocorrem problemas de erosão profunda ou superficial, visto que a água da chuva é absorvida em sua totalidade. Os solos sob florestas podem ser considerados grandes reservatórios de água, que lentamente suprem o lençol freático, abastecendo as nascentes. As florestas ainda agem como reguladores hídricos dos cursos d'água e como filtros vivos, atribuindo qualidade muito superior à água proveniente de florestas em comparação a de áreas perturbadas pelas ações antrópicas (POGGIANI, 1998a).

Com a mudança do uso do solo de áreas de florestas por pastagens e culturas agrícolas, a qualidade da água e o balanço hídrico das bacias podem sofrer uma significativa alteração. Muitos estudos citados por LIMA (1993) comprovam essa afirmação, como: DYCK e COOK (1981) e BURCH et al. (1987). Nota-se a reversão do processo com o reflorestamento da bacia. Porém, apesar do eucalipto promover através de um manejo adequado, um controle dos processos de escoamento superficial, erosão e ciclagem de nutrientes, não significa que dentro de um regime de rotação intensiva para o abastecimento industrial do eucalipto, o mesmo não venha a prejudicar a qualidade da água nas bacias. As atividades silviculturais intensivas, na verdade, com fertilização mineral, corte raso, uso do fogo, e outras perturbações inadequadas ao solo normalmente são a causa de graves alterações na qualidade da água (LIMA, 1993).

Dentro dos mitos difundidos a respeito de espécies exóticas, afirma-se que as mesmas têm a capacidade de alterar o regime hídrico devido a uma **excessiva retirada de água** do solo.

Muitos estudos realizados contestam essas afirmações comparando o balanço hídrico em plantações de eucaliptos e pinus com espécies nativas. Estas pesquisas comprovaram que não há diferença significativa entre as espécies na alteração do regime da água no solo.

LIMA (1979) comparando uma floresta de pinus e uma vegetação de cerradão afirma que em relação ao regime das águas nenhum efeito adverso foi encontrado entre os mesmos. Apenas, constatou-se que a umidade superficial no cerradão se manteve mais elevada devido a menor penetração de luz, reduzindo a evaporação do solo. Na Representação esquemática dos componentes do balanço hídrico do solo em

uma vegetação natural de cerrado e plantações de eucalipto e pinus - ambos com 5 anos de idade (*Figura 7*), pode-se notar o uso mais eficiente na água disponível do eucalipto e do pinus em comparação à vegetação natural do cerrado, quando comparada a produção e a densidade arbórea.

Figura 7. Esquema do balanço hídrico - vegetação natural de cerrado e plantação de eucalipto e pinus *Fonte:* LIMA, 1993.

O mesmo autor ressalta que espécies arbóreas consomem mais água que qualquer outro tipo de vegetação, como por exemplo, em relação às arbustivas, porém não existe diferença entre espécies arbóreas nativas e exóticas. VILLAÇA e FERI (1954) citados por POGGIANI (1998a) já haviam concluído o mesmo comparando *Cedrela fissilis* (cedro) e o *Eucalyptus saligna*.

Em relação à questão de rebaixamento do nível do lençol freático, LIMA (1993) afirma que apesar de algumas espécies de eucaliptos apresentarem sistema radicular pivotante profundo, as espécies mais utilizadas pelas plantações industriais são geralmente caracterizadas por sistemas radiculares superficiais, onde quase todo o peso seco das raízes localiza-se a uma profundidade média de 60 cm. Desta forma, conclui-se que quase a totalidade da transpiração anual é suprida pela água acumulada no solo e a extração significativa de água do lençol freático somente ocorreria se a plantação estivesse nas margens dos reservatórios e nas nascentes.

Junto a este fato, tanto para espécies nativas quanto para espécies industriais há ainda o fenômeno de variação na transpiração que ocorre a medida que há uma recarga ou exaustão da água da chuva no

solo, ou seja, em época de seca, a transpiração das árvores diminui e elas passam a absorver menor quantidade de água do solo.

De acordo com diversos autores, o grande problema de florestas plantadas está na alta densidade arbórea e não na espécie plantada, pois é necessária grande quantidade de água para o abastecimento de todos os indivíduos. Portanto, para se evitarem possíveis problemas de rebaixamento do lençol freático e o desaparecimento de nascentes, as florestas plantadas de rápido crescimento, de ciclo curto e de alta densidade arbórea devem ser planejadas para áreas com índices pluviométricos adequados e distantes suficientemente das regiões das nascentes onde o lençol freático está muito próximo a superfície do solo.

Em relação à qualidade da água, muitos autores chegaram à conclusão de que ela depende mais fortemente das propriedades de geologia e do solo das bacias que do tipo de cobertura vegetal. FELLER (1981b) citado por LIMA (1993), ao analisar tipos florestais em diversos países, chega à conclusão que o balanço de nutrientes das bacias que contêm espécies de eucalipto pode ser similar ao de qualquer outra floresta.

2.1.2 Ciclagem de nutrientes e biodiversidade

Outra questão muito discutida a respeito de plantações econômicas, principalmente sobre o eucalipto, é a **taxa de absorção de nutrientes** do solo. De acordo com LIMA (1993) essas taxas anuais são similares e até menores para os eucaliptos. A remoção relativamente alta de nutrientes do solo é inerente a qualquer espécie florestal plantada, o principal problema reside na densidade arbórea e na extensão dos plantios.

Em florestas plantadas onde o objetivo principal é a elevada produtividade, as árvores ocupam o espaço de modo que se atinja o maior número de indivíduos possível por unidade de área e as mesmas são mantidas sempre em estágio juvenil de desenvolvimento.

De acordo com dados apresentados por GOLLEY et al. (1975) citado por POGGIANI (1998), enquanto em um quarto de hectare de uma floresta tropical úmida encontram-se cerca de 480 árvores (40 espécies diferentes, DAP >10cm) irregularmente distribuídas e em estágios diferentes de desenvolvimento, seria possível plantar 625 indivíduos de espécies exóticas (pinus ou eucalipto), com espaçamento adequado (2 x 2 m) para retardar ao máximo a competição das copas e dos sistemas radiculares.

Comparando a absorção de nutrientes, segundo LIMA (1993), algumas culturas agrícolas de subsistência podem atingir taxas muito maiores que os plantios de eucalipto e pinus (**Tabela 3**). Nesta tabela também devem ser consideradas as condições originais de fertilidade do solo para se considerarem possíveis impactos por demanda de nutrientes. Os valores das espécies arbóreas referem-se à utilização integral da árvore e para as culturas agrícolas, apenas uma colheita.

Tabela 3. Comparação de remoção de nutrientes do solo por diferentes culturas agrícolas.

Espécie	Idade (anos)	N*	P*	K*	Ca*	Mg*	Referência bibliográfica
<i>Eucaliptus grandis</i>	2.5	110.3	11.2	94.9	50	13.1	Poggiani <i>et al.</i> (1983a)
<i>E. grandis</i>	3.5	58.1	3.7	14.7	13.2	4.8	Rezende <i>et al.</i> (1983)
<i>E. grandis</i>	10	42.0	1.6	15.6	76.7	5.1	Wise e Pitman (1981)
<i>E. grandis</i>	27	16.1	0.9	11.7	36.0	6.0	Tumer e Lambert (1983)
<i>E. saligna</i>	10	21.9	5.8	19.1	95.4	8.1	Poggiani (1985)
<i>E. robusta</i>	9	24.7	1.7	19.8	29.2	7.0	Silva (1983)
<i>E. saligna</i>	8	13.3	3.6	22.0	23.3	5.2	Poggiani <i>et al.</i> (1983a)
<i>E. camaldulensis</i>	9	29.5	8.7	32.8	93.1	-	Sauvageot e Knockaert (1980)
<i>Leucaena sp.</i>	4	67.0	6.3	40.0	32.0	12.0	Jorgensen e Wells (1986)
Teca	9	81.8	29.8	135.0	118.6	53.7	Hase e Foelster (1983)
<i>Pinus caribaea</i>	14	21.7	1.2	10.7	7.4	2.4	Poggiani (1985)
<i>Pinus radiata</i>	20	36.5	1.5	11.4	12.4	6.1	Baker e Attiwill (1985)
Café	-	93.0	4.4	127.0	10.0	9.0	Chaves (1982)
Trigo	-	80.0	8.0	12.0	1.0	4.0	Fontoura <i>et al.</i> (1988)
Cenoura	-	267.0	42.0	835.0	199.0	32.0	Fernandes <i>et al.</i> (1981)
Milho	-	127.0	26.0	37.5	1.0	11.0	Andrade <i>et al.</i> (1977)
Batata	-	81.0	18.0	159.0	10.0	4.0	Macedo <i>et al.</i> (1981)
Cana-de-açúcar	-	208.0	22.0	200.0	153.0	67.0	Orlando <i>et al.</i> (1980)
Laranja	-	23.0	2.0	18.0	6.0	1.5	Moreira <i>et al.</i> (1981)
Sorgo	-	135.0	10.0	27.0	16.0	10.0	Jorgensen e Wells (1986)

* kg.ha⁻¹ ano⁻¹

Fonte: adaptação da tabela de LIMA (1993)

Como auxílio à manutenção da produtividade do solo devem ser utilizados integralmente os resíduos gerados na colheita das árvores, devido a grande quantidade de nutrientes existente nas copas, cascas, tocos e ponteiro das plantações de eucalipto e pinus. Deve se atentar aos problemas causados pelo aproveitamento dos tocos, ponteiros e galhos na floresta devido a possibilidade de incêndios.

POGGIANI (1998b), em estudos comparativos na deposição de *litter* da floresta amazônica e de uma plantação de eucalipto mostra que a decomposição do eucalipto é realmente importante para o enriquecimento do solo, apesar de em valores usualmente menores que das florestas tropicais.

De acordo com PRIMAVESI (1980) citado por POGGIANI (1998b), a adubação mineral não consegue suprir todas as necessidades do solo. A matéria orgânica favorece, com a decomposição, "a produção de ácidos orgânicos e álcoois, que servem de fonte de carbono aos microorganismos fixadores de nitrogênio e produtores de diversas substâncias de crescimento e antibióticos que protegem as plantas das doenças", além de funcionar como agregante do solo, o que o torna estável à ação das chuvas.

Segundo POGGIANI (1998b), é na própria matéria orgânica dos vegetais e não no solo que se concentra a maior quantidade de nutrientes indispensáveis para a atividade fisiológica das plantas. Desta maneira, as grandes devastações e as queimadas constituem-se em perdas nutricionais irreparáveis. O solo descoberto também é rapidamente empobrecido por processos de erosão e lixiviação. Na **Figura 8**, desconsiderando a adição de nutrientes ao sítio pelas chuvas, intemperismo e pela fertilização mineral,

os resultados revelam que o capital de nutrientes teria fósforo e potássio em quantidades suficientes para permitir o crescimento da plantação durante cerca de 10 a 15 anos (LIMA, 1993). Segue-se uma representação de uma floresta de *eucalyptus saligna* com idade entre 7 a 10 anos.

Figura 8. Representação esquemática da acumulação de nutrientes

Fonte: LIMA, 1993

De acordo com LIMA (1993) a manutenção da rica manta orgânica do eucalipto e do sub-bosque sob o eucalipto (importante para a fixação do nitrogênio no solo, para a ocorrência de atividades biológicas na decomposição da serrapilheira e para a manutenção da biodiversidade) contribui significativamente para a conservação dos nutrientes. Outros aspectos relevantes que devem ser considerados para garantir a qualidade do solo são: o período de rotação, a taxa de produção de biomassa, as perdas diretas e indiretas no manejo da floresta, entre outros.

Em relação ao eucalipto, há ainda um agravante no corte precoce das árvores. Na idade de formação do cerne da madeira, os nutrientes normalmente são translocados da madeira. Nas espécies de eucalipto, como a formação do cerne se inicia geralmente aos oito anos, o corte das árvores mais jovens significa a remoção de maior quantidade de nutrientes do solo (ELDRIDGE & CROMER, 1987 citado por Lima, 1993).

A remoção de grande parte dos nutrientes está também intimamente relacionada às sucessivas rotações de ciclos curtos. POGGIANI (1998) acredita que as áreas de florestas plantadas deveriam ser muito ampliadas, porém com talhões menores e com ciclos de cortes mais espaçados para permitir um maior equilíbrio na ciclagem dos nutrientes.

Entretanto, é no processo de corte da floresta que ocorrem as grandes perdas de nutrientes (Figura 9). Quando não é feito um planejamento adequado no traçado e na construção de estradas, não respeitando as medidas necessárias para a proteção das bacias hidrográficas, especialmente no corte raso (processo

utilizado pela maioria das reflorestadoras), ocorrem as maiores perdas de nutrientes do solo (perda direta). Além destas, há as perdas indiretas de nutrientes que podem até ultrapassar as diretas quando após o corte surgem as perturbações na manta orgânica do solo, a compactação do solo, a diminuição da infiltração, aumentando o escoamento superficial e conseqüentemente as erosões (VAN HOOK et al., 1982 citado por LIMA 1993).

Fonte: VAN HOOK et al. (1982) citado por LIMA (1993)

Figura 9. Fluxograma das perdas de solo e nutrientes em atividades silviculturais

Com o equacionamento adequado dos talhões, do espaçamento e alinhamento de plantio, do preparo do solo, do estudo do relevo, entre outros fatores, podem-se evitar danos devido ao processo de erosão, como a sedimentação dos rios, a degeneração da qualidade da água e ainda o depauperamento do solo. Com a combinação de técnicas silviculturais adequadas e planejamento do uso do solo, o que inclui adoção de faixas ciliares de proteção, terraceamento, plantio em nível, cultura em faixas, entre outras, podem-se obter efetivamente menores taxas de erosão (LIMA, 1993).

Outra crítica ao plantio homogêneo de pinus é o acúmulo de acículas no solo e seu efeito alelopático, ou seja, produção e difusão de substâncias químicas capazes de matar ou impedir a difusão ou proliferação de outras espécies que, no caso das florestas, impede o crescimento dos sub-bosques. Nas florestas de pinus, as acículas apresentam um efetivo acumulativo sobre o solo até o 10º e o 12º ano após o plantio. Apesar de apresentarem uma decomposição lenta uma vez que é necessário que os microorganismos decompositores do *litter* se adaptem pois os componentes químicos das acículas são mais difíceis de

serem atacados do que os do *litter* das folhosas, neste período o volume do estrato formado sobre o solo se estabiliza ou tende a diminuir (SPINA- FRANCA (...) citado por POGGIANI, 1998).

A **Tabela 04** ilustra as taxas de decomposição de 50% e 95% das folhas acumuladas na serrapilheira de talhões florestais estudados.

Tabela 4. Taxa instantânea de decomposição (K) e tempo necessário para decomposição

Espécie	Deposição anual de folhas (kg/ha)	Acúmulo de Folheto (kg/ha)	Coefficiente de decomposição (K)	Tempo de decomposição 50% (anos)	Tempo de decomposição 95% (anos)
<i>Eucalypto saligna</i>	4.490,4	7.936,0	0,56	1,2	5,3
<i>Pinus caribaea</i> (var.hondurensis)	8.373,6	20.238,0	0,41	1,7	7,3
<i>Pinus oocarpa</i>	7.130,8	19.454,0	0,37	1,9	8,1

Fonte: POGGIANI, 1988

POGGIANI (1998) sugere o consórcio de coníferas com folhosas como uma solução desejável em busca de melhores características físico-químicas do *litter* e para acelerar a decomposição.

Com a introdução de um plantio de apenas uma espécie arbórea resulta invariavelmente em uma modificação das condições microbiológicas do solo. A mudança também na luminosidade com o fechamento das copas, na fase inicial do plantio, poderá impedir o desenvolvimento suficiente do sub-bosque. No caso de um plantio de eucalipto, após o crescimento das árvores, a copa começa a permitir que a luminosidade penetre, tornando possível a formação de um sub-bosque ou da introdução de sistemas agroflorestais, ou seja, consórcios entre florestas e cultura agrícola ou pastoril (LIMA, 1993). A considerável variação dimensional e no formato das folhas, encontradas nas várias espécies de eucalipto, proporciona ainda resultados distintos que atendem às necessidades exigidas nos diferentes consórcios agrícolas. De acordo com outros autores, o efeito supressivo das plantações de florestas de rápido crescimento está mais relacionado à forte competição por água e nutrientes na fase inicial de desenvolvimento dos indivíduos.

Em relação ao efeito das florestas plantadas sobre a fauna, pode-se afirmar que qualquer monocultura reduz seriamente a quantidade de energia, nutriente e a disponibilidade de abrigos para as espécies animais, ao mesmo tempo em que há um aumento demasiado de indivíduos de espécies que se adaptam ao novo habitat. De acordo com LIMA (1993), as folhas do eucalipto possuem altas concentrações de tanino sendo consideradas indigestas para os animais.

Segundo POGGIANI (1998), em uma floresta natural existe uma variedade imensa de nichos ecológicos, em virtude de uma diversidade de espécies vegetais que fornecem alimento a centenas de animais, insetos, fungos e bactérias que se interrelacionam constituindo um complexo e equilibrado ecossistema. A partir do momento em que se instala uma floresta homogênea, ocorre forte afunilamento na cadeia alimentar, com drástica redução das espécies que normalmente atuam nos diferentes nichos ecológicos. Com esta modificação radical no ecossistema, os seres que compõem os diversos níveis tróficos

(herbívoros, carnívoros e parasitas) sofrem uma forte alteração no processo de seleção que modifica a dinâmica das populações.

No início da implantação de uma floresta artificial, com a necessidade rotineira de preparo do solo, no período normal de crescimento das mudas, assim como no corte raso no final da rotação, as condições são particularmente drásticas para esses seres, uma vez que o solo se encontra praticamente descoberto (LIMA, 1993). Nas plantações florestais, são toleráveis esses desbalanços nutricionais temporários, mas, ao longo do ciclo, à medida que as copas se expandem, aumentando o sombreamento e o acúmulo de detritos sobre o solo, ocorre novamente um equilíbrio dinâmico entre as entradas e as saídas dos nutrientes do sítio, notando-se então o retorno de muitas espécies nativas arbóreas e arbustivas e, lentamente, de espécies animais (POGGIANI, 1998b).

Porém, alguns efeitos indiretos dos reflorestamentos, como as alterações da qualidade de água, do solo e da flora superficiais podem ainda afetar a população além dos limites das plantações. Ocorrem até mesmo, efeitos psicológicos nos animais, os quais se recusam a procriar nas proximidades das plantações (AVERY, 1989 citado por LIMA, 1993).

Diversos autores citam estratégias fundamentais de ação para a conservação da avifauna, como sendo: manter um número razoável de árvores adultas ao longo das plantações, aumentar os períodos de rotação e manter reservas de florestas naturais sem perturbações. Outros autores ainda citam a necessidade de plantio de espécies frutíferas, a construção de pequenas represas e açudes e o estabelecimento de áreas abertas, sem o plantio, pois algumas espécies necessitam deste tipo de habitat para a procriação.

Nesse sentido muito tem sido feito para minimizar os efeitos das monoculturas florestais. Novos modelos de manejo florestal, compatibilizando florestas de espécies nativas e exóticas, têm sido amplamente discutidos para se reduzir a pressão sobre os ecossistemas naturais, restaurando e recuperando, da melhor maneira possível, as áreas já degradadas. De acordo com LIMA (1993), fica claro, a partir do aperfeiçoamento dos métodos de pesquisa, que o maior problema de florestas plantadas são as técnicas de manejo florestal adotado e não o caráter exótico das espécies.

2.1.3 Problemas sócio-econômicos

Além de todos esses fatores citados acima, outra crítica relacionada às monoculturas florestais são os problemas sociais resultantes da conversão de áreas agrícolas - pequenas propriedades direcionadas muitas vezes à cultura de subsistência - em áreas florestadas, reduzindo a produção de alimentos, trabalho e renda. Esse quadro pôde ser verificado na Índia, onde tornou-se um problema político de grandes proporções no país (BHASKAR, 1985 citado por LIMA, 1993). No Brasil, a situação é um pouco

diferente, pois em geral foram grandes empresas que iniciaram o plantio de extensas áreas de floresta a partir do incentivo fiscal do governo em 1965. No Estado da Bahia, um movimento surgiu para conter ainda mais o avanço dos plantios de eucalipto, pois estavam ocupando áreas agricultáveis e expulsando os pequenos produtores de suas terras. Como conseqüências sociais do mau planejamento, pôde-se ainda encontrar graves problemas de desemprego (LIMA, 1993).

Essas extensas monoculturas oriundas dos incentivos fiscais foram também estudadas por KENGEN (1985) citado por LIMA (1993), no Estado de Minas Gerais. O autor observou, da mesma forma, que com a expansão das monoculturas houve incorporação de terras de pequenos proprietários ao processo produtivo, dando origem a grandes latifúndios, o que resultou na concentração de renda, no declínio de oferta de empregos com o crescimento das plantações e conseqüentemente um êxodo rural significativo.

Como solução a estes problemas, apesar de não ser uma novidade no meio florestal, os sistemas agroflorestais vêm ganhando espaço e maior atenção em muitas propriedades rurais como uma alternativa a mais de aumentar a renda familiar. Estes sistemas podem ser entendidos como uma integração de atividades rurais para a produção florestal, pecuária e agrícola. (ELLENBERG, 1979; ROCHE, 1979; KERKHOF, 1990 citado por LIMA, 1993).

O aspecto principal de sistemas agroflorestais é a presença obrigatória do componente floresta para fins de produção ou de proteção, ou ambas as funções simultaneamente, proporcionando *ganhos em eficiência em vários aspectos: agrônômico - pela melhoria das condições do solo; econômico - diversificação da produção; ecológico - melhoria da biodiversidade, da hidrologia e do microclima e social - benefícios sociais diretos e indiretos* (SERRÃO, 1990 citado por LIMA, 1993). De acordo com LIMA (1993), a agrossilvicultura é uma alternativa promissora para as propriedades rurais dos países em desenvolvimento, pois a integração das florestas com as culturas agrícolas e com a pecuária oferece alternativas para enfrentar os problemas de baixa produtividade, escassez de alimento e de degradação ambiental.

Considerando todas as implicações ecológicas causadas pelas monoculturas, descritas anteriormente, pode-se afirmar que, com a aplicação de sistemas agroflorestais e técnicas de manejo florestal adequado, pode-se alcançar uma produção florestal competitiva, com maior qualidade e produtividade, além de socialmente mais justa e ecologicamente mais equilibrada. Desta maneira, a cultura do eucalipto e do pinus passa a representar efetivamente um alívio na pressão da devastação dos remanescentes florestais e das extensas áreas de florestas naturais brasileiras sem maiores prejuízos ao meio ambiente. No próximo item, serão descritos outros aspectos importantes para se encontrarem soluções e propostas para o uso sustentável das florestas plantadas de eucalipto e pinus.

2.2 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL - PRINCÍPIOS E CONCEITOS

Esgotamento dos recursos naturais, reciclagem de dejetos, poluição do meio ambiente, racionalização dos recursos não renováveis, uso de energia não fóssil e outros, eram assuntos já discutidos muito antes do surgimento do conceito de desenvolvimento sustentável. Questões relacionadas ao meio ambiente e à gestão racional dos recursos naturais começaram a ser discutidas na tentativa de inserir essa nova dimensão adicional ao crescimento econômico. Do Clube de Roma em 1970 à Eco 92, várias discussões contribuíram para a evolução do conceito que hoje é conhecido como desenvolvimento sustentável.

Os conceitos de **técnicas apropriadas** e de **ecodesenvolvimento**, citado por SACHS et al. (1977), surgem de um processo criativo de transformação do meio, unindo as técnicas ecologicamente prudentes às potencialidades do meio ambiente, evitando o desperdício e velando pelo emprego dos recursos naturais à satisfação dos membros da sociedade. Esses dois conceitos são vistos como uma filosofia de ação social, um estilo de desenvolvimento, harmonizando os objetivos sócio-econômicos à gestão racional do meio ambiente. Portanto, essas técnicas devem reproduzir um contexto preciso das características regionais - histórico, social, econômico e ecológico relacionados aos objetivos fixados pela política de desenvolvimento.

Definindo a palavra sustentável aplicada a um produto, uma atividade ou mesmo um processo de produção, está implícita a idéia de continuidade, de permanência no tempo, algo que tenha durabilidade durante todo o processo produtivo. O uso sustentável de recursos naturais refere-se a uma apropriação que respeite a **capacidade de suporte** do meio ambiente, que retire da natureza os recursos naturais renováveis somente a taxas inferiores às aquelas que poderiam exauri-los.

A capacidade de suporte, um dos princípios de desenvolvimento sustentável, ressalta que o desenvolvimento enfrenta limites físicos que devem ser previstos e acomodados, pois tanto a capacidade de absorver quanto a capacidade de fornecer recursos esgotáveis são finitos, limitados a agressões que podem se tornar irreversíveis (TIETENBERG apud SOUZA, 1993). De acordo com MERICO (1996), há dois pressupostos básicos para ser garantida a capacidade de sustentação dos ecossistemas: 1) não retirar do meio ambiente mais do que sua capacidade de regeneração; 2) não lançar mais que sua capacidade de absorção.

Outra questão a ser elucidada quando se discute desenvolvimento sustentável é a diferença entre os conceitos de *crescimento* e *desenvolvimento*. O primeiro remete-se diretamente a idéia de *quantidade*, o que não prevê a melhoria da *qualidade* de vida do homem, como é o caso do desenvolvimento. Pela própria definição da palavra *desenvolvimento*, o uso da mesma paralelamente ao conceito de sustentável, muitas vezes assume uma conotação redundante, uma vez que o sustentável já pressupõe inevitavelmente o desenvolvimento. Segundo MUÑOZ (1996), o desenvolvimento sustentável implica em um processo no qual são envolvidos valores sócio-culturais, tendo uma dimensão política com a

participação democrática da população na escolha de estilos e padrões de vida. Considera ainda, o *crescimento econômico*, a *equidade social* e a *conservação da natureza*, como três dimensões diferentes, mas complementares de um mesmo processo - o desenvolvimento.

Originário das Ciências Biológicas, o desenvolvimento sustentável desde sua origem teve seu foco direcionado aos recursos renováveis, em especial aos facilmente esgotáveis pela exploração descontrolada, como espécies animais e vegetais, principalmente as florestas naturais. Porém, atualmente é fundamental que se reconheça que a busca de soluções sustentáveis para os problemas ambientais deva ser de caráter interdisciplinar, recusando-se a hegemonia da biologia e também da economia.

SACHS (1993) *define desenvolvimento sustentável como o processo de melhoria das condições de vida das comunidades humanas e, ao mesmo tempo, respeita os limites da capacidade de carga dos ecossistemas*, observando necessariamente três dimensões da sustentabilidade:

- **social** - *maior equidade na distribuição da renda*, reduzindo as distâncias existentes entre os países desenvolvidos e em desenvolvimento;
- **econômica** - *possibilidade de alocar e gerir com mais eficiência os recursos através de um fluxo regular do investimento público e privado;*
- **cultural** - *busca de uma pluralidade de soluções particulares, que respeitem as especificidades de cada ecossistema, de cada cultura e de cada local.*

No Relatório Brundtland, fruto do trabalho da Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento (CMMAD, 1991) encontra-se a Declaração sobre Ambiente Humano, um dos principais tratados sobre desenvolvimento sustentável, onde é ressaltada a importância de uma visão complexa das causas dos problemas sócio-econômicos e ecológicos, enfatizando principalmente a necessidade da participação da sociedade. Discute-se, entre outros pontos, a necessidade de maior equidade social e mudança nos padrões de consumo. O relatório explicitou ainda a relação entre a pobreza e a degradação ambiental e a necessidade de se encontrarem novos modos de produção e de consumo sustentáveis para esta e futuras gerações.

Esses conceitos são reafirmados na elaboração da Agenda 21, durante a realização da ECO 92, onde foram listadas atividades a serem seguidas pelos países participantes para proporcionarem condições a uma efetiva implantação mundial do desenvolvimento sustentável.

As constantes discussões enfrentadas em torno do tema sustentabilidade vem trazendo novas questões, entre elas, diretamente ligada aos aspectos de desigualdades ao acesso a recursos (naturais, financeiros e político) dentro das sociedades ou entre países, destaca-se o tema *justiça ambiental* (CARDOSO, 2003). Segundo HARVEY (1996) a conscientização de grupos raciais, étnicos, sociais ou culturais em

relação às desigualdades a que estão submetidos (acesso a recursos naturais e à exposição aos problemas ambientais) levariam a um enfrentamento dos problemas ambientais, através do aumento de poder de ação destes grupos em situação de desigualdade e através também do desenvolvimento de políticas públicas que garantam igualdades de condições aos mesmos. O valor atribuído à questão das desigualdades é um importante elemento para a constituição de mais um novo aspecto, a *sustentabilidade democrática*. Parte-se do pressuposto que a natureza é um bem público, logo a sua utilização deve ser objeto de decisão na esfera pública, resgatando a política no debate (ACSELRAD e LEROY, 1999), incentivando a participação pública e recusando propostas da economia ecológica que procura resolver todos os problemas ambientais através de soluções de mercado.

De acordo com CARDOSO (2003), *a sustentabilidade deve ser entendida como processo, não como um estado ou um resultado*. Os problemas ambientais devem ser entendidos como fruto de conflitos entre modos de apropriação da natureza e o modo de gestão dos recursos. A sustentabilidade pode ser definida então como modo de gestão democrática desses conflitos, reconhecendo os direitos e deveres de todos os grupos sociais sobre a natureza, visando a redução das desigualdades sócio-ambientais.

Apesar das críticas dirigidas ao termo desenvolvimento sustentável, considerado muitas vezes uma utopia desprovida de possibilidades práticas de operacionalização pela complexidade de fatores envolvidos em suas diversas dimensões, o termo sustentabilidade tem sido objeto de estudo em inúmeras instituições de ensino e pesquisa e adotado universalmente em diversos contextos.

O desenvolvimento sustentável pode ser visto, portanto, como um importante eixo condutor de alterações, ainda que lentas, mas progressivas, nas relações políticas, socioeconômicas e culturais entre países assim como internamente aos mesmos. Enfim, o interesse mundial em se aproximar da sustentabilidade pode ser visto, salvo as exceções de interesses puramente mercadológicos, como uma tentativa de promover maior qualidade à vida humana e em restabelecer a harmonia entre os ecossistemas naturais.

2.3 USO SUSTENTÁVEL DAS FLORESTAS ECONÔMICAS COMO MATERIAL PARA CONSTRUÇÃO

Após a realização da Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento, em 1992 no Rio Janeiro, elaborou-se um documento com quase 800 páginas, representando cerca de 175 países, onde foram firmados diversos acordos como: **Programas da Agenda 21**, **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento** e **Declaração de Princípios e Manejo Florestal**. Neste evento ocorreram ainda duas Convenções Internacionais: a Convenção sobre Diversidade Biológica e a Convenção sobre Alterações Climáticas (BARBIERI, 1997).

A **Agenda 21** foi um plano central onde todos os países se comprometeram em adequar as **questões ambientais** em seus programas e estratégias de ação na política nacional, abordando temas centrais como: financiamento, tecnologia, padrões de consumo, biodiversidade, biotecnologia, políticas demográficas, mudanças climáticas, desertificação e degradação do solo. A **Declaração do Rio sobre Meio Ambiente e Desenvolvimento** estabeleceu 27 princípios sobre direitos e obrigações gerais dos Estados em relação ao Meio Ambiente. Já a **Declaração de Princípios sobre Manejo Florestal** teve maior interesse por parte dos países industrializados em estabelecer uma Convenção Internacional sobre Manejo Florestal, porém reduziu-se apenas a um conjunto de princípios relativo ao manejo sustentável de florestas que poderia servir como base para um futuro instrumento Jurídico Internacional.

O resultado desta Conferência vem demonstrar o despreparo geral por parte dos Chefes de Estado em relação aos graves problemas ambientais. De acordo com SOARES (1992), nota-se a preocupação dos países industrializados em defender seus próprios interesses e a falta de vontade política dos mesmos em realizar mudanças nas próprias estruturas sócio-econômicas, fatores essenciais para a construção de um desenvolvimento efetivamente sustentável. Torna-se ainda mais claro essas prerrogativas com a declaração do presidente dos Estados Unidos, George Bush "*Nosso estilo de vida não está em negociação*", recusando-se a aceitar discussões sobre mudanças na estrutura política econômica, sobretudo nos padrões de consumo, produção e utilização de recursos. Reafirmando-se, portanto, a clara relutância em reavaliar a relação entre padrão de consumo dos países mais ricos e o "stress" ambiental.

Os países desenvolvidos foram transparentes em suas tentativas de atribuir maior peso aos problemas ambientais existentes nos países em desenvolvimento, como as queimadas e desmatamentos ao invés de se comprometerem efetivamente para a redução das emissões de CO₂, os quais são os maiores responsáveis ou propor soluções aos problemas de pobreza, da equidade sócio-econômica entre os países, dos assentamentos humanos, da fome, da saúde, etc..

De acordo com AB'SÁBER (1990), nenhum país herdou tanta responsabilidade face à preservação do mundo vivo da Biosfera quanto o Brasil, pelas condições integradas dos solos e climas quentes e úmidos geradores de extensivas biodiversidades. Pessoas e grupos esclarecidos do mundo inteiro sentem-se muito à vontade em pressionar brasileiros e autoridades brasileiras para a elaboração de uma política de preservação das biodiversidades existentes no Brasil.

Como harmonizar Conservação e Biodiversidade X Desenvolvimento Econômico?

Como premissa básica para se aproximar cada vez mais dos fundamentos da sustentabilidade é essencial que seja realizada uma análise aprofundada sobre o crescimento econômico e o desenvolvimento sócio-econômico intimamente relacionado à regeneração e conservação da biodiversidade. Faz-se necessário, portanto, um verdadeiro planejamento integrado entre os vários setores produtivos que implique numa utilização racional e equilibrada dos recursos naturais, procurando

novas alternativas que proporcionem maior desenvolvimento regional.

Desta maneira, em relação ao uso sustentável dos recursos florestais, em especial os reflorestamentos econômicos, é necessário, segundo RODÉS (2000), definir primeiramente as áreas de preservação, destinadas a conservar ecossistemas regionais, assegurando assim a continuidade dos mecanismos defensivos naturais da floresta nativa local e estendendo sua influência benéfica às florestas plantadas ao interagir na longa interface que as separa. As "manchas" de mata nativa a serem preservadas encontram suas melhores condições de sobrevivência ao redor das nascentes, nas cabeceiras e ao longo dos pequenos cursos d'água, onde a vegetação preservada também se valoriza pela sua ação estabilizadora do solo, evitando perdas pela erosão.

Segundo AB'SABER (1990), o Brasil é um dos poucos países do mundo que possui dimensões territoriais suficientes para desenvolver um plano de reflorestamento de grande escala sem prejuízo a outras atividades. Afirmar que através deste plano nacional de reflorestamento seria possível alternar espaços silviculturais, uma agricultura modernizada e flexível à diversificação, uma pecuária melhorada e as indústrias de transformação e processamento, visando maior valor agregado, além de melhorar as condições culturais e de subsistência da população rural. Afirmar ainda que certamente um Plano Nacional de Reflorestamento pode refrear e conter a marcha da destruição da biodiversidade principalmente em relação à floresta amazônica.

RODÉS (2000), define os três níveis de sustentabilidade de uma floresta como sendo:

- **econômica**, resultante de um retorno financeiro positivo das atividades de transformação, cujo crescimento fica numa dependência da equidade entre as gerações sucessivas;
- **ecológica**, indicando o nível de biodiversidade acolhida em sua área, mostra a necessidade de um equilíbrio na demanda das diversas espécies (comerciais e naturais);
- **social**, componente mais complexo dos três. No Brasil, esses aspectos sociais associados às atividades florestais estão muito ligados à evolução tecnológica e aos subseqüentes níveis de produtividade.

Um dos maiores benefícios dos reflorestamentos econômicos é a redução na pressão sobre as florestas nativas. A degradação e o desmatamento das florestas naturais talvez fossem ainda mais reduzidos quando os plantios econômicos organizados em sistemas agroflorestais representassem uma fonte efetiva de combustível e contribuíssem, do mesmo modo, para o aumento da renda local (UNRUH et al., 1993 citado por HOUGHTON, 1995).

Da mesma maneira que a preservação de áreas de florestas naturais, o manejo das florestas plantadas e naturais deve ser incluído como um importante aspecto para a solução da devastação das florestas. O planejamento do uso da terra e o zoneamento precisam ser feitos em escala mundial englobando, principalmente, as áreas tropicais visualizando áreas para reflorestamentos econômicos e habitações,

áreas de cultivo de alimentos, áreas de preservação e estudo de espécies, áreas de extração em vários níveis e quantidades da ampla variedade de produtos florestais e estudos de introdução de espécies exóticas (FREEZAILAH, 1995). O autor afirma ainda que somente através da cooperação internacional com senso de urgência, responsabilidade e solidariedade às comunidades florestais, a estratégia mundial de estabelecer um desenvolvimento sustentável global sairá do plano teórico.

Dentro de um panorama onde o Brasil se encontra, face à opinião pública internacional, constantemente censurado por questões ecológicas por seus atentados à Natureza, foi que se deu início a um importante Projeto de Florestamento, o Projeto FLORAM. Em Hamburgo, no ano de 1988, durante o congresso "Climate and Development", se discutia o efeito estufa e os problemas energéticos e ambientais e inevitavelmente confrontavam-se pesquisadores comprometidos com a causa ambiental e o "lobby" da energia nuclear, propondo a proliferação da energia nuclear em função da necessidade de minimização do uso dos combustíveis fósseis. Em meio a este confronto, surgiram as primeiras idéias para o Projeto FLORAM devido a uma questão levantada diretamente à delegação brasileira como um desafio a ser resolvido, feita pelo prof. Wilfried Bach: *"Por que o Brasil, com tamanha extensão territorial e com um clima que permite o crescimento rápido de florestas, não desenvolve um grande projeto de reflorestamento destinado a fixar em fitomassa o excesso de carbono flutuante na atmosfera?"* (MARCOVITCH, 1990).

Para seu crescimento as árvores absorvem CO₂ do Meio Ambiente e fixam carbono para formação de matéria orgânica (madeira). Durante toda sua vida, a árvore é um agente de estocagem de carbono e este estoque pode ser prolongado por muito tempo mais, utilizando a madeira como matéria-prima para construção, móveis e embalagens. No fim de seu ciclo de vida a madeira ainda pode ser utilizada para fins energéticos. Neste caso, é liberado CO₂ na mesma quantidade que o absorvido na fotossíntese, e exatamente na mesma proporção que na decomposição natural da árvore na floresta. Portanto, a matéria-prima - madeira, é neutra do ponto de vista de emissão de CO₂. A situação é fundamentalmente diferente no caso do uso da matéria-prima fóssil, pois após seu uso seriam necessárias muitas gerações para se repor o estoque do mesmo. O carbono liberado para ser novamente armazenado precisaria de milhões de anos novamente.

Além da captação do CO₂ excedente, o Projeto FLORAM tem a preocupação de garantir a viabilidade ecológica, sócio-econômica e tecnológica deste mega empreendimento em reflorestamento, tornando-o implementável em qualquer época, visando atingir vários níveis: florestas para reabilitação de solos, florestas sociais, florestas para bloqueio de desertificação, florestas para repreenhimento de drenagem, florestas híbridas de interesse sócio-econômico e cultural, florestas e bosques urbanos, bosques e áreas verdes periurbanas, revegetação e bosqueamentos viáveis para as regiões semi-áridas brasileiras (RODÉS et al., 1990). Busca-se também, com esse projeto, a possibilidade de uma conjugação entre:

- a industrialização de produtos florestais e a preservação do meio ambiente;
- a silvicultura de clones diferenciados e a biodiversidade;
- as atividades de grandes empresas e uma "social-forestry" de pequenos e médios empreendimentos.

De acordo com AB'SABER (1990), o Projeto FLORAM é um vasto e articulado programa, de amplitude nacional, para a melhoria do ambiente global, a garantia da preservação das biodiversidades remanescentes, a reimplantação de biodiversidade em áreas fortemente predadas, a atenuação das pressões predatórias sobre a Amazônia, e a implantação progressiva de florestas produtivas, sob taxas regionais limitadas, e sob modelos rurais revitalizados e de abrangente interesse social. Estes limites são necessários devido a possibilidade de constituição de cenários homogêneos de reflorestamentos contínuos, como eucalipto e pinus ou outras espécies, implicando muitas vezes na expulsão do homem do campo e no bloqueio de atividades agropecuárias.

Incentivando-se o uso da madeira como alternativa para reduzir a concentração de CO₂ na atmosfera deve ser realizado um balanço ecológico, recolhendo informações tanto negativas quanto positivas para assegurar que não haja efeitos nocivos ao meio ambiente. A idéia sobre balanço ecológico deve partir de uma exploração do recurso respeitando critérios de dimensionamento das **áreas** e da **quantidade** para se atingir uma gestão durável de floresta, partindo do princípio básico de que a madeira nunca pode ser retirada da floresta além de sua capacidade de produção (capacidade suporte). Segundo RICHTER & HOFER (1996), deve haver em consenso sobre os critérios de exploração das florestas para se manter as condições necessárias e favoráveis à biodiversidade. Na Suíça são quatro os critérios escolhidos para se atingir uma gestão durável:

- **Critério da Área** – os solos com florestas depois de exploradas devem permanecer com o mesmo uso, ou seja, a área que é ocupada por floresta não deve ser reduzida. Na Suíça houve um aumento de 40% na área ocupada por florestas depois do início do século, que cobrem hoje 30% do território total do país. Na Europa, de modo geral, as áreas florestais começam se expandir lentamente pela conscientização da importância da recuperação do meio ambiente.
- **Critério Quantitativo** – não se pode cortar quantidades maiores de madeira da floresta do que se é possível reflorestar;
- **Biodiversidade** – a atividade florestal deve manter ou incentivar a diversidade de espécies animais e vegetais. As florestas devem conter árvores adaptadas ao local, devendo manter a maior diversidade possível;
- **Critério Social** – a exploração das florestas e o uso da madeira deve ser feita prioritariamente pela própria população local que vive dessa atividade. O autor sugere, inclusive, que este último critério deva ser considerado principalmente nos países tropicais e em desenvolvimento.

O desafio é envolver modelos com múltiplas demandas que vise o desenvolvimento econômico, mas que paralelamente venha persuadir de alguma forma a conservação da biodiversidade e simultaneamente venha beneficiar a população local que sobrevive desta atividade. Os modelos devem ir de encontro às aspirações mútuas, para que as metas da conservação sejam reconhecidas e gradativamente sejam absorvidas como valor de comportamento humano (El-ASHRY, 1995).

O projeto FLORAM foi baseado em vários projetos de planos de gestão para implantação de florestas econômicas e nativas visando a conservação e o desenvolvimento regional, através do plantio em larga escala e a baixo custo, como exemplo de empreendimentos na China motivado pela necessidade de aumentar a produção de madeira para atender o setor industrial.

Para FREEZAILAH (1995), uma exploração sustentável de florestas tropicais úmidas somente seria economicamente sustentável e economicamente viável se fossem valorados outros produtos gerados pela floresta como: frutos, castanhas, plantas medicinais, assim como, o desenvolvimento do ecoturismo e, a mais recente ainda em discussão, a potencialidade de seqüestro de CO₂ pela fixação de Carbono. Em relação as florestas nativas, estes aspectos enumerados é que podem representar uma possibilidade de se atingir um manejo sustentável das florestas tropicais. De acordo com muitos estudiosos, os ciclos de exploração das florestas nativas para serem consideradas realmente sustentáveis teriam que respeitar ciclos mínimos de 150 anos, além de garantir a proteção total da biodiversidade e das encostas, vertentes e mananciais, evitando a erosão e assoreamento dos rios.

O equilíbrio entre as áreas de plantios econômicos e as florestas nativas a diversificação dos produtos florestais - lenhosos e não lenhosos - e a implementação de sistemas agroflorestais são instrumentos para garantir a integração da conservação da **biodiversidade** com a **produção**, em benefício da população local, garantindo uma considerável renda, principalmente durante os longos intervalos entre os cortes da madeira.

2.4 SITUAÇÃO DOS PLANTIOS FLORESTAIS NO ESTADO DE SÃO PAULO

Para a análise do potencial florestal existente na região sudoeste do Estado de São Paulo foi elaborado este item a partir de levantamentos bibliográficos e de registros disponíveis em bancos de dados como os do Instituto Florestal, do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística e do Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agrícola do Estado de São Paulo. Foram realizadas ainda pesquisas na região do objeto do estudo através de entrevistas a proprietários de serrarias, possuidores ou não de suas próprias áreas de reflorestamento, e em alguns órgãos municipais, como: Instituto Florestal de São Paulo – Estação Itapeva, Sindicato Rural de Itararé, Secretaria da Agricultura de Itararé, Prefeitura Municipal de Buri, Secretaria da Indústria e Comércio da Prefeitura de Itapeva, Instituto Florestal de São Paulo – Estação Experimental Itapetininga.

Nestas visitas foram discutidos assuntos diversos, como:

- o potencial de produção dos municípios e região;
- a existência de incentivos a reflorestamento econômicos;
- a situação atual da reposição florestal da região;
- a disponibilidade de fornecimento de matéria-prima para o setor da construção, produção de habitação e componentes construtivos;
- a participação dos grandes e pequenos produtores rurais na questão de reflorestamentos e;
- o consórcio agro-florestal para pequenos proprietários rurais.

2.4.1 Estimativa do Potencial Florestal

De acordo com os dados sócio-econômicos da SBS (2001), o PIB relacionado a atividade florestal; hoje corresponde a 4% do PIB nacional, gerando Us\$ 21 bilhões por ano e 2 milhões de empregos diretos e indiretos, sendo 500 mil só em florestas plantadas (pinus e eucalipto). Apenas 10 % de toda essa madeira comercializada é exportada e, portanto, o Brasil é o maior consumidor de suas próprias florestas, totalizando um consumo de aproximadamente 300 milhões de metros cúbicos ao ano. Deste montante, 100 milhões são oriundos de florestas plantadas para uso industrial, reforçando a importância destes plantios para alívio das florestas nativas que atualmente ainda são as mais utilizadas em alguns setores de produção de madeira no país, como madeira serrada e lenha (*Figuras 2 e 4*).

Segundo SBS (2001), as áreas de reflorestamentos no Brasil correspondem a 4.805.930 ha, sendo 1.840.050 ha de florestas de pinus e 2.965.880 ha de eucalipto. Os Estados detentores das maiores reservas de madeira plantada são os Estados de Minas Gerais, São Paulo e Paraná que juntos compreendem 65% de toda a área de plantios econômicos do Brasil (*Tabela 5 e Figura 10*).

Tabela 5. Áreas plantadas com pinus e eucaliptos no Brasil (ha) – 2000

Estado	Eucaliptos (ha)	Pinus (ha)	Total (ha)
Amapá	12.500	80.360	92.860
Bahia	213.400	238.390	451.790
Espírito Santo	152.330	-	152.330
Mato Grosso do Sul	80.000	63.700	143.700
Minas Gerais	1.535.290	143.410	1.678.700
Pará	45.700	14.300	60.000
Paraná	67.000	605.130	672.130
Rio Grande do Sul	115.900	136.800	252.700
Santa Catarina	41.550	318.120	359.670
São Paulo	574.150	202.010	776.160
Outros	128.060	37.830	165.890
Total	2.965.880	1.840.050	4.805.930
	62%	38%	100%

Fonte: SBS, 2001

Figura 10. Áreas plantadas de pinus e eucalipto no Brasil (ha)

Fonte: SBS, 2001.

De acordo com dados provenientes de imagens orbitais (KRONKA et al., 2002b) existem hoje 770.010 hectares de florestas plantadas, o que corresponde a 3,1% da área total do Estado de São Paulo (*Figura 11*). A *Figura 12* ilustra a concentração de áreas reflorestadas na Região Administrativa de Sorocaba e a seguir a região de estudo pertencente ao Pólo de Reflorestamento de Itapeva / Capão Bonito / Buri (*Figura 13*).

Figura 11. Concentração de áreas reforestadas no Estado de SP

Fonte: KRONKA, 2002b

Figura 12. Região Administrativa de Sorocaba

Figura 13. Pólo de Reflorestamento Itapeva/Capão Bonito/Buri

Fonte: KRONKA, 2002b

Legenda: pinus
 eucalipto

Como apresentado na **Tabela 6**, a maior parte dos reflorestamentos do Estado de São Paulo corresponde a áreas de plantio de eucalipto, cerca de 79,4%, sendo o pinus responsável por apenas 20,6%. As regiões administrativas que possuem índices mais expressivos de áreas de florestas plantadas são: Sorocaba (42,3%), Campinas (14,3%), Ribeirão Preto (12,6%), Vale do Paraíba (9,8%) e Bauru (8,7%). Nota-se que a região selecionada para estudo, região administrativa de Sorocaba, apresenta a maior área de reflorestamento do Estado de São Paulo e também a maior área em plantações de pinus, 92.664 ha. A área de pinus corresponde a 12% de todas as florestas plantadas (incluindo pinus e eucalipto) no Estado e 58,5% do total das áreas em pinus do Estado (**Figura 13**).

Tabela 6. Áreas de florestas de eucalipto e pinus no Estado de São Paulo

Região administrativa	Eucalipto (ha)	Pinus (ha)	Total (ha)	Distribuição
Sorocaba	233.406	92.664	326.070	42,3%
Campinas	100.906	9.099	110.005	14,3%
Ribeirão Preto	91.501	5.554	97.055	12,6%
Vale do Paraíba	66.663	8.762	75.425	9,8%
Bauru	47.087	20.150	67.237	8,7%
São Paulo	57.307	6.590	63.897	8,3%
Marília	5.186	3.700	8.886	1,2%
Presidente Prudente	2.131	7.436	9.567	1,2%
Litoral	4.122	4.378	8.500	1,1%
São José do Rio Preto	2.315	46	2.361	0,3%
Araçatuba	892	115	1.007	0,1%
TOTAL	611.516	158.494	770.010	100,0%

Figura 14. Áreas de florestas de eucalipto e pinus no Estado de São Paulo *Fonte:* KRONKA et al., 2002a

A **Tabela 07** indica o potencial florestal referente às áreas de reflorestamento do maior Pólo de Reflorestamento do Estado de São Paulo, o chamado Pólo de Itapeva / Capão Bonito / Buri (**Figura 13**), onde se localizam as serrarias selecionadas para a coleta de dados e algumas das áreas fornecedoras de matéria-prima para as mesmas empresas.

Tabela 7. Áreas de plantios de florestas de pinus e eucalipto

Municípios	Eucalipto (ha)	Pinus (ha)	Total (ha)
Itapeva	13.483	14.770	28.253
Itararé	14.586	7.946	22.532
Buri	9.391	11.075	20.466
Nova Campina	2.000	7.429	9.429
Apiáí	1.370	6.367	7.737
Ribeirão Branco	1.433	3.497	4.931
Bom Sucesso de Itararé	422	1.406	1.829
Itaberá	586	1.063	1.649
Taquarivaí	606	193	799
outros *	20.291	7.914	28.205
Total	64.169	61.660	125.829

* municípios não visitados e onde não foi selecionada nenhuma serraria

Fonte: KRONKA et al., 2002b

KRONKA et al. (2002a) constataram, a respeito da evolução das áreas reflorestadas do Estado, que pela primeira vez há um decréscimo nas áreas de florestas plantadas no Estado de São Paulo, devido a exploração sem reposição florestal do pinus, pois as áreas de eucalipto permanecem estáveis (**Tabela 8 e Figura 15**).

Tabela 8. Evolução dos plantios de pinus e eucalipto no Estado de São Paulo

Gênero	Período (área em ha)				
	1961-1962 ⁽¹⁾	1969 ⁽²⁾	1971-1973 ⁽³⁾	1991-1992 ⁽⁴⁾	1999-2000 ⁽⁵⁾
Eucalipto	335.700	510.900	490.560	610.544	611.517
Pinus	17.200	102.100	142.070	194.054	158.494
TOTAL	352.900	612.000	632.630	804.598	770.010

(1) BORGONOVÍ et al. (1967) citado por KRONKA et al. (2002a);

(2) Programa Florestal do Estado de São Paulo (1970) citado por KRONKA et al. (2002a);

(3) Zoneamento Econômico Florestal do Estado de São Paulo (1975) citado por KRONKA et al. (2002a);

(4) Inventário Florestal do Estado de São Paulo – Instituto Florestal (1993);

(5) Inventário Florestal do Estado de São Paulo – Instituto Florestal (2002)

Fonte: KRONKA et al. (2002)

Figura 15. Evolução dos plantios de pinus e eucalipto no Estado de São Paulo. Fonte: adaptado KRONKA et al., 2002a

Segundo os mesmos autores, no que se refere à idade das plantações, na maior parte das áreas de plantio de pinus predominam árvores adultas com idade superior a 25 anos, restando apenas cerca de 3% das áreas para indivíduos jovens (menos de 5 anos de idade). Cabe ressaltar que aproximadamente 40% do total das áreas de plantio de pinus permanecem ainda sem informações a respeito da idade das plantações (*Tabela 9*).

Tabela 9. Idade das áreas de plantio de pinus no Estado de São Paulo

IDADE (área em ha)					TOTAL
< 5 anos	6-15 anos	16-25 anos	>25 anos	S/informações	
5.142	12.140	19.968	59.073	62.171	158.494

Fonte: adaptado de KRONKA et al., 2002a

Na Região Administrativa de Sorocaba, de acordo com a *Tabela 10* e a *Figura 16*, verifica-se que a maior parte dos detentores das áreas de plantio eucalipto e pinus são as empresas do setor celulósico-papeleiro e de chapas, compreendendo 51,2% do total das áreas plantadas na região. As reflorestadoras detêm por outro lado as maiores áreas com florestas de pinus, cerca de 14.524 ha (15,7%).

Tabela 10. Detentores das Áreas de reflorestamentos na Região Administrativa de Sorocaba

Categoria	Eucalipto (ha)	Pinus (ha)	Total (ha)
Empresas (1)	135.678	31.120	166.798
Reflorestadoras (2)	46.877	34.707	81.584
Governamentais (3)	3.148	14.524	17.672
Não identificados (4)	47.704	12.313	60.017

- (1) Empresas setor celulósico-papeleiro, chapas e matéria-prima para energia
 (2) Reflorestadoras e pequenas reflorestadoras produtoras de matéria-prima para diversos fins (processamento mecânico, energia, chapas, celulose, construções entre outros)
 (3) Entidades governamentais (Instituto Florestal e Ibama)

Figura 16. Detentores das Áreas de reflorestamentos na Região de Sorocaba Fonte: KRONKA et al., 2002b

2.4.2 Análise do atual mercado florestal

O comércio internacional de madeira serrada nos últimos anos gira em torno de 100 milhões de metros cúbicos, cerca de 75% de coníferas e 25% de folhosas. No período de 10 anos, de 1982 a 1992, o valor médio das coníferas variou positivamente em 39% (atingindo em média de 158,8 dólares por metro cúbico) e as folhosas em 58%, provavelmente pela tendência de escassez do recurso (FAO apud PONCE, 1997).

Apesar do Brasil ter uma pequena participação no mercado exterior de madeira, segundo LEITE (2003b), a exportação de produtos de base florestal (nativas e plantadas) é crescente, tornando-se o segundo maior setor industrial exportador do país, com superávit anual de cerca de US\$ 3,4 bilhões. Deste total, o setor de florestas plantadas contribui com US\$ 3,35 bilhões na exportação e US\$ 968 milhões na importação. O segmento de papel e celulose contribui com 57,1%; móveis com 15,5%; siderurgia com 14,3% e *madeira sólida* com 13,1%.

Um dos atributos para a valorização e comercialização da madeira é a firme disponibilidade da matéria-prima selecionada (PONCE, 1997). Na região de estudo e de modo geral no Estado de São Paulo, devido a inexistência de um plano de manejo adequado na época dos incentivos fiscais, analisando as dimensões, a conicidade, circularidade, espiralamento das toras, encontra-se uma matéria-prima muito heterogênea. Isto explica a dificuldade de padronização no processamento nas serrarias, gerando peças não uniformes e com diversos tipos de defeitos. Conseqüentemente, de todo o material industrializado nota-se que somente pequena parcela da produção tem possibilidade de atingir a classificação necessária ao padrão exigido para exportação. Isso explica a pequena representatividade do Brasil dentro do mercado internacional de madeira serrada.

Por este motivo, observa-se que na região estudada, a madeira serrada tem ainda mercado basicamente para a produção de caixaria, embalagens e tábuas para uso como fôrmas na construção civil, que são produtos de baixo valor agregado.

De acordo com PONCE (1997), as principais causas deste fraco desempenho são:

- a grande heterogeneidade das florestas brasileiras, prejudicando os vários estágios da produção;
- os resultados dos incentivos fiscais (grandes maciços florestais com manejo não adequado, onde muitos não sofrem desbastes, o que significa a existência de toras de pequeno diâmetro, e onde não ocorre a poda dos galhos, resultando em madeira com muitos nós) determinando baixa qualidade da madeira e competitividade no mercado externo;
- o rápido crescimento das florestas em especial de pinus, apresentando propriedades desfavoráveis ao mercado externo como a baixa densidade, devido a falta de tecnologia de processamento;

- a pouca compreensão da importância de práticas essenciais à qualidade do produto, como por exemplo a secagem e a afiação entre outros.

Dados precisos sobre o mercado de fornecimento de madeira na região não foram encontrados localmente, dada a desarticulação do setor e a falta de levantamentos atualizados. Entretanto, nas entrevistas realizadas com alguns produtores e compradores de madeira cujo relato tem caráter ilustrativo, indicam um consenso em afirmar que:

- existe dificuldade em se obter madeira de maiores diâmetros (acima de 25 cm) que vem resultando em um aumento gradativo de preço das toras;
- há uma grande preocupação entre os diversos setores da indústria madeireira com relação a reposição florestal, há uma pequena parcela apenas de árvores jovens (abaixo de 10 anos) como mostra a **Tabela 9**;
- a fabricação de produtos de menor valor agregado como a madeira para caixaria e madeira serrada em geral tem seu custo equiparado com o preço de venda, desestimulando a atividade;
- há uma tendência para as empresas se voltarem para o mercado externo em função dos melhores preços pagos aos produtos gerados, porém há a necessidade de modernização no processamento.

Conclui-se que, na região, muitos dos pequenos proprietários de serrarias, por não possuírem suas próprias áreas de florestas, sofrem maiores prejuízos com a escassez de madeira disponível e encerram suas atividades no período da manhã por falta de estoque de toras no pátio. Devido a essa menor oferta de matéria-prima, os preços também se tornaram inacessíveis a muitas das serrarias de pequeno e médio porte cujo principal produto são as embalagens. Durante o período de pesquisa pôde-se constatar o fechamento de algumas serrarias e de laminadoras produtoras de chapas.

Possivelmente muitos destes problemas estão relacionados à diminuição dos estoques de madeira adulta de pequenos e médios proprietários de florestas de pinus e eucalipto plantados na época do incentivo fiscal, os quais não vieram fazendo ao longo do tempo a reposição florestal. Contudo, KRONKA et al. (2002b) em um estudo sobre as áreas reflorestadas do Estado afirmam que a maior proporção de toras, cerca de 37% do estoque existente no Estado, é de árvores adultas (mais de 25 anos). Pode-se supor, desta maneira, que esta madeira existente, mas não disponível no mercado, é em grande parte pertence às grandes reflorestadoras ligadas a outros segmentos industriais. Um deles é o setor de papel e celulose que, por necessitar de matéria-prima mais homogênea, tem uma política florestal mais organizada, não sendo atingido tão facilmente pela crise no setor florestal (**Tabela 10 e Figura 16**).

Hoje já se fala no "Apagão Florestal", pois o Brasil vem reflorestando muito aquém das necessidades industriais do país (LEITE, 2003a), como fica claro na **Tabela 9**, pelo reduzido número de indivíduos jovens encontrados nas plantações existentes. A médio prazo, se não forem tomadas sérias medidas

para reverter este quadro, poderá faltar madeira para abastecer o setor madeireiro. Segundo LEITE (2003a) há a necessidade de plantar no Brasil 630 mil ha/ano de florestas para atender a demanda das indústrias de base florestal. O setor moveleiro, no sul do país já vem importando matéria-prima da Argentina tendo que arcar com os altos custos de transporte. Muitos estão utilizando, madeira abaixo da idade recomendável de corte, o que prejudica a qualidade dos produtos, a durabilidade e o meio ambiente, por todos os problemas relacionados aos ciclos curtos das florestas.

Contudo, em alguns municípios visitados, observou-se uma orientação por parte dos órgãos públicos e sindicatos aos pequenos proprietários rurais para introduzirem em suas propriedades sistemas de consórcios agro-florestais visando o aumento da renda familiar; a manutenção das famílias no campo e a reposição florestal da região.

Segundo LEITE (2003b), atualmente, pela primeira vez após o fim dos incentivos fiscais, o governo tem dado importância ao setor florestal, abrindo linhas de créditos para pequenos e médios produtores (PROPFLORA e PRONAF Florestal), dada a importância da madeira na economia nacional e na geração de empregos diretos e indiretos.

3 | SUSTENTABILIDADE NO SETOR DA CONSTRUÇÃO

3.1 SUSTENTABILIDADE NA CONSTRUÇÃO – PRINCÍPIOS E CONCEITOS

Os conceitos de desenvolvimento sustentável foram gradativamente permeando na formulação das futuras diretrizes e nas definições de planejamentos estratégicos em todos os setores da sociedade. Desta maneira, a busca do desenvolvimento sustentável alcançou inevitavelmente o ambiente construído e os setores industriais da construção civil.

Uma interpretação mais específica das necessidades e preocupações do setor da construção ocorreu na elaboração da "Habitat II Agenda", na Conferência das Nações Unidas em Istambul, em 1996. Grandes esforços foram realizados pelo princípio defendido de que *a indústria da construção é a maior contribuidora para o desenvolvimento sócio econômico em basicamente qualquer país (HABITAT II AGENDA)*.

Em praticamente todos os países, o ambiente construído é responsável por mais da metade do capital real e as construções representam a maior parte do Produto Interno Bruto dos mesmos (de 10 a 12% na União Européia). Com mais de 30 milhões de empregados na União Européia, a construção representa o maior setor industrial. *Por sua vez, é a maior consumidora de recursos - energia e matéria-prima. Estima-se que as construções consumam cerca de 40% do total de energia de um país, sejam responsáveis por 30% das emissões de CO₂ e gerem aproximadamente 40% de todos os resíduos produzidos pelo homem (CIB, 1999).*

A *Agenda 21 para Construção Sustentável* foi elaborada com o objetivo de interligar as Agendas Globais existentes, isto é, o Relatório de Brundtland e Habitat II Agenda às agendas nacionais e locais para o desenvolvimento do ambiente construído e indústria da construção.

Na primeira Conferência Internacional de Sustentabilidade na Construção, em Tampa - 1994, foi definido como construção sustentável: a produção e gerenciamento responsável para o ambiente construído saudável baseado na eficiência dos usos de recursos e em princípios ecológicos.

Segundo CIB (1999), os conceitos elaborados para a sustentabilidade na construção, devem respeitar as prioridades dos diferentes países em função da economia de mercado, das transições econômicas e do grau de desenvolvimento dos países. Na compreensão e interpretação da sustentabilidade nas construções houve a necessidade de uma evolução de aspectos a serem considerados para se atingir o desafio de melhoria da qualidade de vida. No início, a ênfase foi dada aos limites de recursos (em

especial, a energia) e em como reduzir os impactos ao meio ambiente. Num segundo momento, focalizou-se os aspectos técnicos das construções (materiais, componentes, tecnologias construtivas, etc.) e hoje, a atenção está voltada aos *non-technical and soft issues*, ou seja, na sustentabilidade social e econômica, e mais recentemente nos aspectos culturais e da herança cultural, que representam no mínimo os elementos cruciais e preeminentes para se atingir o desenvolvimento sustentável nas construções.

Sucintamente os principais aspectos e desafios detalhados na Agenda 21 para Sustentabilidade na Construção são: 1) gerenciamento e organização; 2) produtos e construções; 3) consumo de recursos; 4) os impactos da construção no desenvolvimento sustentável urbano; 5) carga/opressão sobre o meio ambiente e 6) aspectos sociais, culturais e econômicos.

A chave para o desenvolvimento sustentável da construção é a mobilização dos recursos de acordo com sua capacidade de suporte, as inovações tecnológicas e estudos da viabilidade de produção e o marketing de novos materiais e tecnologias (CIB & UNEP-IETC, 2003). Em muitos casos não é a falta de recursos, mas a falta de coordenação em gerenciá-los que impede que as estratégias adotadas no processo de produção sejam mais eficientes para se evitar problemas ao meio ambiente.

3.2 CADEIA PRODUTIVA E INDICADORES DE SUSTENTABILIDADE

A base metodológica do trabalho está fundamentada na análise do fluxo produtivo de habitação em madeira, utilizando-se alguns fundamentos da Análise do Ciclo de Vida - ACV (ou LCA - Life Cycle Analysis). Analisando-se todas as etapas da cadeia produtiva de uma edificação, é possível verificar a responsabilidade ambiental desde o início do processo de produção, ou seja, desde a extração do recurso até o uso, manutenção da edificação e disposição final dos materiais, do berço ao túmulo. Na **Figura 17** podemos observar o fluxo produtivo geral da madeira, suas etapas, produtos, componentes gerados e ciclagem da matéria-prima.

Já a **Figura 18** mostra a cadeia produtiva específica do processamento da madeira serrada para a produção habitacional e as fases que serão abordados no presente trabalho: floresta, serraria, beneficiamento e montagem.

Figura 17. Cadeia de Produção da Madeira

Fonte: TRÄTEK, 1977.

Figura 18. Cadeia produtiva da madeira serrada para a produção habitacional

O método LCA não só descreve a hora que o efeito ocorre, mas facilita a quantificação deste efeito, possibilitando atacar com maior exatidão o problema dentro do processo de produção. Segundo CANADIAN WOOD COUNCIL (1997), este método de análise dos impactos permite verificar direta e indiretamente a responsabilidade ambiental associada à produção, processamento e uso.

TIBOR & FELDMAN (1996) afirmam que o interesse na avaliação do ciclo de vida reflete uma preocupação com o impacto das atividades industriais no meio ambiente. Muitas empresas estão fazendo uso da análise do ciclo de vida para tornar suas operações mais eficientes e colocar menores cargas no meio ambiente.

Segundo RICHTER (1998), o LCA quando aplicado em materiais de construção demonstra que a madeira apresenta consideráveis benefícios ambientais. Estes aspectos positivos podem ser usados fortemente para contribuir para a competitividade no uso deste material e de seus derivados. O método LCA coloca o foco no ponto de real importância, podendo ser utilizado para informar profissionais, construtores e autoridades administrativas públicas e privadas sobre qualidades ambientais no uso dos materiais.

Dentro de toda a cadeia de produção, o LCA permite detectar e quantificar o problema que se pretende minimizar ou eliminar, analisando qual o primeiro passo a ser dado para otimização do processo produtivo.

Como exemplo da aplicação do LCA, analisando apenas um aspecto dentro da cadeia produtiva, a energia, LAWSON (1997) afirma que cerca de 75% da energia consumida localiza-se na etapa de secagem. Cabe salientar que a variação existente de consumo energético, encontrada em diferentes trabalhos científicos, na etapa de secagem, se deve ao tipo de processo utilizado (estufa ou ao ar livre), a espécie de madeira, assim como a possibilidade de aproveitamento do próprio resíduo da madeira como fonte de energia calorífica.

Já na fase de construção, comparando três edifícios em Melbourne, Austrália, MCARDLE citado por LAWSON (1997) afirma que a energia embutida foi basicamente distribuída em: assoalhos/forro (43-52%), paredes internas e externas (20-30%) e telhados (2-8%). Em um dos casos, as colunas foram responsáveis por mais de 20% da energia da construção.

A seguir serão descritos alguns indicadores que definirão posteriormente a abrangência do presente trabalho.

3.3 INDICADORES DE DESEMPENHO AMBIENTAL

Em cada uma das etapas envolvidas no processamento da madeira podem ser analisados diversos indicadores que sinalizem possíveis impactos ao meio ambiente, seja em nível global, local ou em relação aos próprios usuários. Os indicadores de sustentabilidade são ferramentas que identificam e

dimensionam questões ou problemas e auxiliam na criação de banco de dados e no monitoramento de progressos alcançados. Quando possível essas medidas devem ser comparadas com padrões apropriados e já estabelecidos.

Baseado em pesquisas desenvolvidas pelo centro de pesquisa Bequest - *Building Environmental Quality Evaluation for Sustainability through Time* (CURWELL, 1998) da Universidade de Salford, os indicadores de sustentabilidade para o ambiente construído podem ser divididos em quatro grandes áreas de trabalho: 1) meio ambiente; 2) social/econômico; 3) construção civil e 4) segurança/saúde.

Em um processo produtivo voltado para a indústria da construção essas áreas citadas acima podem ser subdivididas em indicadores de sustentabilidade mais específicos, como: consumo de energia; produção de resíduos e emissão de substâncias nocivas ao meio ambiente (atmosfera, água e solo), consumo de recursos renováveis, conforto ambiental, uso de combustíveis fósseis, uso de recursos escassos, grau de reutilização e de reciclagem dos materiais, durabilidade dos materiais ou da própria edificação, aproveitamento de recursos locais, custos e geração de emprego no setor; assim como aproveitamento da cultura construtiva local, entre outros.

De acordo CANADIAN WOOD COUNCIL (1997), através do LCA foram comparados alguns indicadores na simulação de três edifícios iguais, de 4.620m², mas utilizando diferentes materiais, como: madeira, aço e concreto. Cada edifício possuía três pavimentos e um subsolo para garagem e, obedeciam ao Código Nacional de Edificações no Canadá. Na **Tabela 11**, podem ser observados os resultados, chegando a valores que demonstram a construção de madeira ter o menor impacto em relação aos demais materiais e em todos os aspectos analisados.

Tabela 11. Comparação de três edifícios em madeira, aço e concreto.

Material	Consumo Energia	Emissão de CO ₂	Poluição do Ar	Poluição da Água	Resíduos Sólidos	Impacto Ambiental
Madeira ¹	x	x	x	x	x	x
Aço ²	2,4 x	1,45 x	1,42 x	1,20 x	1,36 x	1,16 x
Concreto ³	1,7 x	1,81 x	1,67 x	1,90 x	1,96 x	1,97 x

x - unidade de mínima

Fonte: Canadian Wood Council, 1997

¹ Piso e painéis de compensado; ossatura de madeira e estrutura principal em laminado colado.

² Piso e cobertura: aço galvanizado; piso de concreto com malha de aço; estrutura principal em aço.

³ Piso e Cobertura: moldes in loco de placas em concreto; painéis pré-moldados e estrutura em concreto.

Na sequência do presente trabalho, apresenta-se um levantamento bibliográfico sobre três dos vários indicadores de sustentabilidade que representam atualmente uns dos mais sérios aspectos de degradação do Meio Ambiente. Dentro da cadeia produtiva de habitação em madeira de reflorestamento, os indicadores analisados, em Estado da Arte, foram: consumo de energia, produção de resíduos sólidos e emissão de CO₂. Posteriormente foram definidos apenas dois aspectos para serem coletados dados de campo e analisados mais especificamente para a avaliação da situação da indústria madeireira na região Sudoeste do Estado, descritos nos Capítulo IV e Capítulo V.

3.3.1 Consumo de energia

Inicialmente, de modo geral na quantificação do consumo de energia nas construções era considerado somente o processo básico da produção dos materiais e dos componentes construtivos. Porém, em recentes pesquisas tem-se dado maior ênfase em se quantificar a energia embutida do material desde a extração, a transformação da matéria-prima até o componente acabado, o uso do edifício (aquecimento, refrigeração e iluminação) e a demolição. Classifica-se desta maneira, os materiais de menor gasto energético dentro de um processo cíclico de produção.

De acordo com CANADIAN WOOD COUNCIL (1997), a energia usada durante o tempo de vida de uma construção é um dos itens mais importantes para a análise do impacto ambiental neste setor. No Canadá, a energia usada para aquecimento, resfriamento, ventilação e iluminação nos edifícios representam mais de 30% do consumo nacional. Por esta razão na escolha dos materiais de construção e na elaboração do projeto deve ser necessariamente considerado o consumo de energia, tanto para a fabricação quanto para a eficiência no uso da edificação.

De acordo com PRESCO (1999), em cidades européias, o consumo de energia nos setores residenciais (incluindo educação, recreação, saúde, serviços e outros) é muito relevante, correspondendo a 40% do consumo total da cidade, sendo o restante dividido em cerca de 30% para a indústria e 30% para o setor de transporte.

Na Austrália, as edificações são responsáveis por cerca de 25% de todo o consumo de energia no país, no Estados Unidos em torno de 40% e no Reino Unido cerca de 45%. (SZOKOLAY, 1997).

Portanto atualmente, as decisões no modo de produção devem considerar a energia embutida e o peso que representa para o meio ambiente. Segundo VOLZ (1998), os arquitetos e engenheiros devem abordar também, de acordo com o código alemão: o planejamento urbano, o design, a funcionalidade do edifício, a tecnologia, as características físicas das construções, a economia, os gastos com energia e a ecologia da paisagem. Em relação às exigências no uso da energia, deve ser considerada a eficiência do uso e o uso de energias renováveis. A madeira, no código alemão, foi classificada como um dos materiais de construção que satisfaz a todas estas exigências.

Segundo WINTER (1998), usando a madeira para construção economiza-se a quantidade de energia em duas etapas: uma na formação da matéria-prima que se faz através da absorção da energia solar (fotossíntese) e a outra com o baixo consumo de energia necessária para a usinagem da madeira. Apresenta ainda outra vantagem em relação ao consumo de energia, para o processamento e montagem da construção, pela possibilidade de aproveitamento de seus resíduos como energia calorífica.

De acordo com LAWSON (1997), o cálculo da taxa de energia embutida nos materiais, componentes e nas edificações em geral podem ser quantificados pela Energia Global Requerida (GER - *Gross Energy Requirement*) - energia consumida em todas as etapas da cadeia produtiva ou pela Energia Requerida no

Processamento (PER - *Process Energy Requirement*). Neste caso, a energia é mais rapidamente calculada, produzindo mais firmes bases para comparação entre os materiais. O mesmo autor afirma que a manufatura do material ou componente representa 50-80% do GER (*Tabela 12*).

Tabela 12. Valores obtidos pelo PER para materiais de construção.

Material	Energia Embutida	Material	Energia Embutida
Madeira mole seca em estufa	3,4 MJ/kg	Cimento	5,6 MJ/kg
Madeira dura seca em estufa	2,0 MJ/kg	Bloco de concreto	1,4 MJ/kg
Madeira dura seca ao ar livre	0,5 MJ/kg	Vidro	12,7 MJ/kg
Compensado	10,4 MJ/kg	Aço galvanizado	38,0 MJ/kg
PVC	80,0 MJ/kg	Alumínio	170,0 MJ/kg

Fonte: LAWSON, 1997

O mesmo autor afirma que apesar da diferença de densidade entre espécies de madeira, as madeiras de alta densidade consomem uma quantidade significativamente menor de energia na secagem em estufa, assim como no tratamento. As propriedades físicas da madeira dura impedem que as mesmas percam umidade rapidamente, portanto, diferentemente das madeiras moles, as madeiras de alta densidade devem ser sujeitas a secagem artificial somente após alcançarem cerca de 25% do nível de saturação das fibras. Até atingir esta umidade adequada, esta madeira deve permanecer a temperatura e umidade do ambiente, significando um longo processo, significando maior custo de armazenamento no pátio, mas de baixa demanda energética.

Contudo, analisando a diferença de consumo energético entre madeira de alta e baixa densidade durante as etapas de processamento da matéria-prima, nota-se que a madeira dura tem uma demanda significativamente maior devido a diferença da pressão específica de corte (daN/mm^2), resultando uma potência de corte diferenciada. Neste trabalho, o valor encontrado da potência de corte para o pinus é 55% do valor da potência de corte para o eucalipto.

Já SZOKOLAY (1997) classifica a energia consumida em dois níveis: a energia principal (c), que inclui o conteúdo energético dos materiais e componentes construtivos (*Tabela 13*) e a energia operacional (o), quantidade consumida anualmente para aquecimento, refrigeração, ventilação, iluminação e serviços na edificação. O autor afirma inicialmente que a relação em edificação de C/O era cerca de 5, ou seja, a energia principal equivaleria a 5 anos de energia operacional. Para uma habitação pobre na Austrália, esta relação era 2,5 anos. Recentes estudos produziram resultados de até 50 anos, pela melhoria dos materiais e da própria edificação como, por exemplo, a utilização de isolamento térmico.

Tabela 13. Conteúdo energético de alguns materiais de construção

Materiais de baixa energia embutida (<1 kWh/kg)	Concreto	0,2 – 0,5	kWh/kg
	Madeira serrada	0,5 – 0,9	
Materiais de média energia embutida (1 a 10 kWh/kg)	Tijolos cerâmicos	1,0 – 1,2	kWh/kg
	Telhas de fibro-cimento	2,1	
	Cimento	2,2	
Materiais de alta energia embutida (> 10 kWh/kg)	Aço galvanizado	10,5	kWh/kg
	Alumínio	46 – 56	
	PVC	80	

Fonte: SZOKOLAY, 1997

HOFFER & RICHTER (1996) realizam outra forma de análise dos aspectos energéticos em uma construção, comparam: o consumo de energia renovável e não renovável de diferentes materiais para produção de paredes externas (*Figura 19*).

Figura 19. Consumo de energia renovável e não renovável

Fonte: HOFFER & RICHTER, 1996

LAWSON (1997) afirma ainda que a quantidade de energia embutida em uma casa de estrutura de madeira comparada a uma de aço é da ordem de 35 a 50% menor na de madeira do que na de aço, que teria, esta última, cerca de 120.000 MJ. Portanto, na construção de 100.000 casas na Austrália, se fossem utilizadas estruturas de aço, haveria uma adição no consumo de energia de 12×10^9 MJ. Esta energia adicional seria suficiente para abastecer cerca de 6.500 casas por 50 anos, e a quantidade de gás carbônico adicional liberado seria da ordem de milhões de toneladas.

3.3.2 Produção de resíduos

Outro importante indicador de sustentabilidade que influencia diretamente na classificação dos materiais em relação ao impacto ao meio ambiente é a quantidade de resíduos sólidos produzidos em seu processo de transformação, considerando ainda a capacidade de reutilização e reciclagem do mesmo, no final do processo de produção ou em cada uma das etapas da cadeia produtiva.

Estima-se que as construções são responsáveis por gerar aproximadamente 40% de todos os resíduos produzidos pelo homem CIB (1999). Em estudos realizados na comunidade europeia, o total de entulho de construção em países desenvolvidos atinge de 500 a 1000kg per capita, chegando a um total de 175 milhões de t/ano (SMA, 1998).

LAWSON (1997) estima que na Europa somente 5% dos resíduos sólidos das construções são reciclados e que seria possível reciclar até 75% de todo material utilizado. Afirma ainda que na Austrália cerca de 40% dos materiais de construção já estão sendo reciclados de alguma forma.

De acordo com CANADIAN WOOD COUNCIL (1997), a manufatura dos produtos da madeira produz pouco resíduo em comparação a outros materiais e os mesmos (cascas, cavaco e pó-de-serra) podem ser

reutilizados na produção de outros derivados da madeira: compensado, placas, MDF e outros (WEGENER & ZIMMER, 1998).

De acordo com o desenvolvimento sustentável e o mecanismo de desenvolvimento limpo (MDL), o processo produtivo deve considerar o destino final do objeto produzido, desenvolvendo estratégias para facilitar a reciclagem e reutilização dos materiais com maior clareza aos benefícios ambientais.

3.3.3 Emissão de CO_2 e a questão do sequestro do carbono

A concentração de dióxido de carbono na atmosfera, segundo diversos autores, tem aumentado significativamente. Até o ano de 1800 era de 280 ppm e em 1990 atingiu 353 ppm e atualmente sofre um acréscimo de cerca de 1,6 ppm (0,5%) ao ano. Cada vez mais as ações antropogênicas, como a queima de combustível fóssil e vegetal, os extensos desmatamentos, queimadas entre outras, intensificam suas atividades dando espaço às culturas de menor capacidade de armazenamento de carbono.

Desta maneira, pode-se considerar a emissão de gases como o CO_2 , como mais um indicador de qualidade e de transformação do meio ambiente, sendo que este último é o principal gás responsável pelo efeito estufa e por grandes acidentes climáticos, devido à conseqüente elevação da temperatura da terra.

De acordo com RICHTER & HOFER (1996), as atividades humanas utilizam mundialmente 6 milhões de toneladas de carbono por ano. Aproximadamente 5 milhões de toneladas provêm do consumo de energia fóssil e 1 milhão de toneladas da queima de florestas, provocando um aumento na concentração de CO_2 em 0,5% por ano na atmosfera.

Em cidades européias, as emissões de CO_2 pelo setor da construção civil são relevantes, segundo PRESCO (1999) e CIB (1999) atingem cerca de 30% das emissões totais.

As florestas cobrem cerca de 39% da superfície da terra e armazenam cerca de 85% de todo carbono orgânico vivo. A extrema importância das florestas para o equilíbrio de carbono global está no interior das árvores e no solo onde há mais carbono estocado que o existente atualmente na atmosfera (HOUGHTON, 1995).

RODÉS et al. (2000), afirma que de 1978 a 1998, o desmatamento anual foi de aproximadamente 2 milhões de hectares, resultando em mais de 300 milhões de tC/ano ou 6 bilhões tC em 20 anos. Cerca de 12,9% da floresta amazônica já foram devastadas, aproximadamente 517.069 km². Contudo, apesar destes dados alarmantes, o mesmo autor, mostra na tabela abaixo o estoque de carbono armazenado nas áreas de florestas do Brasil (*Tabela 14*).

Tabela 14. Estoque de Carbono no Brasil

	Florestas nativas	Reflorestamentos
Área (ha x 1000)	546.000	6.000
Estoque de Carbono (billion tC)	116,4	1,0

Fonte: RODÉS et al., 2000

A situação de maior prejuízo, em relação às florestas, para o equilíbrio na concentração de CO₂ na atmosfera são as queimadas². Neste caso não há o aproveitamento da madeira e nem do poder calorífico, contribuindo assim, para o aquecimento global da terra e degradando fauna, flora, recursos hídricos e a qualidade do ar.

A árvore é um agente de estocagem de carbono e este estoque prolongado utilizando a madeira como matéria-prima, do ponto de vista ecológico, representa grandes ganhos para o meio ambiente. Uma das maneiras de se reduzir as emissões de CO₂ e ainda retirar da atmosfera o excedente já liberado, é o plantio de árvores. Para seu crescimento as árvores absorvem CO₂ do meio ambiente e fixam carbono para formação de matéria orgânica³. Os compostos de carbono constituem a maior parte da biomassa da floresta. O carbono retorna para a atmosfera através do processo de respiração da planta, da decomposição de seus resíduos e da carbonização da biomassa. O equilíbrio entre estes processos é que determina se uma floresta é fonte ou dreno de carbono (REIS et al.).

Durante seu ciclo de vida, a floresta utilizada para fins energéticos ou a que sofre decomposição natural (florestas não utilizadas/não corretamente manejadas)⁴, em ambos os casos permanece neutra do ponto de vista de emissão de CO₂. Neste caso, é liberado CO₂ na mesma quantidade que o absorvido na fotossíntese, praticamente todo o carbono seqüestrado para a formação da biomassa será aos poucos liberado.

A floresta derrubada, seguida por recrescimento e recuperação completa da mesma, pode não ter nenhum efeito favorável além do próprio equilíbrio na concentração de carbono na atmosfera. Porém, se a madeira cortada for usada em construções, mobília e outros produtos duradouros, a derrubada das árvores com recrescimento da floresta levará a um acúmulo líquido positivo de carbono na terra, contribuindo para a redução das taxas de CO₂. No entanto, como muitas derrubadas não são eficientes e não são seguidas de recuperação, apenas parte desta biomassa original acaba sendo estocada e o CO₂ continua sendo liberado (HOUGHTON, 1995).

Segundo RICHTER & HOFER (1996), o uso da madeira ainda proporciona menores gastos energéticos em seu processo para produção em comparação com outros materiais, portanto menor emissão de CO₂

² Floresta queimada $\text{madeira} + \text{fogo} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + e$ (energia calorífica)

³ Florestas manejadas $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + v = \text{madeira} + \text{O}_2$ (v energia luminosa)

⁴ Floresta não manejada $\text{madeira} + \text{micro-organismos} + \text{O}_2 = \text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$

e, com a transformação desta matéria-prima em bens mais duráveis (construção, móveis e embalagens), maior será o tempo de estoque de carbono evitando que seja liberado para atmosfera.

Portanto, faz-se de grande importância a avaliação da vida média dos produtos, sendo ideal que o produto tenha pelo menos a vida média igual à idade de rotação da floresta (DEWAR & CANNELL, 1992 citado por REIS et al.). A madeira serrada, ao ser utilizada em construções e mobiliários, pode favoravelmente manter o carbono armazenado por várias décadas.

Desta maneira, além da madeira contribuir para minimizar o efeito estufa quando prolongada a vida útil do material na construção, há a possibilidade desta matéria-prima ser usada como combustível, substituindo o uso intensivo de combustíveis fósseis (RICHTER, 1998).

O carvão vegetal, porém é ainda mais vantajoso do que o uso de carvão mineral, pois a liberação de dióxido de carbono pela queima do combustível fóssil é feita sem que haja a possibilidade de reposição. No caso do uso do carvão vegetal pode ser feita essa reposição pelos reflorestamentos, absorvendo novamente o que foi liberado.

Discorrendo sobre os indicadores de sustentabilidade relacionados neste trabalho, através da pesquisa bibliográfica realizada, conclui-se que a madeira possui um potencial altamente favorável ao meio ambiente para utilização como material de construção, por representar um recurso renovável, não fóssil, de baixa demanda energética em seu processo de produção e com grandes possibilidades de aproveitamento do poder calorífico dos resíduos produzidos, além de ter um importante papel como medida estratégica na diminuição da concentração de CO₂ na atmosfera.

A seguir definiu-se alguns dos indicadores citados anteriormente para a realização da fase de coleta de dados junto às serrarias selecionadas visando gerar informações para a análise do grau de impacto da atividade de processamento da madeira serrada.

3.4 INDICADORES SELECIONADOS PARA A COLETA DE CAMPO

Neste item foram definidos como indicadores numéricos a serem analisados, nas etapas de colheita da floresta, processamento e montagem, a **energia consumida** e os **resíduos gerados** por representarem aspectos que se encontram presentes em praticamente todos os processos de produção. A energia, pela necessidade inevitável de consumi-la no intuito de gerar trabalho e os resíduos, por serem parte dos insumos não aproveitados em um processo de transformação da matéria-prima.

A escolha destes dois indicadores origina-se ainda pela constatação da importância atribuída a energia e aos resíduos nos critérios existentes para avaliação e classificação dos materiais de construção e sistemas construtivos de diversos países. Na sequência será apresentada a síntese destes critérios e suas respectivas abrangências.

3.4.1 Critérios de avaliação dos materiais de construção e edifícios

Várias estratégias foram traçadas para minimizar os graves problemas ambientais causados pela indústria da construção civil visando: reduzir os resíduos gerados na construção, otimizar o consumo de energia e recursos não renováveis, minimizar o uso de produtos tóxicos, reduzir as emissões de gases formadores de efeito estufa, entre outros. Da mesma maneira, procurou-se desenvolver critérios que avaliassem o grau de impacto e a evolução na elaboração dos produtos, processos e atividade do setor para se atingir maior eficiência na produção dos materiais e dos edifícios, considerando toda a cadeia produtiva: da extração da matéria-prima à demolição.

Grande parte destes critérios foram baseados na metodologia aceita internacionalmente, a Análise do Ciclo de Vida (LCA). Por outro lado, devido a importância em se considerar o local e o contexto de inserção do objeto de estudo, foram utilizados aspectos presentes nos critérios de Avaliação de Impacto Ambiental (EIA – Environmental Impact Assessment) (SILVA, 2000).

De maneira geral, os indicadores analisados nos sistemas de avaliação desenvolvidos fazem parte dos seguintes aspectos:

- Utilização de recursos naturais (energia, água, materiais e eficiência de uso do solo);
- Geração de poluição e emissões (atmosfera, solo, água e outras cargas ambientais);
- Qualidade do ambiente interno;
- Comprometimento ambiental dos agentes (projetistas, executores e empreendedores) e qualidade do monitoramento da operação do edifício;
- Contexto de inserção (transporte, impactos sociais e nas áreas vizinhas entre outros).

A **Tabela 15** enumera alguns dos principais sistemas de avaliação de materiais de construção, assim como da própria edificação, especificando quais os aspectos básicos considerados para análise.

Tabela 15. Sistemas de avaliação de materiais de construção e do edifício

Indicadores de desempenho analisados	Sistemas de avaliação ambiental – materiais e edifícios												
	ATH (1)	BEE (2)	OPT (3)	E-Q (4)	EQU (5)	LEG (6)	BE ₂ A (7)	BMA (8)	BRE (9)	LEE (10)	BME (11)	GBA (12)	L.94 (13)
Análise da cadeia produtiva	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓		✓	✓	✓	✓
Localização da atividade			✓						✓		✓		✓
Exaustão de recursos		✓		✓		✓		✓	✓		✓	✓	✓
Consumo de energia	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓	✓
Resíduos	✓	✓	✓	✓				✓			✓	✓	✓
Gases de efeito estufa	✓	✓	✓	✓	✓			✓	✓			✓	✓
Uso da água	✓			✓				✓	✓		✓		✓
Saúde/conforto				✓		✓		✓	✓		✓		✓
Sócio cultural													
Manutenção		✓	✓	✓				✓					✓
Reciclabilidade		✓	✓	✓				✓			✓		✓
Análise custos		✓	✓			✓							
Aquecimento global				✓		✓							

(1) ATHENA - Sustainable Materials Institute - Canadá (LALONDE, 1997; ATHENA, 1999)

(2) BEES – Building for Environmental and Economic Sustainability - USA (LIPPIATT, B.C., 2000; FORINTEK, 1999; KRONKA, 2001b)

- (3) OPTIMIZE – CMHC – Canadian Mortgage and Housing Corporation - Canadá (FORINTEK, 1999)
- (4) ECO QUANTUM Model – União Européia (FORINTEK, 1999; Eco-Quantum Model web site)
- (5) EQUER Model - França (SILVA, 2000; FORINTEK, 1999)
- (6) LEGOE Project - Alemanha (FORINTEK, 1999)
- (7) BE₂AM – Building Energy and Environment Assessment Method – União Européia (BE₂AM web site; FORINTEK, 1999)
- (8) BMAS - Buildings Materials Assessment Systems - Austrália (SZOKOLAY, 1997; SILVA, 2000)
- (9) BREEAM - Building Research Establishment Assessment Method - Reino Unido (SILVA, 2000)
- (10) LEED – Leadership in Energy and Environmental Design - EUA (SILVA, 2000)
- (11) BME - Bown/ Milieu/ Evaluatie (Construção/ Meio ambiente/ Avaliação) - Bélgica (ARRUDA, 2000; REMES, 1998)
- (12) GBA - Green Building Assessment elaborado por Green Building Challenge (GBC) Internacional (SILVA, 2000; JOHN et al., 2001)
- (13) LISTA de 1994 do NIBE – Instituto Holandês de Construções e Moradias Bio-Ecológicas - Holanda (REMES, 1998)

3.4.2 Indicadores selecionados

Como se pode observar na **Tabela 15**, a questão energética é uma constante preocupação em todos os sistemas de análise ambiental, tanto no processamento dos materiais quanto na construção, uso e manutenção dos edifícios. Por representar um dos mais importantes aspectos de desempenho no processo de produção de uma edificação, foi dado maior enfoque a este indicador - consumo de energia - para análise dos três sistemas de verificação dos projetos selecionados. Outra questão agravante a ser considerada é o atual panorama de instabilidade no abastecimento de energia do país, assim como a relação direta entre consumo energético e liberação de gases de efeito estufa.

O Brasil apesar de possuir sua principal fonte de geração de energia centrada nas hidrelétricas (baixa emissão CO₂), utiliza quase que exclusivamente o transporte rodoviário (alta emissão de CO₂) para movimentar a longas distâncias grandes quantidades de materiais de construção (SILVA, 2000). Somando-se a isto ainda existe o fato que em relação à escolha dos materiais para a construção, a indústria da construção no Brasil é uma grande consumidora de materiais de alto consumo energético na transformação da matéria-prima, como o aço e o alumínio - (HOFER & RICHTER, 1996; CANADIAN WOOD COUNCIL, 1997) e uma das maiores produtoras e consumidoras de cimento, o qual corresponde sozinho de 6 a 8% do CO₂ emitido no Brasil (SILVA, 2000).

Paralelamente a inegável importância das questões relacionadas à energia, em todo o setor da construção (extração, transporte, transformação, etc..) outro indicador de desempenho ambiental de grande importância é a análise dos resíduos gerados, assim como a energia embutida nos mesmos. Os resíduos gerados na cadeia produtiva da madeira correspondem a um aspecto a ser incontestavelmente verificado uma vez que estão relacionados à poluição do solo, da água e da atmosfera, devido às constantes queimadas existentes nas regiões madeireiras pela falta de espaço físico para a disposição ou aproveitamento destes enormes volumes de materiais. Da mesma maneira, é de grande valor localizar as etapas de maior geração de resíduos e sinalizar possibilidades de reduzi-los para se atingir melhor eficiência no aproveitamento da matéria-prima, otimizando o volume de madeira serrada necessária por metro quadrado de construção.

4 | ANÁLISE ENERGÉTICA DE TRÊS TIPOS DE PAINÉIS EM MADEIRA

Os dados utilizados para o cálculo do consumo energético foram sistematizados de acordo com as quatro fases de produção da madeira serrada. Na fase da **floresta**, os dados foram extraídos diretamente da literatura existente, sendo as outras três fases a partir de um extenso trabalho de campo, são elas: **serrarias**, transformação da matéria-prima bruta; **beneficiadora**, processamento secundário e **canteiro de obras**, montagem de componentes. Cada uma destas três últimas fases foi dividida em três partes: a descrição da *metodologia específica* utilizada para o trabalho de campo; *dados obtidos* sobre o consumo energético dos equipamentos analisados e a *aplicação* dos mesmos no cálculo do consumo energético das peças discriminadas nos projetos selecionados.

A seguir encontram-se descritos os três projetos selecionados para análise da produção dos componentes que compõem os sistemas de vedação e respectivas peças estruturais em madeira de pinus e eucalipto.

4.1 PROJETOS SELECIONADOS PARA ANÁLISE

Os sistemas construtivos selecionados fazem parte de três projetos de pesquisa desenvolvidos pelo HABIS (Grupo de Pesquisa em Habitação e Sustentabilidade), financiados pela FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) e PNUD/PNFC (Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento / Projeto Novas Fronteiras da Cooperação para o Desenvolvimento Sustentável). Dois destes sistemas pré-fabricados, executados na cidade de São Carlos, possuem sistema estrutural em madeira serrada de eucalipto com paredes duplas em pinus. Um deles possui na face interna, lambri e, na externa, deck horizontal (**Figuras 19 e 22**), o outro sistema construtivo possui na face interna, lambri e, na face externa, tábua mata-junta (**Figuras 20 e 23**). O terceiro sistema de vedação selecionado foi construído em Campos do Jordão. O sistema estrutural é composto por pórticos em madeira serrada de pinus e as paredes externas possuem fechamento duplo em lambri de 2,2 cm de espessura. A parede interna é simples com apenas uma camada de lambri de igual espessura (**Figuras 21 e 24**).

Figura 20. Protótipo 001

Figura 21. Protótipo 002

Fonte: HABIS

Figura 22. Sede Administrativa do Parque dos Mananciais

Fonte: HABIS

Nas **Tabelas 16, 17 e 18** correspondentes as **Figuras 23, 24 e 25**, estão apresentadas as quantidades e dimensões das peças utilizadas em cada tipologia de painel dos projetos selecionados para análise. Cabe salientar que não serão quantificadas apenas peças de fechamento dos painéis mas, também peças estruturais que sustentam os mesmos.

A camada de chapa de aglomerado utilizada nos Protótipos Experimentais 001 e 002 foi por efeito de cálculo substituída por uma camada de lambri devido à dificuldade de se encontrar dados completos sobre o consumo energético na cadeia da produção de chapas.

Tabela 16. Componentes construtivos do painel da Sede do Parque dos Mananciais em Campos do Jordão

CAMPOS DO JORDÃO (7,00m ²)		Dimensões (cm)			(un.)	(m ³)	
Tipos de peças		espessura	largura	comprimento	Qt.	Espécie	Volume
ESTRUTURA	estrutura do pórtico	3,60	5,80	300,00	2	pinus	0,0125
OSSATURA	montantes verticais	3,60	5,80	248,00	2	pinus	0,0104
		3,60	5,80	240,00	2	pinus	0,0100
	montantes horizontais	3,60	5,80	282,00	2	pinus	0,0118
		3,60	5,80	77,40	4	pinus	0,0065
		3,60	5,80	120,00	2	pinus	0,0050
FECHAMENTO	lambri macho e fêmea	2,20	12,00	300,00	50	pinus	0,3960
Volume total							0,4522 m ³
Volume por m ² de painel							0,0646 m ³ /m ²

Figura 23. Projeto Campos do Jordão - Ossatura do painel/janela

Fonte: HABIS

Tabela 17. Componentes construtivos do painel do Protótipo 001

PROTÓTIPO 001 (7,14m ²)		Dimensões (cm)			(un.)	(m ³)	
Tipos de peças		espessura	largura	comprimento	Qt.	Espécie	Volume
ESTRUTURA	pilar duplo	6,00	12,00	257,00	4	eucalipto	0,0740
	alma	6,00	12,00	300,00	1	eucalipto	0,0216
	mesa superior	2,50	10,00	300,00	1	eucalipto	0,0075
	mesa inferior	2,50	10,00	260,00	1	eucalipto	0,0065
							0,1096
OSSATURA	travessa principal	2,40	7,00	99,70	6	pinus	0,0100
	montante vertical	2,40	7,00	234,70	9	pinus	0,0355
	travessa secundária	2,40	7,00	46,10	12	pinus	0,0093
	diagonal	2,40	7,00	89,30	18	pinus	0,0270
FECHAMENTO	lambri macho e fêmea	2,20	12,00	300,00	48	pinus	0,3802
	sarrafos de fixação	2,00	5,00	300,00	7	pinus	0,0210
	deck horizontal	2,00	5,00	300,00	24	pinus	0,0720
							0,5550
Volume total							0,6646m ³
Volume por m ² de painel							0,0930m ³ /m ²

Figura 24. Componentes do sistema de vedação do Protótipo 001

Fonte: HABIS

Tabela 18. Componentes construtivos do painel do Protótipo 002

PROTÓTIPO 002 (7,14m ²)		Dimensões (cm)			(un.)	(m ³)
Tipos de peças		espessura	largura	comprimento	Qt.	Espécie Volume
ESTRUTURA	pilar A	6,00	12,00	304,50	2	eucalipto 0,0438
	pilar B	6,00	12,00	274,50	2	eucalipto 0,0395
	alma	8,00	12,00	300,00	1	eucalipto 0,0288
	mesa superior	2,50	10,00	300,00	1	eucalipto 0,0075
	mesa inferior	2,50	10,00	260,00	1	eucalipto 0,0065 0,1262m ³
OSSATURA	travessa principal	2,40	7,00	99,70	6	pinus 0,0100
	montante vertical	2,40	7,00	234,70	9	pinus 0,0355
	travessa secundária	2,40	7,00	46,10	12	pinus 0,0093
	diagonal	2,40	7,00	89,30	18	pinus 0,0270
FECHAMENTO	lambri macho e fêmea	2,20	12,00	300,00	48	pinus 0,3802
	sarrafos de fixação	2,40	5,00	300,00	6	pinus 0,0216
	tábua mata junta	2,20	12,00	249,00	27	pinus 0,1775
	ripa mata junta	1,60	5,00	249,00	27	pinus 0,0538 0,7149m ³
Volume total						0,8411m ³
Volume por m ² de painel						0,1178m ³ /m ²

Figura 25. Componentes do sistema de vedação do Protótipo 002

Fonte: HABIS

4.2 CONSUMO ENERGÉTICO NA FASE DA FLORESTA

Os dados coletados a respeito do consumo energético na fase da floresta foram obtidos a partir do Relatório Tecnológico Industrial – Ministério da Indústria e Comércio, em Setembro de 1979. Os dados foram coletados em atividades agrícolas do Estado de São Paulo, devido ao maior desenvolvimento econômico e tecnológico que a média do país. A pesquisa se concentrou ainda nas regiões do Estado onde a atividade analisada era predominante, utilizando-se desta forma informações da Secretaria da Agricultura do Estado de São Paulo. As propriedades selecionadas eram consideradas de padrão "médio", ou seja, medianamente conceituadas e mecanizadas.

Na **Tabela 19**, SERRA et al.(1979) comparou o consumo energético para a produção de diferentes culturas agrícolas e concluiu que para qualquer das culturas investigadas os itens de maior consumo energético em geral foram combustíveis e defensivos. As quantidades utilizadas nas florestas são proporcionalmente menores em comparação com outras indústrias agrícolas. Portanto, segundo o mesmo autor o maior esforço deve ser concentrado em avaliar com precisão os gastos dos mesmos, evitando as discrepâncias encontradas entre diferentes coeficientes de energia apresentados por diversos autores.

Tabela 19. Comparação do consumo energético para diferentes culturas agrícolas

Cultura	Ciclo (meses)	Produção (t/ha)	Energia (Mcal/ha)	Matéria seca (Mcal/t)
Cana-de-açúcar	18	85,0	5.139	233
Mandioca	18	20,3	2.492	247
Algodão	5	2,0	3.514	1.997
Milho	5	2,8	1.951	806
Soja	5	2,1	1.882	1.018
Trigo	4	1,2	1.378	1.305
Tomate	5	41,5	15.230	7.340
Batata	4	24,5	17.263	2.818
Eucalipto	21 anos	250,0	11.161	45
Pinus	25 anos	365,0	10.646	29

Fonte: SERRA et al. (1979)

Assim como nas demais fases avaliadas dentro da cadeia de produção da madeira, não foi considerada a energia embutida da mão-de-obra envolvida nas atividades. Portanto, esses valores, de Mão-de-obra, serão subtraídos do resultado das **Tabelass 20 e 21** e reapresentados na **Tabela 22**. As unidades de energia aferidas, por SERRA et al.(1979), em Megacaloria/tonelada serão convertidas em KWh/m³.

Para a descrição da energia embutida nos itens considerados foi utilizado um método de conversão energética baseado em diversos estudos citados por SERRA et al. (1979), são eles:

- máquinas, implementos agrícolas (tipo e modelo, peso, consumo de combustível e lubrificantes, número e peso de pneus) e tratores, considerou-se apenas a energia direta embutida para montagem e indireta gasta em equipamentos não recuperáveis e energia de manutenção. A fonte adotada foi o trabalho de DOERING (1977) citado por SERRA et al. (1979). Foi contabilizado em uma fábrica de equipamentos agrícolas, o consumo de energia total para produção e dividida pelas toneladas dos produtos finais e gerada uma tabela de valores de energia embutida por tipo de máquinas e equipamentos. Os pneus foram incluídos

posteriormente adotando um valor calculado pelo mesmo autor de 20,5 Mcal por kg de pneu. DOERING (1977) citado por SERRA et al. (1979) propôs ainda um acréscimo de 5% ao valor energético para as correias, partes plásticas, geradores e bombas diesel;

- combustível, o poder calorífico utilizado é apresentado no Balanço Energético Nacional, como sendo: gasolina, 11.100 Kcal/kg (8.148 Kcal/l) e óleo diesel, 10.900 Kcal/kg (9.025 Kcal/l). Não foi considerado o transporte dos insumos (fertilizantes, defensivos, etc.), somente os gastos na produção e transporte de pessoal e da produção agrícola ao centro receptor, foi adotada a distância padrão de 20 km;
- fertilizantes, foram considerados os indicadores energéticos americanos (extração e processamento), uma vez que grande parte do material consumido era importado ou de tecnologia semelhante à americana. Os valores adotados foram nitrogênio, 13.875 Kcal/kg; fósforo, 1.665 Kcal/kg; potássio, 1.110 Kcal/kg (DOERING, 1977 citado por SERRA et al., 1979) e calcário, 40 Kcal/kg (PEARSON, 1976 citado por SERRA et al. 1979);
- mudas, foram consideradas a energia necessária para a produção e transporte a uma distância de 20 km.

Para a cultura de pinus foram selecionadas as regiões de Bauru e Lençóis Paulista e para o eucalipto, Botucatu, Jundiaí e Anhembi. Devido à exploração sem a preocupação de reposição florestal, nota-se que em algumas destas áreas analisadas, atualmente, houve um esgotamento dos recursos florestais. Apesar das regiões tomadas aqui como referência, não corresponderem rigorosamente às áreas selecionadas para o desenvolvimento deste trabalho de doutorado, pela proximidade e pelas características de produção das regiões considerou-se como relevante os dados adotados, independentemente da posição geográfica.

A seguir nas **Tabelass 20 e 21**, está detalhado o consumo energético no plantio de um hectare de floresta de eucalipto e um hectare de pinus.

Tabela 20. Consumo energético no plantio de 1 hectare de eucalipto

Atividade	Consumo de energia (Mcal/ha)	%
<i>Mão de obra</i>	<i>719</i>	<i>6,44</i>
Tratores	231	2,07
Implementos	30	0,27
Caminhão	178	1,59
Combustível		
Tratores	4.764	42,68
Caminhão	2.164	19,39
Motoserra	1.065	9,54
Fertilizantes		
Nitrogênio (N)	476	4,26
Fósforo (P ₂ O ₅)	194	1,74
Potássio (K ₂ O)	23	0,21
Bórax	64	0,57
Defensivos	1.253	11,23
Descascadeira	-	-
Total	11.161	Mcal/ha/ciclo*
Produção	250	t/ha
*ciclo 21 anos		fonte: SERRA et al. (1979)

Tabela 21. Consumo energético no plantio de 1 hectare de pinus

Atividade	Consumo de energia (Mcal/ha)	%
Mão de obra	893	7,59
Tratores	226	2,12
Implementos	23	0,22
Caminhão	178	1,67
Combustível		
Tratores	4.660	43,77
Caminhão	2.164	20,33
Motoserra	1.065	10,00
Fertilizantes		
Nitrogênio (N)	14	0,13
Fósforo (P ₂ O ₅)	6	0,06
Potássio (K ₂ O)	1	0,01
Bórax	0	0,00
Defensivos	1.356	12,74
Descascadeira	145	1,36
Total	10.646	Mcal/ha/ciclo*
Produção	365	t/ha

*ciclo 25 anos

Fonte: SERRA et al. (1979)

De acordo com as demandas energéticas para a produção de 1 hectare de eucalipto e pinus (Mcal/t) e dados sobre a produtividade das mesmas culturas – 250t/ha para o eucalipto e 365 t/ha para pinus (SERRA et al, 1979), teremos, o consumo energético para o eucalipto e pinus por hectare de 12.144,06 kWh/ha e 11.441,60 kWh/ha (**Tabela 22**), respectivamente.

Tabela 22. Consumo energético na produção de madeira em toras seca por hectare (kWh/ha)

espécie	ciclo (ano)	produção (t/ha)	Mcal/ha	Mcal/t	MJ/t	kWh/t	kWh/ha
Eucalipto	21	250	10.442	42	174,87	48,58	12.144,06
Pinus	25	365	9.838	27	112,85	31,35	11.441,60

Fonte: adaptado de SERRA et al. (1979)

Considerando a densidade do eucalipto, 840 kg/m³ (GONÇALVES, 2000) e do pinus 510 kg/m³ (BORTOLETTO, 1993) e a relação de 1 mst para 0,785 m³ de madeira maciça (toras). Relacionando a produção em kg/ha (250.000kg/ha para eucalipto e 365.000kg/ha para pinus) por kg/mst (659,40kg/mst para o eucalipto e 400,35 kg/mst para o pinus), temos uma produção em mst/ha de 379,13 e 911,70 para o eucalipto e o pinus respectivamente. Cruzando-se os dados das **Tabelass 22 e 23**, ou seja, dividindo-se o consumo energético por hectare (kWh/ha) da **Tabela 22** pela produtividade expressa em mst/ha da **Tabela 23**, obteve-se o consumo energético em kWh/mst (**Tabela 23**). Considerando-se para um metro estéreo 25 toras de aproximadamente 0,03m³, obteve-se os valores de consumo energético para toras de eucalipto e pinus respectivamente os valores de 40,78 e 15,98 kWh/m³. Para convertermos o consumo energético para madeira serrada considerou-se um rendimento de 50% da tora, obtendo-se desta maneira os valores de consumo de 81,56 e 31,96 kWh/m³ para eucalipto e pinus respectivamente (**Tabela 23**).

Tabela 23. Consumo energético por m³ de madeira serrada de pinus e eucalipto (kWh/m³)

Espécie	Produção (t/ha)	Kg/ha	mst/ha	kWh/mst	kWh/m ³ [1]	kWh/m ³ [2]
Eucalipto	250	250.000	379,13	32,03	40,78	81,56
Pinus	365	365.000	911,70	12,55	15,98	31,96

[1] kWh por m³ de madeira bruta em tora

Fonte: adaptado de SERRA et al. (1979)

[2] kWh por m³ de madeira serrada

Multiplicando-se os valores de consumo energético em kWh por m³ de madeira serrada pelo volume consumido de madeira em cada um dos tipos de painéis estudados obteve-se o consumo energético por painel na fase da floresta, apresentada na **Tabela 24**, onde estão quantificados os volumes das peças em pinus e eucalipto.

Tabela 24. Consumo energético por m² de acordo com o tipo de painel na fase da floresta

	Tipo Madeira	Volume de madeira (m ³)	Consumo energético por volume (KWh/m ³)	Consumo energético por painel (kWh)		
				por painel	por m ² de painel	
Campos Jordão	Pinus	0,4522	31,96	14,45	14,45	2,06 kWh/m²
Protótipo 001	Eucalipto	0,1096	81,56	8,94		
	Pinus	0,5550	31,96	17,73	26,68	3,73 kWh/m²
Protótipo 002	Eucalipto	0,1300	81,56	10,60		
	Pinus	0,7149	31,96	22,84	33,14	4,64 kWh/m²

Analisando os dados obtidos na fase de colheita da madeira, nota-se que o consumo energético difere em relação ao tipo de madeira utilizada e ao volume utilizado por metro quadrado de painel. Na **Tabela 24**, pode-se observar que a madeira de pinus corresponde a 39% da energia do eucalipto.

4.3 CONSUMO ENERGÉTICO NA FASE DA SERRARIA

O trabalho de campo iniciou-se na fase do processamento primário da madeira nos municípios de Itapeva e Itararé, simultaneamente ao trabalho de parceria entre SEBRAE/USP-HABIS/UNESP e dez serrarias da Região Administrativa de Sorocaba, municípios de Itapeva e Itararé. Dentre as empresas parceiras três foram descartadas devido as diferenças dimensionais dos produtos processados direcionados a mercados distintos do setor da construção civil, como a indústria de embalagens e paletes.

Durante o trabalho de campo considerou-se que a média de consumo de energia por m³ encontrada nas empresas para a produção de madeira serrada seria apenas um índice referencial para comparar a eficiência do processo produtivo. Concluiu-se que para se chegar a resultados mais precisos de consumo na produção de componentes construtivos seria necessário apurar dados energéticos de cada um dos equipamentos (potência, velocidade de avanço, etc.) e simular uma linha de produção adequada ao processamento de seções desejadas.

Na elaboração deste trabalho, para a avaliação de consumo energético do sistema construtivo em madeira (precisamente o sub-sistema vedação e suas respectivas peças estruturais), fez-se necessário, portanto, decompor o consumo de energia por operação para produção de cada tipo de peça especificada, calculando também as perdas de material.

Desta maneira, a coleta de dados foi dividida em duas partes:

- o consumo de **energia elétrica local** em cada etapa de produção na serraria, se atendo ao setor de transformação da madeira, através de um alicate multímetro marca *ALPHA* que mede o consumo por equipamento ou motor (**Anexo 1**);
- o consumo de **energia elétrica global** na entrada da rede da indústria (incluindo o setor de produção, administração, almoxarifado, iluminação em geral, etc.), através de um analisador de energia (equipamento de marca *Yokogawa*). Na quantificação global comparou-se ainda o consumo energético nos últimos três anos relacionado à produção em m³ de madeira serrada nos respectivos períodos.

A etapa da serraria foi ainda estruturada em dois períodos de trabalho: um de coleta de **dados nas serrarias**, onde foram sistematizadas as informações referentes aos equipamentos e a outra de **aplicação dos dados obtidos**, onde posteriormente os mesmos foram transferidos para se calcular o consumo energético das peças descritas nos três projetos selecionados. Elaborou-se para esse fim, a simulação de duas linhas de produção, uma vez que as seções produzidas na região de estudo não correspondiam às mesmas seções dos painéis avaliados.

A seguir estão apresentados o "layout" da produção de uma das serrarias (**Figura 26**); a sequência de corte de uma tora (**Figura 27**) e o exemplo de cálculo de uma operação de corte na *Serraria E* para melhor compreensão do processo de obtenção dos valores de consumo energético dos equipamentos que serão apresentados para cada uma das serrarias. Em anexo podem ser encontrados os demais dados e "layouts" das serrarias (**Anexo 2**). Cabe salientar que em geral encontram-se para cada empresa analisada descritas duas Linhas de Produção L. I e L.II, que correspondem a linhas de processamento de toras de maior (de 25 a 39 cm) e menor diâmetro (18 a 30 cm), variando de acordo com a empresa e os produtos gerados.

Figura 26. Layout da serraria A e sequência de corte

Figura 27. Seqüência do fluxo de produção Serraria A

4.3.1 Cálculo do consumo energético na produção de componentes nas serrarias

Para o cálculo do consumo elétrico local, em apenas uma das operações, utilizou-se os dados coletados por um alicate multímetro (marca *ALPHA*) que mede o consumo instantâneo por equipamento ou motor.

Estes dados foram corretamente equacionados para a obtenção da *Potência Média* consumida no período. Sabendo-se as velocidades de processamento (V_p) obtidas, em campo, pode-se calcular o consumo por peça na operação de corte.

Este raciocínio aplicado para todas as demais operações envolvidas na produção dos componentes, possibilita obter-se, através do somatório, o valor total do consumo energético para cada peça ou componente industrializado. Consequentemente, somando-se o consumo dos componentes da unidade habitacional selecionada, obtém-se o consumo de energia elétrica total para sua produção.

4.3.2 Dados das serrarias - consumo energético dos equipamentos

Como exemplo da sistematização dos dados coletados, neste item encontram-se calculadas, os dados relativos a serraria A, relativo à: **energia direta** no processamento dos produtos (Alfa – aferida através de um alicate multímetro em cada máquina), **energia geral** da empresa (Yokogawa – medição geral da empresa na entrada de força da empresa) e **energia complementar** (diferença entre a energia geral e a soma da energia específica para cada equipamento), **Tabela 25**. Os dados aferidos sobre as demais

2

O consumo energético para cada face da seção pode ser expresso pela equação:

E_{face} = energia consumida para a produção da face (w)
 E_{op} = energia consumida por metro linear de operação (W)
 NL = número de lâminas em operação (efetivas)
 n = número de peças que compartilham a mesma energia

H_{face} = altura da face (cm)

H_{corte} = altura efetiva de corte na operação (cm)

Para o exemplo a peça **BI. A2**, onde: $Lado_1 = (E_{op3}/6)/2 * 5/5$

$Lado_2 = (E_{op2}/3)/2 * 2,1/15,75$

$Lado_3 = Lado_1$

$Lado_4 = Lado_2$

Portanto: $E_{peçaA} = E_{op3}/12 + (E_{op2}/3)*0,133$

Substituindo assim, os valores de Energia de Operação (E_{op}), pelos valores de consumo energético dos equipamentos utilizados pelas serrarias analisadas, foram encontrados os valores de consumo energético para cada seção de peça.

SERRARIA A

Tabela 25. Dados de produção da Serraria A

Madeira Processada (m³)	Consumo Energético Médio Mês (kWh)		Energia complementar (kWh/m³)
	Alfa (equipamentos)	Geral (empresa)	
Fonte: 760,00	12.113,20	17.694,00	7,34

Tabela 26. Consumo energético para cada equipamento aferidos em metro linear na (kWh/m) - Serraria A

linha única - 17 cm 2,5m							
Equipamento	Potência. Nominal(kW)	Potência Medida (kW)*	Consumo mensal (kWh) ⁽¹⁾	Número de passagem	Comprimento da linha produção (m)	Consumo energético por corte - linha total (kWh)	Consumo energia por metro linear (kWh/m)
Op. 00 descascador	22,00	8,42	1.852,40	1	53.147	1.852,40	0,0348
Op. 01 serra circular quádrupla	44,00	12,68	2.789,60	1	53.147	2.789,60	0,0524
Op. 02 serra circular múltipla	44,00	25,64	5.640,80	1	53.147	5.640,80	0,1061
Op. 03 serra circ. refiladeira dupla	15,00	5,28	1.161,60	2	53.147	580,80	0,0109
Op. 04 serra fita horizontal reserra	15,00	10,31	2.268,20	2	53.147	1.134,10	0,0213
Op. 05 serra circular destopadeira	7,40	1,15	253,00	335.446 ⁽²⁾	47.921 ⁽³⁾	-	0,0008 ⁽⁴⁾
total			12.113,20				

⁽¹⁾10 horas de funcionamento/dia e 22 dias

⁽²⁾ número total de peças produzidas

⁽³⁾número de toras

⁽⁴⁾ consumo energético por corte

* Potência medida durante o processamento utilizando um analisador de energia

Tabela 27. Seqüência de corte e Consumo energético para cada seção de madeira serrada – Serraria A

Cost.A	1
	2
BL.	3
	4
	5
Cost.A'	

linha única - 17 cm

peças	cálculo do consumo energético por seção	Consumo energético por:	
		seção (kWh/m)	peça 4,00m (kWh)*
Bl. 1 a 5	2*(op.01/2)/1*1,9/10,5 + 2*(113/6)/2*12/12	0,0339	0,13644
Cost. A e A'	2*(op.03/2)/1*1,9/1,9 + op.04/1/1*7,8/7,8+(op.02/6)/2*7,8/12	0,0468	0,18813

* considera-se para o cálculo de cada peça: o comprimento da mesma e 1 operação de destopo (0,0008 kWh)

Tabela 28. Resumo do consumo energético nas seções das toras analisadas (kWh).

Serrarias	Serraria A	Serraria C	Serraria D	Serraria E	Serraria F	Serraria G
Linha I	Não possui Linha I		Não possui Linha I			
Linha II						

Através dos resultados de consumo energético das peças de madeira serrada, conclui-se que em uma mesma tora, as peças que possuem maior consumo de energia são as de aproveitamento das costaneiras, devido ao maior número de operações envolvidas, como pode ser observado nas seções coloridas em vermelho e laranja (**Tabela 28**). As peças produzidas a partir de toras de menor diâmetro consomem também, em geral, maior quantidade de energia. Esta constatação da diferença de consumo energético entre costaneiras e semi-bloco e entre as linhas de produção foi decisiva para se optar pelo número de simulações de cortes necessários ao cálculo das peças dos projetos estudados. A partir destes resultados foi elaborada a **Tabela 29** que apresenta os equipamentos medidos e os respectivos valores obtidos de consumo energéticos em kWh por metro linear (kWh/m). Considerando-se que durante as medições (ver gráficos – exemplos de medições (ALPHA) – **Anexo 1**) houve maior ou menor quantidade de períodos de trabalho em vazio (os equipamentos estavam funcionando, mas não sendo solicitados para corte de madeira), optou-se por adotar os valores máximos de

potência medida (em negrito) das serrarias para a simulação de uma linha de produção adequada às seções de peças dos projetos analisados (**Tabela 30**). Os equipamentos e seus respectivos valores de consumo energético representados em cinza não foram adotados, como por exemplo a serra circular refiladeira simples e serra fita vertical de reserra entre outros, por apresentarem menor produtividade e qualidade de corte, gerando na cadeia, maior consumo energético e ou maior quantidade de resíduos gerados. Apesar de importante para eficiência do processo produtivo, o descascador de toras não foi considerado por não ser representativo na região. Alguns valores foram também descartados por apresentarem valores muito distinto dos demais equipamentos, seja por problema mecânico, regulagem de máquina, afiação ou mesmo por serem utilizados para corte de seções de considerável diferença dimensional em relação às dos projetos analisados.

Tabela 29. Resumo do consumo energético dos equipamentos na simulação da Linha I e Linha II (kWh/m).

Equipamentos	Linha I 25 a 39cm	Serrarias							Valor máximo de potência medida	Notas
	A	B	C	D	E	F	G			
Serra fita vertical - desdobro		0,0364	0,0154			0,0311	0,1128		0,1128	
Serra fita vertical dupla - desdobro					0,3832					não é significativo na região
Serra circular multilâminas					0,0189	0,0071	0,0117		0,0189	consumo energético para cada lâminas da serra circular múltipla
Serra circular refiladeira simples					0,0311	0,0037	0,0157			< eficiência, adotou-se refiladeira dupla
Serra circular refiladeira dupla		0,0017	0,0068		0,0036		0,0082		0,0082	
Serra fita horizontal (03 cabeças)					0,0902	0,0525			0,0902	
Serra fita vertical reserra						0,0877	0,2041			< eficiência e > consumo, adotou-se reserra horizontal
Destopadeira			0,0081		0,0028	0,0017			0,0081	consumo energético por corte
Equipamentos	Linha II 18 a 30cm									
Descascador		0,0349								não é significativo na região
Serra fita vertical - desdobro					0,2855					> consumo e < produtividade, adotou-se quádrupla (desdobro)
Serra circular dupla -desdobro		0,0423					0,5539			> consumo e < produtividade, adotou-se quádrupla (desdobro)
Serra circular quádrupla -desdobro		0,0525	0,1923	0,0460		0,1904			0,1923	
Serra circular multilâminas		0,0133	0,0262	0,0414	0,0105	0,0466	0,0406	0,0082	0,0466	consumo energético para cada lâminas da serra circular múltipla
Serra circular refiladeira simples					0,0635	0,0577				as refiladeiras apresentam diferenças energéticas em função do tempo de funcionamento efetivo das máquinas. Em algumas empresas elas ficam muito tempo ociosas e em outras são melhor aproveitadas
Serra circular refiladeira dupla		0,0109	0,0007	0,0071	0,0038	0,1742		0,0076	0,0109	
Serra fita horizontal (03 cabeças)		0,0213	0,0165			0,1582		0,1068	0,1582	
Serra fita vertical reserra			0,0445	0,0638	0,0113		0,0144			< eficiência e > consumo, adotou-se reserra horizontal
Destopadeira		0,0008	\	0,0045	0,0020	0,0051	0,0023		0,0051	consumo energético por corte

Obs: Os valores acima em cinza são descartados dos cálculos. A coluna "Notas" explica porque os valores foram descartados para a elaboração da tabela 54

4.3.3 Aplicação dos dados obtidos - fase serraria

A **Tabela 30** apresenta a simulação de duas linhas de produção de diâmetros médios de tora iguais a 35cm (L.I) e 21cm (L.II). Os valores adotados foram obtidos a partir das serrarias analisadas anteriormente, selecionando os valores de maior consumo energético entre os equipamentos semelhantes. Na seqüência, esses valores foram aplicados para o cálculo das peças de dimensões especificadas nos painéis de vedação a partir da simulação de 11 seqüências de corte de toras (**Anexo 4**).

Tabela 30. Consumo energético adotado por operação a partir das serrarias analisadas

Operação	Linha de produção I - 35 cm	Consumo energético (kWh/m)
Op. 01	serra fita vertical dupla	0,1128
Op. 02	serra circular múltipla *	0,0189
Op. 03	serra fita horizontal de reserra	0,0886
Op. 04	serra circular refiladeira dupla	0,0082
Op. 05	serra circular destopadeira	0,0081
Linha de produção II - 21 cm		
Op. 01	serra circular quádrupla	0,1923
Op. 02	serra circular múltipla *	0,0466
Op. 03	serra fita horizontal de reserra	0,0109
Op. 04	serra circular refiladeira dupla	0,1582
Op. 05	serra circular destopadeira	0,0051

* Os valores apresentados para a serra circular múltipla são relativos ao consumo de cada lâmina, portanto para efeito de cálculo devem ser multiplicados pelo número de lâminas.

Para o cálculo final destas peças foi estudada a seqüência e o esquema de corte das toras, analisando o número de passagens pelos equipamentos e a seqüência das operações relacionada a cada tipo de peças usinadas (**Anexo 4**). Para tanto, foi utilizada a mesma fórmula anteriormente descrita:

$$E_{\text{face}} = (E_{\text{op1}}/\text{NL}) / 2 * (H_{\text{face}}/H_{\text{corte}})$$

Substituindo assim, os valores de Energia de Operação (E_{op}), pelos valores adotados de consumo energético dos equipamentos utilizados pelas serrarias analisadas (**Tabela 30**), foram encontrados finalmente os valores de consumo energético para cada seção de peça (**Anexo 4**).

Como observado anteriormente, nestas simulações foram obtidos valores de consumo energético diferentes para mesmas seções de peças. Essas diferenças podem ser explicadas pelas diferenças dimensionais das toras nas Linhas de Produção I e II – 35cm e 21cm de diâmetro, respectivamente; ou pelo posicionamento das peças na própria tora, ou seja, peças de aproveitamento das costaneiras (maior consumo de energia) ou peças retiradas do semibloco (menor consumo). Desta maneira, foi necessário realizar uma nova média ponderada dos valores obtidos para peças de mesmas seções, como mostra a

Tabela 31. O número adequado de simulações foi assim estabelecido em função da quantidade necessária de medidas de consumo de energia. Para a produção de cada seção foram obtidos no mínimo dois valores de consumo energético, onde em geral, a média das seções de menor valor dimensional foram definidas a partir do aproveitamento de costaneiras e do semibloco. Para seções maiores, a média foi obtida a partir de peças extraídas do semibloco de tora das Linhas I e II. Nota-se que algumas dimensões não foram produzidas em ambas as linhas de produção ou a partir de costaneiras, pois apresentariam desvantagens em termos de custo de produção para as empresas. Cabe salientar que se procurou reproduzir justamente nas simulações de corte (**Anexo 4**) as possibilidades de produção das peças baseada nas linhas de produção da região de estudo.

Tabela 31. Médias de consumo energético das linhas de produção I e II - peças de semibloco e costaneiras

seções (cm)	Linha I (kWh)		Linha II (kWh)		(kWh) média ponderada
	semi-bloco	costaneira	semi-bloco	costaneira	
6,0 x 12,0	0,0499	-	0,0778	-	0,0638
8,0 x 12,0	0,0574	-	0,1180	-	0,0877
3,6 x 12,0	0,0388	0,1298	0,1010	-	0,0899
3,6 x 5,8	-	0,1280	0,0571	0,1885	0,1245
2,5 x 10	-	0,0583	0,0823	0,2075	0,1160
2,5 x 7	-	0,0233	0,0700	-	0,0466
2,5 x 5	-	0,0456	0,0620	-	0,0538
2,4 x 12	0,0433	-	0,0810	0,2076	0,1106
2,1 x 5	-	-	0,0533	0,0954	0,0743
1,7 x 5,0	-	0,0337	-	0,0564	0,0451

4.3.4 Cálculo final das peças dos projetos

Estas médias foram aplicadas, na **Tabela 32** (coluna G) para se obter o consumo total de energia dos componentes utilizados em cada um dos sistemas de fechamento dos projetos selecionados. Esses consumos médios foram multiplicados pelo comprimento especificado nos projetos (coluna C) e acrescidos do valor de consumo energético de uma operação na destopadeira dupla que representa a média de consumo energético das duas linhas de produção.

Sendo os dados coletados nas serrarias referentes ao processamento de madeira de pinus, para o cálculo do consumo energético nas peças estruturais executadas em **eucalipto** fez-se necessária a aplicação de um fator de conversão. Este fator deduzido a partir da relação de potência de corte do **pinus** ($N_{c_{pinus}}$) com **eucalipto** ($N_{c_{eucalipto}}$) é de 0,55. Para tanto foi aplicada a fórmula:

$$N_c = (P_c \cdot V_c) / 75 \text{ (GONÇALVES, 2000) onde:}$$

P_c = força principal de corte e,

V_c = velocidade de corte.

Sendo P_c expresso por:

$P_c = K_s \cdot b \cdot h^{1-K}$ (GONÇALVES, 2000) onde:

K_s = pressão específica de corte (daN/mm²), (4,78 para pinus ;

b = largura de corte ou comprimento atuante da aresta (mm);

h = espessura de corte (mm);

$1-z$ = coeficiente adimensional, onde considerando o teor de umidade 12% (a favor da segurança, pois na região o processamento é feito em madeira verde). Os valores adotados para pinus e eucalipto foram respectivamente, 0,75 e 0,80.

Temos que a potência de corte será para:

o pinus $N_{c_{pinus}} = (K_{s_{pinus}} \cdot b \cdot h^{1-z} \cdot V_c) / 75$ e para

o eucalipto $N_{c_{eucalipto}} = (K_{s_{eucalipto}} \cdot b \cdot h^{1-z} \cdot V_c) / 75$

Assim, considerando que as condições de usinagem expressas pelas variáveis b e V_c tem valores muito aproximados para os dois tipos de madeira, a razão entre as potências, considerando-se pressões específicas de corte para cada caso, será de 0,55. Portanto, o valor encontrado para pinus corresponde a cerca de 55% do valor do consumo energético do eucalipto.

Na **Tabela 32**, o consumo energético total por tipo de componente construtivo (coluna I) foi obtido ainda multiplicando-se o número de peças necessárias por painel (coluna D).

Tabela 32. Consumo energético das peças utilizadas nos três sistemas de vedação

Tabela 32. Consumo energético das peças utilizadas nos três sistemas de vedação										
A	B	C			D	E	F	Consumo energético por metro linear	Consumo energético por peça	Consumo energético total por tipo componente
	Tipos de peças	Dimensões (cm)			(un.)	(m³)		(kWh/m)	(kWh)	(kWh)
CAMPOS JORDÃO										
		espessura	largura	comprimento	Qt.	Volume	Espécie			
2,48 x 2,82m	Painel estrutura do pórtico	3,60	5,80	300,00	2	0,0125	pinus	0,1245	0,3801	0,7602
	dimensões montante vertical	3,60	5,80	248,00	2	0,0104	pinus	0,1245	0,3154	0,6307
		3,60	5,80	240,00	2	0,0100	pinus	0,1245	0,3054	0,6108
Área do painel 7,00 m²	montante horizontal	3,60	5,80	282,00	2	0,0118	pinus	0,1245	0,3577	0,7154
		3,60	5,80	77,40	4	0,0065	pinus	0,1245	0,1030	0,4119
		3,60	5,80	120,00	2	0,0050	pinus	0,1245	0,1560	0,3120
	lambri macho/fêmea	2,20	12,00	300,00	50	0,3960	pinus	0,1106	0,3385	16,9227
Volume total de madeira por painel						0,4522	Consumo energético total por painel			20,3637
										Consumo energético total por m² 2,90kWh/m²

UNIDADE 001

Painel dimensões 2,38 x 3,00m	pilar duplo	6,00	12,00	257,00	4	0,0740	eucalipto	0,1161	0,3103	1,2411
	alma	6,00	12,00	300,00	1	0,0216	eucalipto	0,1161	0,3602	0,3602
	mesa superior	2,50	10,00	300,00	1	0,0075	eucalipto	0,2110	0,6449	0,6449
Área do painel 7,14 m²	mesa inferior	2,50	10,00	260,00	1	0,0065	eucalipto	0,2110	0,5605	0,5605
	travessa principal	2,40	7,00	99,70	6	0,0100	pinus	0,0466	0,0531	0,3186
	montante vertical	2,40	7,00	234,70	9	0,0355	pinus	0,0466	0,1161	1,0447
	travessa secundária	2,40	7,00	46,10	12	0,0093	pinus	0,0466	0,0281	0,3373
	diagonal	2,40	7,00	89,30	18	0,0270	pinus	0,0466	0,0483	0,8686
	lambri macho/fêmea	2,20	12,00	300,00	48	0,1901	pinus	0,1106	0,3385	16,2458
	sarrafos de fixação	2,00	5,00	300,00	7	0,0210	pinus	0,0743	0,2296	1,6072
	deck horizontal	2,00	5,00	300,00	24	0,0720	pinus	0,0743	0,2296	5,5105
Volume total de madeira por painel						0,6646	Consumo energético total por painel			28,7396
							Consumo energético total por m²			4,05kWh/m²

UNIDADE 002

Painel dimensões 2,38 x 3,00 m	pilar A	6,00	12,00	304,50	2	0,0438	eucalipto	0,1161	0,3654	0,7308	
	pilar B	6,00	12,00	274,50	2	0,0395	eucalipto	0,1161	0,3306	0,6612	
	alma	8,00	12,00	300,00	1	0,0288	eucalipto	0,1595	0,4906	0,4906	
	mesa superior	2,50	10,00	300,00	1	0,0075	eucalipto	0,0978	0,3055	0,3055	
Área do painel 7,14 m²	mesa inferior	2,50	10,00	260,00	1	0,0065	eucalipto	0,0978	0,2664	0,2664	
	travessa principal	2,40	7,00	99,70	6	0,0100	Pinus	0,0466	0,0531	0,3186	
	montante vertical	2,40	7,00	234,70	9	0,0355	Pinus	0,0466	0,1161	1,0447	
	travessa secundária	2,40	7,00	46,10	12	0,0093	Pinus	0,0466	0,0281	0,3373	
	diagonal	2,40	7,00	89,30	18	0,0270	Pinus	0,0466	0,0483	0,8686	
	lambri macho/fêmea	2,20	12,00	300,00	48	0,1901	Pinus	0,1106	0,3385	16,2458	
	sarrafos de fixação	2,40	5,00	300,00	6	0,0216	Pinus	0,0538	0,1680	1,0083	
	tábua mata junta	2,20	12,00	249,00	27	0,1775	Pinus	0,1106	0,2820	7,6151	
	ripa mata junta	1,60	5,00	249,00	27	0,0538	Pinus	0,0451	0,1188	3,2073	
Volume total de madeira por painel						0,8410	Consumo energético total por painel			33,1003	
										Consumo energético total por m²	4,63kWh/m²

Obs: Os painéis estão divididos em: estrutura, ossatura e fechamento

Nesta fase de serraria pode-se concluir que a diferença de consumo energética entre os tipos de painéis possui, do mesmo modo que a fase da floresta, uma relação direta com o volume consumido de madeira.

4.4 CONSUMO ENERGÉTICO NA FASE DO BENEFICIAMENTO

Na coleta de campo - fase do *beneficiamento da madeira*, foi quantificado o consumo energético em dois tipos de operações: operação de aplainamento de superfícies e de fresamento de perfis aferidos a partir de uma plaina quatro faces. A coleta de dados na plaina 4 faces foi realizada utilizando-se madeira de eucalipto, portanto, foi necessária aplicar o fator de conversão explicado anteriormente para aferir os dados referentes a peças em pinus.

A **Tabela 33** apresenta as medidas aferidas de duas máquinas em trabalho, uma beneficiando peças de dimensões próximas às peças estruturais dos painéis (75x100x260cm) e a outra próxima aos lambris especificados nos projetos (19x100x250cm). As diferenças dimensionais entre as peças utilizadas para coleta e as peças dos painéis não são significativas. Portanto, sendo que a espessura de material removido de ambas as peças brutas variam de 3 a 4 mm e que as peças usinadas possuem dimensões semelhantes, quantificou-se o consumo energético do beneficiamento das peças dos painéis aplicando-se diretamente os valores do consumo energético por metro linear dos dados aferidos em campo (**Tabela 34**).

Tabela 33. Consumo mensal de aplainamento e fresamento

Tipo de peça	Potência nominal	Potência medida	Consumo/mês ⁽¹⁾
tábuas (4 faces)	17,2	17,91	3.939,78
pontaletes (4 faces)	17,2	14,93	3.285,67

⁽¹⁾Tomando-se como base 10 horas de funcionamento e 22 dias

Tabela 34. Consumo energético da plaina 4 faces por peça e por metro linear

Tipo de peça	Velocidade avanço (m/h)	kWh/peça	kWh/m
tábuas	1.269,03	0,03532	0,0141
pontaletes	664,77	0,05269	0,0234

A seguir, nas **Tabelas 35, 36 e 37**, foram aplicados os dados de consumo energético por metro linear (**Tabela 35**) no cálculo do consumo da fase de beneficiamento das peças dos três tipos de painéis analisados.

Tabela 35. Consumo energético da plaina 4 faces – Campos do Jordão

CAMPOS JORDÃO Tipos de peças		espessura	largura	comprimento	Qt.	4 faces (kWh)
	estrutura do pórtico	3,60	5,80	300,00	2	0,0773
Painel dimensões (m)	montantes verticais	3,60	5,80	248,00	\	\
	2,48 x 2,82	3,60	5,80	240,00	\	\
Área do painel (m ²)	montantes horizontais	3,60	5,80	282,00	\	\
	7,00	3,60	5,80	77,40	\	\
		3,60	5,80	120,00	\	\
	lambri macho e fêmea	2,20	12,00	300,00	50	1,1655
total por painel						1,2428 kWh
total por m ² de painel						0,18 kWh/m ²

Tabela 36. Consumo energético da plaina 4 faces – Protótipo 001

Protótipo 001 Tipos de peças		espessura	largura	comprimento	Qt.	4 faces (kWh)
	pilar duplo	6,00	12,00	257,00	4	0,2407
Painel dimensões (m)	Alma	6,00	12,00	300,00	1	0,0702
	2,38 x 3,00	2,50	10,00	300,00	1	0,0424
Área do painel (m ²)	mesa superior	2,50	10,00	260,00	1	0,0367
	7,14	2,40	7,00	99,70	\	\
	travessa principal	2,40	7,00	234,70	\	\
	montante vertical	2,40	7,00	46,10	\	\
	travessa secundária	2,40	7,00	89,30	\	\
	Diagonal	2,40	7,00	89,30	\	\
	lambri macho e fêmea	2,20	12,00	300,00	48	1,1189
	sarrafos de fixação	2,00	5,00	300,00	\	\
	deck horizontal	2,00	5,00	300,00	24	0,5594
	chapa aglomerado	0,80	122,00	244,00	\	\
total por painel						2,0684 kWh
total por m ² de painel						0,29 kWh/m ²

Tabela 37. Consumo energético da plaina 4 faces – Protótipo 002

Protótipo 002 Tipos de peças		espessura	largura	comprimento	Qt.	4 faces (kWh)
	Pilar A	6,00	12,00	304,50	2	0,1426
Painel dimensões (m)	Pilar B	6,00	12,00	274,50	2	0,1286
	2,38 x 3,00	8,00	12,00	300,00	1	0,0702
Área do painel (m ²)	Alma	2,50	10,00	300,00	1	0,0424
	7,14	2,50	10,00	260,00	1	0,0367
	mesa superior	2,40	7,00	99,70	\	\
	mesa inferior	2,40	7,00	234,70	\	\
	travessa principal	2,40	7,00	46,10	\	\
	montante vertical	2,40	7,00	89,30	\	\
	travessa secundária	2,40	7,00	89,30	\	\
	Diagonal	2,40	7,00	89,30	\	\
	lambri macho e fêmea	2,20	12,00	300,00	48	1,1189
	sarrafos de fixação	2,40	5,00	300,00	\	\
	tábua mata junta	2,20	12,00	249,00	27	0,5224
	ripa mata junta	1,60	5,00	249,00	27	0,5224
	chapa aglomerado	0,80	122,00	244,00	\	\
total por painel						2,5842 kWh
total por m ² de painel						0,36 kWh/m ²

Observando-se os resultados obtidos nas Tabelas 35, 36 e 37, pode-se concluir que na fase de beneficiamento o consumo energético tem relação direta com o volume de madeira consumida para cada tipologia de painel analisado.

4.5 FASE DO CANTEIRO - Montagem

Na fase de canteiro de obras foram quantificados três tipos de operações: **serramento de destopo**, utilizando uma serra circular portátil; a **furação**, com uma furadeira portátil e a **pregação**, utilizando um pinador pneumático.

4.5.1 Serramento de destopo - Serra circular portátil

Na coleta de dados para a operação de destopo, utilizando uma serra circular portátil, foram realizados 21 cortes para cada seção de peça em pinus, medindo-se as médias de tempo de corte para cada seção. A energia gasta por corte foi obtida multiplicando-se o tempo médio de corte (em horas) pela potência do equipamento - 1,375 kW (*Tabela 38*). Foram descartadas as medidas tomadas até a estabilização do tempo de corte.

Tabela 38. Consumo energético da operação serramento de destopo na serra circular portátil em madeira de pinus

Seções (cm)	Tempo médio de corte (s)	Consumo energético (kWh)
8,0 x 12	7' 95"	0,0030
6,0 x 12	5' 96"	0,0023
3,6 x 12	3' 55"	0,0014
3,6 x 5,8	1' 64"	0,0006
2,5 x 10	2' 06"	0,0008
2,4 x 7,0	1' 38"	0,0005
2,4 x 5,0	94"	0,0004
2,2 x 12	2' 16"	0,0008
2,0 x 5,0	78"	0,0003
1,6 x 5,0	63"	0,0002

Os dados obtidos na *Tabela 38* foram aplicados na quantificação do consumo energético total por painel, apresentada nas *Tabelas 39, 40 e 41*.

Tabela 39. Consumo energético da operação serramento de destopo – painel de Campos Jordão

CAMPOS DO JORDÃO Tipos de peças	Dimensões (cm)			(un.)	(kWh)
	largura	comprimento	espessura	Quantidade	Consumo
estrutura do pórtico	5,80	300,00	3,60	2	\
montantes verticais	5,80	248,00	3,60	2	0,0013
	5,80	240,00	3,60	2	0,0013
montantes horizontais	5,80	282,00	3,60	2	0,0013
	5,80	77,40	3,60	4	0,0025
	5,80	120,00	3,60	2	0,0013
lambri macho e fêmea	12,00	300,00	2,20	50	\
				TOTAL	0,0075

Tabela 40. Consumo energéico da operação serramento de destopo – painel do Protótipo 001

PROTÓTIPO 001	Dimensões (cm)			(un.)	(kWh)
	Tipos de peças	espessura	largura	comprimento	Quantidade Consumo
	pilar duplo	6,00	12,00	257,00	4 0,0166
	alma	6,00	12,00	300,00	1 \
	mesa superior	2,50	10,00	300,00	1 \
	mesa inferior	2,50	10,00	260,00	1 0,0014
	travessa principal	2,40	7,00	99,70	6 0,0032
	montante vertical	2,40	7,00	234,70	9 0,0048
	travessa secundária	2,40	7,00	46,10	12 0,0063
	diagonal	2,40	7,00	89,30	18 0,0095
	lambri macho e fêmea	2,20	12,00	300,00	48 \
	sarrafos de fixação	2,00	5,00	300,00	7 \
	deck horizontal	2,00	5,00	300,00	24 \
	TOTAL				0,0418

Tabela 41. Consumo energéico da operação serramento de destopo – painel do Protótipo 002

PROTÓTIPO 002	Dimensões (cm)			(un.)	(kWh)
	Tipos de peças	espessura	largura	comprimento	Quantidade Consumo
	pilar A	6,00	12,00	304,50	2 0,0083
	pilar B	6,00	12,00	274,50	2 0,0083
	alma	8,00	12,00	300,00	1 \
	mesa superior	2,50	10,00	300,00	1 \
	mesa inferior	2,50	10,00	260,00	1 0,0014
	travessa principal	2,40	7,00	99,70	6 0,0032
	montante vertical	2,40	7,00	234,70	9 0,0048
	travessa secundária	2,40	7,00	46,10	12 0,0063
	diagonal	2,40	7,00	89,30	18 0,0095
	lambri macho e fêmea	2,20	12,00	300,00	48 \
	sarrafos de fixação	2,40	5,00	300,00	6 \
	tábua mata junta	2,20	12,00	249,00	27 0,0222
	ripa mata junta	1,60	5,00	249,00	27 0,0065
	TOTAL				0,0705

4.5.2 Furação

Na coleta de dados de consumo energéico para a operação de furação foram realizados 21 furos utilizando uma broca de 12 mm de diâmetro, em peças de pinus e eucalipto de seções (6 x 12) cm. Os furos foram feitos, de acordo com os projetos, no sentido da espessura da madeira, ou seja, 6 cm. Na Tabela 42 apresenta-se os tempos médios para a operação sendo as primeiras medidas descartadas. A

energia gasta por furo (**Tabela 42**) foi obtida multiplicando-se o tempo médio de corte (em horas) pela potência do equipamento – 0,5 cv, ou seja, 0,373 kW.

Tabela 42. Tempo médio gasto na operação de furação em peças de seção (6 x 12cm)

Tempo Médio (s.)	
eucalipto	pinus
14,47	5,54

Tabela 43. Consumo energético por furo

Consumo energético por furo (kWh/furo)	
eucalipto	pinus
0,0015	0,0006

Os valores obtidos por operação de furação (**Tabela 44**) serão aplicados nas **Tabelas 45, 46 e 47** onde estão quantificados os números dos furos executados em cada uma das tipologias dos painéis estudados.

4.5.3 Pregação - Pinador pneumático

O pinador pneumático possui 5cv ou 3,73 kW de potência e o tempo de carregamento do compressor utilizado foi de 11º 19'. Aferiu-se durante o descarregamento do compressor que o número médio de pregos fixados foi de 306 unidades, ou seja, para cada golpe o consumo energético foi de 0,0023 kWh (**Tabela 44**). Na execução do projeto de Campos do Jordão não se utilizou o pinador pneumático na pregação das peças, sendo essa atividade executada manualmente. Contudo, considerou-se o uso deste equipamento para uma situação ideal de trabalho, a fim de atingir maior eficiência na montagem, apesar de provocar um sensível aumento no consumo energético da obra.

Tabela 44. Consumo energético por prego fixado

tempo de carregamento	potência	nº. de pregos	Consumo energético
11º 19'	5 cv	306 un.	0,0023 kWh

Nas **tabelas 45, 46 e 47** estão os consumos energéticos totais para as atividades de destopo, furação e pregação dos painéis dos 03 Projetos analisados.

Tabela 45. Consumo energético total das operações de destopo e pregação – painel Campos do Jordão

CAMPOS JORDÃO ⁽¹⁾		(kW)	(un.)	(kWh / operação)	
Equipamentos		Potência	nº. operações	Consumo energético	Total
serra circular portátil	—	1,375	12	-	0,0075
destopadeira		3,730	442	0,0023	1,0048
pinador pneumático					
total por painel					1,0123 kWh
total por m ² de painel					0,1446 kWh/m²

⁽¹⁾ não foram feitas pré-furações para a fixação das peças

Tabela 46. Consumo energético total das operações de destopo, furação e pregação – Protótipo 001

PROTÓTIPO 001	(kW)	(un.) n.º	(kWh / operação) Consumo energético	Total
Equipamentos utilizados	Potência	operações		
serra circular portátil - destopadeira	1,375	50	-	0,0418
furadeira (eucalipto)	0,373	32	0,0015	0,0480
pinador pneumático (pinus)	3,730	1.065	0,0023	2,4210
			total por painel	2,5107 kWh
			total por m ² de painel	0,3516 kWh/m ²

Tabela 47. Consumo energético total das operações de destopo, furação e pregação – Protótipo 002

PROTÓTIPO 002	(kW)	(un.) n.º	(kWh / operação) Consumo energético	Total
Equipamentos utilizados	Potência	operações		
serra circular portátil – destopadeira	1,375	104	-	0,0705
furadeira (eucalipto)	0,373	32	0,0015	0,0480
pinador pneumático (pinus)		1.215	0,0023	2,7620
			total por painel	2,8804 kWh
			total por m ² de painel	0,4034 kWh/m ²

4.6 CONSUMO ENERGÉTICO TOTAL NA PRODUÇÃO DE PAINÉIS DE VEDAÇÃO

Neste item será apresentado um quadro quantificando todas as fases envolvidas no processamento da madeira serrada e seus respectivos consumos energéticos: fase da floresta; serraria; beneficiadora e canteiro – montagem.

Os valores de consumo total de energia, para os três tipos de painel, foram aferidos em kWh para o conjunto de componentes construtivos de cada painel; por m² de painel em kWh/m² e por volume total de madeira serrada utilizada por painel em kWh/m³ (Tabela 48).

Tabela 48. Consumo energético total da cadeia de produção de madeira serrada

Projeto	Área (m ²)	Volume madeira (m ³)	Consumo energético por fase de produção				Consumo energético por:		
			floresta (kWh)	serraria (kWh)	beneficiadora (kWh)	canteiro (kWh)	painel (kWh)	área painel (kWh/m ²)	volume madeira (kWh/m ³)
Campos Jordão	7,00	0,4522	10,7973	20,3637	1,2428	1,0123	33,42	4,77	73,90
Protótipo 001	7,14	0,6646	20,0675	28,7396	2,0684	2,5107	53,39	7,48	80,33
Protótipo 002	7,14	0,8410	24,9146	33,1003	2,5842	2,8804	63,48	8,89	75,48

Energia Complementar - Aos valores finais de consumo energético para o processamento dos painéis foi incluída uma parcela a mais de consumo de energia do restante da planta industrial (escritório, iluminação artificial, etc.), a chamada energia complementar. O valor da energia complementar foi calculado subtraindo-se a energia consumida pelos equipamentos analisados em cada uma das Linhas de Produção do consumo energético mensal total da empresa. Dividiu-se, na seqüência, o valor obtido

pela produção mensal de madeira serrada aferindo-se a energia complementar em kWh por metro cúbico de madeira processada. A partir do valor médio encontrado nas empresas de 6,32 kWh/m³, calculou-se então a parcela relativa à energia complementar por painel, como mostra a **Tabela 49**.

Tabela 49. Consumo energético total da cadeia de produção incluindo energia complementar

Projeto	Volume madeira (m ³)	Energia Complementar por painel (kWh/m ³)	Consumo energético por:		
			Painel (kWh)	Área de painel (kWh/m ²)	Volume de madeira (kWh/m ³)
Campos Jordão (7,00m²)	0,4522	2,86	36,27	5,18	76,76
Protótipo 001 (7,14m²)	0,6646	4,20	57,59	8,07	84,53
Protótipo 002 (7,14m²)	0,8411	5,31	68,79	9,64	80,79

Os resultados apresentados retratam a realidade industrial madeireira da região Sudoeste do Estado de São Paulo e podem sofrer variações se comparados a outros Estados e principalmente países.

Nos resultados obtidos da **Tabela 49**, nota-se que o consumo energético total, reunindo todas as fases de processamento analisadas, sofre variação em função do volume de madeira utilizada. Contudo, comparando-se o painel do Protótipo 002 ao Protótipo 001, pode-se observar que proporcionalmente o gasto energético por m³ de madeira usinada é menor no Protótipo 002. Este fato pode ser explicado pelo fato do tipo de usinagem no Protótipo 002 (tábua e mata-junta) ser mais simples, apesar de um maior consumo de madeira. Pode-se concluir que o sistema de vedação neste caso apresenta maior eficiência energética que em relação aos outros painéis, ou seja, o processamento desta madeira para a produção de componentes para este tipo específico de sistema de fechamento requer menor quantidade de energia.

5 | ANÁLISE DOS RESÍDUOS GERADOS - PRODUÇÃO DE TRÊS TIPOS DE PAINÉIS

De acordo com SOUZA (1998), resíduos florestais são materiais não utilizáveis decorrentes da colheita, do desdobro primário e secundário, são eles: cascas, costaneiras, pontas, lascas, nós, pó-de-serra e maravalhas. Segundo o mesmo autor, o Brasil com uma produção de 22,5 milhões de toneladas de madeira serrada e eficiência de cerca de 50%, gera nada menos que outros 22,5 milhões de toneladas de resíduos. O que corresponde aproximadamente a 36 estádios do Maracanã (RJ), considerando 300m de diâmetro e 30m de altura, ou seja, cerca de 2,1 milhões de m³. Só de pó-de-serra anualmente preencheria completamente três Maracanãs.

De acordo com TOMASELLI () pode-se observar, no esquema elaborado da **Figura 29**, os valores médios e tipos de resíduos gerados em um ciclo de produção de madeira serrada na região sul do Brasil, como:

- toras finas, produzidas nos desbastes ou em partes superiores das árvores que não possuem diâmetro suficiente para serem serradas;
- cascas, em geral retirada durante o processamento da madeira nas serrarias, representando cerca de 7% do volume das toras;
- resíduo fino (serragem) produzida no desdobro, que representa cerca de 10% do volume das toras processadas; e
- resíduo grosso (pedaços: costaneiras, tocos, perdas na secagem e refilos) representa cerca de 28% do volume das toras.

Figura 29. Resíduos gerados na cadeia de produção de madeira serrada

Fonte: TOMASELLI

O estudo do resíduo gerado para a produção de madeira serrada retrata a realidade tecnológica da indústria madeireira da região sudoeste do Estado de São Paulo. Contudo, sendo o enfoque atribuído à pesquisa o **consumo energético** da cadeia produtiva, a quantificação do resíduo gerado nas serrarias será posteriormente aplicado no cálculo da energia embutida no rejeito descartado de todo o fluxo de produção da madeira serrada.

Portanto, não cabe ao trabalho a caracterização do resíduo no processo de transformação da madeira (tipo, forma; dimensões; volume em cada operação; teor de umidade e composição), mas apenas a quantificação total em cada uma das fases de produção. Desta maneira será apresentada a metodologia específica para a quantificação de resíduos gerados nas fases que incluíram trabalho de campo. Na fase da floresta, onde não se realizou coleta de campo serão citadas apenas as referências bibliográficas.

5.1 RESÍDUOS GERADOS NA FASE DA FLORESTA

Na literatura é encontrada a razão de 50/50 de resíduos deixados na floresta, ou seja, para cada m³ de árvore cortada, um m³ de resíduos é abandonado na floresta. Na Indonésia é encontrada a razão de 60/40, isto é, para cada 6 m³ de madeira retirada, 4 m³ deixadas na floresta. Em geral destes 40% de resíduos: 12% são caule (acima da primeira bifurcação); 13,4% galhos; 9,4% defeitos naturais; 1,8% caule (abaixo do primeiro galho); 1,3 danos causados pela queda; 1,6% tronco e 0,5% outras perdas. Na Malásia (FRIM, 1992) reporta-se perdas na colheita em apenas 30% e outro (JALALUDDIN et al., 1984) indicam uma proporção de perdas de 66/34, sendo que estes resíduos consistem em tocos, galhos, folhas e defeitos da árvore. Após a chegada das toras na serrarias, cerca de 12% dos resíduos são cascas e após o processamento mais cerca de 34%.

TOMASELLI () considera que a quantidade de resíduos gerados na colheita de uma floresta nativa, por sua extrema heterogeneidade, é maior que em florestas plantadas. Afirma também que na etapa de usinagem da madeira, a quantidade de resíduos gerados é menor em toras de melhor qualidade, especialmente nas de maior diâmetro.

A partir da necessidade exigida pela legislação ambiental de propor soluções à disposição dos resíduos gerados no processamento da madeira, as indústrias passaram a pesquisar alternativas para utilizá-los e minimizar sua geração.

Segundo SOUZA (1998), quatro importantes frentes de utilização destes resíduos foram criadas, como: pequenos objetos de madeira, energia, compostagem e fabricação de chapas.

Uma das maneiras principais de se reduzir esse montante de resíduos gerados é minimizá-los durante as etapas de produção, com a racionalização do processo de transformação da madeira, proporcionando um melhor aproveitamento dos recursos naturais. Na etapa de colheita de madeira, alguns erros típicos

cometidos durante o corte das árvores podem gerar um aumento significativo nos resíduos na floresta. De acordo com AMARAL et al. (1998), alguns importantes erros podem ser citados como:

- erro na altura do corte – ao invés do corte ser executado a 30cm do solo, o motosserrista por falta de treinamento ou por comodidade o faz a 60-70cm. O desperdício neste caso será de 0,25m³ por hectare (*Figura 30*).

Figura 30. Posição correta para o corte Fonte: AMARAL et al., 1998

- erro no corte da "boca" da árvore. "Boca" é um corte realizado sempre no lado de queda da árvore. Deve ser feito a 20cm do solo, penetrando até um terço do diâmetro da árvore e logo após receber um outro corte, na diagonal, até atingir a linha de corte horizontal, formando um ângulo de 45°. O erro ocorre se o corte diagonal for menor que 45° e não atingir o corte na horizontal. A árvore desta maneira tem maior chance de rachar durante a queda. A perda média será de 1,2m³ por hectare (*Figura 31*).

Figura 31. Desperdício devido a rachadura

Fonte: AMARAL et al., 1998

De acordo com TOMASELLI (), a sinergia da indústria de serrados e laminados/compensados com outras indústrias, como de papel e celulose e de produtos reconstituídos de madeira, não tem sido totalmente explorada no Brasil. Segundo o mesmo autor, os resíduos de madeira gerados na floresta vem sendo melhor aproveitados, apenas pequena parte do material fino dos reflorestamentos é deixado na floresta. Este maior aproveitamento deve-se pela crescente maturação dos grandes reflorestamentos da

época dos incentivos fiscais, pois houve uma escassez de madeira fina em algumas regiões, particularmente no abastecimento da indústria de papel e celulose. O limite mínimo de diâmetro aproveitado na floresta para a indústria de celulose e painéis é de normalmente 7cm.

SOUZA (1998) identifica como um dos fatores inibidores para plena utilização dos resíduos florestais e agrícolas: o custo com transporte e de produção, a diversidade de operações, a heterogeneidade da matéria-prima, sazonalidade, falta de tecnologia e a falta de investimentos.

Contudo, apesar do resíduo produzido na fase da floresta representar um considerável ganho na geração de energia, a reincorporação dos mesmos ao solo, em especial nos reflorestamentos de pinus e eucalipto, tem um papel de suma importância na ciclagem de nutrientes, evitando erosão e a acelerada perda de nutrientes após longos períodos de solo exposto que precede a colheita e o novo plantio. Além disso, TOMASELLI () afirma que a manipulação deste rejeito é dispendiosa e a necessidade de repor nutrientes leva a um efeito econômico negativo.

Atualmente, algumas empresas da região Sudoeste estão experimentando utilizar o "metrinho", ou seja, um metro a mais do topo da tora retirada da floresta para transformar em madeira serrada, reduzindo desta maneira os resíduos deixados na floresta.

Analisando os aspectos descritos anteriormente e constatando que parte dos materiais finos das florestas da região de estudo já estão sendo de alguma forma aproveitados, no presente trabalho não foi incorporado o volume gerado de resíduos de massa foliar, galhos e topos no cálculo total de resíduos gerados na produção de painéis de madeira, uma vez que seriam de maior valia se incorporados ao solo.

5.2 RESÍDUO GERADO NA FASE DA SERRARIA

A coleta de dados foi realizada em dez serrarias, processando toras de madeira de Pinus de diferentes diâmetros e comprimentos, em geral espécies de *Pinus elliotti* e *Pinus taeda*.

Dado os diferentes produtos fabricados, tais como: madeira serrada para construção civil, produção de embalagens em geral e cercas para exportação, foram analisadas apenas as serrarias ou linhas de produção cujas seções dos produtos eram compatíveis aos projetos analisados.

Através do conhecimento detalhado do processo de corte para a produção dos componentes foram calculadas as quantidades de resíduos sólidos gerados na produção de cada componente da habitação. Em razão disto foram coletados dados de ferramental, maquinário e técnicas de corte para subsidiar os cálculos das áreas de remoção de material nas operações de serramento das toras, de refilos de costaneira, destopo, aplainamento e fresamento.

A seguir considerando-se a situação real de produção da Serraria A exemplifica-se, para maior compreensão da metodologia aplicada, a sequência de operações e as áreas calculadas de material

particulado removido para se obter o volume de resíduos gerados por m³ de madeira serrada em uma das linhas de produção. Alguns dados de produção desta serraria são:

- Volume médio de madeira serrada dos últimos 4 meses é de 760,16 m³ para 2.675 mst;
- Como, 1 mst contém em média 23 toras de diâmetro médio de 17 cm com casca, e 16 cm sem casca, tem-se 61.525 metros lineares de tora, correspondendo a 49.220 toras (1,25 m de comprimento) por mês;
- Em média 77,22% cortadas para largura de 90 mm e 22,78% para 120 mm (GONÇALVES et al., 2002).

1ª Operação - Remoção das costaneiras por serramento circular de desdobro (serra circ. quádrupla)

Assume-se

Diâmetro médio das toras = 17,0 cm = 0,17 m

Comprimento das toras = 1,25 m

Espessura de corte 4,8 mm = 0,0048 m

Figura 32. Seção transversal da tora sendo cortada em serra quádrupla e desenho da área de material removido

Formula (1) – cálculo da área de material sólido removido na 1ª Operação – costaneiras, onde:

$$A_{\text{costaneira}} = \frac{\pi R^2}{360} \times \text{Arc cos} \left[\left(\frac{360}{\pi} \right) \frac{R - e}{R} \right] - \sqrt{e(2R - e)} \times (R - e) \quad (1)$$

e = a distância entre o encosto da tora e a 1ª lâmina - ajuste de máquina;

R = Raio da Tora;

A seguir foi somado ao cálculo da área das costaneiras, o material particulado removido pela lâmina utilizada na 1ª Operação (2). Assume-se um pequeno erro, aproximando-se esta área para uma seção retangular de espessura b e altura igual ao dobro de H , portanto, tem-se:

$$A_{partículas} = 2 \times H \times b \quad (2) \quad \text{onde:} \quad \begin{aligned} H &= \text{altura de corte}/2 \\ b &= \text{espessura de corte da lâmina de serra} \end{aligned}$$

Para o cálculo do volume total das operações, deve-se multiplicar as áreas obtidas pelo comprimento das peças que no exemplo é 1,25m, o que resultará para peças de 9 e 12 cm de largura nos seguintes volumes mensais de resíduos gerados:

Largura da peça (mm)	Volume mensal de serragem (m ³)
120	2,61
90	51,68

Extrapolando-se o mesmo raciocínio para as demais operações será possível, conhecendo-se o fluxo de produção, dimensões de toras e ferramentas utilizadas, obter o volume total de resíduos de madeira gerados por componentes construtivos da habitação dentro da fábrica. Cabe ressaltar que foram selecionadas para o cálculo completo de resíduos, as serrarias que possuíam como produtos finais os que mais se aproximaram das dimensões aplicadas aos sistemas construtivos a serem analisados.

2ª Operação - desdobro de bloco em serra circular múltipla

Comprimento das toras = 1,25 m

Espessura de corte = 3,0 mm = 0,0030 m

Figura 33. Seção transversal do semibloco sendo cortado em serra múltipla e desenho da área de material removido

Largura da peça (mm)	Volume mensal de serragem (m ³)
120	15,20
90	38,47

3ª Operação - desdobro de semi bloco em serra de fita horizontal

Figura 34. Serra de fita horizontal e desenho da área de material removido

Largura da peça (mm)	Volume mensal de serragem em m ³
120	11,43
90	29,06

4ª Operação - refilo de costaneiras em serra circular dupla

Figura 35. Seção transversal sendo cortada em serra circular dupla e desenho da área de material removido

Largura da peça (mm)	Volume mensal de refilo em m ³	Volume mensal de serragem em m ³
120	2,65	2,30
90	9,03	7,80

5ª Operação - aproveitamento de costaneira na serra de fita vertical - reserra (tábuas de 90 mm)

Figura 36. Seção transversal da costaneira sendo cortada em serra fita e desenho da área de material removido

Largura da peça (mm)	Volume mensal de serragem em m ³
120	14,53
90	61,99

6ª Operação - destopo de peças em serra circular dupla (destopadeiras dupla)

Figura 37. Serra circular dupla de destopo e resíduos - serragem e destopo

Largura da peça (mm)	Nº peças/mês	Volume mensal de serragem (m ³)
120	95.998	1,41
90	433.580	6,53
78	172.377	2,03

Largura da peça (mm)	Nº peças/mês	Volume mensal de destopo (m ³)
120	95.998	33,86
90	433.580	26,25
78	172.377	49,28

Após o cálculo das áreas removidas durante as sete operações de corte da madeira na Serraria A teremos o valor total de resíduo gerado de 485,59 m³ por mês (**Tabela 50**).

A seguir será apresentado na **Tabela 52**, o total de resíduos gerados em cada serrarias analisadas.

Tabela 50. Total de resíduos gerados por mês na Serraria A

Totalização do volume de resíduos referidos ao maciço (m ³ /mês)		
Serragem	cavaco	total
205,71	279,88	485,59
▪ Volume mensal médio de madeira serrada = 760,16 m ³		
▪ Volume mensal médio de resíduos = 485,59 m ³		
▪ Volume mensal médio total = 1.245,75 m ³		

Tabela 51. Produtos, produção e volume resíduo gerado em relação ao maciço nas serrarias analisadas

Serrarias	Dimensões (cm)			Produção média		(mst/m³)*	(m³)	Resíduo gerado por m³ de madeira serrada
	espessura	largura	comprimento	madeira (mst e m³)	I C	Resíduo total		
A	1,4 e 1,9	9 e 12	125	2.675,00	760,00	3,52	485,59	0,63
C	2,3 a 7,0	7 a 30	Diversos	-	2.050,00	-	1353,06	0,66
D	2,3	10	200 e 250	2.930,53	782,22	3,74	641,45	0,82
E	2,7 e 8,3	5,4 a 16,5	150 a 300	7.164,00	1800,00	3,98	932,88	0,51
F	1,0 a 1,5	7 e 13,5	190	2.000,00	620,00	3,22	670,43	1,08
G	2,3 a 7,0	diversas	Diversos	-	1.613,84	-	1130,42	0,70
I	1,0 a 1,6	10 a 14	125 a 200	3.870,00	1.500,00	2,58	1.210,35	0,80
B	0,6 a 1,6	diversas	35,5 e 52,5	Descartada – peças produzidas de espessura e comprimento muito pequenos				
H	1,4	9	30 a 50	Descartada – peças produzidas de espessura e comprimento muito pequenos				
J	0,6 a 1,6	10 e 14	30 a 50	Descartada – peças produzidas de espessura e comprimento muito pequenos				

* I C = Índice de conversão de mst/m³

A partir dos resultados apresentados na **Tabela 51**, obteve-se a média de resíduos gerados nas serrarias analisadas igual a 0,74 m³ por m³ de madeira serrada. Este valor foi multiplicado pelo volume de madeira serrada consumida para cada tipo de painel, como mostra a **Tabela 52**, obtendo-se os valores de 0,33 m³ de rejeito para o painel de *Campos do Jordão*; 0,35 m³ para o *Protótipo 001* e 0,48 m³ para o *Protótipo 002*.

Tabela 52. Volume total de resíduo gerado para a produção dos painéis - fase serraria

	Área (m ²)	Volume madeira (m ³)	Resíduo por painel(m ³)	Resíduo por m ² de painel (m ³ /m ²)
Campos Jordão	7,00	0,4522	0,3346	0,0478
Protótipo 001	7,14	0,6646	0,4918	0,0688
Protótipo 002	7,14	0,8410	0,6224	0,0871

Nesta fase de coleta de dados, devido a utilização da média dos resíduos gerados na produção das serrarias, a variação de volume de rejeito entre os painéis está relacionado apenas ao volume de madeira serrada utilizada em cada tipologia de painéis e não em função do desenho dos componentes que compõem os mesmos. A variação em função da tipologia do sistema de fechamento será notada nas demais fases de processamento da madeira.

5.3 RESÍDUO GERADO NA FASE DO BENEFICIAMENTO

O resíduo gerado, na fase de beneficiamento da madeira serrada, foi quantificado a partir da operação de aplainamento e fresamento na plaina 4 faces. Considerou-se nesta operação a remoção de 3mm de espessura de cada face da madeira processada. As *Tabelas 53, 54 e 55* apresentam a quantificação deste material por painel analisado.

Tabela 53. Volume de resíduo gerado na operação 4 faces – painel Campos Jordão

Tipos de peças	espessura	largura	comprimento	Qt.	4 faces (m³)
estrutura do pórtico	0,036	0,058	3,00	2	0,0017
montantes verticais	0,036	0,058	2,48	\	\
	0,036	0,058	2,40	\	\
montantes horizontais	0,036	0,058	2,82	\	\
	0,036	0,058	0,77	\	\
	0,036	0,058	1,20	\	\
lambri macho e fêmea	0,022	0,120	3,00	50	0,0639
total					0,0656

Tabela 54. Volume de resíduo gerado na operação 4 faces – painel Protótipo 001

Tipos de peças	espessura	largura	comprimento	Qt.	4 faces (m³)
pilar duplo	0,060	0,12	2,57	4	0,0056
Alma	0,060	0,12	3,00	1	0,0016
mesa superior	0,025	0,10	3,00	1	0,0011
mesa inferior	0,025	0,10	2,60	1	0,0010
travessa principal	0,024	0,07	0,99	\	\
montante vertical	0,024	0,07	2,34	\	\
travessa secundária	0,024	0,07	0,46	\	\
Diagonal	0,024	0,07	0,89	\	\
lambri macho e fêmea	0,022	0,12	3,00	48	0,0614
sarrafos de fixação	0,020	0,05	3,00	\	\
deck horizontal	0,020	0,05	3,00	24	0,0151
total					0,0858

Tabela 55. Volume de resíduo gerado na operação 4 faces – painel Protótipo 002

Tipos de peças	espessura	largura	comprimento	Qt.	4 faces (m³)
pilar A	0,060	0,12	3,04	2	0,0033
pilar B	0,060	0,12	2,74	2	0,0030
alma	0,060	0,12	3,00	1	0,0016
mesa superior	0,025	0,10	3,00	1	0,0011
mesa inferior	0,025	0,10	2,60	1	0,0010
travessa principal	0,024	0,07	0,99	\	\
montante vertical	0,024	0,07	2,34	\	\
travessa secundária	0,024	0,07	0,46	\	\
diagonal	0,024	0,07	0,89	\	\
lambri macho e fêmea	0,022	0,12	3,00	48	0,0614
sarrafos de fixação	0,024	0,05	3,00	\	\
tábua mata junta	0,022	0,12	2,49	27	0,0286
ripa mata junta	0,016	0,05	2,49	27	0,0133
total					0,1133

5.4 FASE DE CANTEIRO / MONTAGEM

Na fase de montagem no canteiro de obras a operação cuja geração de resíduos atinge um volume considerável a ser avaliado é o serramento de destopo. As demais operações, furação e pregação não foram consideradas. Nas **Tabelas 56, 57 e 58** abaixo estão quantificados os volumes de resíduo gerado em relação ao material removido por peças para cada painel, aferido em m³.

Tabela 56. Volume de resíduo gerado por painel na fase de montagem – Campos do Jordão

Campos Jordão	Tipos de peças	Dimensões (cm)			(un.)	(m ³)
		espessura	largura	comprimento		
Painel dimensões (m) 2,48 x 2,82 Área do painel (m ²) 7,00	estrutura do pórtico	3,60	5,80	300,00	2	0
	montantes verticais	3,60	5,80	248,00	2	0,0022
		3,60	5,80	240,00	2	0,0025
	montantes horizontais	3,60	5,80	282,00	2	0,0008
		3,60	5,80	77,40*	4	0,0014
		3,60	5,80	120,00*	2	0,0059
	lambri macho e fêmea	2,20	12,00	300,00	50	0
Volume total						0,0127

*As peças de espessura e largura iguais foram reaproveitadas para minimizar a geração de resíduos

Tabela 57. Volume de resíduo gerado por painel na fase de montagem – Protótipo 001

Protótipo 001	Tipos de peças	Dimensões (cm)			(un.)	(m ³)
		espessura	largura	comprimento		
Painel dimensões (m) 2,38 x 3,00 Área do painel (m ²) 7,14	pilar duplo	6,00	12,00	257,00	4	0,0124
	Alma	6,00	12,00	300,00	1	0
	mesa superior	2,50	10,00	300,00	1	0
	mesa inferior	2,50	10,00	260,00	1	0,0010
	travessa principal	2,40	7,00	99,70	6	0,00003
	montante vertical	2,40	7,00	234,70*	9	0
	travessa secundária	2,40	7,00	46,10*	12	0,0056
	Diagonal	2,40	7,00	89,30	18	0,0032
	lambri macho e fêmea	2,20	12,00	300,00	48	0
	sarrafos de fixação	2,00	5,00	300,00	7	0
	deck horizontal	2,00	5,00	300,00	24	0
Volume total						0,0222

*As peças de espessura e largura iguais foram reaproveitadas para minimizar a geração de resíduos

Tabela 58. Volume de resíduo gerado por painel na fase de montagem – Protótipo 002

Protótipo 002	Tipos de peças	Dimensões (cm)			(un.)	Qt. Resíduo (m³)
		espessura	largura	comprimento		
Painel dimensões (m) 2,38 x 3,00	pilar A	6,00	12,00	304,50	2	0
	pilar B	6,00	12,00	274,50	2	0,0036
Área do painel (m²) 7,14	Alma	8,00	12,00	300,00	1	0
	mesa superior	2,50	10,00	300,00	1	0
	mesa inferior	2,50	10,00	260,00	1	0,0010
	travessa principal	2,40	7,00	99,70	6	0,00003
	montante vertical	2,40	7,00	234,70*	9	0
	travessa secundária	2,40	7,00	46,10*	12	0,0056
	Diagonal	2,40	7,00	89,30	18	0,0032
	lambri macho e fêmea	2,20	12,00	300,00	48	0
	sarrafos de fixação	2,40	5,00	300,00	6	0
	tábua mata junta	2,20	12,00	249,00	27	0,0363
	ripa mata junta	1,60	5,00	249,00	27	0,0110
Volume total						0,0609

*As peças de espessura e largura iguais foram reaproveitadas para minimizar a geração de resíduos

5.5 TOTAL DE RESÍDUOS GERADOS DURANTE O FLUXO PRODUTIVO

Neste item encontra-se um quadro do volume total de resíduo gerado no fluxo de produção do processamento de madeira serrada (*Tabela 59*).

Tabela 59. Volume total de resíduo gerado por painel considerando fluxo completo de produção

	Área (m²)	Volume de madeira (m³)	Resíduo gerado por fase de produção (m³)				Resíduo gerado por:	
			floresta	serraria	beneficiadora	canteiro	painel (m³)	área de painel (m³/m²)
Campos Jordão	7,00	0,4522	0	0,3346	0,0656	0,0127	0,4129	0,0590
Protótipo 001	7,14	0,6646	0	0,4918	0,0858	0,0222	0,5998	0,0840
Protótipo 002	7,14	0,8410	0	0,6224	0,1133	0,0609	0,7966	0,1116

Analisando os resultados obtidos, observa-se que a fase de maior quantidade de resíduos gerados é a fase de processamento nas serrarias, responsável por aproximadamente 80% do total produzido. As fases de beneficiamento e montagem correspondem juntas a somente cerca de 20% do total dos resíduos gerados.

6 | CONSIDERAÇÕES FINAIS

As considerações finais sobre o trabalho de doutorado serão apresentadas neste capítulo segundo os objetivos inicialmente traçados no *Capítulo I*.

6.1 Objetivo Geral: Gerar dados que permitam analisar o grau de sustentabilidade, na sua dimensão ecológica, para a produção de habitação em madeira proveniente de florestas plantadas, verificando o consumo energético (principal foco da pesquisa) e os resíduos gerados em cada etapa de produção da madeira serrada nas regiões madeireiras do Estado de São Paulo.

De acordo com vários autores e considerando os dados observados na região sudoeste do Estado de São Paulo, pode-se afirmar que o setor industrial madeireiro na região, necessita modernizar-se tecnologicamente e melhorar a produção e transformação da matéria-prima.

Durante o trabalho de campo, a situação observada nas serrarias visitadas é a de uma indústria tecnologicamente ultrapassada pelos padrões atuais, resultando na baixa qualidade do produto final e em baixos índices de aproveitamento da matéria-prima (relação toras/m³ e kwh/m³ de energia), principalmente em comparação à produção dos países industrializados. Nota-se a ocorrência de uma grande variabilidade nos índices de produtividade entre as próprias empresas da região, implicando em graus elevados de desperdício de matéria-prima. Dentro destas indústrias, observa-se que os produtos gerados são de utilização secundária ou de baixo valor agregado (formas para concreto, embalagens, cercas etc).

A baixa qualidade do produto final, no Brasil, principia-se já no início da cadeia de produção, na falta de manejo adequado e na colheita das florestas, dando origem a uma matéria-prima que incidirá em série de defeitos para o processo de transformação.

Em relação ao consumo de energia, apesar da baixa produtividade e qualidade dos produtos gerados pelas empresas analisadas, foram obtidos valores de consumo energético baixos para o processamento da madeira serrada em comparação à indústria madeireira de outros países. Isso se deve principalmente ao fato dos produtos lenhosos destinados à construção civil serem em sua totalidade secos ao ar livre, em sistema de varal, quando não transportados e comercializados verdes, resultando em um consumo energético aproximadamente igual a zero. A secagem controlada em estufa que contribui significativamente para se obter maior qualidade dos produtos não é representativa na região Sudoeste do Estado de São Paulo. Dentre as empresas visitadas, apenas três possuíam estufa de secagem, restrita basicamente a produtos para exportação, como cercas. Os demais produtos, como embalagens,

paletes e tábuas para a construção civil, são secos ao ar em sistemas de varal ou comercializados verdes.

Além da menor quantidade de energia consumida, cabe salientar que a energia consumida na indústria de transformação no Brasil para a produção de madeira serrada, por ser aproximadamente 90% provinda da hidroeletricidade, possui menor grau de impacto ao meio ambiente principalmente em termos de liberação de CO₂ à atmosfera.

Nota-se ainda que apesar da considerável quantidade de resíduos de serraria gerados pelo baixo aproveitamento da matéria-prima, esses volumes são atualmente absorvidos quase que integralmente na geração de energia das estufas das próprias serrarias ou nas indústrias locais ligadas a outros setores produtivos na região (cal, celulose, cimento, cerâmica, chapas entre outras).

Contudo, a partir da observação desta região madeireira, pode-se destacar sérios problemas dentro da cadeia de produção da madeira: a quase inexistência de articulação entre os agentes envolvidos, assim como, a falta de uma política nacional, estadual e local que incentive e conscientize o setor madeireiro para a importância da reposição florestal. De acordo com o Inventário Florestal de Áreas Reflorestadas do Estado de São Paulo (KRONKA, 2002b), as áreas de plantios de indivíduos com menos de 5 anos de idade representam apenas 3,2% da área total de florestas plantadas no Estado de São Paulo. Essa desarticulação de setores ligados a indústria madeireira causam também prejuízos ao desenvolvimento e a diversificação no uso das florestas, impedindo que se agregue maior valor ao produto final.

Um dos atributos para a valorização e comercialização da madeira é a firme disponibilidade da matéria-prima selecionada (PONCE, 1997). Na região de estudo, talvez justamente pela heterogeneidade encontrada nas florestas há a dificuldade de padronização do processo de produção das serrarias gerando peças não uniformes. Conseqüentemente, de todo o material processado nota-se que somente pequena parcela da produção tem possibilidade de atingir a classificação necessária ao padrão exigido para exportação. A madeira serrada produzida na região, de maneira geral, tem mercado somente para a produção de embalagens e tábuas para fôrma na construção civil.

Do ponto de vista econômico, principalmente de saúde financeira das empresas, conclui-se que existe a necessidade de explorar novos mercados para o uso da madeira serrada que a utilize como um bem mais durável agregando maior valor ao produto. Como por exemplo, o uso da madeira serrada para a produção de componentes construtivos de habitações que não necessita de investimentos elevados para se obter um padrão de qualidade como o exigido pelo mercado de mobiliário exportação, mas que permite melhores margens que os produtos atualmente produzidos. É o caso da produção de componentes construtivos onde pode ser utilizada até mesmo madeira de aproveitamento, ou seja, madeira de rejeito comercial (peças curtas) ou resíduos de exportação (madeira de segunda). Desta maneira, haverá um maior interesse por parte dos produtores de madeira serrada em melhorar a qualidade de seus produtos, fomentando naturalmente um incentivo à criação de novas áreas de reflorestamentos. Por outro lado,

representará um meio facilitador para a implementação de uma política florestal que assegure a manutenção das pequenas propriedades rurais existentes na região por meio da incorporação de sistemas agroflorestais, o que possibilita o aumento da renda familiar, uma vez que a *integração das florestas com as culturas agrícolas e com a pecuária oferece alternativas para enfrentar os problemas de baixa produtividade, escassez de alimento e de degradação ambiental* (LIMA, 1993).

6.2 Objetivo específico: Definir os **indicadores** a serem aplicados para gerar informações sobre o fluxo produtivo da madeira serrada na Região Sudoeste do Estado de São Paulo

Dentro dos aspectos que classificam o grau de sustentabilidade no desenvolvimento de um produto foram selecionados o **consumo de energia**, ao qual foi atribuído maior ênfase dentro da pesquisa, e os **resíduos gerados** por estarem presentes em praticamente todos os processos de produção nos mais variados setores industriais. A energia, pela necessidade inevitável de consumi-la no intuito de gerar produtos e os resíduos, por serem parte dos insumos mal aproveitados em um processo de transformação da matéria-prima.

A escolha destes dois indicadores origina-se ainda pela constatação da importância atribuída à energia e aos resíduos no estudo dos critérios existentes para avaliação e classificação dos materiais de construção e sistemas construtivos de diversos países (**Tabela 15**).

Através destes dois indicadores numéricos pode-se analisar dentro da cadeia produtiva da madeira quais dentre as fases de processamento analisadas - floresta, serraria, secagem, beneficiamento e montagem/canteiro, representam maior peso ao meio ambiente.

Apesar dos dados encontrados na literatura pertinente serem dispersos e as metodologias distintas, permitindo raras comparações efetivas de resultados de pesquisas, os dados obtidos em relação a estes dois indicadores puderam ser comparados com algumas produções científicas encontradas na literatura pesquisada. Ressalta-se também que a maioria deles não explicita claramente a metodologia e os aspectos específicos inclusos no cálculo do consumo energético.

6.3 Objetivo específico Gerar e analisar informações das etapas de produção da habitação em madeira (colheita da matéria-prima na floresta, serramento, beneficiamento e construção/montagem) quanto ao **uso dos recursos energéticos** dentro da cadeia produtiva da madeira.

Tendo como base bibliográfica os dados experimentais de SERRA et al. (1979), adotou-se na fase da floresta o consumo energético para o manejo e colheita de eucalipto de 81,56 kWh/m³ e para

reflorestamentos de pinus, 31,96 kWh/m³, resultando em valores de consumo de energia de 2,06 kWh/m² para painel em Campos do Jordão; 3,73 kWh/m² para o Protótipo 001 e 4,64 kWh/m² para o Protótipo 002. Dentro desta etapa os maiores gastos energéticos estão relacionados à combustíveis e defensivos, correspondendo aos gastos em combustível para plantações de eucalipto a 71,61% (tratores, 42,68%; caminhão, 19,39% e moto-serra, 9,54%) e 11,23% para defensivos. Na cultura do pinus 74,10% corresponde a consumo de combustível (tratores, 43,77%; caminhão, 20,33% e moto-serra, 10,00%) e 12,74% a gastos com defensivos agrícolas (SERRA et al., 1979).

Na etapa da serraria foram observadas diferenças significativas de consumo energético em relação às diferenças dimensionais das toras. A energia gasta para a produção de uma determinada seção em linha de produção de toras de pequeno diâmetro é maior em comparação a produção da mesma seção em linha de toras de maior diâmetro. Além de ser mais vantajoso economicamente e apresentar melhor aproveitamento da matéria-prima e da energia, o uso de toras de maior diâmetro vem contribuir como um aspecto favorável a mais aos benefícios ambientais, uma vez que em se estabelecendo períodos mais longos de rotação da cultura de pinus e eucalipto, propicia-se ciclos mais adequados para a decomposição do "litter" e evita-se maiores distúrbios: ao solo, a fauna e a formação de subosques.

Outra constatação na etapa de serragem da madeira é a significativa diferença de consumo energético entre peças de mesma seção em relação ao posicionamento das mesmas na tora. Conclui-se que em uma mesma tora, as peças que possuem maior consumo são as de aproveitamento das costaneiras, devido ao maior número de operações envolvidas, como pode ser observado nas seções coloridas em vermelho e laranja apresentadas na **Tabela 28 (Capítulo IV)**. Já as peças extraídas do semi-bloco, que envolvem basicamente as operações de serramento em serras múltilâminas, possuem os mais baixos consumos energéticos.

Contudo, em uma mesma árvore haverá sempre diferenças de diâmetro devido a conicidade das toras e em praticamente qualquer diâmetro de tora, peças extraídas das costaneiras. Desta maneira, foi necessário realizar uma média entre os resultados obtidos de peças de mesmas seções, para se obter o consumo energético dos componentes utilizados nos projetos analisados, como pode ser observado na **Tabela 31 (Capítulo IV)**.

Analisando o consumo energético em cada uma das etapas da cadeia de produção pode-se concluir que a fase da serraria representa 56% do total da energia consumida; seguido pelas fases da floresta, 36%; beneficiamento, 4%; montagem, 4 % e secagem, 0% do consumo total (**Tabela 60**).

Tabela 60. Consumo energético nas quatro fases de produção de parede dupla de madeira serrada

	Floresta (kWh)	Serraria (kWh)	Beneficiadora (kWh)	Canteiro (kWh)	Consumo energético:			
					por painel (kWh) / (MJ)		c/en. complementar (kWh) / (MJ)	
Campos Jordão	14,4499	20,3637	1,2428	1,0123	37,07	133,45	39,93	143,73
Protótipo 001	26,6773	28,7396	2,0684	2,5107	60,00	215,99	64,20	231,11
Protótipo 002	33,1371	33,1003	2,5842	2,8804	71,70	258,13	77,02	277,26
Média	43%	50%	3%	4%	100%			

Obs: Fase de secagem corresponde a 0% do consumo total de energia, pois utiliza-se a secagem ao ar em sistemas de varais

A este valor total de consumo energético por painel foi acrescida a energia complementar – energia consumida pelos equipamentos de suporte às linhas de produção (exaustores, picador, esteiras, etc.) e pelo restante da planta industrial (escritórios, iluminação, etc.), correspondendo a cerca de 13% do total da energia consumida por painel, apresentado na tabela acima. Portanto, os valores finais de consumo energético para os painéis estudados por metro quadrado são respectivamente para Campos do Jordão; Protótipo 001 e Protótipo 002, $5,70\text{kWh/m}^2$; $8,99\text{kWh/m}^2$ e $10,79\text{kWh/m}^2$. A seguir, na **Figura 38**, será apresentado o fluxograma dos valores médios de entrada de energia em cada etapa do processamento da madeira para a produção dos três painéis analisados.

Figura 38. Fluxograma de entrada de energia em cada etapa do fluxo produtivo da madeira serrada

6.4 Objetivo específico: Comparar, através de dados de pesquisa de diversos autores, a energia consumida nas várias etapas de madeira serrada, com os valores obtidos no presente trabalho.

As comparações aqui apresentadas tem o objetivo de confrontar resultados de pesquisas e analisar suas coerências e divergências no sentido de se estabelecer limitações para os usos dos resultados. Nota-se que há diversas diferenças metodológicas nos trabalhos apresentados pelos autores citados. Grande parte deste material bibliográfico, por ser desenvolvido em países desenvolvidos, apresenta resultados consideravelmente distintos dos coletados nesta pesquisa. Na **Tabela 61** estão apresentados os resultados da pesquisa em questão e dos autores citados.

Tabela 61. Conteúdo energético da produção de painéis de madeira serrada - serraria e beneficiamento

Painel	Espécie	Peso ^[1] (kg)	Consumo energético por espécie (kWh)	Índice Energético (kWh/kg) ^[2]			
				Resultado pesquisa ^[3]	LAWSON (1997)	SZOKOLAY (1997)	FORINTEK (1993)
Campos Jordão	pinus	230,62	39,93	0,09	0,23 ^[4]		
Protótipo 001	pinus	283,05	53,92	0,10	0,23		
	eucalipto	109,60	10,59	0,05	0,13 ^[5]	0,5 a 0,9 ^[6]	0,83 a 1,66 ^[7]
Protótipo 002	pinus	364,60	65,47	0,10	0,23		
	eucalipto	126,20	11,56	0,05	0,13		

[1] Densidade da madeira utilizada 0,51 g/cm³ (BORTOLETTO, 1993) e 1,0 g/cm³ (NOGUEIRA, 1991)

[2] Índice energético - quantidade de energia consumida por unidade de massa

[3] Resultado s obtidos de pesquisa, inclui para efeito de comparação com outros autores apenas as fases de processamento – serraria e beneficiamento

[4] Para compatibilizar a comparação entre os resultados do presente trabalho foi descontado 75% da energia total gasta referente a secagem da madeira mole em estufa em que o autor faz referência.

[5] Madeira dura seca ao ar, considera a energia requerida no processamento

[6] Madeira serrada e componentes em geral, não inclui as fases de floresta e uso / manutenção do edifício

[7] Madeira serrada seca em estufa, considera a energia total requerida no processamento

Tabela 62. Conteúdo energético para a produção de painéis de madeira serrada – floresta a montagem

Painel	Espécie	Peso ^[1] (kg)	Consumo energético por espécie (kWh)	Índice Energético (kWh/kg) ^[2]	
				Resultado pesquisa	KRONKA (1998)
Campos Jordão	pinus	230,62	39,93	0,09	
Protótipo 001	pinus	283,05	53,92	0,10	
	eucalipto	109,60	10,59	0,05	0,94 ^[3]
Protótipo 002	pinus	364,60	65,47	0,10	
	eucalipto	126,20	11,56	0,05	

[1] Densidade da madeira utilizada 0,51 g/cm³ (BORTOLETTO, 1993) e 1,0 g/cm³ (NOGUEIRA, 1991)

[2] Índice energético - quantidade de energia consumida por unidade de massa

[3] Valores adotados para madeira serrada em geral, inclui fabricação, transporte e a construção, baseado em dados de KRONKA (1998) e GUIMARÃES (1985). Nota-se que neste estudo citado está incluído o transporte dos materiais da indústria de processamento para o canteiro de obra, o que não foi computado no presente trabalho.

De acordo com estudos de BAIRD et al. (1984) citado por LAWSON (1997), a energia requerida no processamento (PER) é de 50 a 80% da energia global requerida (GER) - energia consumida em toda a

cadeia de produção. No presente trabalho os valores obtidos no processamento primário correspondem a 53% da energia global requerida.

SZOKOLAY (1997) demonstra na **Tabela 13 (Capítulo III)** que o conteúdo energético (energia de processamento, excluindo consumo operacional - uso e manutenção) da madeira serrada e componentes construtivos varia entre 0,5 – 0,9 kWh/kg. Podemos comparar estes dados com os resultados obtidos neste trabalho como mostra a **Tabela 62**.

Em outro estudo, LAWSON (1997) apresenta o consumo energético no processamento de vários materiais de construção (**Tabela 12 – Capítulo III**), onde a madeira mole serrada seca em estufa consome 3,4 MJ/kg ou 0,94 kWh/kg e a madeira dura serrada seca ao ar, 0,5 MJ/kg ou 0,13 kWh/kg (**Tabela 62**). Nota-se que os valores apresentados por LAWSON (1997) para o pinus é referente a madeira serrada seca em estufa, já no presente trabalho a madeira em sua totalidade foi seca ao ar, o que justifica os valores consideravelmente menores. Este tipo de secagem corresponde em muitos países a 75% da energia total consumida no processamento da madeira serrada (LAWSON, 1997).

KRONKA (1998) em um estudo comparativo de consumo energético para dois edifícios (um em madeira e o outro em alvenaria convencional), adotou como índice energético comum para eucalipto e pinus o valor de 815 kcal/kg (3,4 MJ/kg ou 0,94 kWh/kg) para a produção de tábuas, pontaletes e sarrafos (**Tabela 62**). Esse índice foi baseado no estudo de GUIMARÃES (1985) que leva em conta a energia utilizada para a fabricação (relação de produção total de cada produto pela energia consumida pelas indústrias), o transporte e a construção do edifício. KRONKA (1998) conclui que o consumo energético para o sub-sistema estrutural no edifício convencional (concreto) é 7 vezes maior que o aferido para a construção em madeira e 8 vezes maior em relação ao sub-sistema de vedação convencional (bloco, cimento, ferro, etc). A vedação em madeira recebeu basicamente madeira e gesso acartonado.

Outro dado comparativo encontrado na literatura é o estudo realizado por FORINTEK (1993) citado por LAWSON (1997), onde a energia total consumida no processamento da madeira serrada seca em estufa varia de 3 a 6 MJ/kg (0,83 a 1,66 kWh/kg).

Na **Tabela 62** podemos observar que os resultados obtidos nesta pesquisa foram consideravelmente menores em relação a outros estudos de pesquisadores de diversos países. As diferenças nos resultados alcançados, podem ser explicadas pelos níveis distintos de modernização dos processos. As indústrias madeireiras, nos países como Austrália, EUA e Canadá, sendo mais eficientes consomem menor quantidade de energia. Por outro lado, o alto preço na remuneração da mão-de-obra pode influir na ampliação da mecanização na lavoura e na indústria, contribuindo para aumentar o consumo energético.

Já no Brasil, apesar da menor eficiência encontrada nas indústrias de processamento de madeira nas diversas fases do ciclo produtivo, há um nível de mecanização menor, o que reflete na necessidade de

maior quantidade de trabalho humano. Essa energia humana uma vez não computada contribui em parte para que os valores obtidos de consumo de energia (elétrica) sejam menores.

Além dessas diferenças referentes ao processo produtivo, as tipologias construtivas e os materiais associados aos painéis utilizadas em outros países contribuem para tornarem ainda mais distantes as comparações diretas com os materiais e componentes produzidos no Brasil.

Outra razão pela qual encontramos resultados em desacordo entre si é a abrangência das fases de produção. Portanto, para efeito de comparações com resultados de outros autores, cabe ressaltar que neste trabalho não foram incluídos os consumos energéticos de:

- mão-de-obra;
- secagem em estufa – os componentes construtivos em madeira utilizados nas construções analisadas neste trabalho eram secos ao ar livre, portanto o consumo energético elétrico resultante é igual a zero;
- tratamento – foi descartado, considerando que nem todas as peças eram tratadas e já em muitos países desenvolvidos não se faz tratamento em autoclave, apenas por pincelamento;
- materiais não lenhosos, como pregos, parafusos e gang-nails⁵

Em relação a comparações do consumo energético da madeira serrada a outros materiais de construção podemos citar outros estudos descritos no capítulo III (49-50p.), como LAWSON (1997), SZOKOLAY (1997), HOFER & RICHTER (1996). Observa-se nos resultados apresentados pelos autores citados que de modo geral, a demanda energética para o processamento da madeira é inferior ao consumido por outros materiais. Apenas em alguns casos o consumo energético no processamento do concreto (**tabela 13 - capítulo III**), citado por SZOKOLAY (1997) e de blocos de concreto (**tabela 12 - capítulo III**), citado por LAWSON (1997) podem ser inferiores ou igualarem-se à demanda energética da madeira serrada, dependendo da espécie empregada e do tipo de processos empregados. Contudo, os resultados obtidos na presente pesquisa permanecem inferiores aos exigidos pelos demais materiais.

6.5 Objetivo específico: Quantificar e analisar os **resíduos gerados** nas várias etapas do processamento da madeira serrada, pinus e eucalipto, para a produção de componentes construtivos;

Logo no início da cadeia produtiva observa-se vários defeitos nas toras que chegam às serrarias, devido ao quase inexistente manejo em nossas florestas, contribuindo para a baixa produtividade e qualidade do

⁵ Gang –nail - ligações das peças das ossaturas dos painéis de madeira

produto final, conseqüentemente para a alta geração de resíduos. Defeitos estes que podem ser citados como: a falta de retidão das toras, ocasionando empenamentos e dificuldades de aplainamento desta madeira; a ausência de circularidade (formatos não circulares geralmente na base do tronco); o espiralamento da grã (torção considerável em relação ao eixo do fuste); a presença de nós e bolsas de resina e ainda a conicidade das toras, pois os sistemas de desdobro consideram o menor diâmetro como sendo o diâmetro da peça, perdendo-se assim boa parte do material livre de defeitos da tora quando a mesma apresenta alta conicidade (PONCE, 1997).

Em relação aos resíduos na fase de plantio, manejo e colheita da floresta, conclui-se que os resíduos gerados na colheita das árvores devem ser utilizados integralmente como auxílio à manutenção da produtividade do solo, devido a grande quantidade de nutrientes encontrados nas folhas, ramos e cascas das plantações de eucalipto e pinus. A importância da ciclagem de nutrientes através da reincorporação dos resíduos ao solo foi relatada por vários autores sob diversos aspectos (*Capítulo II*), como:

- a quantidade e a qualidade da matéria orgânica gerada pelos reflorestamentos econômicos;
- a velocidade de decomposição do "litter" (manta orgânica depositada no solo) e os consórcios de coníferas e folhosas;
- a importância da ciclagem de nutrientes para o sistema de defesa e de crescimento das plantas;
- o corte precoce das árvores e as sucessivas rotações de ciclos curtos;
- tipo de corte das florestas, solo descoberto, lixiviação (CO₂), compactação do solo, alteração da infiltração e do escoamento superficial e erosão;

Durante o processamento da madeira, notam-se outros problemas encontrados nas serrarias da região que influem na produtividade em função do aproveitamento da matéria-prima, a qualidade e a manutenção das máquinas, ferramentas e o layout da produção. Um dos exemplos comuns encontrados em algumas serrarias é o uso de serras circulares de grandes diâmetros (80 cm) para desdobro de toras cujo emprego para esta finalidade não é recomendado pois implica em espessuras de corte e consumo energético no mínimo duas vezes maiores se comparados aos equipamentos atualmente presentes no mercado. Estes equipamentos chegam a receber o título de "fábricas de serragem" pelos profissionais da região.

Nas operações de serramento foram encontrados também equipamentos de diversas marcas e níveis tecnológicos, alguns consideravelmente obsoletos, com décadas de uso. Observa-se que muitas das empresas visitadas poderiam aumentar seus índices de produtividade apenas com a troca de alguns equipamentos ou ferramentas, ou apenas com uma simples otimização do layout da indústria.

Desta maneira, é de grande valor localizar as etapas de maior geração de resíduos fornecendo indicações de onde é possível se atingir melhor eficiência no aproveitamento da matéria-prima,

minimizando o volume de florestas necessária por metro quadrado de construção.

Para possibilitar melhor aproveitamento dos resíduos gerados e para que se possa obter melhor preço de mercado deste material na associação com outras indústrias, como as de chapas e papel e celulose, o uso de descascadores seria indicado. Porém, apenas uma das empresas pesquisadas possui descascador, cuja casca é utilizada na produção de substrato vegetal para a produção de mudas de eucalipto e pinus da própria região. O excedente desta operação é ainda comercializada para indústrias de cal e papel.

Nas demais etapas analisadas, como ilustra a **Figura 39**, durante o presente trabalho, os resíduos gerados, em relação ao volume total, representam aproximadamente:

- na fase da serraria, 80%. A quantidade de resíduos gerados é menor em toras de melhor qualidade e especialmente nas de maior diâmetro;
- na beneficiadora, 15% e;
- no canteiro, 5%.

* Nesta fase não foram considerados os resíduos gerados devido à importância de reincorporá-los ao solo para a ciclagem de nutrientes

Figura 39. Fluxograma de entrada de energia e saída de resíduos gerados no fluxo produtivo da madeira serrada

6.6 Objetivo específico: Produzir informações em relação ao potencial energético que permitam mensurar o grau de recuperação energética através da energia embutida nos resíduos gerados no processo de transformação da madeira.

Supondo-se que os resíduos gerados na fase de serramento e beneficiamento pudessem ser aproveitados integralmente para a produção de energia e considerando-se que a energia embutida

nestes resíduos corresponde a um poder calorífico em média de 1.500 kcal/kg (GONÇALVES, 2000). A energia embutida nos resíduos para cada painel foi calculada conforme apresentado na **Tabela 63**.

Tabela 63. Energia embutida nos resíduos gerados (Mcal)

	Espécie	Resíduo gerado (m ³)	Peso (kg)	Consumo energético embutido (Mcal)	
Campos Jordão	pinus	0,41	210,58	0,32	0,32
Protótipo 001	eucalipto	0,10	95,97	0,14	
	pinus	0,50	256,95	0,39	0,53
Protótipo 002	eucalipto	0,12	119,49	0,18	
	pinus	0,68	345,33	0,52	0,70

Confirma-se, por meio da verificação da energia embutida nos resíduos gerados (kWh/m³) para a produção de cada tipologia de painel, que a indústria madeireira pode ser considerada uma geradora de grandes quantidades de resíduos. Os resíduos gerados correspondem em média a 93% do volume total de matéria-prima empregada, ou seja, para cada painel construído, praticamente um é descartado.

Contudo, apesar de representar uma grande fonte geradora, a indústria madeireira possui um alto potencial de aproveitamento destes resíduos. Por meio de uma associação simultânea de várias indústrias, estes resíduos podem ser transformados em matéria-prima novamente, contribuindo para minimizar os problemas causados pela destinação inadequada dos grandes volumes gerados. Observou-se no início das visitas à área de estudo, em 1999, que um volume considerável desses resíduos eram encontrados depositados em áreas de mananciais, matas ciliares e sobre pequenos cursos d'água, ou muitas vezes, simplesmente queimados, desperdiçando energia e alterando a qualidade do ar, conseqüentemente prejudicando a população local.

Recentemente pôde-se observar uma mudança considerável no quadro de degradação da região. Nota-se um melhor aproveitamento dos resíduos pelas próprias serrarias, contribuindo de maneira significativa para a diminuição dos grandes depósitos de resíduos. Hoje muitas empresas estão procurando reduzir desde o início da cadeia produtiva a geração de resíduos, modernizando, otimizando e racionalizando a produção. Após a grave crise energética sofrida no país em 2001, houve ainda um crescente interesse no aproveitamento efetivo dos resíduos na geração de energia térmica para estufas de secagem da madeira e em outros setores industriais existentes na região, como: cal, papel e celulose, assim como na coogeração de energia elétrica.

Discorrido, portanto sobre os indicadores de sustentabilidade relacionados neste trabalho, como consumo de energia e resíduos gerados, conclui-se que a madeira para a produção dos painéis analisados possuem um índice de desempenho energético baixo, representando um potencial altamente favorável ao meio ambiente para utilização como material de construção. Além de ter um importante papel como medida estratégica na diminuição da concentração de CO₂ na atmosfera, quando transformados em materiais mais duráveis (componentes construtivos, embalagens reutilizáveis e móveis), representa ainda um recurso

renovável, não fóssil, de baixa demanda energética em seu processo de produção e com grandes possibilidades de aproveitamento dos resíduos produzidos.

O incentivo a reposição das florestas plantadas com manejo florestal adequado à região e o uso múltiplo da madeira de reflorestamento, principalmente na produção habitacional, apresenta uma alternativa de considerável potencial para solucionar problemas habitacionais, sócio-econômicos, na perspectiva de gerar trabalho e renda e ambientais. Possibilita assim promover um maior desenvolvimento à região, além de reafirmar sua importância rumo à concretização de soluções construtivas mais amigáveis ao meio ambiente.

6.7 NOVAS PESQUISAS

Dando continuidade a este estudo, uma importante pesquisa a ser desenvolvida é a análise da distribuição de energia embutida nos vários sub-sistemas que compõem uma habitação em madeira (fundação, estrutura, vedação, cobertura e acabamento). Avaliando desta maneira todo o fluxo produtivo desde o processamento da matéria-prima à montagem, abordando a fundação até a cobertura. LAWSON (1997) obteve em um estudo sobre a distribuição energética de um sistema construtivo os seguintes valores: assoalhos/forro, 43-52%; paredes internas e externas, 20-30% e telhados, 2-8%. Em um dos casos, as colunas foram responsáveis por mais de 20% da energia da construção.

Além da análise da distribuição energética dentro de um sistema construtivo, seria pertinente a observação por um período de tempo da construção após sua ocupação para se avaliar a eficiência energética no uso da habitação. Pois, é necessário se atentar à importância de se desenvolver sistemas construtivos que não só economizem no processo de produção, mas principalmente, seja eficiente durante seu uso. Como citado anteriormente, 30 a 40 % da energia gasta em um país provém do consumo energético no uso das edificações.

Considerando as características do setor produtivo da região estudada, no processamento de madeira serrada para construção, algumas fases não foram incluídas na cadeia como, tratamento em autoclave e secagem em estufa. Contudo, estes dois itens contribuem consideravelmente para aumentar a qualidade e a vida útil da madeira, em especial quando utilizada como componentes estruturais. Desta maneira, futuros estudos poderiam abrangê-las, uma vez que LAWSON (1997) afirma que a etapa da produção de madeira serrada de maior consumo energético na produção, na Austrália, é a secagem, correspondendo a aproximadamente 75% de toda a energia gasta.

Em futuros estudos sobre avaliação energética de um edifício em madeira, deveriam ainda ser incluídos no cálculo geral, os materiais complementares e necessários a produção, como: pregos; parafusos; gang-nails; chapas (aglomerado, compensado e outras); materiais cerâmicos e metais; vidro; além do cimento e concreto utilizado nas fundações e áreas molhadas.

7 | BIBLIOGRAFIA

7.1 BIBLIOGRAFIA CITADA

- AB'SABER, Aziz (1990). Um plano diferencial para o Brasil, In: Estudos Avançados – Projeto FLORAM – uma plataforma, V. 04, N. 09, Mai/Ago, 19-62p.
- AB'SABER, Aziz (1998). Aziz Ab'Saber, mais ouvido pelo público e empresários que pelo governo. Silvicultura, ano XIX, mai/ago, n. 75, 9-17p.
- ABRACAVE (2001). <http://www.sbs.org.br/secure/estatisticas.htm>
- ABRACAVE, STCP, ABIPA, ABIMCI, BRACELPA, SBS (2001). Estatística sobre o setor florestal brasileiro. <http://www.sbs.org.br/secure/estatisticas.htm>
- ACSELRAD, H. e LEROY, J.P. (1999). Novas Premissas da sustentabilidade democrática. Rio de Janeiro. 28-29pp, FASE.
- AMARAL, Paulo; VERÍSSIMO, Adalberto; BARRETO, Paulo & VIDAL, Edson (1998). Floresta para sempre - um manual para a produção de madeira na Amazônia. Imazon (Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia) e WWF Fundo Mundial para a Natureza, 155p.
- ANDRADE, A.G.; HAAG, H.P.; OLIVEIRA, G.D. & SARRUGE, J.R. (1977). Acumulação diferencial de nutrientes em cinco cultivares de milho. Piracicaba, ESALQ-USP. 106p.
- ARRUDA, M.P. (2000). Avaliação do Grau de sustentabilidade ambiental das edificações: método utilizado na Holanda e Bélgica, In: VIII ENTAC – Encontro Nacional de Tecnologia Construtiva, Abr
- ASPECTOS AMBIENTAIS URBANOS DOS MUNICÍPIOS DO ESTADO DE SÃO PAULO (1998)., in: Seminário Internacional – Cidades Sustentáveis, promovido pela Secretaria do Meio Ambiente /Governo do Estado de São Paulo, Abr, 39p.
- ATHENA™ Sustainable Materials Institute (1999). web site: www.athenasmi.ca
- AVERY, M.I. (1989). Effects of upland afforestation on some birds of the adjacent moorlands. Journal of applied ecology, 26(3): pp.957-966
- BAIRD, G.; DONN, M.R.; POOL, F.; BRANDER, W.D.S. and AUN, C. S. (1984). Energy Performance of Buildings, CRC Press, Florida
- BAKER, T.G. & ATTILLI, P.M. (1985). Above-ground nutrient distribution and cycling in *Pinus radiata* D. Don and *Eucalyptus obliqua* L'Herit Forsets in South-Eastern Australia. Forest Ecology and Management, 13 (1/2):41-52.
- BARBIERI, José Carlos (1998). Desenvolvimento e Meio Ambiente, as estratégias de mudanças da Agenda 21, Editora Vozes, Petrópolis, RJ, 156p.
- BE₂AM - Building Energy And Environment Assessment Method. web site: www.ecde.demon.co.uk/be2am.htm
- BHASKAR, V. (1985). Who should raise Industrial plantations? Industries, forest departments, or farmers. The international Tree Crops Journal, 3:pp.187-189
- BORGONOV, M. & CHIARINI, J.V. (1967). Cobertura vegetal do Estado de São Paulo. Levantamento por fotointerpretação das áreas cobertas com cerrado, cerradão e campo. Bragantina, Campinas, 14:159-179.
- BORTOLETTO, G. Jr. (1993). Indicações para a utilização da madeira de 6 espécies e variedades de pinus aplicada na construção civil. Dissertação de mestrado. São Carlos, EESC/USP

- BRANDÃO, Leopoldo Garcia (1997). Desafio Florestal Brasileira in: SBS - Silvicultura, Ano XVIII, n.73, Set./Dez 97, 23-29p.
- BURCH, G.J.; BATH, R.K.; MOORE, I.D. & O'LOUGHLIN, E.M. (1987). Comparative hydrological behavior of forested and cleared catchments in Southeastern Austrália. *Journal of Hydrology*, 90 (1/2):19-42.
- CANADIAN WOOD COUNCIL (1997). Athena, un modèle informatique permet de comparer les effets des matériaux de construction sur l'environnement, in: *Wood le Bois*, n. 19, 31p.
- CARDOSO, A.L. (2003). Justiça Ambiental e Inundações na Região Metropolitana do Rio de Janeiro. In: *Anais LASA 2003, XXIV International Congress of Latin American Association*, Dallas, Texas, Mai.
- CIB - INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION (1999). *Agenda on sustainable construction*. CIB Report Publication 237. Rotterdam, 120p.
- CIB & UNEP-IETC (2003). *Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries*. The International Council for research and Innovation in Building and Construction (CIB) and United Nations Environment Programme, International Environmental Technology Centre (UNEP-IETC), 92 pg
- CMMAD (1991). *Nosso Futuro Comum*, Rio Janeiro, Ed. Fundação Getúlio Vargas.
- CURWELL, Steven (1998). Contato direto através de palestras e em a visita EESC/USP e POLI/USP
- CHAVES, J.C.D. (1982). Concentração de nutrientes nos frutos e folhas e exportação de nutrientes pela colheita durante um ciclo produtivo do cafeeiro (*coffea arabica*, L.cv. Caluai). Dissertação de mestrado, ESALQ-USP, 131p.
- DEWAR & CANNELL (1992). Carbon sequestration in the trees, products and soils of Forest plantations: an analysis using using UK examples. In: *Tree Physiology*/11, pp.49-71.
- DOERING, O.C. & PEART, R.M. (1977). Evaluating alternative energy technologies in agriculture. *Agr. Exp. Sta., Purdue University, Indiana, Journal Paper*, n.6380, 86p.
- DYCK, W.J. & COOK, J.G. (1981). Exotic forestry and its effects on water quality. *The Water of Waikato*, 1:1-11.
- ECO-QUANTUM MODEL. web site: www.ivambv.uva.nl
- EI-ASHRY, M. T. (1995). Protected areas as investments. In: *Expanding Partnerships in Conservation*, Jeffrey A. McNeely (org.), Ed. Island Press, IUCN – The World Conservation Union, Covelo, California, 142-150p.
- ELDRIDGE, K. & CROMER, R.N. (1987). Adaptation and Physiology os eucalypts in relation to genetic improvement. In: *Simposio sobre silvicultura y mejoramiento genético de especies forestales*. Buenos Aires, CIEF, 1-15
- ELLENBERG, H.(1979). Man's influence on tropical mountain ecosystem in South America. *Journal of Ecology*, 67: 401-416
- FELLER, M.C. (1981). Catchment nutrient budgets and geological weathering in *Eucalyptus regnans* ecosystems in Victoria. *Australian Journal of Ecology*, 6:65-71
- FERNANDES, P.D.; OLIVEIRA, G.D. & HAGG, H.P. (1981). Extração de macronutrientes pela cenoura cultivada em condições de campo. In: *Nutrição mineral em hortaliça*. Fundação Cargill. pp. 313-325.
- FONTOURA, J.V.G.; FABRICIO, A.C. & HAGG, H.P. (1988). *Materia seca, absorção e exportação de macro e micronutrientes pelo trigo sob regime de sequeiro e irrigado em latossolo roxo*. Fundação Cargill. 83p.
- FORINTEK Canada Corp. (1999). *Wood products Life-Cycle Analysis of building materials*, Natural Resource Canada, May, Canda, 40p.

- FREEZAILAH, B.C.Y. (1995). Forestry and protected areas: a natural partnership. In: Expanding Partnerships in Conservation, Jeffrey A. McNeely (org.), Ed. Island Press, IUCN – The World Conservation Union, Washington, Covelo, California, 65-74p.
- FRIM (1992). <http://www.fao.org/fo%2A/apfsos/34/apfsos26.html>
- GOLLEY, F.B. et al. (1975). Mineral cycling in a tropical moist forest ecosystem. Athens, University of Georgia Press.
- GONÇALVES, M.T.T. (2000). Processamento da madeira. Bauru, SP, 242p.
- GONÇALVES, Marcos Tadeu T.; SOUZA, Alexandre Duarte; BARBOSA, Juliana Cortez (2002). Geração de resíduos em serrarias de pinus. In: Anais VIII Encontro Brasileiro em Madeira e em Estruturas de Madeira, Uberlândia, M.G., Julho de 2002
- GUIMARÃES, Gonçalo Dias (1985). Análise Energética na Construção de Habitações. Tese de Mestrado apresentada na Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE/UFRJ.
- HABITAT II AGENDA <http://habitat.unchc.org/unchc/english/hagenda/ist-dec.htm>
- HARVEY, D. (1996). Justice, nature and geography of difference. Oxford, Blackwell
- HASE, H. & FOELSTER, H. (1983). Impact of plantation forestry with teak (*tectona grandis*) on the nutrient status of young alluvial soils in West Venezuela. Forest Ecology and Management, 6(1): 33-57.
- HOFER, Peter & RICHTER, Klaus (1995). Le bois, matériau écologique in: Lignatec Les informations techniques bois de Lignum, Jan., Swizerland, Lausanne, 27p.
- HOUGHTON, R.A. (). AS FLORESTAS E O CICLO DE CARBONO GLOBAL: ARMAZENAMENTO E EMISSÕES ATUAIS. IN: EMISSÃO X SEQUESTRO DE CO₂, PP.41-71
- JALALUDDIN et al. (1984). <http://www.fao.org/fo%2A/apfsos/34/apfsos26.html>
- JOHN, V.M.; SILVA, V.G.; AGOPYAN,V. (2001). Agenda 21: uma proposta de discussão para Construbusiness Brasileiro. In: II Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Canela, RS, Abr. 24 – 27, p.91-98
- JOHN, V.M. (2000). Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento. São Paulo, EPUSP. 102pp. (Tese de Livre Docência)
- JORGENSEN, J.R. & WELLS, C.G. (1986). Tree nutrition and Fast-growing plantations in developing countries. The international tree crops Journal, 3:225-244.
- KENGEN, S.(1985). Industrial Forestry and Brazilian Development: a social, economic and political analysis, with special emphasis on the fiscal incentives scheme and the Jequitinhonha Valley in Minas Gerais. Tese de doutorado. Australian National University, Camberra.
- KERKHOF, P.(1990). Agroforestry in Africa: a survey of project experience. Panos London Publications Ltd. 216p.
- KRONKA, R. C. (1998). Impacto e consumo energético embutido em materiais de construção – técnicas construtivas. Dissertação de mestrado. Programa de Interunidades de Pós Graduação em Energia PIPGE, Instituto de Eletrotécnica e Energia IEE, Universidade de São Paulo USP, 140p.
- KRONKA, Roberta C. (2001a). Arquitetura, Sustentabilidade e Meio Ambiente. In: II Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Canela, RS, Abr. 24 – 27, p.67-72
- KRONKA, Roberta C. (2001b). Desempenho Ambiental dos materiais construtivos aplicação do Software BEES 2.0. In: II Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Canela, RS, Abr. 24 – 27, p.227-233

- KRONKA, F.J.N.; NALON, M.A.; MATSUKUMA, C.K.; PAVÃO, M.; YVANE, M.S.S.; LIMA, L.M.P.P.; KANASHIRO, M.M.; SHIDA, C.N.; PIRES, A.S.; MONTEIRO, C.H.B.; PONTINHAS, A.A.S.; BARRADAS, A.M.F.; BORG, S.C.; VILELA, F.E.S.P. (2002a). Inventário Florestal do Estado de São Paulo: Reflorestamento, in: Anais VIII Ebramem- Encontro Brasileiro em Mdeiras e estrutura de madeiras, 24 a 26 de Jul, Uberlândia, MG, 11p.
- KRONKA, F.J.N. et al. (1992b). Inventário Florestal das Áreas Reflorestadas do Estado de São Paulo. Instituto Florestal de São Paulo, São Paulo, 183p.
- LALONDE, Catherine (1997). ATHENA, un modèle informatique permet de comparer les effets des matériaux de construction sur l'environnement, IN: Wood le bois, Fiche Technique, N. 19, 31P.
- LAWSON, Bill (1996). Building Materials Energy and Environment / Towards Ecologically Sustainable Development. Solarch, School of Architecture, The Royal Australian Institute of Architects. Australia.
- LAWSON, BILL (1997). BUILDING MATERIALS ENERGY AND ENVIRONMENT – TOWARDS ECOLOGICALLY DEVELOPMENT, UNIVERSITY OF NEW SOUTH WALES, AUSTRALIA, 123P.
- LEITE, N.B. (2003a). No Brasil, a floresta precisa crescer. A revista O PAPEL. Reportagem Bracelpa por Fábio Saraiva, Abr.
- LEITE, N.B. (2003b). Silvicultura propõe medidas para acelerar seu crescimento, In: Workshop realizado na SBS, 20 Mar.
- LIMA, Walter de Paula (1993). Impacto Ambiental do Eucalipto. Editora da Universidade de São Paulo EDUSP, São Paulo. 301p.
- LIPPIAT, Barbara C. (2000). BEES 2.0 - Building for Environmental and Economic Sustainability / Technical Manual and User Guide. NIST – Nacional Institute of Standards and Technology, EUA
- MACEDO, M.C.M.; HAGG, H.P.; GALLO, J.R. (1981). Absorção de nutrientes por cultivares nacionais de batatinha (*solanum tuberosum*, L.). Nutrição Mineral em hortaliças. Campinas, Fundação Cargill, pp.555-627.
- MARCOVITCH, J. (1990). Origens do projeto FLORAM, In: Estudos Avançados – Projeto FLORAM – uma plataforma, V. 04, N. 09, Mai/Ago, 7-14p.
- MATTOS, Luciano Mansor (1998). Uso dos índices Attenuation Factor e Retardations Factor como metodologia de estudo de contaminação por pesticidas de solo e água subterrânea. 189 pp.
- MERICO, L.F.K. (1996). Introdução à economia ecológica, Ed. FURB, Coleção Sociedade e Ambiente, 160p.
- MOREIRA, Carlos Alberto Filho (1999). Biotecnologia e meio ambiente, Ciclo de palestra – Fala USP. Desenvolvimento Sustentável, SP, USP, Jun.
- NOGUEIRA, M. C. J.A. (1991). Indicações para o emprego de 16 espécies de eucalipto na construção civil. Dissertação de mestrado. São Carlos, EESC/USP
- ORLANDO FILHO, J.; HAGG, H.P. & ZAMBELLO JR., F. (1980). Crescimento e absorção de macronutrientes pela cana-de-açúcar variedade CB 41-76, em função da idade, em solos do Estado de São Paulo. In: Boletim Técnico PLANALSUCAR, 2:3-128.
- PEARSON, David (1996). The natural house catalog, everything you need to create na environmentally friendly home, 287p.
- POGGIANI, F. (1985). Ciclagem de nutrientes em ecossistemas de plantações florestais de Eucalyptus e Pinus. Implicações silviculturais. Tese de livre-docência, ESALQ-USP. 211p.
- POGGIANI, F.; COUTO, H.T.Z. & SUITER Filho, W. (1983). Biomass and nutrient estimates in short rotation Intensively cultured plantation of eucalyptus grandis. Piracicaba, IPEF, 23:37-42.
- POGGIANI, Fábio (1988). As implicações ecológicas dos reflorestamentos. In: Seminário Técnico sobre plantas daninhas e o uso de herbicidas em reflorestamentos. 20 a 23 de Junho, Rio de Janeiro, 27p.

- POGGIANI, Fábio (1998a). O Meio Ambiente e as florestas nativas e plantadas. Documento.
- POGGIANI, Fábio (1998b). Indicadores de sustentabilidade das plantações florestais. Série Técnica IPEF, v.12, n.31, abr., p.33-44
- PRESCO (1999). Energy, environmental and sustainable development – european thematic network on practical recommendations for sustainable construction, ec 5th framework programme, 46p.
- PRIMAVESI, A. (1980). O manejo ecológico do solo, São Paulo, Nobel.
- PROPOSTA POLÍTICA ESTADUAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS (1998). in: Seminário Internacional – Cidades Sustentáveis, promovido pela Secretaria do Meio Ambiente/Governo do Estado de São Paulo, Abr, 337p.
- REIS, M.G.F.; REIS, G.G.; VALENTE, O.F.; FERNANDES, H.A.C. (). Seqüestro e armazenagem de carbono em florestas nativas e plantadas dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo, In: Emissão x Seqüestro de CO₂, pp.157- 185.
- REMES, H. (1998). Bown Milieu Evaluatie, in: VIBE, Bélgica
- REZENDE, G.C.; BARROS, N.F.; MORAES, T.S.A. & MENDES, C.J. (1983). Produção e macronutrientes em florestas de eucalipto sob duas densidades de plantio. Revista Árvore, 7:165-176.
- RICHTER, K. & HOFER, P. (1996). Le bois, matériau écologique – Chiffres, faits et arguments relatifs à l'environnement. In: Lignatec – Les informations techniques lois de Lignum, Ed. Lignum, Lausanne, Switzerland, n. 03, 27p.
- RICHTER, KLAUS (1998). Carbon dioxide mitigation in forestry and wood industry, ed. springer, empa, Switzerland, 119 – 148p.
- ROCHE, L. (1979). Forestry and conservation of plants and animals in the Tropics. Forest Ecology and management, 2:103-122
- RODÉS et al (1990). A biodiversidade e o projeto FLORAM: produtividade X condições ambientais, In: Estudos Avançados – Projeto FLORAM – uma plataforma, V. 04, N. 09, Mai/Ago, 175-200p.
- SACHS, Ignacy (1993). ESTRATÉGIAS DE TRANSIÇÃO PARA O SÉCULO XXI. DESENVOLVIMENTO E MEIO AMBIENTE. SÃO PAULO, STUDIO NOBEL, FUNDAP.
- SACHS, Ignacy; BACZKO, Malgorzata; KRYSTINA Vinaver ET ZAKRZEWSKI, Piotr (1977). Techniques douces, habitat et société. les cahiers de l'écologie, Editions Entente, Paris, 159P.
- SAUVAGEOT, A. & KNOCKAERT, C. (1980). Teneurs en elements minéraux dans les feuilles, le bois et l'écorce de plusieurs origines *d'Eucalyptus camaldulensis*. Evaluation de la quantite d'elements minéraux exportes au cors d'une coupe. Annales de la recherche forestière au Maroc, 20:65-86.
- SBS (2001). Sociedade Brasileira de Silvicultura. <http://www.sbs.org.br/index2.php>
- SERRA, G. E.; MOREIRA, J.R.; GOLDEMBERG, J. & ESSEN, A.M. (1979). Avaliação da energia investida na fase agrícola de algumas culturas. Secretaria de tecnologia industrial. Ministério da Industria e Comércio, Set., 85p.
- SERRÃO, E.A. (1990). Pasture development and carbon emission/accumulation in the Amazon. IPCC Meeting, University of São Paulo, Jan., 12p.
- SHUTTLEWORTH, W.J. (1988). Evaporation from Amazonian Forest. Proc. Royal Society of London, B 233:321-346.
- SILVA, H.D. (1983). Biomassa e aspectos nutricionais de cinco espécies do gênero eucalyptus plantadas em solo de baixa fertilidade. Dissertação de mestrado. ESALQ-USP, 91p.
- SILVA, V.G.; (2001). Avaliação do desempenho ambiental de Edifícios. In: Revista da Qualidade na Construção. n.25, , ago, p.14-22

- SOARES, M.C.C. (1992). A conferência da ONU e o financiamento para a Agenda 21, In: Meio Ambiente e Democracia, Henri Acselrad (org.), Ed. Base, 108-114p.
- SOUZA, Mário Rabelo (1998). Tecnologia para usos alternativos de resíduos florestais: experiência do laboratório de produtos florestais – IBAMA na área de utilização de resíduos florestais e agrícolas. in: Workshop sul-americano sobre usos alternativos de resíduos de origem florestal e urbano, pp.49-70
- SPINA- FRANCA, F. (1980). Acúmulo de "litter" em povoamentos de pinus. Piracicaba, ESALQ/DS sua competitividade. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1996.
- SUNDQUIST, B.(2000). Topsoil loss – Causes, effects and implications: A global perspective. The Earth's carrying capacity – some literature reviews. Online www.alltel.net/~bsundquist1/CIB2003
- SZOKOLAY, Steven (1997). The environmental imperative, anais: plea – passive and low energy architecture, Kushiro, Japão
- TIBOR, T. & FELDMAN, I. (1996). ISO 14000, Um guia para as novas normas de gestão ambiental. Ed. Futura, 297P.
- TOMASELLI, Ivan (). Resíduos da indústria de processamento primário: uma oportunidade, 10p.
- TRÅTEK (1997). Talking to Tråtek – an introduction to the source of knowledge used by the swedish wood-working industry.
- TURNER, J. & LAMBERT, M.J. (1983). Nutrient cycling within a 27-years old eucalyptus grandis plantation in New South Wales. Forest Ecology and Management, 6:155-168.
- VAN HOOK, R. I.; JOHNSON, D.W.; WESTMAN,D.C. & MANN, L.K. (1982). Environmental effects of harvesting forests for energy. Forest Ecology and Management, 4:79-94.
- VILLAÇA, H. & FERI, M.G. (1954). Transpiração do *Eucalyptus tereticornis*. Boletim da faculdade de Filosofia, Ciências e Letras USP: série botânica, São Paulo, 11:1-29,1954.
- VOLZ, Michael (1998). The ecological challenge in architecture and urban planning. in: 5th World Conference of Timber Engineering, August 17-20, V.I, Montreux, Switzerland, 649-645p.
- VOLZ, Michael (1998). The ecological challenge in architecture and urban planning. in: 5th World Conference of Timber Engineering, August 17-20, V.I, Montreux, Switzerland, 649-645p.
- WEGENER, Gerd & ZIMMER, Bernhard (1998). The ecological benefits of increased timber utilization. In: 5th world conference of timber engineering, august 17-20, v.i, Montreux, Switzerland, 646-663P.
- WINTER, Wolfgang (1998). Economical and ecological aspects os multistory timber building in Europe. in: 5th World Conference of Timber Engineering, August 17-20, V.I, Montreux, Switzerland, 664-668p.
- WISE, P.K. & PITMAN, M.G. (1981). Nutrient remaval and replacement associated with short rotation eucalypt plantation. Australian Forestry, 44:142-152.
- WITTE, Horst (1998). Máquinas/Ferramentas: elementos básicos de máquinas e técnicas de construção. Ed. Hemus, 7a. Edição alemã, 395p.

7.2 BIBLIOGRAFIA CONSULTADA

- BARBOSA, V. L. (1998). Carpintaria industrial, especialista acredita que o futuro da madeira na construção civil passa pelo desenvolvimento de soluções industrializadas, Técnica, Nov/Dez, ano 7, n. 37, 14-16p.
- CAVALCANTI, C. (1997). Meio Ambiente, desenvolvimento sustentável e políticas públicas. Ed. Cortez, Fundação Joaquim Nabuco, Recife.

- CHEHEBE, J.R.B. (1998). *Análise do Ciclo de Vida de Produtos. Ferramenta Gerencial da ISO 14000*. Rio de Janeiro: QualityMark Editora.
- CRUZ, Bastos (1998). O mercado e o seqüestro do carbono, In: *Silvicultura*, Ed. SBS Sociedade Brasileira de Silvicultura, Ano XIX, n. 75, Mai/Ago
- FOLHA de SÃO PAULO (1998). O carbono como moeda mundial – diplomatas e cientistas debatem mecanismos de mercado que possam reduzir as emissões, nov. 5-7p.
- FURTADO, A. L. F. F.; FOWLER, H. G. (1999). A Biodiversidade em relação ao Estudo de impacto ambiental, In: *I Congresso Brasileiro de Conservação e Manejo da Biodiversidade*, 16 a 19 de Agosto, Ribeirão Preto, SP
- GOLDEMBERG, J.; JOHANSSON, T.B.; REDDY, A.K.N.; WILLIAMS, R.H. (1988). *Energy for a Sustainable World*, Wiley Eastern Limited, New Delhi, India, 517p.
- GOTZ, Karl-Heinz, (1987). Ossature en bois. In: ----- et al. *Construire en bois*. Lausanne: Polytechniques Romandes. p.175-190.
- GUT, F. (1998). O mercado e seqüestro do carbono, *Silvicultura*, ano XIX, mai/ago, n. 75, 42-48p.
- HEICHEL, G.N. (1973). Comparative efficiency of energy use in crop production. *Conn. Agr. Exp. Sta.*, New Haven, Bul. 739
- IBGE (1991) <http://www.ibge.gov.br> Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IBGE/SEADE (1991) <http://www.seade.gov.br> Fundação Sistema Estadual de Análise de Dados
- INO, A. (1992) *Sistema Estrutural em Eucalipto Roliço para Habitação*. São Paulo, EPUSP, Tese de Doutorado. 242p.
- INO, A. (1997) Princípios básicos para garantir a durabilidade das construções em madeira. In: *workshop durabilidade das construções*, São Leopoldo, RS 30 de junho a 01 de julho de 1997. *Anais*. v.1
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA –IBGE (1992). *Manual Técnico da Vegetação Brasileira*. Rio de Janeiro: Diretoria de Geociências; Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais; Secretaria de Planejamento, Orçamento e Coordenação,. Série Manuais Técnicos em Geociências – n. 01.
- INSTITUTO FLORESTAL (1997). *Levantamento aerofotogramétrico*, Instituto de Economia Agrícola, Casa Agricultura de Itapeva
- ISO STANDARD 14040 (1997)- *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*. Geneve, ISO.
- ITESP – Instituto de Terras do Estado de São Paulo (1998) *Retrato da Terra: Perfil sócio-econômico dos Assentamentos do Estado de São Paulo – Série Cadernos do ITESP- no 1*. São Paulo: ITESP.
- KRONKA, Roberta C. (2001a). Arquitetura, Sustentabilidade e Meio Ambiente. In: *II Encontro Nacional e I Encontro Latino Americano sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis*, Canela, RS, Abr. 24 – 27, p.67-72
- KROPF, Frank.W. (1996). Durability and detail design – the result of 15 years of systematic improvements, in: *proceedings of National Conference on Wood Transportation Structures*, out, Madison, Wisconsin, USA, 7p.
- Levantamento Censitário de Unidades de Produção Agrícola do Estado de São Paulo (1995/1996)
- LYLE, John (1997). Projetos regenerativos, *I Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis*, Nov., Canela, Rio Grande do Sul, 249p.
- MOORE, Patrick (1997). Desafio Florestal Brasileira in: *SBS- Silvicultura*, ano XVIII, n.73, Set./Dez 97, 30-34p.
- PEARSON, R.G. & CORBET, P.S. (1976). Energy in New Zealand Agriculture. *Search*, 7(10):418-423

- PONCE, Reinaldo Herrero. (1995) Madeira serrada de eucalipto: desafios e perspectivas. In: Seminário Internacional de Utilização de Madeira de Eucalipto para Serraria. São Paulo, 1995. Anais, IPEF/IPT/IUFRO/ESALQ, p.50-58.
- RAHN, Hans Dieter (1998). Mercado de energias alternativas, produção e uso de energia – maior agente poluidor da nossa civilização, in: Guia de Meio Ambiente / Câmara Brasil – Alemanha, 4p.
- RATTNER, H. (1992) Tecnologia e desenvolvimento sustentável. Universidade e Sociedade. São Paulo.
- REIS, M.J.L. ISO 14.000 - Gerenciamento Ambiental: Um novo desafio para a sua competitividade. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora, 1996
- REMRÖD, Jan (1991). The forest of opportunity , Skogsindustrierna, Suécia 102p.
- RODÉS, Leopold; DIAS, Pedro L; ROCHA; Humberto (2000). Seqüestro de carbono oportunidade florestal para madeiras de longa vida. In: VII Ebramem – Encontro de Madeiras e Estruturas em Madeira Jul, São Carlos
- RODRIGUES, R.R. & LEITÃO FILHO, H.F. (2000). Heterogeneidade Florística das Matas Ciliares. (ed.) Matas Ciliares: Conservação e Recuperação. São Paulo: EDUSP. pp.45-71.
- SALATI, Enéas (). Emissão x Seqüestro de CO₂ – uma nova oportunidade de negócios para o Brasil, In: Emissão x Seqüestro, pp.15-37.
- SANDOZ, Jean-Luc (1998). Le bois: pour un vrai développement durable. Journal de la Construction, n. 6, Jun., 10p.
- SILVA, V.G.; SILVA, M.G.; JOHN, V.M.; AGOPYAN, V. (2000). The role of architectural decision-making process in environmentally responsible buildings. In: Construction and Environmental: from theory into practice. Proceedings São Paulo, CIB/PCC. USP/Nov.23-24
- SIMÕES, Cerri Maraisa; MACHADO, Lucy Marion (1999). Identificação de Problemas Ambientais em Microbacias Urbanizadas: uma proposta metodológica, In: I Congresso Brasileiro de Conservação e Manejo da Biodiversidade, 16 a 19 de Agosto, Ribeirão Preto, SP
- SMA (1965). Código Florestal Lei 4771/65. Governo do Estado de São Paulo/Secretaria do Meio Ambiente/Coordenadoria de Proteção dos Recursos Naturais.
- SMA (1998) – Secretaria do Meio Ambiente. Proposta Política Estadual de Resíduos Sólidos. In: Seminário Internacional Cidades Sustentáveis, Governo do Estado de São Paulo, Abr, 337p.
- The HABITAT AGENDA II (1996). Istanbul Declaration on Human Settlements. <http://habitat.unhcr.org/unhcr/english/hagenda/ist-dec.htm>
- TRADA - Timber Research & Development Association. (1984) Timber Frame Housing, a simplified method. London, Construction Press, 1984 102p.
- UNRUH, J.D.; HOUGHTON, R. A.; LEFEBVRE, P.A.(1993). Carbon storage in agroforestry: an estimate for sub-Saharan Africa. In: Climate Research/2, pp.39-52.

ANEXO 1 . Exemplos de medições de consumo energético de alguns equipamentos (ALPHA)

ANEXO 2 . Layout das serrarias analisadas

ANEXO 3 . Tabelas de cálculo da energia: global da empresa, local (motores/equipamentos) e complementar

ANEXO 4 . Consumo energético para cada seção de peça - simulação de 11 sequências de corte de toras

ANEXO 1

Exemplos de medições de consumo energético de alguns equipamentos (ALPHA)

Exemplos típicos dos resultados das medições de consumo energético

Gráfico 01 – consumo energético para serra de fita

Gráfico 02 – consumo energético para fita de resserra

Gráfico 03 – consumo energético para serra refiladeira

Gráfico 04 – consumo energético para refiladeira múltipla

Gráfico 05 – consumo energético para picador de resíduos

Gráfico 06 – consumo energético para serra múltipla

Gráfico 07 – consumo energético para serra múltipla

Gráfico 08 – consumo energético para serra destopadeira

Gráfico 09 – consumo energético para desdobro de toras

ANEXO 2

Layout das serrarias analisadas

SERRARIA A

SERRARIA B

SERRARIA C

SERRARIA D - Linha I

SERRARIA D - Linha II

Anexo 2. Layout das serrarias analisadas

Linha 1	
Nr	Equipamento
1	Desdobro Serra fita vertical dupla
2	Multilaminas
4	Refiladeira 2
5	Destopadeira
6	Unidade hidraulica
7	Resserra
8	Refiladeira 1
9	Refiladeira 3
10	Multilaminas
11	Carro de toras
12	Picador

Linha 2	
Nr	Equipamento
1	Desdobro – serra fita vertical dupla
2	Serra circular multipla codigo

SERRARIA E

SERRARIA F

SERRARIA 6

SERRARIA I

SERRARIA J

ANEXO 3

Tabelas de cálculo da energia: global da empresa, local (motores/equipamentos) e complementar

SERRARIA B

Tabela 1. Dados de produção da Serraria B

Madeira Processada (m3)	Consumo Energético Médio Mês (kWh)
	Alfa (equipamentos)
2.394,46 (Alfa)	23.034,00

Obs: Nesta empresa foram aproveitados somente os dados dos equipamentos utilizados para usinar peças de madeiras serradas de seções semelhantes às destinadas a construção civil, pois grande parte da produção desta serraria atende ao setor de embalagens, que exige peças de menor comprimento e espessura. Desta maneira, foram aproveitados os dados das operações nas serras: **fita vertical, múltipla e horizontal de fita**. Não foi considerado também o consumo geral da empresa para o cálculo da energia complementar.

Os valores de consumo energético nas operações de destopo das linhas I e II foram descartados, pois as seções produzidas eram em geral muito inferiores às dimensões dos painéis selecionados (espessura e comprimento). Pela mesma razão não foram calculados os consumos energéticos por tipos de peças.

Tabela 2. Consumo energético para cada equipamento aferidos em metro linear (kWh/m) – Serraria B

Equipamento	A Potência. Nominal(kW)	B Potência Medida (kW)*	C Consumo mensal (kWh) #	D Número de passagem	E Comprimento da linha produção (m)	F Consumo energético por corte - linha total (kWh)	G Consumo energia por metro linear (kWh/m)
linha I - 38 cm 2,25m							
Op. 01 serra fita vertical	37	13,86	1.386,00	10	21.600	138,60	0,0064
Op. 02 serra circular refiladeira dupla (60%)	11	7,18	430,80	12	21.600	35,90	0,0017
Op. 03 serra fita horizontal de reserra 1	52	38,28	3.828,00	26	21.600	147,23	0,0068
Op. 04 serra circular destopadeira	22	6,28	628,00				
linha II - 19 cm							
Op. 01 serra circular dupla	74	22,84	2.284,00	1	54.000	2.284,00	0,0423
Op. 03 serra circular múltipla	110	84,93	8.493,00	1	54.000	8.493,00	0,1573
Op. 03 serra fita horizontal de reserra 2	66	26,67	2.667,00	3	54.000	889,00	0,0165
Op. 04 serra circular refiladeira dupla (40%)	11	7,18	287,20	8	54.000	35,90	0,0007
Op. 05 serra fita vertical de reserra	24	24,02	2.402,00	1	54.000	2.402,00	0,0445
Op. 06 serra circular destopadeira	22	6,28	628,00				
total			23034,00				

* Potência medida durante o processamento utilizando um analisador de energia

Obs: Os equipamentos descritos acima que recebem um número percentual indicam que são comuns às duas linhas de produção e qual a parcela utilizada em cada uma das linhas.

SERRARIA C

Tabela 3. Dados de produção da Serraria C

Madeira Processada (m³)	Consumo Energético Médio Mês (kWh)		Energia complementar (kWh/m³)
	Alfa (equipamentos)	Geral (empresa)	
2.034	21.760,51	33.802,00	5,92

Tabela 4. Consumo energético para cada equipamento aferidos em metro linear (kWh/m) – Serraria C

Equipamento	A Potência. Nominal(kW)	B Potência Medida (kW)	C Consumo mensal (kWh) ⁽¹⁾	D Número de passagem	E Comprimento da linha produção (m)	F Consumo energético por corte - linha total (kWh)	G Consumo energia por metro linear (kWh/m)
linha I - 37 cm 4,00m							
Op. 01 serra fita vertical - desdobro	33,7	14,54	3.199,56	12	17.301	266,63	0,0154
Op. 02 serra circ. refileadeira dupla (91%)	15,0	11,18	2.237,82	19	17.301	117,78	0,0068
Op. 03 serra circ. destopadeira (79%)	17,3	3,81	662,34	82180	4.325	-	0,0081 ⁽⁴⁾
linha II - 23 cm							
Op. 01 serra circ. quádrupla - desdobro	44,0	27,15	5.972,27	1	31.054	5.972,27	0,1923
Op. 02 serra circular múltipla	44,0	35,04	7.707,87	1	31.054	7.707,87	0,2482
Op. 03 serra fita vertical de reserra	42,2	9,00	1.980,65	1	31.054	1.980,65	0,0638
Op. 04 serra circ. refileadeira dupla (9%)	15,0	11,18	221,32	1	31.054	221,32	0,0071
Op. 05 serra circ. destopadeira (21%)	17,3	3,81	176,07	38.818 ⁽²⁾	7.764 ⁽³⁾	-	0,0045 ⁽⁴⁾

Fonte:

total 21.760,51⁽¹⁾ 10 horas de funcionamento/dia e 22 dias⁽²⁾ número total de peças produzidas⁽³⁾ número de toras⁽⁴⁾ consumo energético por corte

Obs: Os equipamentos descritos acima que recebem um número percentual indicam que são comuns às duas linhas de produção e a parcela utilizada em cada uma das linhas.

Tabela 5. Seqüência de corte e consumo energético para cada seção de madeira serrada - Linha I Serraria C

linha I - 37 cm

peças	cálculo do consumo energético por seção	Consumo energético por:	
		seção (kWh/m)	peça 4,00m (kWh)*
1	op.01/1/1*20/22,1+2*(op.02/2/1)*2,3/2,3+op.01/1/2*20/27,92	0,0263	0,1132
2	op.01/1/2*15/27,9+2*(op.02/2/1)*2,3/2,3+op.01/1/2*15/31,55	0,0146	0,0665
3	op.01/1/2*10,5/27,9+2*(op.02/2/1)*2,3/2,3+op.01/1/2*10,5/31,55	0,0123	0,0571
4 e 15	op.01/1/2*29,5/31,55+2*(op.02/2/1)*2,3/2,3+op.01/1/2*29,5/34,62	0,0206	0,0904
5, 13 e 16	op.01/1/2*8/34,62+2*(op.02/2/1)*2,3/2,3+op.01/1/2*8/36,6	0,0103	0,0492
6, 7, 9, 11, 14 e 17	op.01/1/2*25,5/34,62+2*(op.02/2/1)*2,3/2,3+op.01/1/2*25,5/36,6	0,0179	0,0795
8, 10 e 12	op.01/1/2*9,5/36,6+2*(op.02/2/1)*2,3/2,3+op.01/1/2*9,5/36,9	0,0108	0,0512
18	op.01/1/2*8/29,5+2*(op.02/2/1)*2,3/2,3+op.01/1/1*8/24,42	0,0139	0,0638
19	op.01/1/2*15/29,5+2*(op.02/2/1)*2,3/2,3+op.01/1/2*15/24,42	0,0155	0,0699

*considera-se para o cálculo de cada peça: o comprimento da mesma e 1 operação de destopo (0,0081 kWh)

Tabela 6. Seqüência de corte e consumo energético para cada seção de madeira serrada - Linha II Serraria C

linha II - 23 cm

peças	cálculo do consumo energético por seção	Consumo energético por:	
		seção (kWh/m)	peça 4,00m (kWh)*
Bl. 1	2*(op.01/2/1*2,3/17,43)+op.02/5/1*15/15+op.02/5/2*15/15	0,0998	0,4039
Bl. 2 e 3	2*(op.01/2/1*2,3/17,43)+2*(op.02/5/2*15/15)	0,0750	0,3046
Bl. 4	2*(op.01/2/1*7/17,43)+2*(op.02/5/2*15/15)	0,1269	0,5120
Cost. A	2*(op.04/2/1*2,3/2,3)+op.02/5/2*10/15+op.03/1/1*10/13,24	0,0718	0,2919

considera-se para o cálculo de cada peça: o comprimento da mesma e 1 operação de destopo (0,0045 kWh)

SERRARIA D

Tabela 7. Dados de produção da Serraria D

Madeira Processada (m³)	Consumo Energético Médio Mês (kWh)		Energia complementar (kWh/m³)
	Alfa (equipamentos)	Geral (empresa)	
777,00	8.998,40	13.889,00	6,29

Tabela 8. Consumo energético para cada equipamento aferidos em metro linear (kWh/m) – Serraria D

Equipamento	A Potência. Nominal(kW)	B Potência Medida (kW)	C Consumo mensal (kWh) ⁽¹⁾	D Número de passagem	E Comprimento da linha produção (m)	F Consumo energético por corte - linha total (kWh)	G Consumo energia por metro linear (kWh/m)
linha única – 18,50 cm 2,60m							
Op. 01 serra circular quádrupla	60,00	13,86	2.217,60	1	48.261	2.217,60	0,0460
Op. 02 serra circular múltipla	60,00	22,24	3.558,40	1	48.261	3.558,40	0,0737
Op. 03 serra fita vertical de reserra	22,00	13,68	2.188,80	4	48.261	547,20	0,0113
Op. 04 serra circular refiladeira dupla	15,00	4,55	728,00	4	48.261	182,00	0,0038
Op. 05 serra circular destopadeira	7,40	1,91	305,60	148.495 ⁽²⁾	18.562 ⁽³⁾	\	0,0020⁽⁴⁾
total			8.998,40				

⁽¹⁾ 8 horas de funcionamento/dia e 20 dias

⁽²⁾ número total de peças produzidas

⁽³⁾ número de toras

⁽⁴⁾ consumo energético por corte

Tabela 9. Seqüência de corte e consumo energético para cada seção de madeira serrada – Linha II Serraria D

Cost.A	1	Cost.B
BL.	2	Cost.B'
	3	
	4	
Cost.A'		

linha única – 18,5 cm

peças	cálculo do consumo energético por seção	Consumo energético por: seção (kWh/m)	peça 4,00m (kWh)*
Bl. 1 a 4	2*(op.01/2/2*2,3/13,8)+2*(op.02/5/2*10/10)	0,0186	0,0503
Cost. A e A'	2*(op.04/2/1*2,3/2,3)+op.03/1/1*7,5/7,5+(op.02/5/2*7,5/10)	0,0206	0,0557
Cost. B e B'	op.03/1/1*7,5/7,5+2*(op.04/2/1*2,3/2,3)+op.01/2/2*7,5/13,8	0,0214	0,0575

* considera-se para o cálculo de cada peça: o comprimento da mesma e 1 operação de destopo (0,0020 kWh)

SERRARIA E

Tabela 10. Dados de produção da Serraria E

Madeira Processada (m³)	Consumo Energético Médio Mês (kWh)		Energia complementar (kWh/m³)
	Alfa (equipamentos)	Geral (empresa)	
1.800 (Alfa)	60.736,20	68.742 (p/2.150m³)	1,77

Obs: Nesta empresa os dados de coleta direta dos equipamentos (Alfa) e os dados gerais da empresa (Yokogawa) foram coletados em meses diferentes, explicando-se a diferença no volume da produção, 1.800 m³ e 2.150 m³ de madeira serrada respectivamente. Portanto, calcula-se que o consumo direto nas linhas de produção por mês é 31,97 kWh/m³ (Alfa) e o consumo geral mês é 33,74 kWh/m³ (Yokogawa), resultando na energia complementar de 1,77 kWh/m³ de madeira serrada.

Tabela 11. Consumo energético para cada equipamento aferidos em metro linear (kWh/m) – Serraria E

Equipamento	A Potência. Nominal(kW)	B Potência Medida (kW)	C Consumo mensal (kWh) ⁽¹⁾	D Número de passagem	E Comprimento da linha produção (m)	F Consumo energético por corte - linha total (kWh)	G Consumo energia por metro linear (kWh/m)
linha I – 39 cm							
Op. 01 serra fita vertical dupla	74,0	48,59	14.577,00	2	18.921	7.288,50	0,3852
Op. 02 serra circular múltipla	90,0	33,35	10.005,00	4	18.921	2.501,25	0,1322
Op. 03 s. fita horizontal reserra (67%)	55,0	33,96	6.825,96	4	18.921	1.706,49	0,0902
Op. 04 s. circ.refiladeira dupla (67%)	90,0	33,35	6.703,35	4	18.921	1.675,84	0,0886
Op. 05 s. circ. refiladeira	11,0	7,84	2.352,00	4	18.921	588,00	0,0311
Op. 06 s.circ. destopadeira (67%)	14,8	2,07	416,07	146.638 ⁽²⁾	4.730 ⁽³⁾	\	0,0028⁽⁴⁾
linha II - 30 cm							
Op. 01 s. fita vertical	110,0	20,94	6.282,00	2	10.628	3.141,00	0,2955
Op. 02 s.circ.múltipla	150,0	16,52	4.956,00	2	10.628	2.478,00	0,2332
Op. 03 s. fita horizontal reserra (33%)	55,0	33,96	3.362,04	2	10.628	1.681,02	0,1582
Op. 04 s. circ.refiladeira dupla (33%)	90,0	33,35	3.701,85	2	10.628	1.850,93	0,1742
Op. 05 s. circ. refiladeira	11,0	4,5	.350,00	2	10.628	675,00	0,0635
Op. 06 s.circ.destopadeira (33%)	14,8	2,07	204,93	39.855 ⁽²⁾	2.657 ⁽³⁾	\	0,0051⁽⁴⁾
total			60.531,27				

⁽¹⁾ 8 horas de funcionamento/dia e 20 dias

⁽²⁾ número total de peças produzidas

⁽³⁾ número de toras

⁽⁴⁾ consumo energético por corte

Obs: Os equipamentos descritos acima que recebem um número percentual indicam que são comuns às duas linhas de produção e a parcela utilizada em cada uma das linhas.

Tabela 12. Sequência de corte e consumo energético para cada seção de madeira serrada – Linha I Serraria E

linha I – 39,00 cm		Consumo energético por: seção (kWh/m) peça 4,00m (kWh)*	
peças	cálculo do consumo energético por seção		
Bl.A 1 e 12	op.01/2/1*2,5/34,71+op.02/7/2*10/10+op.01/2/2*2,5/40+op.02/7/2*10/10	0,0388	0,1579
Bl.A 2 a 11	op.01/2/2*2,5/34,71+2*(op.02/7/2*10/10)+op.01/2/2*2,5/40	0,0318	0,1302
Bl.B 1 e 13	op.01/1/2*2,5/40+op.02/7/1*7,5/7,5+op.05/1/1*2,5/2,5+op.02/7/2*7,5/12,17	0,0678	0,2741
Bl.B 2 e 12	op.01/1/2*2,5/40+op.02/7/2*10/12,17+op.05/1/1*2,5/2,5+op.02/7/2*10/15,2	0,0571	0,2311
Bl.B 5 a 8	op.01/1/2*2,5/40+op.02/7/2*15,2/15,2+op.01/1/2*2,5/25,26+op.02/7/2*15,2/15,2	0,0500	0,2027
Bl.B 3,4,9,10 e 11	op.01/1/2*2,5/40+op.02/7/2*15,2/15,2+op.01/1/1*2,5/25,26+op.02/7/2*15,2/15,2	0,0690	0,2790
Cost. B1	op.03/3/1*12,2/15,39+2*(op.04/2/1*2,5/2,5)+op.03/3/2*12,2/25,3	0,1197	0,4814
Cost. B 2	op.03/3/2*14,7/25,3+2*(op.04/2/1*2,5/2,5)+op.03/3/2*14,7/30,76	0,1045	0,4208
Cost. B 3	op.03/3/2*9,7/25,3+2*(op.04/2/1*2,5/2,5)+op.03/3/2*9,7/30,76	0,0991	0,3991
Cost. B 4 e 5	op.03/3/2*14,7/30,76+2*(op.04/2/1*2,5/2,5)+op.01/1/2*14,7/34,71	0,1773	0,7121
Cost. B 6	op.01/1/2*12,2/25+2*(op.04/2/1*2,5/2,5)+op.03/1/1*12,2/15	0,2559	1,0265

* considera-se para o cálculo de cada peça: o comprimento da mesma e 1 operação de destopo (0,0028 kWh)

Tabela 13. Sequência de corte e consumo energético para cada seção de madeira serrada – Linha I Serraria E

linha II – 23,00 cm		Consumo energético por: seção (kWh/m) peça 4,00m (kWh)*	
Peças	cálculo do consumo energético por seção		
Bl. 1 e 9	2*(op.01/1/2*2,5/25,8)+op.02/5/1*15,2/15,2+op.02/5/2*15,2/15,2	0,0986	0,3995
Bl. 2,3,4,5,6,7 e 8	2*(op.01/1/2*2,5/25,8)+2*(op.02/5/2*15,2/15,2)	0,0753	0,3062
Cost. B1 e B1'	op.03/2/1*14,7/14,7+2*(118/2*2,5/2,5)+op.03/2/2*14,7/21,7	0,1694	0,6827
Cost. B2 e B2'	op.03/2/2*12/21,7+(op.04/2/1*2,5/2,5)+op.01/2/2*12/26+(op.04/2/2*2,5/2,5)	0,1866	0,7515
Cost. B3 e B3'	op.03/2/2*9,7/21,7+(op.04/2/2*2,5/2,5)+op.01/2/2*9,7/26+(op.04/2/1*2,5/2,5)	0,1759	0,7086

* considera-se para o cálculo de cada peça: o comprimento da mesma e 1 operação de destopo (0,0051 kWh)

SERRARIA F

Tabela 14. Dados de produção da Serraria F

Madeira Processada (m ³)	Consumo Energético Médio Mês (kWh)		Energia complementar (kWh/m ³)
	Alfa (equipamentos)	Geral (empresa)	
620,00	25.971,46	30 530,00	7,35

Tabela 15. Consumo energético para cada equipamento aferidos em metro linear (kWh/m) – Serraria F

Equipamento	A Potência. Nominal(kW)	B Potência Medida (kW)	C Consumo mensal (kWh) ⁽¹⁾	D Número de passagem	E Comprimento da linha produção (m)	F Consumo energético por corte - linha total (kWh)	G Consumo energia por metro linear (kWh/m)
linha I – 25 cm							
Op. 01 serra fita vertical - desdobro	39,20	13,72	2.743,22	6	14.690	457,20	0,0311
Op. 02 serra circular multilâminas	22,00	9,34	1.868,93	3	14.690	622,98	0,0424
Op. 03 serra circular refiladeira	22,00	4,16	831,41	10	14.690	83,14	0,0057
Op. 04 serra fita horizontal	60,00	11,57	2.313,42	3	14.690	771,14	0,0525
Op. 05 serra fita vertical reserra	39,20	12,89	2.577,58	2	14.690	1.288,79	0,0877
Op. 06 Destopadeira	10,40	1,40	280,87	162.363 ⁽²⁾	7.732 ⁽³⁾	\	0,0017 ⁽⁴⁾
linha II – 18 cm							
Op. 01 serra circular quádrupla	60,00	18,13	3.625,12	1	19.042	3.625,12	0,1904
Op. 02 serra circular multilâminas	26,00	27,03	5.405,81	1	19.042	5.405,81	0,2839
Op. 03 serra circular refiladeira	30,00	22,00	4.397,80	4	19.042	1.099,45	0,0577
Op. 04 serra fita vertical reserra	23,00	8,23	1.646,43	6	19.042	274,41	0,0144
Op. 05 destopadeira	10,40	1,40	280,87	120.265 ⁽²⁾	10.022 ⁽³⁾	\	0,0023 ⁽⁴⁾
		total	25.971,46				

⁽¹⁾ 10 horas de funcionamento/dia e 20 dias dias

⁽²⁾ número total de peças produzidas

⁽³⁾ número de toras

⁽⁴⁾ consumo energético por corte

Tabela 16. Seqüência de corte e consumo energético para cada seção de madeira serrada – Linha I Serraria F

linha I – 25,00 cm

peças	cálculo do consumo energético por seção	Consumo energético por:	
		seção (kWh/m)	peça 1,90m (kWh)*
Bl. 1,2,3,4,5,6,7,8	$2*(op.01/1/2*1,5/21,04)+2*((op.02/6)/2*13,5/13,5)$	0,0093	0,0193
Bl. . 9, 10 e 11	$2*(op.01/1/1*1,5/21,04)+2*((op.02/6)/2*13,5/13,5)$	0,0115	0,0236
Cost. A e A'	$2*(op.03/2/1*1/1)+z6/1/1*7/7+op.02/6/2*7/13,5$	0,0952	0,1826
Cost. B1 e B1'	$op.01/1/2*13,5/21,04+2*(op.03/2/1*1,5/1,5)+op.04/3/2*13,5/18,23$	0,0221	0,0437
Cost.B2,B3,B2',B3'	$op.04/3/2*7/18,23+2*(op.03/2/1*1/1)+op.04/3/2*7/15,4$	0,0130	0,0264
Cost. B4 e B4'	$op.04/3/2*7/15,4+2*(op.03/2/1*1/1)+op.04/3/1*7/11,3$	0,0205	0,0406

* considera-se para o cálculo de cada peça: o comprimento da mesma e 1 operação de destopo (0,0017 kWh)

Tabela 17. Seqüência de corte e consumo energético para cada seção de madeira serrada – Linha II Serraria F

linha II – 18,00 cm

peças	cálculo do consumo energético por seção	Consumo energético por:	
		seção (kWh/m)	peça 1,90m (kWh)*
Bl. 1 e 6	$2*(op.01/2/1*1,5/9)+2*(op.02/7/2*13,5/13,5)$	0,0723	0,1396
Bl. 2,3,4 e 5	$2*(op.01/2/2*1,5/9)+2*(op.02/7/2*13,5/13,5)$	0,0564	0,1095
Cost. A1 e 1'	$2*(op.03/2/1*1/1)+op.04/2/1*7/7+op.04/2/2*7/7$	0,0685	0,1325
Cost. A2 e 2'	$2*(op.03/2/1*1/1)+op.04/2/2*7/7+op.02/7/2*7/13,5$	0,0719	0,1388
Cost. B1 e B1'	$op.01/2/2*7/9+2*(op.03/2/1*1/1)+op.04/1/1*7/7$	0,1092	0,2097

* considera-se para o cálculo de cada peça: o comprimento da mesma e 1 operação de destopo (0,0023 kWh)

SERRARIA G

Tabela 18. Dados de produção da Serraria G

Madeira Processada (m³)	Consumo Energético Médio Mês (kWh)		Energia complementar (kWh/m³)
	Alfa (equipamentos)	Geral (empresa)	
1.613,84 (Alfa)	33.052,59	57.661 (p/ 1.600m³)	15,55

Obs: Nesta empresa os dados de coleta direta dos equipamentos (Alfa) e os dados gerais da empresa (Yokogawa) foram coletados em meses diferentes, explicando-se a diferença no volume da produção, 1.613,84 m³ e 1.600m³ de madeira serrada respectivamente. Portanto, calcula-se que o consumo direto nas linhas de produção por mês é 20,48 kWh/m³ (Alfa) e o consumo geral mês é 36,03 kWh/m³ (Yokogawa), resultando na energia complementar de 15,55 kWh/m³ de madeira serrada.

Tabela 19. Consumo energético para cada equipamento aferidos em metro linear (kWh/m) – Serraria G

Equipamento	A Potência. Nominal(kW)	B Potência Medida (kW)	C Consumo mensal (kWh) ⁽¹⁾	D Número de passagem	E Comprimento da linha produção (m)	F Consumo energético por corte - linha total (kWh)	G Consumo energia por metro linear (kWh/m)
linha I – 38 cm							
Op. 01 serra fita vertical	55,00	19,17	5.751,00	3	16.992	1.917,00	0,1128
Op. 02 serra circ. múltipla (80%)	92,00	23,15	5.556,00	4	16.992	1.389,00	0,0817
Op. 03 serra fita vertical de reserra	40,00	34,68	10.404,00	3	16.992	3.468,00	0,2041
Op. 04 serra circ.refiladeira dupla (55%)	33,50	4,24	699,60	5	16.992	139,92	0,0082
Op. 05 serra circ. refiladeira	33,50	3,56	1.068,00	4	16.992	267,00	0,0157
Op. 06 serra circ. destopadeira 1	13,20	2,77	540,15	164.256 ⁽²⁾	5.664 ⁽³⁾	/	0,0033 ⁽⁴⁾
linha II - 24 cm							
Op. 01 serra circ. dupla	44,00	9,26	2.778,00	1	18.783	10.404,00	0,5539
Op. 02 serra circ.múltipla (20%)	92,00	23,15	1.389,00	1	18.783	1.389,00	0,0739
Op. 03 s.fita horizontal duplo reserra	44,00	13,37	4.011,00	2	18.783	2.005,50	0,1068
Op. 04 s. circ.refiladeira dupla (45%)	33,50	4,24	572,40	4	18.783	143,10	0,0076
Op. 05 s.circ.destopadeira (34%)	13,20	2,77	282,54	87.654 ⁽²⁾	6.261 ⁽³⁾	/	0,0032 ⁽⁴⁾
total			33.052,59				

⁽¹⁾ 10 horas de funcionamento/dia e 20 dias

⁽²⁾ número total de peças produzidas

⁽³⁾ número de toras

⁽⁴⁾ consumo energético por corte

Obs: Os equipamentos descritos acima que recebem um número percentual indicam que são comuns às duas linhas de produção e a parcela utilizada para cada uma das linhas.

Tabela 20. Sequência de corte e consumo energético para cada seção de madeira serrada – Linha I Serraria G

linha I – 38,00 cm		Consumo energético por:	
peças	cálculo do consumo energético por seção	seção (kWh/m)	peça 3,00m (kWh)*
Bl. A1 a 10	op.01/1/2*1,7/24,17+2*(op.02/7/2*7,3/7,3)+op.01/1/2*1,7/27,89	0,0191	0,0606
Bl. A11 e 12	op.01/1/1*1,7/24,17+2*(op.02/7/2*7,3/7,3)+op.01/1/2*1,7/27,89	0,0231	0,0725
Bl. B2 a 9	op.01/1/2*1,7/27,89+2*(op.02/7/2*7,3/7,3)+op.01/1/2*1,7/22,66	0,0193	0,0613
Bl.B1,10,11e12	op.01/1/2*1,7/27,89+2*(op.02/7/2*7,3/7,3)+op.01/1/1*1,7/22,66	0,0236	0,0740
Cost. B1 e 3	op.03/1/2*11/19,11+2*(op.04/2/1*2/2)+op.03/1/1*11/12,9	0,2410	0,7263
Cost. B2 e 4	op.01/1/2*15/22,66+2*(op.04/2/1*1,7/1,7)+op.03/1/2*15/19,11	0,1257	0,3803
Cost. B5	op.03/1/2*18/21,88+2*(op.04/2/1*2/2)+op.01/1/2*18/24,17	0,1342	0,4059

* considera-se para o cálculo de cada peça: o comprimento da mesma e 1 operação de destopo (0,0033 kWh)

Tabela 21. Sequência de corte e consumo energético para cada seção de madeira serrada – Linha II Serraria G

linha II – 24,00 cm		Consumo energético por:	
peças	cálculo do consumo energético por seção	seção (kWh/m)	peça 3,00m (kWh)*
Bl. 1 e 8	2*(op.01/2/1*1,7/16)+op.02/8/1*7,8/7,8+op.02/8/2*7,8/7,8	0,0727	0,2214
Bl. 2 a 7	2*(op.01/2/2*1,7/16)+2*(op.02/8/2*7,8/7,8)	0,0387	0,1192
Cost. B1 e B1'	op.01/2/2*7,3/16+2*(op.04/2/1*1,7/1,7)+op.03/2/2*7,3/13,12	0,0857	0,2602
Cost. B2 e B2'	op.01/2/2*3,6/16+2*(op.04/2/1*1,7/1,7)+op.03/2/2*3,6/13,12	0,0461	0,1415
Cost. B3 e B3'	op.03/2/2*7,3/13,12+2*(op.04/2/1*1,7/1,7)+op.03/2/1*7,3/8,4	0,0689	0,2098

* considera-se para o cálculo de cada peça: o comprimento da mesma e 1 operação de destopo (0,0032 kWh)

ANEXO 4

Consumo energético para cada seção de peça - simulação de 11 sequências de corte de toras

Tabela 1. Cálculo de energia embutida em cada tipo de peça usinada – Linha I (toras de Ø 35 cm)

Linha I (toras Ø 35 cm)		Peças	Cálculo	Consumo energético por: seção(kWh/m)	Peça ⁽¹⁾ (kWh)
Bl. A1 e B1	$op.01/1/2^6/22 + (op.02^6)/6/2^12/12 + op.01/1/2^6/35 + op.01/1/2^6/22$	0,0499	0,09 0,09
		Bl. A2,3 e B2,3	$op.01/1/2^8/22 + 2*((op.02^6)/6/2^12/12) + op.01/1/2^8/25$	0,0574	0,16 0,16
		Cost. A1 e 2	$op.04/1/1^2,5/2,5+2*((op.02^6)/6/2^10/12) + op.01/1/2^2,5/35$	0,0280	0,18 0,18
		Cost. A1' e 2'	$op.04/1/1^2,5/2,5+2*((op.02^6)/6/2^7/12) + op.01/1/2^2,5/35$	0,0233	0,18 0,18
		Cost. B1 e B1'	$op.03/1/1^5/15+2*(op.04/3/2^2,5/2,5) + op.01/1/2^5/22$	0,0456	0,18 0,18
		Cost. B2 e B2'	$op.03/1/1^10/15+2*(op.04/3/2^2,5/2,5) + op.01/1/2^10/22$	0,0885	0,08 0,08
Bl.A1,A6, B1,B6	$op.01/1/1^3,6/21,6 + 2*((op.02^9)/9/2^12/12) + op.01/1/2^3,6/35$	0,0435	0,39 0,39
		Bl.A2,3,4,5 e B2,3,4,5	$op.01/1/2^3,6/21,6 + 2*((op.02^9)/9/2^12/12) + op.01/1/2^3,6/35$	0,0341	0,14 0,14
		Cost. A1, 1', 2 e 2'	$Op.04/1/1^3,5/3,5 + (op.02^9)/9/1^5,8+op.01/1/2^3,5/35 +(op.02^9)/9/2^5,8/12$	0,1280	0,10 0,10
		Cost. B e B'	$op.03/1/1^12/12 + 2*(op.04/2/1^3,5/3,5) + op.01/1/2^12/21,6$	0,1298	0,10 0,10
Bl. A1,A8,B1,B8	$op.01/1/1^2,4/19,2 + op.01/1/2^12/24 + op.01/1/2^2,4/35+ (op.02^7)/7/2^12/12$	0,0556	0,14 0,14
		Bl. A2,3,4,5,6 e B2,3,4,5,6	$op.01/1/1^2,4/19,2 + 2*((op.02^7)/7/2^12/12) + op.01/1/1^2,4/35$	0,0407	0,13 0,09 0,09 0,13
		Bl. A7 e B7	$op.01/1/2^2,4/19,2 + 2*((op.02^7)/7/2^12/12) + op.01/1/1^2,4/35$	0,0337	0,17 0,17
		Cost. A1,4,1',4'	$op.04/2/1^1,7/1,7 + op.03/2/1^5/10 + op.04/2/2^1,7/1,7 + op.01/1/2^5/24$	0,0405	0,13 0,13
		Cost. A2,3,2',3'	$op.04/2/2^1,7/1,7 + op.03/2/2^5/10 + op.01/1/2^1,7/35 + op.01/1/2^5/24$	0,0278	0,13 0,13
		Cost. A 5,6,5',6'	$op.04/2/1^1,7/1,7 + op.03/2/1^5/8,8 + op.01/1/2^1,7/35 + op.03/2/2^5/10$	0,0438	0,13 0,13
		Cost. B1,2,3 e 1',2',3'	$op.03/2/2^5/19 + 2*(op.04/4/2^1,7/1,7) + op.01/1/2^5/19,2$	0,0227	0,17 0,17
		Cost. B4,5,4',5'	$op.03/2/1^5/11,6 + op.04/3/2^1,7/1,7 + op.03/2/2^5/19 + op.04/3/1^1,7/1,7$	0,0295	0,13 0,09 0,09 0,13

(1) Considerou-se peças de 3,00m de comprimento e uma operação de destopo

Tabela 2. Cálculo de energia embutida em cada tipo de peça usinada – Linha II (toras de Ø 21 cm)

Linha I (toras Ø 21 cm)		Peças	Cálculo do consumo energético por seção	Consumo energético por: seção(kWh/m) Peça ⁽¹⁾ (kWh)
Bl. 1 e 2	$2 * (op.01/2/2*8/16) + (op.02*3)/3/1*12/12 + (op.02*3)/3/2*12/12$	0,1180
		Cost. B e B'	$op.04/1/1*10/10 + 2*(op.05/2/1*2,5/2,5) + op.01/2/2*10/16$	0,1991
Bl. 1	$2*(op.01/2/1*3,6/15,6) + (op.02*4)/4/1*12/12 + (op.02*4)/4/2*12/12$	0,1143
		Bl. 2	$2*(op.01/2/2*6/15,6) + 2*(op.02/4/2*12/12)$	0,0486
		Bl. 3	$2*(op.01/2/2*6/15,6) + (op.02*4)/4/2*12/12 + (op.02*4)/4/1*12/12$	0,1069
		Cost. B e B'	$op.03/1/1*10/10 + 2*(op.04/2/1*2,5/2,5) + op.01/2/2*10/15,6$	0,2356
Bl. 1 e 4	$2*(op.01/2/1*3,6/14,4) + (op.02*5)/5/1*12/12 + (op.02*5)/5/2*12/12$	0,1180
		Bl. 2 e 3	$2*(op.01/2/2*3,6/14,4) + 2*((op.02*5)/5/2*12/12)$	0,0707
		Cost. B e B'	$op.04/1/1*5,8/5,8 + 2*(op.05/2/1*3,6/3,6) + op.01/2/2*5,8/14,4$	0,1885
Bl. 1 e 6	$((op.01/2/1)*2,4/15,75)*2 + (op.02*7)/7/1*12/12 + (op.02*7)/7/2*12/12$	0,0993
		Bl.2,3,4,5	$2*((op.01/2)/2*2,4/14,4) + 2*((op.02*7)/7/2*12/12)$	0,0627
		Cost. B e B'	$op.04/1/1*10/10 + ((op.05/2)/1*2,5/2,5)*2 + (op.01/2)/2*10/14,4$	0,2025

⁽¹⁾ Considerou-se peças de 3,00m de comprimento e uma operação de destopo