DESTINAÇÃO SUSTENTÁVEL DE CASCAS DE COCO (*Cocos nucifera*) VERDE: OBTENÇÃO DE TELHAS E CHAPAS DE PARTÍCULAS

Paulo Roberto de Assis Passos

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM CIÊNCIAS EM PLANEJAMENTO ENERGÉTICO.

Aprovada por:

_____
Prof. Alessandra Magrini, D.Sc.

_____
Prof. Roberto Schaeffer, Ph.D.

_____
Prof. Luiz Pinguelli Rosa, D.Sc.

_____
Dr. Luis Gonzaga Santos Sobral, Ph.D.

_____
Prof. Romildo Dias Toledo Filho, D.Sc.

_____
Dr. Marcio Macedo Costa, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
MARÇO DE 2005

PASSOS, PAULO ROBERTO DE ASSIS

Destinação Sustentável de Cascas de Coco *(Cocos nucifera)* Verde: Obtenção de Telhas e Chapas de Partículas [Rio de Janeiro] 2005

XX, 166 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ, D.Sc., Planejamento Energético, 2005)

Tese - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Fibras de Coco
2. Compósitos
3. Telhas
4. Chapas de partículas
5. Emissão de metano

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

À minha mãe

AGRADECIMENTOS

Meus sinceros agradecimentos:

À professora ALESSANDRA MAGRINI, pela orientação, pela compreensão e pelos debates calorosos;

Ao professor ROBERTO SCHAEFFER, pela orientação e pelas sugestões;

Ao professor LUIZ PINGUELLI ROSA, que como coordenador do IVIG/COPPE viabilizou a realização do projeto de obtenção da “telha ecológica”;

Ao professor AZARIAS MACHADO DE ANDRADE (IF/UFRRJ), por permitir o uso de seu laboratório e pelo auxílio na obtenção dos compósitos de fibra de coco com papel reciclado;

Ao professor EDVÁ OLIVEIRA BRITO (IF/UFRRJ), por permitir o uso de seu laboratório e pelo auxílio na obtenção das chapas de partículas com fibra de coco;

Ao professor ROMILDO DE TOLEDO FILHO, pelas sugestões na condução do projeto CT ENERGIA que contemplou a obtenção da “telha ecológica”;

Ao engenheiro LUIZ GUILHERME DA COSTA MARQUES, pelos debates e auxílio na obtenção dos compósitos e da “telha ecológica”;

Ao Dr. LUCIANO BASTOS e à arquiteta ANDRÉA SOUZA CRUZ por viabilizarem a minha participação no projeto de desenvolvimento da “telha ecológica”;

Aos alunos do IF/UFRJ, Graziela, Sá e Djeison, pelo auxílio na obtenção e realização dos testes nos compósitos;

Aos responsáveis pelo NEAM/PUC, pela ajuda na realização de experimentos com papel e fibra de coco;

Ao CENPA pelo fornecimento das fibras de coco;

A Italchap por ter permitido o uso da sua unidade fabril para obtenção da “telha ecológica”;

Aos colegas de pós-graduação e do corpo técnico e aos funcionários do IVIG/COPPE e do PPE/COPPE, pela convivência;

Ao Centro Federal de Educação Tecnológica de Química de Nilópolis (CEFET Química), Unidade Rio de Janeiro, pela liberação parcial da carga horária de aula e pela concessão de licença capacitação nos meses finais de elaboração da tese;

Aos docentes da disciplina de Análise Instrumental e de Gestão Ambiental do CEFET Química, Unidade Rio de Janeiro, por absorverem parte da carga horária a mim designada;

Ao professor Armando dos Santos Maia, ex-diretor da Unidade Rio de Janeiro do CEFET Química, pelo estímulo e confiança a mim designados na criação do Curso Técnico de Meio Ambiente, fato que suscitou o meu ingresso no doutorado;

Aos colegas professores do Núcleo de Qualidade Ambiental do CEFET Química, Unidade Rio de Janeiro, pelo empenho e convivência harmoniosa;

À professora e, acima de tudo, amiga Claudia Gallo pelo auxílio na tradução dos textos em francês;

Aos amigos, pela presença e pela companhia nas horas certas e incertas;

A minha mãe, pelo amor, compreensão e, acima de tudo, carinho;

Aos meus irmãos e sobrinhos, pela amizade;

Ao CNPq e ao CEFET Química pelo apoio financeiro;

A tudo e a todos que de alguma forma possibilitaram que eu pudesse aprender um pouco mais sobre várias coisas.

Resumo da Tese apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Ciências (D.Sc.)

DESTINAÇÃO SUSTENTÁVEL DE CASCAS DE COCO (*Cocos nucifera*) VERDE: OBTENÇÃO DE TELHAS E CHAPAS DE PARTÍCULAS

Paulo Roberto de Assis Passos

Março/2005

Orientadores: Alessandra Magrini
Roberto Schaeffer.

Programa: Planejamento Energético

As cascas de coco (*Cocos nucifera*) verde, quando destinadas em aterros sob condições anaeróbicas, provocam a emissão de metano, um dos mais importantes gases de efeito estufa. Neste trabalho, são propostos usos das fibras de coco com o objetivo de mitigar os impactos provocados pelas cascas, possibilitando a produção de novos produtos. Como conseqüência da destinação de cascas de coco verde em aterros calcularam-se as emissões potenciais de metano no Brasil e no município do Rio de Janeiro, sendo propostos três indicadores para avaliar os resultados. O aproveitamento das cascas de coco verde foi efetuado com incorporação das fibras em matriz de papel reciclado para a produção de compósito, que após impermeabilização com cimento asfáltico recebeu a denominação de "telha ecológica". Como segunda alternativa para o uso das fibras de coco foram obtidas chapas de partículas com substituição parcial da madeira pelas fibras. A performance dos compósitos nos testes foi promissora possibilitando a sugestão de que fosse constituído um pólo eco-social, integrando comunidade e fabricação dos produtos e compósitos desenvolvidos.

Abstract of Thesis presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Science (D.Sc.)

SUSTAINABLE DISPOSAL OF GREEN COCONUT (*Cocos nucifera*) HUSKS: PRODUCING ROOF TILES AND FIBERBOARDS

Paulo Roberto de Assis Passos

March/2005

Advisors: Alessandra Magrini
Roberto Schaeffer

Department: Energy Planning Program

When dumped in landfills under anaerobic conditions, coconut (*Cocos nucifera*) husks generate methane emissions, which is one of the most important green house gases. In this work, the uses of coconut fibers are proposed in order to mitigate the impacts generated by husks and creating new products. The potential methane emissions in Brazil and Rio de Janeiro municipal district, caused by disposing of coconut husks in solid waste disposal sites, were calculated and three indicators to analyze the results were proposed. The good use of the green coconut husks took place by using their fibers that have been included in recycled paper pulp to produce composites that were waterproofed with asphalt cement, resulting in what was designated as “eco roof tiles”. As a second way of using the green coconut fibers, fiberboards were produced with the partial substitution of the wood pieces by the fibers. The performance tests of the materials were auspicious allowing a suggestion to constitute an “eco social park” where the community labors could produce the products and composites that have been developed.

SUMÁRIO

		PAG.
Introdução		01
Capítulo 1	**Resíduo Sólido Urbano (RSU) no Brasil e na Cidade do Rio de Janeiro**	06
1.1	Os serviços de coleta do RSU	06
1.2	A quantidade do RSU coletado	11
1.3	A produção de coco no Brasil e no município do Rio de Janeiro	13
Capítulo 2	**Os problemas ambientais globais: as mudanças climáticas**	17
2.1	O efeito dos GEE sobre o aquecimento global da Terra	21
2.2	As emissões de GEE no Brasil e no município do Rio de Janeiro	30
2.3	A importância do metano como um GEE	33
Capítulo 3	**Características e aproveitamento de fibras vegetais**	37
3.1	Constituição das fibras vegetais	37
3.2	Propriedades mecânicas das fibras vegetais	41
3.3	Potencialidade de uso das fibras e de seus constituintes	44
3.3.1	O uso de subprodutos da agricultura	44
3.3.2	O uso das fibras vegetais em compósitos	46
3.3.3	O uso de fibras de coco	54
3.4	O uso de papel	63
3.5	O uso de madeira e de lignina	65
Capítulo 4	**Impactos provocados pelo coco (*Cocos nucifera*) verde**	69
4.1	A geração de cascas de coco verde (*Cocos nucifera*) no Brasil e na Cidade do Rio de Janeiro	72
4.2	A quantidade de metano gerado pelo RSU e pelas cascas de coco verde	75

PAG.

Capítulo 5 A utilização sustentável das cascas de coco verde 84

5.1 Fabricação de telha 84

5.1.1 Obtenção dos compósitos 84

5.1.2 Testes laboratoriais nos compósitos 89

5.1.3 Comparação dos resultados dos testes laboratoriais nos compósitos 96

5.1.4 Obtenção das mantas e das telhas 100

5.1.5 Testes laboratoriais nas mantas impermeabilizadas e nas telhas onduladas 107

5.1.6 Comparação dos resultados dos testes laboratoriais nas mantas 111

5.1.7 Potencial de utilização e estimativa de custo no Brasil da telha de celulose reforçada com fibra de coco (“telha ecológica”) 114

5.2 Obtenção de chapas de partículas 115

5.2.1 Obtenção das chapas 116

5.2.2 Testes laboratoriais nas chapas de partículas 119

5.2.3 Comparação dos resultados dos testes laboratoriais nas chapas de partículas de pínus e fibra de coco 128

5.3 Sugestão final: formação de um pólo eco-social 139

Conclusões 145

Referências 157

ÍNDICE DE FIGURAS

PAG.

Figura 5.1 - Partes principais do coco maduro. 85

Figura 5.2 - Refinador Bauer para homogeneização dos insumos para produção dos compósitos. 87

Figura 5.3 – "Desaguadouro" - Conjunto de telas projetado e utilizado para a formação de compósitos de fibras de coco verde e papel usado. 88

Figura 5.4 - Compósito obtido com mistura de papel usado e fibras de coco verde. 88

Figura 5.5 - Corpo-de-prova e placas de fixação de madeira usados na determinação da resistência à tração perpendicular à superfície da chapa – ligação interna (LI). 92

Figura 5.6 - Corpos-de-prova após ensaio de absorção de água, evidenciando as marcas, no centro de cada um dos lados, onde foram feitas as medições de espessura. 94

Figura 5.7 - Esteira contendo a mistura de polpa de papel e fibras de coco. 103

Figura 5.8 - Formação da manta após passagem nas calandras. 103

Figura 5.9- Detalhe das mantas moldadas - fibras de coco incorporadas à matriz de papel. 104

Figura 5.10 - Secagem ao tempo das mantas moldadas. 104

Figura 5.11 - Corte das mantas moldadas. 105

Figura 5.12 - "Telha ecológica", com impermeabilização (esquerda) e sem impermeabilização. 106

Figura 5.13 – Detalhe da "telha ecológica" evidenciando as fibras de coco na superfície. 106

Figura 5.14 – Fixação da "telhas ecológicas" com colocação dos pregos de forma alternada nas cristas das ondulações. 113

Figura 5.15 – Telhado do futuro galpão de obtenção de biodiesel do IVIG/COPPE/UFRJ, feito com uso das "telhas ecológicas" e treliças de bambu. 113

Figura 5.16 – Chapa de partícula com 20% de fibras de coco e 6% de adesivo. 118

Figura 5.17 – Detalhe da superfície da chapa de partícula com 20% de fibras de coco e 6% de adesivo. 118

PAG.

Figura 5.18 - Ensaio de flexão estática para determinação do módulo de ruptura (MOR) e do módulo de elasticidade (MOE) das chapas de partículas de pínus e fibras de coco verde. 122

Figura 5.19 - Fluxograma simplificado de produção no Pólo Eco-Social de reciclagem de fibras celulósicas. 141

ÍNDICE DE GRÁFICOS

PAG.

Gráfico 4.1– Curva de crescimento linear da quantidade potencial de casca de coco verde, gerada a partir da evolução real no período de 1997 a 2002. 73

Gráfico 5.1 - Correlação entre o percentual de fibras incorporadas à matriz de papel com o módulo de ruptura (MOR). Experimentos A, B, C, D e E da Tabela 5.1. 97

Gráfico 5.2 - Correlação entre o percentual de fibras incorporadas à matriz de papel com o módulo de elasticidade (MOE). Experimentos A, B, C, D e E da Tabela 5.1. 97

Gráfico 5.3 - Correlação entre o percentual de fibras incorporadas à matriz de papel com o valor da ligação interna (LI). Experimentos A, B, C, D e E da Tabela 5.1. 98

Gráfico 5.4 - Correlação entre o percentual de fibras incorporadas à matriz de papel com o percentual de aumento de massa devido à absorção de água. Experimentos A, B, C, D e E da Tabela 5.1. 99

Gráfico 5.5 - Correlação entre o percentual de fibras incorporadas à matriz de papel com o percentual de aumento de espessura devido à absorção de água, Experimentos A, B, C, D e E da Tabela 5.1. 99

Gráfico 5.6 - Correlação entre os valores de MOR e o percentual de fibras nos compósitos com 0, 15 e 25% de fibras incorporadas, sem impermeabilização, e com 25% com impermeabilização. Experimentos da Tabela 5.9. 109

Gráfico 5.7 - Correlação entre os valores de MOE e o percentual de fibras nos compósitos com 0, 15 e 25% de fibras incorporadas, sem impermeabilização, e com 25% com impermeabilização. Experimentos da Tabela 5.9. 109

Gráfico 5.8 - Correlação entre os valores de LI e o percentual de fibras nos compósitos com 0, 15 e 25% de fibras incorporadas, sem impermeabilização, e com 25% com impermeabilização. Experimentos da Tabela 5.9. 110

Gráfico 5.9 - Correlação entre os valores de absorção de água (aumento de massa) e o percentual de fibras nos compósitos com 0, 15 e 25% de fibras incorporadas, sem impermeabilização, e com 25% com impermeabilização. Experimentos da Tabela 5.9. 110

PAG.

Gráfico 5.10 - Correlação entre os valores de absorção de água (aumento de espessura) e o percentual de fibras nos compósitos com 0, 15 e 25% de fibras incorporadas, sem impermeabilização, e com 25% com impermeabilização. Experimentos da Tabela 5.9. 111

Gráfico 5.11 – Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com o módulo de ruptura (MOR). Experimentos T1 a T8 da Tabela 5.10 e da Tabela 5.17. 132

Gráfico 5.12 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com o módulo de elasticidade (MOE). Experimentos T1 a T8 da Tabela 5.10 e da Tabela 5.17. 132

Gráfico 5.13 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com a ligação interna (LI). Experimentos T1 a T8 da Tabela 5.4. 133

Gráfico 5.14 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com o inchamento em espessura (IE). Experimentos com 6% de resina (T1, T3, T5 e T7) da Tabela 5.10 e da Tabela 5.20. 134

Gráfico 5.15 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com o inchamento em espessura (IE). Experimentos com 8% de resina (T2, T4, T6 e T8) na Tabela 5. 10 e da Tabela 5.20. 135

Gráfico 5.16 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com o inchamento em espessura (IE). Experimentos com 6% e 8% de resina (T1 a T8) na Tabela 5. 10 e da Tabela 5.20. 135

Gráfico 5.17 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com absorção de água (AA). Experimentos com 6% de resina (T1, T3, T5 e T7) na Tabela 5.10 e da Tabela 5.20. 137

Gráfico 5.18 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com absorção de água (AA). Experimentos com 8% de resina (T2, T4, T6 e T8) na Tabela 5.10 e da Tabela 5.20. 137

PAG.

Gráfico 5.19 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com a absorção de água (AA). Experimentos com 6% e 8% de resina (T1 a T8) na Tabela 5.10 e da Tabela 5.20. 138

ÍNDICE DE TABELAS

PAG.

Tabela 1.1 – Natureza dos serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo (RSU), prestados pelos municípios do Brasil. 08

Tabela 1.2 – Percentual de lixo coletado nos domicílios do Brasil e do município do Rio de Janeiro. 08

Tabela 1.3 –Serviços de coleta de RSU no Brasil e no município do Rio de Janeiro e respectivas unidade de destinação final. 09

Tabela 1.4 – Quantidade diária de RSU coletado no Brasil e no município do Rio de Janeiro e respectivas unidades de destinação final. 13

Tabela 1.5 - Produção e área plantada de coco (*Cocos nucifera*) no Brasil. 15

Tabela 2.1 – Valores numéricos das médias globais anuais de forçamentos radiativos para os principais agentes, de 1750 até final da década de 1990. 20

Tabela 2.2 – Mudanças no forçamento radiativo resultante das alterações nas abundâncias de gases de efeito estufa no período pré-industrial (1750) e no ano de 1998. 23

Tabela 2.3 – Gases de efeito estufa (GEE) que são afetados pelas atividades antrópicas. 24

Tabela 2.4 – Potencial de Aquecimento Global (PAG) de alguns dos principais gases de efeito estufa (base em massa) - relativo ao CO_2. 28

Tabela 2.5 - Estimativa das emissões de gases de efeito estufa no Brasil, 1994. 31

Tabela 2.6 - Estimativa das emissões de CO_2 e CH_4 no município do Rio de Janeiro, 1998. 31

Tabela 2.7 - Emissões de CH_4 e CO_2 com uso do PAG para um horizonte de 100 anos. 34

Tabela 2.8 - Estimativa de emissão histórica de CH_4 no Brasil - setor tratamento de resíduos e total geral. 36

Tabela 2.9 - Estimativa de emissão histórica de CH_4 no município do Rio de Janeiro: setor tratamento de resíduos e total geral. 36

Tabela 3.1 - Composição de fibras oriundas de cultivo principal e de subprodutos da agricultura. 40

Tabela 3.2 - Propriedades mecânicas de fibras naturais e de fibras convencionais usadas como reforço. 42

PAG.

Tabela 3.3 – Materiais e produtos químicos obtidos com uso do constituinte principal das fibras vegetais de cultivo principal e de subprodutos da agricultura. 45

Tabela 4.1 - Quantidade potencial de metano gerado pela disposição de cascas de coco e RSU em vazadouros e aterros no Brasil e na cidade do Rio de Janeiro. 80

Tabela 5.1 - Experimentos efetuados para obtenção de compósitos de fibras de coco verde e papel reciclado. 86

Tabela 5.2- Resultados dos ensaios de módulo de ruptura (MOR) nos compósitos de papel usado e fibras de coco. 90

Tabela 5.3 - Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade (MOE) nos compósitos de papel usado e fibras de coco. 91

Tabela 5.4 - Resultados dos ensaios de ligação interna (LI) nos compósitos de papel usado e fibras de coco. 93

Tabela 5.5 - Resultados dos ensaios de absorção de água - aumento de massa (AA) nos compósitos de papel usado e fibras de coco. 95

Tabela 5.6 - Resultados dos ensaios de absorção de água - aumento de espessura (IE) nos compósitos de papel usado e fibras de coco. 95

Tabela 5.7 – Médias dos resultados dos ensaios efetuados nos compósitos de fibra de coco com papel usado. 96

Tabela 5.8 - Resultados dos ensaios efetuados nas mantas impermeabilizadas contendo 25% de fibras de coco. 107

Tabela 5.9 - Comparação dos resultados dos ensaios efetuados nas mantas de telhas ecológicas com 0, 15 e 25% de fibras incorporadas, sem impermeabilização, e com 25% com impermeabilização. 108

Tabela 5.10 - Percentagem de partículas de pínus (Pinus elliottii), fibras de coco (*Cocos nucifera*) e uréia-formaldeído (adesivo) na composição das chapas. 117

Tabela 5.11 - Valores mínimos para as propriedades mecânicas (MOR, MOE e LI) e valores máximos para inchamento em espessura (IE) para chapas de partículas, segundo a norma CS 236-66. 119

Tabela 5.12 - Valores mínimos, de MOR, MOE e LI, exigidos pela norma CS 236-66 para as propriedades mecânicas de chapas de partículas, convertidos para o sistema Internacional (SI). 120

Tabela 5.13 - Valores médios das densidades das chapas. 121

PAG.

Tabela 5.14 - Resultados dos ensaios de módulo de ruptura (MOR) nas chapas de partículas de pínus com fibras de coco. 123

Tabela 5.15 - - Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade (MOE) nas chapas de partículas de pínus com fibras de coco. 124

Tabela 5.16 - - Resultados dos ensaios de tração –ligação interna (LI) nas chapas de partículas de pínus com fibras de coco. 125

Tabela 5.17 - Valores médios de módulo de ruptura, módulo de elasticidade e ligação interna, obtidos para as chapas de partículas de pínus e fibra de coco. 125

Tabela 5.18 - Resultados dos ensaios de absorção de água - aumento de massa (AA) nas chapas de partículas de pínus e fibras de coco. 126

Tabela 5.19 - Resultados dos ensaios de absorção de água - aumento de espessura (IE) nas chapas de partículas de pínus e fibras de coco. 127

Tabela 5.20 - Valores médios de inchamento em espessura (IE) e absorção de água em massa (AA) a 2 horas e 24 horas obtidos para as chapas de partículas de pínus e fibra de coco. 127

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

AA2	Aumento de massa em 2 horas
AA24	Aumento de massa em 24 horas
CENPA	Centro de Estudos de Pesquisas Ambientais
COD	Carbono orgânico degradável
COD_F	Fração do COD dissimilada
COMLURB	Companhia Municipal de Limpeza Urbana
COPPE	Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro
F	Fração de CH_4, por volume, em gases de aterros
FCM	Fator de correção de metano
GEE	Gases de efeito estufa
GWP	Global Warming Potential – ver PAG
HYDE	History Database of the Global Environment
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IE2	Inchamento em espessura 2 horas
IE24	Inchamento em espessura 24 horas
IF/DPF/UFRRJ	Instituto de Florestas/ Departamento de Produtos Florestais/ Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
IPCC	Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (Intergovernmental Panel on Climate Change)
IV	Infravermelho
IVIG	Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais
LI	Ligação interna
LIMA	Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente
L_o	Potencial de Geração de Metano
MDF	Medium Density Fiberboard(Chapa de Fibras de Densidade Média)
MDL	Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Ruptura
NCC	Nível de Compreensão Científica
NEAM/PUC	Núcleo de Estudo e Apoio ao Menor da Pontifícia Universidade Católica

OCDE	Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico
OX	Fator de oxidação
PAG	Potencial de Aquecimento Global – ver GWP
PAGA	Potencial de Aquecimento Global Absoluto
PAM	Produção Agrícola Municipal
PNSB	Pesquisa Nacional de Saneamento Básico
ppb	Parte por bilhão
PPE	Programa de Planejamento Energético
ppm	Parte por milhão
ppt	Parte por trilhão
R	CH_4 recuperado
RCC_F	Fração de Casca de Coco disposta em aterro
RCC_T	Resíduo de Casca de Coco Total
RSM_F	Fração do Resíduo Sólido Municipal disposta em aterros
RSM_T	Resíduo Sólido Municipal Total
RSU	Resíduo Sólido Urbano
UFRJ	Universidade Federal do Rio de Janeiro
UFRRJ	Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro
UV	Ultravioleta

LISTA DE SUBSTÂNCIA QUÍMICAS

CCl_4	Tetracloreto de carbono
CF_4	Perfluormetano
C_2F_6	Perfluoretano
CFC	Clorofluorcarboneto
CFC-11	$CFCl_3$ (triclorofluormetano)
CFC-12	CF_2Cl_2 (diclorodifluormetano)
CFC-13	CF_3Cl (clorotrifluormetano)
CFC-113	$CF_2ClCFCl_2$ (triclorotrifluoretano)
CFC-114	CF_2ClCF_2Cl (diclorotetrafluoretano)
CFC-115	CF_3CF_2Cl (cloropentafluoretane)
CH_4	Metano
CH_3CCl_3	metil clorofórmio
$CHCl_3$	clorofórmio/triclorometano
CH_2Cl_2	diclorometano/cloreto de metileno
CH_3Cl	Cloreto de metila
CO_2	Dióxido de carbono
halon-1211	CF_2ClBr
halon-1301	CF_3Br
HCFC-21	$CHCl_2F$
HCFC-22	CHF_2Cl
HCFC-141b	CH_3CFCl_2
HCFC-142b	CH_3CF_2Cl
HFC-23	CHF_3
HFC-32	CH_2F_2
HFC-134a	CF_3CH_2F
HFC-152a	CH_3CHF_2
N_2O	Óxido nitroso
O_3	Ozônio
SF_6	hexafluoreto de enxofre
SiC	Carbeto de Silício

Introdução

O atual padrão de consumo da sociedade estabelece uma relação de substituição de bens sem que efetivamente o produto tenha completado o seu ciclo de vida, impondo um verdadeiro processo de obsolescência planejada. Associado a este fato soma-se o valor de compra estabelecido aos produtos, que não reflete com fidedignidade a tecnologia e a escassez dos materiais que os compõem. Tem-se vivenciado a era do desperdício, onde o novo fica velho em questão de meses ou poucos anos, onde o descaso tem cadeira cativa e onde mora a insensatez e a falta de cidadania.

Como conseqüência direta destas atitudes vimos enfrentando situações de agressões ao meio ambiente que têm custado a privação de muitos. Um claro exemplo é o transbordamento de rios causado em boa parte pelo acúmulo de garrafas de plástico e lixo de uma maneira geral, fruto de políticas de estado ineficientes, práticas de consumo equivocadas e total falta de civilidade. A garrafa de plástico se tornou uma exigência do consumidor ou na verdade uma imposição do meio produtivo e comercial, já que é um facilitador da logística? O fato é que o acúmulo de resíduos está direta ou indiretamente relacionado à vida de qualquer cidadão.

A proliferação dos produtos de base petroquímica traz consigo a diminuição de recursos não renováveis e, em muitos casos, a inviabilidade de reciclagem, somada ao crescimento do efeito estufa resultante dos processos produtivos e da queima de combustíveis fósseis. Há de se ter mais ações no sentido de substituir materiais oriundos de fontes esgotáveis por outros que sejam ambientalmente corretos. Porém, não se trata somente de vislumbrar substituições, mas, sobretudo, de encontrar novos meios de utilização dos materiais naturais que não têm tido aproveitamento, trazendo, também, conseqüências ambientais negativas.

A matéria orgânica residual oriunda das atividades agrícolas, comerciais e industriais, quando disposta em aterros sob condições anaeróbicas tem como conseqüência a geração de metano, que é um dos mais importantes gases responsáveis pelo aquecimento global, com a segunda maior concentração no mundo. Via de regra, no Brasil não há o aproveitamento do metano produzido, que é lançado *in natura* na atmosfera. Quando há disposição dos resíduos em vazadouros pode ocorrer, também, a contaminação de solos e corpos d'água.

A obtenção de produtos e substâncias a partir da biomassa tem encontrado espaço e vem sendo desenvolvida, ainda que muito mais por questões econômicas do que ambientais. Caso típico é o da indústria alcooleira, que apesar de alguns percalços, tem na produção do etanol um dos mais exitosos programas de substituição de combustível fóssil no mundo.

Soluções existem, basta que se acredite na potencialidade das respostas. Hoje em dia, o bagaço de cana já é reciclado, mas outros resíduos da agricultura continuam sem aproveitamento ou com baixos índices de utilização.

As cascas de coco *(Cocos nucifera*) verdes são resíduos da agricultura com alto potencial de aproveitamento, mas, infelizmente, com poucas ações implementadas no Brasil. São correntemente designadas aos aterros e vazadouros sendo, como toda matéria orgânica, potencial emissora de metano, e, ainda, contribuindo para que a vida útil desses depósitos seja diminuída. É um resíduo que produz uma fibra com características peculiares que pode, por exemplo, ser usada na formulação de compósitos de grande valor ambiental, como os bioplásticos ou fornecer matéria prima para obtenção de resinas naturais.

Com o firme propósito de encontrar soluções que viabilizem o uso das fibras oriundas das cascas de coco e de dimensionar qual é a contribuição desse material na

composição do resíduo sólido urbano (RSU), e, ainda, de estimar a emissão de metano proveniente das cascas, desenvolveu-se este trabalho que em seu capítulo 1 faz um levantamento sobre o RSU no Brasil e na cidade do Rio de Janeiro, englobando: a qualidade e abrangência dos serviços de coleta, a quantidade gerada e as formas de disposição final. Discute, ainda, a produção atual e o aumento de produtividade e de produção de coco no Brasil.

Devido à emissão de metano originada pelas cascas de coco, quando dispostas em aterro, no capítulo 2 dá-se destaque às características e propriedades dos gases de efeito estufa (GEE) e o conseqüente aquecimento do planeta devido às emissões antrópicas crescentes desses gases. São abordadas com mais especificidade as características, a importância e a participação do metano no conjunto de emissões mundiais, do Brasil e do município do Rio de Janeiro.

Como se faz importante saber as potencialidades das fibras vegetais, abordadas em estudos recentes, merecem atenção os trabalhos constantes da literatura que enfocam as características e o aproveitamento de fibras vegetais, resíduos da agricultura e, especificamente, de fibras de casca de coco. Tal levantamento consta do capítulo 3 onde também são mencionadas as formulações e as características de compósitos contendo cimento, madeira, plásticos convencionais, plásticos biodegradáveis, papel e resinas.

As cascas de coco são, normalmente, descartadas em aterros devido ao não aproveitamento, por conseguinte a contribuição deste resíduo na composição do RSU é estimada e é apresentada no capítulo 4. São calculados: (a) a quantidade potencial de cascas de coco geradas no Brasil e no município do Rio de Janeiro, em função da produção do fruto; (b) o impacto da geração de cascas decorrente do crescimento da produção de coco no país e (c) o percentual de cascas de coco em relação ao RSU total e à fração orgânico-celulósica, coletados no país e no município.

A quantidade potencial de metano gerado a partir da disposição das cascas de coco verde em aterros e vazadouros é estimada e comparada com a quantidade do gás gerado pelo RSU, fazendo-se uso de metodologia do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC), constando do capítulo 4. No mesmo capítulo são propostos três indicadores para avaliar a dimensão das emissões de metano oriundas da casca de coco, em relação às emissões do RSU.

No capítulo 5 estão discriminados os experimentos de obtenção e os respectivos testes efetuados nos compósitos obtidos com fibras de coco verde e papel reciclado. É discutida a confecção de um produto para cobertura de construções, que foi designado de "telha ecológica", e a obtenção de chapas de partículas onde a madeira foi substituída parcialmente por fibras de coco. Constam também, o potencial de utilização da "telha ecológica" em programas de habitação popular e a sugestão de que sejam criadas cooperativas que funcionem como células de trabalho, com fabricação dos produtos a base de fibras de coco, papel e madeira, constituindo-se em um pólo eco-social de reciclagem de fibras.

Com o propósito de mitigar os impactos advindos da disposição das cascas de coco verde em aterros e conseguir usos sustentáveis para este resíduo, procedeu-se à execução deste trabalho que visa atender aos seguintes objetivos:

OBJETIVO GERAL:

É possível identificar um uso prático das cascas de coco (*Cocos nucifera*) verde que atualmente são dispostas em aterros e vazadouros no Brasil?

OBJETIVOS ESPECÍFICOS:

1. Verificar a eficácia da coleta do resíduo sólido urbano (RSU) no Brasil e no município do Rio de Janeiro;

2. Estimar o impacto no RSU decorrente da geração das cascas de coco verde, a saber: (a) a quantidade potencial de cascas de coco geradas no Brasil e no Rio de Janeiro, em função da produção do fruto; (b) o impacto na geração de cascas decorrente do crescimento linear da produção de coco no país e (c) o percentual de cascas de coco em relação ao RSU total e à fração orgânico-celulósica, coletados no país e no município;

3. Estimar a quantidade potencial de metano gerado a partir da disposição das cascas de coco verde em aterros e vazadouros em comparação com a quantidade do gás gerado pelo RSU, fazendo-se uso de metodologia do Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC) em dois cenários distintos;

4. Propor indicadores para avaliar a dimensão das emissões de metano oriundas da casca de coco verde, em relação às emissões do RSU;

5. Desenvolver compósitos de fibras de coco verde e celulose de papel usado, constituindo-se um produto que utiliza em sua formulação material 100% reciclado;

6. Obter produto constituído de papel reciclado, fibras de coco verde e impermeabilização com cimento asfáltico ("telha ecológica"), com objetivo de uso como cobertura de construções civis;

7. Avaliar a capacidade máxima de produção e o potencial de uso em programas de habitação popular, assim como, efetuar estimativa de custo de fabricação da "telha ecológica";

8. Avaliar a possibilidade de utilização das fibras de coco verde em chapas de partículas com substituição parcial da madeira de pinus por fibras de coco verde;

9. Sugerir o uso de cooperativas para produção de materiais com fibras de coco, papel e madeira, constituindo um pólo eco-social de reciclagem de celulose;

1 Resíduo Sólido Urbano (RSU) no Brasil e na Cidade do Rio de Janeiro

A geração do resíduo sólido urbano (RSU) é motivo de preocupação de governantes e administradores em todo o mundo, estando associada aos costumes, educação, qualidade de vida e nível de atividade comercial e industrial. A forma como ocorre o descarte e a destinação do RSU pode ter impactos sociais, como a proliferação de vetores, e ambientais, como a geração de chorume e de gases, como o metano. Portanto, conhecer a quantidade do resíduo originado e como é feita a sua disposição final é importante para que se dimensione os possíveis impactos que possam ser causados. Como as cascas de coco verde compõem o RSU, são destinadas da mesma forma, estando submetidas a todos os processos de decomposição que ocorrem no resíduo sólido urbano.

O objetivo deste capítulo é investigar as quantidades geradas de RSU no Brasil e no município do Rio de Janeiro e a forma que ocorre a destinação deste resíduo, para possibilitar o cálculo das quantidades de metano originado nos aterros e vazadouros e compará-las com as quantidades de cascas de coco verde e de metano por elas gerado.

1.1 Os serviços de coleta do RSU

No Brasil, o órgão responsável pelos levantamentos estatísticos sobre coleta de RSU é o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), que faz estudos em níveis nacional, regional, estadual e municipal. Especificamente para o Município do Rio de Janeiro, tem-se, além dos dados do IBGE, os estudos efetuados pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB).

O IBGE divulga os dados sobre a coleta de lixo no estudo denominado de Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB), que teve a sua edição mais recente baseada em levantamento efetuado no ano de 2000 (PNSB-2000, 2002).

O IBGE não usa o termo RSU e sim “lixo”, e define a expressão “coleta de lixo” como:

> **Coleta de lixo**: Retirada de material sólido resultante das atividades domiciliares, comerciais e públicas, industriais, das unidades de saúde etc., acondicionado em sacos plásticos e/ou recipientes, ou mesmo quando colocados nas calçadas ou logradouros e destinados a vazadouro, aterro etc. (PNSB-2000, 2002).

De acordo com o PNSB-2000 (2002), dos 5 507 municípios do Brasil, 5 475 têm serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo, representando 99,41% do total. O percentual de municípios com coleta de lixo (RSU) é de 99,34. No PNSB, considerou-se que o município tivesse tais serviços quando “existissem em pelo menos um distrito, ou parte dele, independente da cobertura e freqüência do serviço”. A natureza dos serviços prestados pelos municípios pode ser vista na Tabela 1.1. O município do Rio de Janeiro executa todos os serviços apresentados na respectiva tabela.

Os dados contidos na tabela sintetizam a forma de como o RSU é coletado no país, e retratam os percentuais baixíssimos de municípios com serviços de coleta seletiva e de reciclagem, cerca de 8% e 6,5%, respectivamente.

Os números apresentados na Tabela 1.1 são bastante expressivos em se tratando de um país com carência de planos de saneamento e de políticas sociais que privilegiem os municípios com menor poder aquisitivo e as regiões marcadas pela pobreza, miséria e fome. Há, entretanto, um fato importantíssimo que é mascarado pelos dados da tabela em discussão: a existência de um determinado serviço prestado pelos municípios não traduz a qualidade ou a eficácia de tal atividade.

Um ponto interessante a ser discutido, portanto, é o de que quando há um serviço de coleta de RSU por um município, não significa que a totalidade do lixo produzido seja coletada. A Tabela 1.2 pode ser usada para um melhor entendimento da questão.

Tabela 1.1 –Natureza dos serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo (RSU), prestados pelos municípios do Brasil.

Total de municípios	**Municípios com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo**						
	Total	Natureza dos serviços					
		Limpeza urbana	Coleta de lixo	Coleta seletiva	Reci-clagem	Remoção de entulhos	Coleta de lixo especial
5 507	5 475	5 461	5 471	451	352	4 690	3 567

Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico-2000 (PNSB-2000, 2002)

Tabela 1.2 – Percentual de lixo coletado nos domicílios do Brasil e do município do Rio de Janeiro.

Regiões	**Municípios com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo**							
	Total	Percentual de domicílios com lixo coletado (%)						
		Até 50	Mais de 50 a 70	Mais de 70 a 80	Mais de 80 a 90	Mais de 90 a 99	Com 100	Sem declaração e não sabe
Brasil	5 475	489	728	771	954	525	1 814	194
Rio de Janeiro[1]	-	-	-	-	-	1	-	-

1- Município do Rio de Janeiro
Fonte: IBGE, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico-2000. (PNSB-2000, 2002)

Na Tabela 1.2 uma constatação que pode ser feita logo de início é a de que somente cerca de 33% dos domicílios têm o lixo totalmente coletado, enquanto o Rio de Janeiro tem cerca de 95% dos seus domicílios atendidos integralmente.

Ainda de acordo com a Tabela 1.2 pode-se estimar o percentual de domicílios hipotéticos que teriam, efetivamente, 100% do lixo coletado. Fazendo-se uso do valor médio dos percentuais de domicílios (25, na faixa que vai até 50 etc) e do número de municípios, obtêm-se o número de domicílios hipotéticos com lixo integralmente coletado. Para o Brasil o valor encontrado foi de 4231 domicílios, representando um pouco mais de 75% dos domicílios no país. Estes valores dão uma idéia da eficiência da coleta de RSU efetuada e, embora não sejam exatos, traduzem melhor a realidade do que o valor de 99,34%, referente aos municípios com coleta de lixo, pois este último

Tabela 1.3 –Serviços de coleta de RSU no Brasil e no município do Rio de Janeiro e respectivas unidade de destinação final.

Região	Municípios com serviços de limpeza urbana e/ou coleta de lixo								
	Total	Unidade de destino final do lixo coletado							
		Vaza-douro a céu aberto (lixão)	Vaza-douro em áreas alagadas	Aterro contro-lado	Aterro sani-tário	Aterro de resíduos especiais	Usina de compos-tagem	Usina de recicla-gem	Incine-ração
BRASIL	5 471	3 834	36	1 090	817	170	251	183	114
RIO DE JANEIRO[1]	1	-	-	1	1	1	-	-	-

1-Município do Rio de Janeiro
Fonte:IBGE,Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico-2000 (IBGE-PNSB-2000, 2004).

percentual não exprime a qualidade do serviço prestado.

Para o município do Rio de Janeiro, cerca de 95% dos domicílios hipotéticos teriam o lixo totalmente coletado.

Estes percentuais não estabelecem relação com o volume de lixo produzido e coletado, uma vez que é justamente nos municípios de maior população que ocorre maior volume de geração de RSU e onde há maior eficiência na coleta do lixo. Portanto, não se pode afirmar que 25% do RSU gerado no Brasil não é coletado. O mesmo raciocínio vale para o município do Rio de Janeiro.

A forma como o RSU é disposto pelos municípios do Brasil faz parte do PNSB-2000 (2002), mas os dados divulgados continham algumas contradições, como número de unidades de destino diferentes quando foram confrontados gráficos e tabelas do documento. Os valores corretos foram obtidos com a Diretoria de Pesquisas - Departamento de População e Indicadores Sociais do IBGE (IBGE-PNSB-2000, 2004) e constam da Tabela 1.3.

Antes de ser discutido como é efetuada a destinação final do RSU cabe ressaltar algumas definições contidas no PNSB-2000 (2002). São elas:

> **Aterro Controlado**: Local utilizado para despejo do lixo coletado, em bruto, com o cuidado de, após a jornada de trabalho, cobrir esses resíduos com uma

camada de terra diariamente sem causar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais.
Aterro Sanitário: Local utilizado para disposição final do lixo, onde são aplicados critérios de engenharia e normas operacionais específicas para confinar os resíduos com segurança do ponto de vista do controle da poluição ambiental e proteção à saúde pública.
Vazadouros a céu aberto: Local utilizado para disposição de lixo, em bruto, sobre o terreno sem qualquer cuidado ou técnica especial. Caracteriza-se pela falta de medidas de proteção ao meio ambiente ou à saúde pública.
Vazadouros em áreas alagadas: Local (corpos d'água) utilizado para lançamento do lixo, em bruto.

A quantidade de unidades de vazadouros a céu aberto (59,03%), frente às de aterro controlado (16,76%) e às de aterro sanitário (12,57%), demonstra o quanto é preocupante e incipiente o saneamento básico no Brasil. Normalmente, os vazadouros a céu aberto estão localizados em áreas de menor desenvolvimento econômico e social, retratando a miséria e, por vezes, as condições subumanas de sobrevivência e de atendimento às necessidades básicas da população.

O município do Rio de Janeiro teve a classificação do seu antigo vazadouro melhorada para a de aterro sanitário em 1996, em virtude de melhorias efetuadas no local (INVENTÁRIO DO RJ, 2000).

A existência de vazadouros já é motivo suficiente para se tentar implementar um modelo de desenvolvimento que não marginalize a população de baixo poder aquisitivo e que seja efetivamente sustentável. As implicações sociais e ambientais decorrentes da disposição indevida do RSU são conhecidas e amplamente discutidas nas esferas acadêmica, governamental e empresarial. Eliminar definitivamente o uso dos vazadouros, e, acima de tudo, o trabalho de catação de lixo, é uma obrigação nacional. O RSU pode e deve ser reciclado, mas com práticas de coleta seletiva, estações de triagem do material etc, mas nunca depois de ser despejado pelos caminhões nas montanhas de doenças, pobreza e miséria em que se constituíram os vazadouros.

Os trabalhadores devem se organizar em cooperativas e a partir daí, com a ajuda dos poderes constituídos e da sociedade, desenvolver programas de reaproveitamento de resíduos que são normalmente destinados a aterros.

1.2 A quantidade do RSU coletado

O levantamento sobre a quantidade de RSU coletado é feito pelo IBGE no mesmo programa que estuda a coleta e qualidade dos serviços prestados, o PNSB-2000 (2002). Todos os dados se referem ao total de RSU coletado e não no que é produzido, portanto as análises efetuadas são baseadas na quantidade de RSU (lixo) coletado.

Henriques (2004) aborda a dificuldade de se obter dados precisos sobre a quantidade real do RSU coletado. Argumenta, baseada em informações do PNSB-2000 (2002), o fato de que apenas 8,4% dos municípios pesam o RSU coletado, representando cerca de 65% da massa total recolhida no país. Os municípios que não possuem balanças estimam a quantidade coletada baseados nos volumes transportados nos caminhões de coleta e no peso específico do lixo da cidade, obtido, muitas vezes, de forma empírica.

A dificuldade de obtenção de dados fidedignos também foi abordada por Oliveira (2000) que assinalou a tendência dos setores produtivos em fornecer números menores de produção visando diminuição do pagamento de impostos, originando, por conseguinte, uma base de dados de potencial de geração do RSU inferior ao efetivamente gerado. Por outro lado, as prefeituras que geram os dados usados pelo IBGE no PNSB tendem a aumentar o volume de RSU coletado visando obtenção de mais recursos públicos. São, porém, os dados do PNSB-2000 (2002) os registros oficiais e mais completos, sendo, como dito anteriormente, a fonte principal de consulta deste trabalho. Quando a base de dados foi insuficiente ou apresentou valores incoerentes recorreu-se às fontes responsáveis pela sistematização dos dados.

No item anterior foi visto que embora o número de vazadouros a céu aberto seja grande, cerca de 59%, ele não reflete a quantidade de RSU que é disposto neles em comparação às quantidades depositadas nos aterros controlados e sanitários.

A quantidade diária de RSU coletado no Brasil e no município do Rio de Janeiro e as formas como tais resíduos são dispostos são apresentados na Tabela 1.4.

A quantidade coletada referente ao Brasil (228.413 t/dia) constante no PNSB-2000 (2002), assim como a respectiva distribuição nos destinos finais, estariam incorretas, segundo informações obtidas com a Diretoria de Pesquisas - Departamento de População e Indicadores Sociais do IBGE, sendo 157.708 t / dia o valor correto, cuja destinação final é apresentada na Tabela 1.4.

A quantidade do RSU destinado aos vazadouros a céu aberto no Brasil corresponde a 30% do total, enquanto a quantidade que é depositada em aterros controlados e aterros sanitários equivale a cerca de 63%. Para o município do Rio de Janeiro o valor para aterros sanitários e com controle chega a 97% do total recolhido no município.

Estes valores atenuam, mas não eliminam, a gravidade da situação evidenciada pela Tabela 1.3. Embora, aproximadamente, 59% das unidades de destinação de RSU nos municípios seja de vazadouros a céu aberto, a quantidade efetivamente disposta representa somente, se é que se possa dizer somente, cerca de 30% do RSU coletado no Brasil.

Os valores constantes no PNSB-2000 (2002) fornecem um percentual da quantidade disposta de cerca de 21% para vazadouros e de aproximadamente 73% para aterros sanitários e controlados, correspondendo a 48321,7 t/dia e 167215,8 t/dia, respectivamente. Tais valores refletiriam uma situação menos comprometedora, porém não menos dramática.

Tabela 1.4 – Quantidade diária de RSU coletado no Brasil e no município do Rio de Janeiro e respectivas unidades de destinação final.

Região	Quantidade diária de lixo coletado (t/dia)									
	Total	Unidade de destino final do lixo coletado								
		Vaza-douro a céu aberto (lixão)	Vaza-douro em áreas alagadas	Aterro contro-lado	Aterro sani-tário	Estação de compos-tagem	Estação de triagem	Incine-ração	Locais não-fixos	Outra
BRASIL.	157 708	47 392	237	34 723	64 164	6 534	2 249	510	878	1 018
RIO DE JANEIRO[1]	8 343	-	-	1 951	6 124	268	-	-	-	

1-Município do Rio de Janeiro
Fonte:IBGE,Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Socias, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2000 (IBGE-PNSB-2000, 2004)

Para normatizar os cálculos de emissão de metano, efetuados no capítulo 4, adotaram-se percentuais de destinação de RSU de 30% para os vazadouros e de 70% para os aterros sanitários e controlados. Com tal procedimento, deu-se tratamento igual ao RSU e as cascas de coco, que praticamente são destinadas somente aos aterros e vazadouros. Adicionalmente, os valores calculados de metano emitido foram menores do que seriam se fossem considerados os percentuais do PNSB-2000 (2002), pois sabe-se que se tem maior produção do gás em aterros do que em vazadouros, devido ao ambiente mais redutor ou menos oxidante, que favorece a anaerobiose.

Uma vez investigadas as quantidades e destinação do RSU no Brasil e no município do Rio de Janeiro, pode-se averiguar a produção de coco e a conseqüente geração do resíduo de cascas para, posteriormente, calcular as emissões de metano oriundas da disposição desses resíduos em vazadouros e aterros.

1.3 A produção de coco no Brasil e no município do Rio de Janeiro

A produção de coco (*Cocos nucifera*) no Brasil e a conseqüente geração das cascas estão atreladas à culinária e ao hábito de se beber a água do fruto. Embora não seja natural do Brasil suas palmeiras podem ser vistas por todo litoral nordeste do país e

parte do sudeste e do norte. Seu consumo está disseminado por todos os estados da federação e como conseqüência direta ocorre a geração do resíduo formado pelas cascas que contribuem para a diminuição da vida útil dos aterros, onde são normalmente dispostas (Ghavami et al., 1999).

Neste item do trabalho é dado destaque à produção do fruto no país e no município e região metropolitana do Rio de Janeiro, baseados em estudos do IBGE (IBGE-PAM, 2002). Os dados aqui apresentados são usados no capítulo 4 para quantificação das cascas de coco geradas e respectiva contribuição no RSU.

O aumento da produção de coco está intimamente correlacionado ao aumento do consumo e, por conseguinte, ao crescimento da geração de resíduos. A Tabela 1.5 mostra um crescimento de cerca de 162% na produção de coco no Brasil de 1990 a 2002 ou de quase 100% se considerarmos o período de 1997 a 2002. Admitindo-se que cada coco tem, em média, 2 Kg de massa, o aumento verificado neste último período foi cerca de 1,92 milhões de toneladas de coco com a geração de aproximadamente 3,84 milhões de toneladas do fruto, que seria, também, a quantidade do fruto gerada em 2002.

O aumento da área plantada (Tabela 1.5) que alcançou cerca de 30%, no período de 1990 a 2002, foi responsável por parte do crescimento da produção. Outro fator responsável pelo incremento na produção deveu-se ao melhor aproveitamento da terra, propiciando uma considerável melhoria da produtividade. Em 1990, eram produzidos 3.406 frutos/hectare ao passo que em 2002 foram obtidos 6.866 frutos/hectare.

No ano de 2002, o município do Rio de Janeiro produziu 3,15 milhões de unidades de coco, enquanto a área metropolitana do Rio de Janeiro obteve 23,19 milhões de unidades, representando cerca de 6,3 e 46,4 mil toneladas de coco, respectivamente.

Tabela 1.5 - Produção e área plantada de coco (C*ocos nucifera*) no Brasil.

ANO	QUANTIDADE (mil frutos)	ÁREA PLANTADA (hectare)
1990	734.418	215.652
1991	851.031	231.960
1992	891.023	247.028
1993	837.459	232.827
1994	918.822	239.668
1995	966.677	244.935
1996	956.537	219.434
1997	967.313	231.485
1998	1.026.604	239.893
1999	1.206.644	251.908
2000	1.301.411	266.577
2001	1.420.547	275.551
2002	1.928.236	280.835

Fonte: IBGE – PAM (2002).

A participação do município na produção nacional era de apenas 0,16%, enquanto a região metropolitana contribuiu com 1,2%. No censo demográfico de 2000, a população do município do Rio de Janeiro representava cerca de 3,45% da população brasileira, enquanto a participação do município na produção nacional de coco foi de 0,10% e a da região metropolitana foi de 1,12%.

Outro fato importante a ser considerado é a razão entre a quantidade de RSU gerado no Rio de Janeiro e a gerada no Brasil, que foi de 5,1% no ano de 2000.

Considerando-se os percentuais acima, estima-se que o consumo de coco na cidade supere a produção da região metropolitana, entretanto como não existem dados oficiais de consumo de coco na cidade, usou-se a produção da área metropolitana para estimar a geração potencial de cascas, que é discutida mais detalhadamente no capítulo 4.

Os levantamentos efetuados e mencionados acima foram usados na parte de desenvolvimento da pesquisa, possibilitando estudar os reflexos decorrentes do aumento da produção de coco, a contribuição das cascas no resíduo sólido urbano e a emissão de

metano como conseqüência da disposição final do RSU e das cascas em aterros e vazadouros.

2 Os problemas ambientais globais: as mudanças climáticas

A matéria orgânica quando disposta em aterros pode sofrer processo de decomposição anaeróbica resultando na formação de metano. A quantidade deste gás, gerada pelo processo anaeróbico, representa de 5 a 20% do total produzido e emitido para a atmosfera como conseqüência das atividades antrópicas. É um dos mais importantes gases produzidos pela disposição do resíduo sólido urbano (RSU) em aterros (IPCC, 1996). Como um dos objetivos deste trabalho é calcular as emissões de metano (CH_4) decorrentes da disposição de cascas de coco verde em aterros, torna-se necessário discutir as conseqüências das emissões deste gás no que se refere ao aquecimento do planeta e qual é a importância dele frente aos outros gases de efeito estufa (GEE). Neste sentido, é efetuada uma abordagem incluindo o efeito dos GEE sobre o aquecimento global e as respectivas emissões no mundo, no Brasil e na cidade do Rio de Janeiro, seguindo-se uma discussão sobre a importância do CH_4 com as respectivas emissões decorrentes da disposição dos resíduos sólidos em aterros.

São abordados também, a importância e o papel do Painel Intergovernamental sobre Mudanças do Clima (IPCC, do inglês "Intergovernmental Panel on Climate Change") como fórum de discussão e, ainda, os conceitos técnicos sobre os GEE e o CH_4, necessários para o entendimento dos levantamentos efetuados neste capítulo e no restante do trabalho, principalmente no cálculo da emissão de CH_4 devido à disposição do RSU e das cascas de coco em aterros (capítulo 4).

Os meios científicos e a sociedade de um modo geral têm discutido e expressado grande preocupação com relação ao futuro do planeta em conseqüência das atividades antrópicas. O aumento considerável da concentração de poluentes na atmosfera provocou fenômenos em escala mundial, tais como a maior incidência de raios ultravioleta na Terra, como conseqüência da depleção da camada de ozônio, e o

aumento da temperatura média do planeta, atribuído, por grande parte da comunidade científica, aos denominados gases indutores do efeito estufa, mais comumente conhecidos como gases de efeito estufa (GEE). Tais gases retêm a energia térmica emitida pela Terra fazendo com que a temperatura média do planeta seja maior do que seria se tal fenômeno não ocorresse. Os principais GEE são o dióxido de carbono (CO_2), metano (CH_4) e óxido nitroso (N_2O).

Sabe-se que o efeito estufa é um fenômeno natural que possibilitou que a temperatura média da Terra fosse cerca de +15ºC e não de -15ºC, caso tal evento não ocorresse. Entretanto, o aumento das concentrações dos GEE, associado ao aumento da intensidade da radiação solar incidente na superfície do planeta, tem contribuído para que a temperatura média da Terra venha aumentando (BAIRD, 2002).

Cientistas de vários países abrangendo múltiplas áreas do conhecimento fazem parte do IPCC, que vem emitindo vários relatórios com o objetivo de subsidiar a comunidade internacional com informações e proposições de base científica e tecnológica para que as negociações e possíveis medidas para mitigar a emissão dos GEE, e atenuar os fenômenos relacionados às mudanças climáticas, possam ser implementadas.

No relatório Climate Change 2001: The Scientific Bases (IPCC, 2001) é mencionada a elevação da temperatura média da superfície terrestre de 0,6 ± 0,2ºC desde o século 19, com dois períodos com taxas de crescimento visíveis: de 1910 a 1945 e de 1976 até os dias atuais. Nestes períodos, a taxa de aumento da temperatura foi da ordem de 0,15ºC / década.

Na verdade, há fatores e/ou fenômenos que contribuem para que o aumento da temperatura na superfície terrestre ocorra e tenham-se mudanças climáticas como conseqüência. Em uma situação ideal e de equilíbrio, toda a radiação solar incidente na

Terra é balanceada pela radiação emitida pelo planeta. Qualquer fator que venha a alterar a quantidade de energia recebida e/ou emitida, assim como a distribuição da energia na atmosfera e entre a atmosfera, o oceano e a terra, poderá afetar o clima. Uma mudança na energia livre disponível no sistema Terra-atmosfera, denominada de forçamento radiativo ("radiative forcing"), irá atuar no sentido de modificar a temperatura da superfície do planeta e das camadas inferiores da atmosfera. Assim, agentes de forçamento radiativo positivo (GEE, ozônio troposférico e aumento da intensidade da radiação solar) irão contribuir para o aumento da temperatura, enquanto aqueles de forçamento radiativo negativo (aerossóis formados pela queima de biomassa, aerossóis de sulfato e ozônio estratosférico) influenciarão na diminuição da temperatura. O forçamento radiativo das mudanças climáticas constitui um índice dos impactos médios globais relativos sobre o sistema superfície-troposfera devido a causas naturais e antrópicas (IPCC, 2001).

Há, na literatura em português, terminologia diferente para designar "radiative forcing", como a usada por Baird (2002) que utiliza a expressão "variação na energia da superfície". Neste trabalho será usado o termo "forçamento radiativo", que é a expressão utilizada pelos especialistas brasileiros e encontra correlação na versão em espanhol do relatório do IPCC (IPCC, 2001a), onde foi usado o termo "forzamiento radiativo".

A contribuição dos agentes de forçamento radiativo para a mudança no clima do planeta vem sendo estudada por vários pesquisadores e os resultados alcançados até o final da década de 90 foram resumidos no relatório do IPCC (2001). Os principais agentes e os respectivos valores de forçamento radiativo, constantes do documento do IPCC, são apresentados na Tabela 2.1.

Tabela 2.1 – Valores numéricos das médias globais anuais de forçamentos radiativos para os principais agentes, de 1750 até final da década de 1990.

Agente de forçamento radiativo	Média global de forçamento radiativo (Wm^{-2})	Nível de compreensão científica(NCC)[1]
GEE[2]	+2,43	Alta
CO_2	+1,46	Alta
CH_4	+0,48	Alta
N_2O	+0,15	Alta
Halocarbonetos[3]	+0,34	Alta
O_3 estratosférico	-0,15	Média
O_3 troposférico	+0,35	Média
Aerossol de sulfato[4]	-0,40	Baixa
Aerossol de queima de biomassa[4]	-0,20	Muito baixa
Aerossol de combustível fóssil[4] (fuligem)	+0,20	Muito baixa
Aerossol de combustível fóssil[4] (compostos orgânicos)	-0,10	Muito baixa
Aerossol de poeira mineral	-0,60 a +0,40	Muito baixa
Aerossol troposférico[5]	0 a -2,0	Muito baixa
Esteira de fumaça e cirros (aviação)	+ 0,02 e 0 a + 0,04	Muito baixa
Uso da terra (albedo)	-0,20	Muito baixa
Solar	+0,30	

Fonte: IPCC (2001)
1-Não traduz a incerteza estatística e sim o nível de compreensão científica (NCC) relativa a cada forçamento. Representa um julgamento baseado na confiabilidade das estimativas, considerando: as hipóteses usadas para avaliar, o conhecimento dos mecanismos físico/químicos e as incertezas relacionadas à estimativa quantitativa dos forçamentos. As incertezas estatísticas dos valores não são abordadas neste trabalho.
2-Somatório dos valores de CO_2, CH_4, N_2O e halocarbonetos
3-Somatório de todos os halocarbonetos relevantes
4-Efeito direto
5-Efeito indireto de primeiro tipo (tamanho e concentração das gotículas)

A importância dos GEE é notória, contendo o maior valor de forçamento entre todos os agentes constantes da tabela além de ser o agente que se tem maior nível de compreensão científica (NCC), que vem a ser um julgamento baseado na confiabilidade das estimativas dos forçamentos, que considera: as hipóteses usadas para avaliar, o conhecimento dos mecanismos físico/químicos e as incertezas relacionadas à estimativa quantitativa dos forçamentos Tais gases têm merecido, portanto, atenção especial nas esferas científica e governamental.

Além dos GEE, podem ser destacados como agentes de forçamento radiativo positivo o ozônio troposférico, o aerossol de fuligem decorrente da queima dos combustíveis fósseis e o aumento de intensidade da radiação solar. Deve-se ressaltar, entretanto, que o ozônio tem NCC médio, enquanto os outros dois são classificados como muito baixo.

Os agentes com valores de forçamento negativos a serem destacados são: o aerossol de sulfato (NCC baixo); aerossol oriundo de queima de biomassa; aerossol formado pela queima de compostos orgânicos de combustíveis fósseis e o albedo devido ao uso da terra, todos, com exceção do aerossol de sulfato, com NCC muito baixo.

2.1 O efeito dos GEE sobre o aquecimento global da Terra

É sabido que a radiação proveniente do sol é parcialmente refletida, em cerca de 30%, pelas nuvens, pelo gelo, pela areia e por outros corpos refletores, outros 20% são absorvidos por gases – ultravioleta (UV) pelo ozônio na estratosfera, e infravermelho (IV) pelo CO_2 e pela H_2O – e os 50% restantes alcançam a superfície terrestre sendo por ela absorvidos e, posteriormente, eliminados na forma de energia térmica (IV). A radiação na região espectral do IV emitida pelo planeta é parcialmente retida, por intermédio de absorção propiciada pelos GEE, provocando o aquecimento da Terra. Os GEE são, portanto, substâncias que absorvem energia térmica na região espectral do IV.

Foi discutida anteriormente a importância dos forçamentos radiativos dos GEE quando confrontados com outros agentes de forçamento. Neste item dá-se destaque às contribuições individuais dos gases, buscando apontar seus níveis de importância para o aquecimento global.

O forçamento radiativo como conseqüência das alterações nas concentrações dos GEE recebeu grande atenção dos pesquisadores. A Tabela 2.2 apresenta uma síntese dos

estudos desenvolvidos considerando o forçamento radiativo resultante das mudanças nas abundâncias das substâncias desde o período pré-industrial (1750) até o final da década de 90 (1998).

O valor do forçamento radiativo total atribuível aos GEE desde o período pré-industrial foi estimado em 2,43 Wm^{-2}, para uma incerteza de 10%. Deste total, o CO_2 contribui com cerca de 60%, o CH_4 com aproximadamente 20%, o N_2O com 6% e os halocarbonetos com cerca de 14%.

Há nestes valores a ratificação da importância do CO_2 como um grande indutor do efeito estufa com um forçamento radiativo que supera a soma dos demais GEE. Seria importante destacar, também, a relevância do CH_4 que aparece como o segundo GEE de maior relevância, com um forçamento radiativo de cerca de um terço daquele encontrado para o CO_2. Estudar formas de atenuar ou eliminar as emissões do metano são, portanto, medidas de grande interesse e prioridade para diminuir os efeitos deste gás sobre o clima do planeta.

Devem-se destacar, ainda, as contribuições do CFC-11 e do CFC-12, com 2,9% e 7,0%, respectivamente, sobre o forçamento radiativo total.

Outras características dos GEE são importantes e merecem ser abordadas. Neste trabalho, são discutidas as características dos três gases de grande relevância para o aquecimento global, que são o CO_2, o CH_4 e o N_2O, e, eventualmente, os halocarbonetos. Estes compostos merecem destaque pelas suas características intrínsecas e por terem suas concentrações e tempos de vida alterados em decorrência das atividades antrópicas. A influência que uma determinada substância pode exercer sobre o clima dependerá da capacidade dela em absorver a radiação na região do IV,

Tabela 2.2 – Mudanças no forçamento radiativo resultante das alterações nas abundâncias de gases de efeito estufa no período pré-industrial (1750) e no ano de 1998.

Gás	Abundância[1] (ano 1750)	Abundância[1] (ano 1998)	Forçamento radiativo (Wm^{-2})
Gases relevantes somente para o forçamento radiativo			
CO_2	278	365	1,46
CH_4	700	1745	0,48
N_2O	270	314	0,15
CF_4	40	80	0,003
C_2F_6	0	3	0,001
SF_6	0	4,2	0,002
HFC-23	0	14	0,002
HFC-134a	0	7,5	0,001
Gases relevantes para o forçamento radiativo e para a depleção de ozônio			
CFC-11	0	268	0,07
CFC-12	0	533	0,17
CFC-13	0	4	0,001
CFC-113	0	84	0,03
CFC-114	0	15	0,005
CFC-115	0	7	0,001
CCl_4	0	102	0,01
CH_3CCl_3	0	69	0,004
HCFC-22	0	132	0,03
HCFC-141b	0	10	0,001
HCFC-142b	0	11	0,002
Halon-1211	0	3,8	0,001
Halon-1301	0	2,5	0,001

Fonte: IPCC (2001)
1 – As concentrações estão expressas em volume e estão em ppm para o CO_2. Para o CH_4 e NO_2 estão em ppb e para as demais substâncias em ppt.

da sua concentração na atmosfera e do tempo de vida da molécula. Tal tempo de permanência na atmosfera é um parâmetro importantíssimo e influencia diretamente na capacidade do GEE de promover um forçamento radiativo por décadas, séculos ou milênios até que os processos naturais removam as quantidades emitidas.

Na Tabela 2.3 é apresentado um panorama dos GEE que são afetados pelas atividades do homem, enfocando as concentrações dos gases, dadas em fração molar, na era pré-industrial e no o ano de 1998 e, ainda, os respectivos tempos de vida. Fica evidenciado o papel do CO_2 como principal GEE, devido aos níveis de concentração na atmosfera que são da ordem de mil vezes àquelas encontradas para o CH_4 e para o N_2O

Tabela 2.3 –Gases de efeito estufa (GEE) que são afetados pelas atividades antrópicas.

	Gases de efeito estufa (GEE)					
	CO_2	**CH_4**	**N_2O**	**CFC-11**	**HFC-23**	**CF_4**
Concentração pré-industrial	Cerca de 280 ppm [a]	Cerca de 700 ppb [a]	Cerca de 270 ppb	zero	zero	40 ppt
Concentração em 1998	365 ppm	1745 ppb	314 ppb	268 ppt [a]	14 ppt	80 ppt
Taxa de mudança da concentração [b]	1,5 ppm/ano [c]	7,0 ppb/ano [c]	0,8 ppb/ano	-1,4 ppt/ano	0,55 ppt/ano	1 ppt/ano
Tempo de vida na atmosfera	5 a 200 anos [d]	12 anos [e]	114 anos [e]	45 anos	260 anos	>50.000 anos

a- concentrações em fração molar (proporção de mistura molar) do gás com o ar seco(ppm=10^{-6}, ppb=10^{-9} e ppt=10^{-12})
b- Taxa foi calculada no período de 1990 a 1999.
c- Taxa flutuou entre 0,9 ppm/ano e 2,8 ppm/ano para o CO_2 e entre 0 e 12 ppb/ano para o CH_4 no período de 1990 a 1999.
d- Não foi possível definir um tempo de vida único para o CO_2 devido aos diferentes graus de conhecimento dos processos de remoção. Nominalmente, se adota valor de cerca de 150 anos.
e- Definido como um "tempo ajustado" que considera os efeitos indiretos do gás no seu próprio tempo de residência.
Fonte: IPCC, 2001

e, ainda, com uma taxa de crescimento da concentração bastante expressiva, resultando em um aumento de cerca de 30% na concentração entre o período pré-industrial e o ano de 1998. Evidentemente, não estão discriminadas as contribuições de origem antrópica nos valores discutidos, mas sabe-se que o aumento da concentração de CO_2 observada deveu-se, predominantemente, à oxidação dos compostos orgânicos oriundos da queima dos combustíveis fósseis e do desflorestamento. O valor positivo na taxa de mudança na concentração na década de 1990 e o tempo de residência fazem com que todas as atenções do mundo continuem voltadas para o gás carbônico.

A concentração de CH_4 aumentou cerca de 150% desde 1750. Embora seja um gás gerado tanto pelas atividades naturais quanto antrópicas, cerca de 50% das emissões atuais são decorrentes das ações do homem. A alta taxa de mudança de concentração entre 1990 e 1999 preocupa os pesquisadores, entretanto o pequeno tempo de

permanência na atmosfera atenua, um pouco, as conseqüências do aumento da concentração do gás metano.

A concentração de N_2O aumentou cerca de 16% em relação à quantidade existente em 1750. Assim como o CH_4, é formado tanto por fontes naturais quanto antrópicas, sendo removido da atmosfera por reações químicas.

Os halocarbonetos forneceram resultados concordantes com as políticas de limitação de uso estabelecidas pelo Protocolo de Montreal. O CFC-11, um clorofluorcarboneto, sendo um gás de depleção da camada de ozônio, apresentou um aumento extraordinário na concentração, com um percentual de cerca de $2x10^6$%, quando considerado o período entre 1750 e 1998, porém teve uma variação negativa na taxa de mudança de concentração entre os anos 1990 e 1999. Já o HFC-23, um hidroclorofluorcarbononeto, apresentou aumento tanto no período entre 1750 e 1998 (cerca de $1x10^{11}$%) quanto entre 1990 e 1999. Esta última variação é decorrente do fato de que tais gases passaram a substituir os CFC.

Os perfluorcarbonetos, como o CF_4, têm um grande tempo de residência na atmosfera e absorvem intensamente a radiação na região do infravermelho, sendo, portanto, substâncias que devem ser monitoradas com toda a atenção. Embora a concentração de CF_4 seja muito pequena, da ordem de ppt, e a substância seja gerada também por fontes naturais, estima-se que a contribuição devida às atividades antrópicas, que é da ordem de 1.000 vezes à da geração natural, e o tempo de residência, cerca de milhares de anos, são fatores que indicam os perfluorcarbonetos como compostos capazes de influenciar o clima no futuro.

Os levantamentos das médias das concentrações históricas dos GEE e os respectivos forçamentos radiativos foram de grande importância para se entender, e

explicar, como e a partir de que atividades a temperatura média do planeta tem aumentado ao longo dos séculos.

Há, contudo, uma preocupação muito grande sobre o futuro da Terra e como as emissões efetuadas e futuras poderão comprometer o equilíbrio climático. O forçamento radiativo é um parâmetro de grande utilidade para a compreensão dos fenômenos de aquecimento. Outro fator que, evidentemente, deve ser considerado é a taxa de emissão dos GEE na atmosfera. Mas como o efeito estufa proporcionado não cessa imediatamente após o lançamento dos gases, o tempo de residência deles tem papel importantíssimo nas previsões futuras dos efeitos que ocasionarão na temperatura. Para mensurar o potencial de uma substância em contribuir para o aquecimento futuro considerando suas propriedades radiativas e o respectivo tempo de vida, foi desenvolvido um índice denominado Potencial de Aquecimento Global (PAG) ou "Global Warming Potential (GWP)". O PAG é, portanto, uma medida relativa do efeito radiativo da massa de uma dada substância (eficiência radiativa) comparada com a eficiência radiativa de outra, de mesma massa, usada como referência, integrada sob um determinado horizonte de tempo. O IPCC (1990) definiu-o como a razão entre as integrais, no tempo, dos forçamentos radiativos de 1 kg de uma substância traço e de 1 kg de um gás referência:

$$\mathrm{PAG}\,(x) = \frac{\int_0^{TH} a_x \bullet [x(t)]\,dt}{\int_0^{TH} a_r \bullet [r(t)]\,dt} \qquad (2.1)$$

onde TH é o horizonte de tempo sobre o qual o cálculo é considerado, a_x é a eficiência radiativa atribuível ao aumento unitário da abundância na atmosfera, da substância em questão, (expressa em W m^{-2} kg^{-1}), [x(t)] é o decaimento da abundância, dependente no

tempo, da emissão instantânea da substância. As quantidades correspondentes do gás referência estão no denominador.

Os horizontes de tempo a serem usados dependem da necessidade do usuário, entretanto foram definidos tempos referências de 20, 50 e 100 anos. Da mesma forma padronizou-se o CO_2 como substância de referência, por ser o GEE em maior concentração. Como seus processos de interação com a biosfera e com os oceanos não são conhecidos completamente, todos os outros gases ficam com os valores correlacionados a ele.

Os valores da contribuição do CO_2 no cálculo do PAG (denominador da equação 2.1), denominado de PAGA (Potencial de Aquecimento Global Absoluto) são 0,207; 0,696 e 2,241 Wm^{-2} $ppmv^{-1}$/ano, para 20, 100 e 500 anos de horizonte de tempo, respectivamente. Os valores de PAG divulgados na literatura podem fornecer os PAGA para os demais gases, bastando multiplicar o PAG do gás pelo PAGA do CO_2.

A Tabela 2.4 apresenta os PAG dos gases, suas respectivas eficiências radiativas e tempos de vida.

Assim como são importantes os papéis do forçamento radiativo e do PAG, a estimativa de resposta do sistema climático quando um ecossistema é submetido aos GEE também tem grande relevância e pode, inclusive, ao lado de um melhor conhecimento do tempo de permanência dos gases na atmosfera, principalmente o CO_2, modificar os valores dos PAG. A resposta do clima às emissões dos GEE deve ser considerada nos cálculos dos PAG, mudando valores e conceitos que até o momento são considerados como verdadeiros (ROSA et al., 2004, STUBER et al., 2005, SHINE et al., 2005).

Tabela 2.4 – Potencial de Aquecimento Global (PAG) de alguns dos principais gases de efeito estufa (base em massa) - relativo ao CO_2.

Gás		Eficiência radiativa (Wm^{-2} ppb^{-1})	Tempo de vida (anos)	Potencial de Aquecimento Global		
				Horizonte de tempo		
				20 anos	100 anos	500 anos
Dióxido de Carbono	CO_2	$1,548x10^{-5}$ (a)	5 a 200(b)	1	1	1
Metano	CH_4	$3,7x10^{-4}$	12,0 (c)	62	23	7
Óxido Nitroso	N_2O	$3,1x10^{-3}$	114 (c)	275	296	156
Clorofluorcarbonetos						
CFC-11	CCl_3F	0,25	45	6300	4600	1600
CFC-12	CCl_2F_2	0,32	100	10200	10600	5200
Hidroclorofluorcarbonetos						
HCFC-21	$CHCl_2F$	0,17	2,0	700	210	65
HCFC-22	$CHClF_2$	0,20	11,9	4800	1700	540
Hidrofluorcarbonetos						
HFC-23	CHF_3	0,16	260	9400	12000	10000
HFC-32	CH_2F_2	0,09	5,0	1800	550	170
Clorocarbonetos						
	CH_3CCl_3	0,06	4,8	450	140	42
	CCl_4	0,13	35	2700	1800	580
	$CHCl_3$	0,11	0,51	100	30	9
	CH_3Cl	0,01	1,3	55	16	5
	CH_2Cl_2	0,03	0,46	35	10	3
Espécies Totalmente fluoradas						
	SF_6	0,52	3200	15100	22200	32400
	CF_4	0,08	50000	3900	5700	8900
	C_2F_6	0,26	10000	8000	11900	18000

Fonte: IPCC (2001)
a) Para uma perturbação de 364 ppmv na concentração de CO_2, tem-se 0,01548 Wm^{-2}/ppmv;
b) Função de remoção baseada em modelos de ciclo do carbono;
c) Valores para CH_4 e NO_2 são tempos ajustados incluindo as realimentações de emissões nos tempos de vida

Da mesma forma que os valores de PAG são discutidos pela comunidade científica, as estimativas de emissão dos GEE recebem constantemente novas proposições de cálculos. Pesquisadores do Programa de Planejamento Energético (PPE) e do Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG), ambos da COPPE/UFRJ, vêm desenvolvendo trabalhos abordando este assunto. As emissões históricas de CO_2, discriminadas por países num período de 300 anos, devido à mudança do uso da terra (colheitas e pastagens) foram estudadas por Campos et al. (2005) fazendo uso do banco de dados conhecido como History Database of the Global Environment (HYDE). O valor achado para o período de 1850-1990 foi de 360 Tg CO_2, enquanto o IPCC, segundo os autores, divulgava no relatório sobre uso da terra o valor de 499±205 Tg CO_2.

A estimativa da emissão cumulativa de CO_2 devido aos combustíveis, considerando o tempo e a resposta do clima, foi realizada por Rosa & Ribeiro (2001) que propuseram uma equação simplificada para estudar o fenômeno em três cenários distintos e observaram que somente em 2010 as emissões dos países em desenvolvimento (não Anexo I[1]) seriam maiores do que as dos países industrializados e de economia de transição (Anexo I[2]), enquanto as curvas de emissão se cortariam próximo ao ano 2050 e, ainda, que as respectivas contribuições para o aquecimento global seriam iguais somente em 2090.

Um importante fator a ser considerado nos estudos relativos às responsabilidades pelo aquecimento do planeta é o de que não se devem contabilizar somente as emissões de carbono de diferentes países ou grupos deles, mas sim as contribuições antrópicas que efetivamente causam o aumento de temperatura. Rosa et al. (2004) abordaram as

[1] Países não pertencentes ao Anexo I da Convenção Quadro das Nações Unidas sobre Mudança do Clima (Convenção do Clima).

[2] Países pertencentes ao Anexo I da Convenção do Clima, englobando os membros industrializados da OCDE (Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico) em 1992, a Comunidade Européia e os países industrializados da Ex-União Soviética e do Leste Europeu.

emissões de CO_2 que contribuem para a mudança do clima, devido ao setor de energia e ao uso da terra, considerando diferentes padrões de decaimento das concentrações do gás e, ainda, a resposta climática. Usando modelo proposto por Rosa & Ribeiro (2001) encontraram contribuição maior para os países do Anexo I do que para os países conhecidos como não Anexo I, para o período de 1751 a 1990.

A seguir são abordadas as emissões dos GEE, principalmente o CO_2 e o CH_4, no Brasil e no município do Rio de Janeiro.

2.2 As emissões de GEE no Brasil e no município do Rio de Janeiro

No Brasil, o levantamento das quantidades de GEE existentes entre os anos de 1990 e 1994 consta da publicação Comunicação Nacional (2004), elaborado para a Convenção – Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima (Convenção do Clima). O documento apresenta o primeiro inventário brasileiro sobre gases de efeito estufa e consolida quinze relatórios setoriais elaborados por instituições de excelência do Brasil, dentre as quais o programa de Planejamento Energético da COPPE/UFRJ. A Tabela 2.5 apresenta as emissões encontradas em 1994 para alguns dos GEE constantes do documento, contendo as respectivas contribuições dos vários setores de atividade antrópica. A quantidade de CO_2 emitida foi cerca de 78 vezes à encontrada para o CH_4 e mais que 1872 vezes a massa de N_2O, entretanto, se for comparada à variação percentual nas quantidades emitidas no período entre 90 e 94, verifica-se que o CH_4 e o N_2O tiveram aumentos de 40% e de 140%, respectivamente, superiores ao obtido pelo CO_2.

Os principais setores emissores de CO_2 são o de mudança no uso da terra e florestas e o de energia, representando cerca de 75% e 23%, respectivamente, de todo o

Tabela 2.5 Estimativa das emissões de gases de efeito estufa no Brasil, 1994.

Gases	**Emissão dos Setores** (Gg)					**Total** (Gg)	variação de 90/94 (%)
	Energia	Processos industriais	Agropecuária	Mudança no uso da terra e florestas	Tratamento de resíduos		
CO_2	236.505	16.870	-	776.331	-	1.029.706	5
CH_4	401	3	10.161	1.805	803	13.173	7
N_2O	9	14	503	12	12	550	12
HFC-23	-	0,157	-	-	-	0,2	30
CF_4	-	0,345	-	-	-	0,3	19

Fonte: Comunicação Nacional (2004).

Tabela 2.6 Estimativa das emissões de CO_2 e CH_4 no município do Rio de Janeiro, 1998.

Gases	**Emissão dos Setores** (Gg)					**Total** (Gg)	variação de 90/98 (%)
	Energia	Processos industriais	Agropecuária	Mudança no uso da terra e florestas	Tratamento de resíduos		
CO_2	6.422	793	-	256	195	7.666	1
CH_4	19,06[1]	-	0,62	-	224,7	244,38	52

Fonte: Inventário do RJ (2000) e elaboração própria
1- contribuição atribuída às emissões fugitivas totais.

gás gerado. Já os principais setores que emitem CH_4 são: agropecuária; mudança no uso da terra e florestas e tratamento de resíduos, com emissões equivalentes a, aproximadamente, 77%, 14% e 6% do total do gás emitido. A contribuição associada ao setor de tratamento de resíduos é oriunda de: resíduos sólidos; esgotos domésticos e sanitários e efluentes industriais, representando cerca de 84%, 5,5% e 10,5%, respectivamente, do total de metano emitido. Portanto, cerca de 5% de todo o metano

emitido no Brasil têm origem nos resíduos sólidos. A agropecuária representa cerca de 91% das emissões de N_2O.

As quantidades emitidas de HFC-23 e CF_4 são muito pequenas, mas se fossem aplicados os PAG para um horizonte de 100 anos, vide Tabela 2.4, tais valores seriam de 2.400 Gg e 1710 Gg, respectivamente. Há de se considerar, também, o grande aumento nas quantidades emitidas dos dois gases no período 90/94, que para o HFC-23 foi 6 vezes à observada para o CO_2 enquanto o CF_4 superou a variação na massa emitida do óxido em quase 4 vezes.

As quantidades de CO_2 e CH_4 emitidas em decorrência das atividades de vários setores da economia constam do Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro (Inventário do RJ, 2000), elaborado com a participação de várias instituições e centros de pesquisas, dentre os quais o Instituto Virtual Internacional de Mudanças Globais (IVIG); o Laboratório Interdisciplinar de Meio Ambiente (LIMA) e o Programa de Planejamento Energético (PPE), todos vinculados a COPPE/UFRJ. Os dados contidos no documento, referentes ao ano de 1998, foram reagrupados, de forma a configurar a mesma distribuição por setores que foi usada na Comunicação Nacional (2004) e constam da Tabela 2.6.

A contribuição total do CO_2 é cerca de 31 vezes à encontrada para o CH_4, tendo como o principal emissor o setor de energia, com cerca de 84% do total emitido. Já a maior contribuição inventariada para o CH_4 é a do setor de tratamento de resíduos, (constituído pelas contribuições dos resíduos sólidos e do tratamento de esgotos domésticos e comerciais) com cerca de 92% do total. A parcela referente ao resíduo sólido corresponde a, aproximadamente, 99% do total do setor e cerca de 91% do total de CH_4 inventariado para o município.

Um dado importantíssimo a ser considerado é a variação na quantidade emitida de CH_4, entre 1990 e 1998, que foi 52 vezes à encontrada para o CO_2. A transformação do depósito de RSU, de vazadouro à céu aberto para aterro sanitário, influenciou diretamente na variação apurada. Considerando-se o PAG em 100 anos para o CH_4, as emissões passariam para 5620 Gg, representando cerca de 42% das emissões totais dos dois gases, das quais cerca de 38% são referentes às emissões dos resíduos sólidos.

2.3 A importância do metano como um GEE

Diante de tudo que se sabe e, particularmente, pelo que foi discutido neste capítulo, o CO_2 tem papel de protagonista nas questões relacionadas às mudanças climáticas provocadas pelos GEE. Tomando-se como base os valores constantes da Tabela 2.3, a concentração do gás, em fração molar, no ano de 1998 era cerca de 200 vezes a concentração do CH_4 e superior a 1150 vezes a do N_2O. A taxa de aumento na concentração do CO_2, entre os anos de 1990 e 1999, foi superior a 210 vezes a do CH_4 e mais do que 1800 vezes a do N_2O. Entretanto, como um dos objetivos deste trabalho é abordar as emissões provocadas pela decomposição do resíduo sólido urbano (RSU) e, particularmente, pelas cascas de coco verde quando dispostos em aterros, dar-se-á destaque às contribuições do CH_4, que é o GEE com maior relevância depois do CO_2, e um dos principais gases a serem considerados quando ocorre decomposição de substâncias orgânicas em condições anaeróbicas (IPCC, 1996).

A Tabela 2.3 serviu para se compreender como as concentrações de CH_4 têm aumentado ao longo do tempo: cerca de 150% desde 1750, representando um incremento de 1.060 ppb. A concentração de CH_4 em 1998 foi a maior registrada nos últimos 420.000 anos. Deve-se destacar, entretanto, que as taxas de crescimento anuais observadas no período entre 1983 e 1998 diminuíram.

Tabela 2.7 - Emissões de CH_4 e CO_2 com uso do PAG [1] para um horizonte de 100 anos.

Gás	Mundo (ano de 1998)		Brasil (ano de 1994)		Município do Rio de Janeiro (ano de 1998)	
	Concentração Eq $C0_2$ (ppmm)[2]	(%)	Quantidade Eq. CO_2 (Gg)	(%)	Quantidade Eq CO_2 (Gg)	(%)
CO_2	16060	96,14	1.029.706	77,27	7.666	57,70
CH_4	644	3,86	302.979	22,73	5620,74	42,30
Total	16704	100,00	1.332.685	100,00	13.287	100,00

1 –PAG usado para o CH_4 igual a 23.
2 - massa de gás contida em um dado volume contendo 10^6 mols dos constituintes totais naquele volume. É obtido multiplicando-se o valor da fração molar (ppm) pela massa molecular do gás (CO_2 ou CH_4)
Fonte: IPCC (2001); Comunicação Nacional (2004); Inventário do RJ (2000) e elaboração própria.

Com cerca de 50% das emissões no mundo decorrentes das ações do homem e com taxa de aumento de concentração entre 1990 e 1999, representando aproximadamente 0,4% da concentração existente em 1998, práticas e mudanças de hábitos para mitigar as emissões de metano devem ser estimuladas.

O valor de 23 para o PAG do CH_4, considerando -se um horizonte de 100 anos, embora ainda com questionamentos quanto à exatidão, ratifica a importância do gás para o aquecimento global do planeta. Os percentuais de CH_4 e de CO_2 em relação ao somatório das duas concentrações medidas para o planeta, e as quantidades emitidas para o Brasil e para o município do Rio de Janeiro, considerando-se o PAG, podem ser vistos na Tabela 2.7.

No contexto mundial, a contribuição do CH_4 é bem menor do que a que se pode observar para o Brasil, onde a quantidade emitida é quase 29% da quantidade de CO_2 gerado. No município do Rio de Janeiro o percentual de CH_4 em relação ao CO_2 alcança 73%. Deve-se ressaltar que os valores atualizados de emissão de CH_4 para o Brasil, feita em 1994, devem estar maiores, pelo menos no que se refere à substituição de vazadouros por aterros sanitários e/ou controlados.

Como foi visto anteriormente, vide Tabela 2.5 e Tabela 2.6, o aumento das quantidades de CH_4 emitido no Brasil e no município do Rio de Janeiro têm superado as

variações observadas para o CO_2. Outro fato a ser destacado é o de que as emissões de CH_4 do setor de resíduos e tratamento e, particularmente, dos resíduos sólidos (um dos componentes do referido setor) apresentaram um aumento percentual superior ao observado para o total de emissões do gás, que foi de 7% no Brasil e de 52% no município do Rio de Janeiro. A Tabela 2.8 apresenta a variação das emissões de CH_4 que, tanto para os resíduos sólidos quanto para o setor de tratamento de resíduos, foi cerca de 35% superior ao valor observado para o total das emissões no Brasil. Já a Tabela 2.9, referente ao município do Rio de Janeiro, mostra que os aumentos de emissão de CH_4 para os resíduos sólidos e para o setor de tratamento de resíduos foram, aproximadamente, 34% superior à variação decorrente das emissões totais de CH_4.

Deve-se ressaltar a grande quantidade de resíduos sólidos produzidos pelo município do Rio de Janeiro em relação ao Brasil, que para o ano de 1990 teve uma relação de 21%. Considerando-se a variação ocorrida no Brasil entre 90/94 em comparação a ocorrida na cidade entre 90/98, este percentual pode estar bem maior atualmente, merecendo, futuramente, análise mais detalhada dos valores apresentados nos inventários.

Todos os aspectos abordados anteriormente confirmam a importância do metano, seja pelo valor do PAG, pela participação do gás como o segundo GEE em concentração no mundo ou pela participação no total de emissões no Brasil e, mais ainda, no município do Rio de Janeiro. A contribuição dos resíduos sólidos na geração de metano é outra constatação importantíssima. Como foi visto, cerca de 5% de todo o metano emitido no Brasil e, aproximadamente, 91% do que é emitido no município do Rio de Janeiro são gerados pelos resíduos sólidos. Portanto, ações que minimizem tais emissões devem ser incentivadas, desenvolvidas e implementadas para que se tenha, de fato, um desenvolvimento sustentável.

Tabela 2.8 - Estimativa de emissão histórica de CH_4 no Brasil - setor tratamento de resíduos e total geral

FONTE	1990 (Gg)	1994 (Gg)	Variação 90/94 (%)
Resíduos sólidos	618,01	677,18	9,54
Esgotos domésticos e comerciais	39,34	43,11	9,58
Efluentes industriais	79,28	83,18	4,92
Total do setor	736,63	803,47	9,1
Total geral	12.299	13.173	7,7

Fonte: Comunicação Nacional (2004)

Tabela 2.9 - Estimativa de emissão histórica de CH_4 no município do Rio de Janeiro: setor tratamento de resíduos e total geral.

FONTE	1990 (Gg)	1998 (Gg)	Variação 90/98 (%)
Resíduos sólidos	130	222,5	71
Esgotos domésticos e comerciais	2,15	2,20	2,5
Efluentes industriais [1]			
Total do setor	132,15	224,70	70
Total geral	160,76	244,38	52

1- Não foram contabilizados no Inventário RJ (2000)
Fonte: Inventário RJ (2000)

O aproveitamento do CH_4 gerado ou o uso sustentável de materiais que são dispostos em aterros são iniciativas com potencial para diminuir a emissão do gás. Neste sentido, o aproveitamento de cascas de coco verde que são destinadas aos aterros é uma alternativa factível e de impactos econômico e social, que pode ser desenvolvida de várias maneiras. Neste trabalho é abordado o uso das fibras de coco para confecção de telhas e chapas de partículas com substituição parcial da madeira pelas fibras.

3 Características e aproveitamento de fibras vegetais

Os estudos e constatações vistos até o momento ratificam o metano como um gás de grande importância dentre os gases de efeito estufa (GEE). A parcela dos resíduos sólidos responsável pela emissão de metano mostrou-se bastante significativa, 5% para o Brasil e 91% para o município do Rio de Janeiro, como visto no capítulo anterior. As cascas de coco sendo parte integrante dos resíduos sólidos urbanos (RSU) têm participação nestas emissões, logo tentar descobrir novas formas de usar as fibras oriundas destas cascas é uma alternativa para diminuir as emissões decorrentes da disposição delas nos aterros. Portanto, neste capítulo será dado destaque às recentes pesquisas de aproveitamento de fibras vegetais e, particularmente, de fibras coco.

As fibras vegetais têm sido estudadas ao longo de décadas no que se refere à sua constituição, às suas propriedades mecânicas e aos possíveis usos (REDDY & YANG, 2005, BLEDZKI & GASSAN, 1999, KHEDARI et al., 2005**).** Foram muito utilizadas durante um grande período de tempo, deixando de ter grande uso com o surgimento de novas tecnologias. Entretanto, recentemente vem crescendo a possibilidade de aproveitamento, tanto por questões econômicas quanto ambientais, havendo, portanto, uma grande retomada nas pesquisas de desenvolvimento de novos produtos que fazem uso sustentável das fibras, assim como pesquisas que expliquem o comportamento desses materiais.

3.1 Constituição das fibras vegetais

Quanto a sua constituição, as fibras vegetais são formadas basicamente de celulose, hemicelulose, lignina, pectina e minerais. A celulose, um polissacarídeo linear de alto peso molecular, formado de unidades de glicopiranose-D, ou simplesmente de

glicose-D, é o principal constituinte estruturante, sendo responsável pela estabilidade e resistência das fibras. Fibras com grande quantidade de celulose seriam econômica e tecnicamente viáveis para serem usadas na produção de têxteis, papel e como reforços em compósitos. Entretanto, deve-se observar não só o teor de celulose contida nas fibras, mas também a qualidade e qual será o uso final das fibras obtidas.

A hemicelulose é um polissacarídeo formado pela polimerização de vários açúcares, incluindo glicose, xilose, galactose, arabinose e manose, porém com grau de polimerização cerca de um décimo a um centésimo daquele encontrado para a celulose nativa.

A hemicelulose normalmente atua como um elemento de ligação entre a celulose e a lignina, não estando diretamente correlacionada à resistência e dureza das fibras. Por ser mais facilmente hidrolisada do que a celulose, fibras contendo grande concentração de hemicelulose podem ser usadas para a produção de açúcares e posteriormente produção de combustíveis, como o etanol.

A lignina é um polímero complexo de estrutura amorfa, com constituintes aromáticos e alifáticos, que une as fibras celulósicas, formando a parede celular. Fornece resistência à compressão ao tecido celular e às fibras, enrijecendo a parede celular e protegendo os carboidratos (açúcares) contra danos físicos e químicos. Sua concentração nas fibras influencia a estrutura, as propriedades, a morfologia, a flexibilidade e a taxa de hidrólise. Fibras com alto teor de lignina serão de excelente qualidade e flexíveis.

A pectina é um polissacarídeo, rico em ácido galacturônico, presente nas paredes celulares e com função aglutinante. Já os componentes minerais são os responsáveis pela formação das cinzas após a incineração das fibras.

A composição de algumas fibras vegetais oriundas do cultivo principal ou de subprodutos da agricultura pode ser vista na Tabela 3.1.

As fibras de juta, linho, rami, sisal (convencionais) são fibras com percentuais altos de celulose, sendo indicadas para uso como material de reforço em compósitos. Os percentuais elevados de lignina nas fibras de juta e sisal habilitam-nas a terem comportamento adicional de fortalecimento das ligações internas dos compósitos, principalmente daqueles submetidos a processos de aquecimento.

As fibras das cascas de coco têm percentual menor de celulose, entretanto a quantidade de lignina é muito grande, cerca de duas a quatro vezes os valores existentes para a juta e o sisal, conferindo-lhe, então, um comportamento singular frente às outras fibras. O teor de lignina nas fibras varia em função da idade do fruto, sendo o percentual de cerca de 20% encontrado em fibras oriundas de coco jovem, colhido com 6 meses, e de aproximadamente 35% no fruto maduro, com 11 meses (van DAM et al., 2004).

As cascas de coco são, como é de conhecimento geral, resíduos ou subprodutos gerados após uso do produto principal, a água e/ou a parte carnosa comestível. Portanto, seu uso está atrelado a uma necessidade e não a uma opção de cultivo, uma vez que a sociedade, com certeza, não abrirá mão dos benefícios advindos do consumo da água e do leite de coco, tão pouco do coco ralado, usado nas maravilhosas peixadas e cocadas. Não se pode imaginar a culinária brasileira ou a ida à praia sem associar-se ao consumo de coco.

Nas outras fibras, assim como as de casca de coco, também oriundas de subprodutos da agricultura – forragem de milho, folha de abacaxi, bagaço de cana, folha de bananeira, palha de trigo e de arroz, talo de sorgo e palha de cevada – pode-se destacar o fato de terem, no geral, concentrações maiores de hemicelulose e lignina do

Tabela 3.1 Composição de fibras oriundas de cultivo principal e de subprodutos da agricultura.

Fonte de fibra	Celulose (%)	Hemicelulose (%)	Lignina (%)	Pectina (%)	Cinza (%)	Água (%)
Casca de coco	**36–43**	**0,15–0,25**	**20–45**	**3,0**	**2,7–10,2**	**10-12**
Algodão	82,7	5,7	–	5,7	NA	10,0
Juta	64,4	12,0	11,8	0,2	NA	10,0
Linho	64,1	16,7	2,0	1,8	NA	10,0
Rami	68,6	13,1	0,6	1,9	NA	10,0
Sisal	65,8	12,0	9,9	0,8	NA	10,0
Forragem de milho	38–40	28	7–21	NA	3,6–7,0	9
Folha de abacaxi	70–82	18	5–12	NA	0,7–0,9	10-13
Bagaço de cana	32–48	19–24	23–32	NA	1,5–5	8,8
Folha da bananeira	60–65	6–8	5–10	NA	4,7	10-15
Palha de trigo	33–38	26–32	17–19	NA	6–8	10
Palha de arroz	28–36	23–28	12–14	NA	14–20	6,5
Talo de sorgo	27	25	11	NA	–	8-12
Palha de cevada	31–45	27–38	14–19	NA	2–7	8-12

Fonte: Reddy & Yang, 2005, Bledzki & Gastan, 1999, Khedari et al., 2005, Toledo Filho et al., 2004, van Dam et al., 2004.
NA – Não avaliado

que as fibras convencionais, habilitando-as a serem usadas de maneiras diversas, como será visto a seguir. Com relação ao teor de celulose, as fibras de folhas de abacaxi e de bananeira possuem percentuais compatíveis com as fibras convencionais conferido-lhes potencial para serem usadas como reforço em compósitos.

A quantidade de cinzas pode vir a ser um problema se as fibras forem incineradas após sua vida útil. No caso específico da fibra de coco, há uma grande quantidade de silício que pode ser transformado em SiC (carbureto de silício) e usado como reforço de metais e cerâmicas (SELVAM et al., 1998).

Viu-se que os teores de celulose, de hemicelulose e lignina podem indicar a utilização das fibras, mas em uma análise mais detalhada se faz necessário saber outras informações e características, tais como: qual tipo de celulose está presente (cada tipo de celulose tem a sua geometria e a geometria das células influencia nas propriedades físicas); qual é a idade da fibra; qual é a relação entre as quantidades de celulose, hemicelulose e lignina e, finalmente, qual é o nível de cristalização das fibrilas que formam as fibras. Na verdade, uma análise mais completa deve ser acompanhada das propriedades mecânicas das fibras.

3.2 Propriedades mecânicas das fibras vegetais

As propriedades mecânicas possibilitam entender o comportamento das fibras e utilizá-las de maneira prática, ainda que estudos físico-químicos e de modelagem existam para explicar porque tais características mecânicas são observadas (BLEDZKI & GASSAN, 1999).

A Tabela 3.2 apresenta as propriedades mecânicas das fibras vegetais e sintéticas normalmente usadas como reforço em compósitos. A associação dos valores constantes da tabela com a composição química das fibras permite verificar as potencialidades de uso.

É notório o valor superior da densidade da fibra de vidro em relação às demais, o que configura o peso menor de compósitos que usem fibras vegetais ou de carbono.

Deve-se ressaltar que o uso de compósitos mais leves é uma tendência internacional denominada de desmaterialização(GERELLI, 1995, CLEVELAND & RUTH, 1996). A desmaterialização pode se dar pela não utilização ou pela diminuição das quantidades dos materiais usados ou, ainda, pela substituição por outros mais leves.

Tabela 3.2 Propriedades mecânicas de fibras naturais e de fibras convencionais usadas como reforço.

Fibra	Densidade (g/cm^3)	Alongamento (%)	Resistência à tração (MPa)	Módulo de Elasticidade (GPa)
Coco	**1,2**	**30,0**	**175**	**4,0-6,0**
Algodão	1,5-1,6	7,0-8,0	287-597	5,5-12,6
Juta	1,3	1,5-1,8	393-773	26,5
Linho	1,5	2,7-3,2	345-1035	27,6
Cânhamo	-	1,6	690	-
Rami	-	3,6-3,8	400-938	61,4-128
Sisal	1,5	2,0-2,5	511-635	9,4-22,0
Kraft [a]	1,5	-	1000	40,0
E-vidro [b]	2,5	2,5	2000-3500	70,0
Carbono (padrão)	1,4	3,3-3,7	3000-3150	63,0-67,0

Fonte: Bledzki & Gassan, 1999
a- Kraft de madeira leve
b-Fibra de vidro usada na indústria eletrônica (“E”)

O trabalho efetuado em casa pelo uso da Internet ou do telefone, elimina o uso de transporte, portanto diminui o consumo de combustível, sendo considerado uma desmaterialização. A diminuição da quantidade de recursos naturais usados na produção de um bem, assim como a diminuição das emissões de efluentes e geração de resíduos configura uma desmaterialização. Da mesma forma, o uso de fibras vegetais substituindo fibras de vidro ou gerando compósitos mais leves caracteriza uma desmaterialização. Em muitos casos deve-se atentar não só para a diminuição de massa, mas na relação entre a propriedade mecânica do produto e a massa deste material. Se ocorrer a diminuição da massa, mas a propriedade diminuir em uma proporção maior há, conseqüentemente, perda de características mecânicas na substituição.

Muitos estudos com uso de fibras naturais objetivando obtenção de compósitos mais leves têm sido relatados. Podem ser destacados os experimentos de substituição de fibras de vidro por fibras naturais em polímeros e biopolímeros (WOLLERDORFER &

BADER, 1998) e os de uso de fibras de coco produzindo materiais de construção leves (KHEDARI et al., 2001).

Os valores de alongamento são semelhantes, com exceção das fibras de algodão e coco, este último com valores cerca de 4 vezes aos encontrados para o algodão e cerca de oito a vinte vezes aos valores das demais fibras, inclusive as sintéticas (Tabela 3.2).

Com relação a resistência à tração, as fibras sintéticas têm valores bem maiores que as demais. Dentre as fibras naturais, têm valores menores as de coco e as de algodão e valores médios maiores as de juta, de linho, de cânhamo, de rami e de sisal. Mesmo o Kraft, que apresenta o maior valor absoluto, tem apenas cerca de um terço dos valores encontrados para as fibras de vidro e de carbono.

No módulo de elasticidade, o rami aparece com valores médios superiores aos das fibras sintéticas. O kraft tem valor superior aos das demais fibras naturais, dentre as quais a juta e o linho têm os maiores valores, enquanto o sisal apresenta valor médio intermediário sendo cerca de três vezes àqueles encontrados para a fibra de coco e de algodão.

Resumindo o que foi visto na Tabela 3.1 e na Tabela 3.2, a fibra de coco tem percentual de celulose mediano e concentração de lignina grande. Possui densidade pequena, grande percentual de alongamento e valores pequenos de resistência à tração e de módulo de elasticidade. A sua utilização em um compósito tende a diminuir a densidade do material com bom potencial de alongamento e capacidade de reforço mediana, porém com possibilidades de aumento de performance da interação fibra-matriz devido à ação aglutinante da lignina. A ação do calor na formação do compósito tende a aumentar tal capacidade de interação.

3.3 Potencialidade de uso das fibras e de seus constituintes

3.3.1 O uso de subprodutos da agricultura

As potencialidades de uso das fibras como reforço em compósitos são discutidas adiante, antes, porém, vale o registro de diversidade de uso dos subprodutos da agricultura, dentre os quais as fibras de coco, de folha de abacaxi e de folhas de bananeira que têm potencial para reforço de compósitos. A Tabela 3.3 apresenta os subprodutos e as devidas potencialidades de uso baseadas na constituição química dos materiais.

A celulose pode ser usada na produção de uma quantidade muito grande de produtos, desde o reforço de compósitos, com o uso das fibras, passando pela obtenção de polpa para fabricação de papel até em produtos químicos como furfural e solventes.

A hemicelulose pode produzir vários produtos da área de corantes e tintas e de surfactantes, mas encontra grande aplicabilidade na produção de álcoois pela fermentação dos açúcares. É, portanto, juntamente com a celulose, uma fonte de obtenção de combustível renovável, que deve ser considerada com maior atenção.

A lignina tem aplicação na produção de energia como combustível, devido ao seu alto poder calorífico, entretanto tal atividade não agrega valor ao material. O valor comercial da lignina pode ser aumentado na produção de vários produtos químicos, como adesivos e ligantes, fenóis, ácido acético, medicamentos, uréia e etileno, tornando-a tão importante quanto a celulose e a hemicelulose (BUNGAY, 2004, HÜTTERMANN et al., 2001). A propriedade da lignina em formar adesivo pode e deve ser explorada no uso das fibras que a contenham em grande quantidade, como as fibras de coco.

Tabela 3.3 – Materiais e produtos químicos obtidos com uso do constituinte principal das fibras vegetais de cultivo principal e de subprodutos da agricultura.

Materiais e produtos químicos	Fonte de biomassa	Componente da biomassa
Fibras para têxteis e compósitos	Forragem de milho, fibra da folha de abacaxi, **fibra de coco**, fibra da bananeira.	**Celulose**
Fibras para polpa e papel	Palha de trigo, palha de arroz, forragem de milho	Celulose
Espuma de amido reforçada com fibras	Talo de milho	Celulose
Adesivos e aglutinantes	**Toda biomassa que contenha lignina**	**Lignina**
Ácido lático	Forragem de milho	Celulose
Papelão feito de palha	Palha de arroz e trigo	Celulose
Solventes	Bagaço de cana	Celulose
Furfural	**Todas as biomassas**	**Celulose**
Corantes, pigmentos e tintas	**Todas as biomassas**	**Hemicelulose**
Energia	Palha	Lignina
Surfactantes e coagulantes	Palha de trigo	Hemicelulose
Uréia	**Todas as biomassas**	**Lignina**
Medicamentos	Bagaço de cana	Lignina
Etanol e outros álcoois	Forragem de milho, trigo, arroz e bagaço	Hemicelulose

Fonte: Reddy & Yang, 2005.

As possibilidades de uso dos resíduos são muito grandes quando olhadas por um ponto de vista químico, devido à viabilidade reacional, ou com enfoque ambiental, pelo aproveitamento dos resíduos, dando-lhes destinação mais adequada. Há de se considerar, também, o aspecto econômico e de praticidade. A centralização dos meios produtivos, o pouco valor agregado aos resíduos, a possibilidade de usos menos nobres, mas que por vezes podem comprometer a qualidade ambiental, como o uso de lignina como combustível e a falta de conscientização de agricultores são, ainda, algumas barreiras que dificultam o aproveitamento dos subprodutos da agricultura.

Reddy & Yang (2005) afirmaram que a limitação no uso de subprodutos da agricultura está relacionada à falta de sistema de coleta, armazenamento e manuseio que

possa evitar a degradação da biomassa lignocelulósica quando armazenada por um grande período de tempo.

Bungay (2004) pondera que a biomassa está espalhada, enquanto as fontes de recursos naturais não renováveis estão concentradas, assim uma mina de carvão ou um poço de petróleo tem um estoque enorme de energia concentrado e co-localizado. Os vários atores participantes do processo - ambientalistas, fazendeiros, cientistas, grupos de trabalhadores, políticos e investidores - tendem a filtrar as informações no desejo de beneficiar seus pontos de vista e expectativas de conseguir êxito, dificultando a percepção real dos fatos.

Uma das possibilidades de utilização das fibras vegetais é como elemento formador de compósitos onde têm seu uso consolidado e onde aparece um grande número de produtos e possibilidades de aproveitamento na literatura. Desde a utilização como reforço em construções de população de baixa renda até o uso em plásticos biodegradáveis, tem-se o emprego de fibras vegetais. A seguir, é apresentado um levantamento de usos e aproveitamento das fibras, principalmente as de fibra de coco e as de celulose de papel usado, que são as de interesse direto neste trabalho.

3.3.2 O uso das fibras vegetais em compósitos

O uso de materiais compósitos, no sentido amplo da palavra, não é novidade para a humanidade. Segundo McMullen (1984) o uso de argila reforçada com madeira ou outras fibras naturais e o papel machê, usado pelos egípcios na antiguidade, são alguns exemplos de uso e formulação de compósitos de conhecimento tradicional. O autor faz um interessante relato histórico sobre o uso de vários compósitos nas estruturas de aviões, desde o uso de gelatina e amido reforçados com fibras de celulose até os compósitos de resina epóxi reforçados com fibras de carbono.

O uso de compósitos ocorre desde a pré-história, onde misturar argila com palha de trigo ou de arroz produzia materiais com melhor maleabilidade e com menor desenvolvimento de fraturas (MOSLEMI, 1999).

Houve um grande avanço tecnológico no desenvolvimento de novos materiais e as fibras naturais passaram a ter menor uso, entretanto, recentemente, tem-se buscado retomar o uso de técnicas consagradas e, também, desenvolver novos compósitos utilizando recursos naturais renováveis, com grande incremento no uso das fibras naturais de celulose, de coco, de sisal, de linho, de rami, de juta e de cânhamo, entre outras. Exemplo clássico é o advento dos plásticos que estão consolidados no mercado mundial, porém, com exceção dos plásticos biodegradáveis, têm seus processos produtivos baseados em recursos não renováveis, principalmente na petroquímica. Os plásticos reforçados com fibra de vidro, até recentemente com uma posição de domínio em vários setores da indústria, passaram a ter a competição de vários compósitos reforçados com fibras vegetais.

Os compósitos que usam as fibras naturais apresentam algumas vantagens em relação àqueles obtidos com fibras de vidro: a) há estocagem de carbono durante a vida útil dos compósitos; b) haverá seqüestro adicional de carbono com o crescimento de culturas para extração das fibras; c) a demanda de energia para produção usando fibras naturais é menor do que quando se utilizam fibras de vidro; d) o percentual de fibras naturais é maior do que o de fibras de vidro, portanto os compósitos são mais leves, e usam menor quantidade da matriz plástica, recurso não renovável; e) no caso de destinação final por incineração haverá um ganho energético e f) haverá menor emissão de CO_2 se forem considerados os ganhos energéticos, já que na geração de energia há emissão (PERVAIZ & SAIN, 2003).

Mohanty et al. (2000, 2002) apontaram para a potencialidade dos produtos formulados a partir de materiais naturais, denominados de biocompósitos, que por poderem usar os estoques de recursos renováveis da agricultura e da biomassa, constituiriam a base para o desenvolvimento de produtos que poderiam competir e capturar mercados dominados por produtos formulados com materiais oriundos do petróleo. Os biocompósitos constituiriam, assim, um portfolio de produtos ecoeficientes configurando uma alternativa sustentável. Salientaram, ainda, que os polímeros biodegradáveis podem oferecer aos cientistas soluções para os problemas de disposição final dos plásticos oriundos da petroquímica, restando descobrir caminhos reais para encontrar aplicações suficientes que os tornem consumíveis em grande quantidade para que possam ter preços competitivos podendo atingir mercados maiores.

Outro aspecto importante que não poderia deixar de ser mencionado neste trabalho é a recente restrição ao uso do asbesto.

O uso de fibras de asbesto em matrizes de cimento remonta ao início do século XX. Durante muitos anos se produziram em grande escala produtos de asbesto com cimento, tais como: placas, telhas e caixas d'água. Entretanto nas décadas de 60 e 70 confirmou-se que por inalação o asbesto poderia provocar sérios problemas à saúde, originando a doença conhecida como asbestose (MOSLEMI, 1999).

Os compósitos de fibrocimento mais usados eram os que faziam uso de asbesto, mas com a iminente proibição do uso do mineral passou-se a buscar fibras que pudessem substituí-lo. A celulose foi usada, em princípio, por questões técnicas e econômicas, pois apresentava relação custo-benefício semelhante a do asbesto.

Seja na produção de placas com cimento ou com gesso, o reforço das fibras de celulose propiciaram ganho de mercado para novos produtos com qualidade superior a daqueles que não fazem uso das fibras.

A diminuição ou proibição do uso de asbesto abriu caminho para o desenvolvimento de uma série de produtos, em princípio tentando substituir as fibras do mineral por outras, mas, também, buscando novos compósitos com matrizes e fibras diversas.

A possibilidade de produzir compósitos com celulose de papel usado e fibras de coco, desenvolvida neste trabalho, tem como um dos seus objetivos oferecer uma alternativa ambientalmente correta para ser usada em coberturas de edificações, substituindo os compósitos que fazem uso de asbesto.

Vários estudos e aplicações de fibras vegetais foram desenvolvidos e serão destacados a seguir. Primeiramente serão abordados os usos de várias fibras, exceto as de coco e de papel que serão discutidas separadamente. Serão abordados, também, os compósitos obtidos de madeira (chapas de partículas) e de polpa de madeira.

a- Cimento

Muito se pesquisa sobre as características mecânicas dos compósitos de cimento reforçados com fibras de celulose. Há na literatura, trabalhos de desenvolvimento de metodologias de análise laboratorial que possibilitam um entendimento melhor do comportamento destes materiais, assim como o desenvolvimento de novos produtos.

Mak Vikar et al. (1999) examinaram os efeitos nas propriedades mecânicas devido ao envelhecimento acelerado de compósitos comerciais de fibrocimento reforçados com fibras de celulose. Verificaram reduções na porosidade, na absorção de água e na permeabilidade ao nitrogênio no teste de envelhecimento acelerado por carbonatação, sendo tais resultados semelhantes aos encontrados para os compósitos que foram submetidos ao processo de envelhecimento natural.

Akers et al. (1989) apontaram aumento na dureza de compósitos de fibrocimento reforçados com fibras de celulose quando submetidos à processos de envelhecimento. Atribuíram tal fato a uma possível interação física e/ou química entre as fibras e a matriz. Akers & Studinka (1989) observaram mudanças nas propriedades mecânicas de compósitos de fibrocimento com envelhecimento, constatando que o aumento da resistência à tração não tinha correlação com o aumento do grau de polimerização da celulose, mas, provavelmente, com o aumento da ligação interfacial e a mudanças no potencial de reforço da celulose com o tempo. Em estudo semelhante sobre envelhecimento de compósitos de fibrocimento, Bentur & Akers (1989) verificaram uma pequena diminuição no nível de polimerização, mas que teria sido mais do que compensado por um processo de petrificação das fibras de celulose.

b- Polímeros Convencionais

Jayamol et al. (1998) estudaram a capacidade de absorção de água por compósitos de polietileno de baixa densidade reforçados com fibras de folhas de abacaxi. Observaram que o aumento da quantidade de fibra usada fez aumentar a massa de água absorvida, entretanto quando submeteram as fibras a tratamento químico tal absorção diminuiu devido a maior interação das fibras com a matriz plástica, porém as reduções nas propriedades de tensão medidas, após imersão em água, foram menores nos compósitos não tratados.

Pervaiz & Sain (2003) obtiveram um compósito de polipropileno reforçado com cânhamo, encontrando propriedades mecânicas semelhantes às obtidas quando usaram fibra de vidro como reforço. Argumentando sobre a vantagem de se usar o cânhamo, pontuaram o fato de ser um recurso renovável; de gerar produtos mais leves, devido a sua pequena massa específica; de ser usado em maior proporção do que as fibras de

vidro, diminuindo a quantidade de polipropileno a ser usado e, ainda, de demandar menos energia do que a fibra de vidro. Segundo os autores, o novo produto teria utilização na indústria automobilística.

Peltonen (1991) estudou as alterações nas propriedades de desgaste e deformação de asfaltos de pavimentação reforçados com fibras de celulose. Observou que as fibras de celulose eram boas por terem a característica de estabilizar o betume da mistura de pavimentação. Afirmou, ainda, que se fosse desejada alta firmeza na pavimentação, uma mistura de borracha sintética de poliestireno-butadieno e betume reforçada com fibras seria indicada. Esta mistura proporcionaria, segundo o autor, alta resistência à deformação em temperaturas altas, devendo ser testada em países com temperaturas ambientes altas.

Williams & Wool, (2000) verificaram a viabilidade de usar fibras naturais (linho e cânhamo) como reforço em plásticos usando matrizes de óleo de soja modificadas com monômeros sintéticos. Os plásticos termorrígidos obtidos têm grande aplicabilidade, com uso na indústria automotiva, movelaria, indústria da construção e produtos de escritório. Apontaram, ainda, para a potencialidade de uso da resina à base de óleo vegetal modificado a ser usada como ligante na produção de chapas de partículas em substituição à resina de uréia-formaldeído. Destacaram, também, o fato dos compósitos usarem, predominantemente, recursos renováveis.

O trabalho é, sem dúvida, interessante, pois apresenta possibilidades de uso tanto para fibras quanto para os óleos vegetais. Peca, evidentemente, por ficar dependente de monômeros sintéticos oriundos da petroquímica.

Há na literatura uma série de trabalhos que tratam da obtenção e/ou estudo das propriedades mecânicas de compósitos fazendo uso de fibras específicas: Gassan & Bledzki (2000) estudaram as possibilidades de se melhorar as propriedades de

compósitos de polipropileno reforçados com juta promovendo modificações nas fibras do material de reforço; Luo & Netravali (1999) estudaram as propriedades interfaciais e mecânicas de compósitos obtidos com fibras de abacaxi e resina de poli(hidroxibutirato-co-valerato); Mehta et al. (2004) estudaram modificações nas características mecânicas e morfológicas em compósitos de resina de poliéster insaturado reforçados com fibras de cânhamo, quando as fibras foram submetidas a tratamento químico para aumentar as características hidrofóbicas e aumentar a interação com a matriz de polímero; Thwe & Liao (2003) estudaram os efeitos decorrentes de envelhecimento natural e acelerado em compósitos de polipropileno reforçados com fibras de bambu; Al-Sulaiman (2002) produziu e testou as propriedades mecânicas de compósitos de fibras de folhas de tamareira. Produziu dois produtos, o primeiro com uso de resina uréia-formaldeído e o segundo com uma resina de bisfenol e um agente de cura a base de amina.

c- Polímeros Biodegradáveis

Wollerdorfer & Bader (1998) estudaram a influência de fibras naturais (linho, rami, juta, fibra de palma e fibras de celulose regenerada) nas propriedades mecânicas de polímeros biodegradáveis. Testaram termoplásticos como poliésteres, polissacarídeos e misturas de amido. Observaram aumento na resistência à tração dos biopolímeros de sacarídeos com fibras naturais em relação aos compósitos que não tiveram incorporação das fibras. Pontuaram que as fibras naturais podem substituir as fibras de vidro, com vantagens de produzirem compostos extremamente leves e terem adesão com matrizes polares, somando-se, ainda, a biodegradabilidade e a baixa produção de cinzas.

Herrmann et al. (1998) afirmaram que novos materiais reforçados foram criados no Deutsches Zentrum für Luft und Raumfahrt e. V. (DLR) em 1989. Tais compósitos usavam matrizes biopoliméricas feitas de derivados de celulose, amido, ácido lático etc.,

sendo reforçadas com fibras naturais, dentre as quais: linho, cânhamo e rami, sendo denominados de biocompósitos.

Apontam como vantagens dos biocompósitos os fatos de: a)terem características mecânicas comparáveis aos compósitos reforçados com fibra de vidro; b) só terem recursos renováveis e biodegradáveis em sua composição e d) poderem ter destinação final com uso de métodos de biodegradação e/ou compostagem, em substituição à disposição em aterros, após o término de seus ciclos de vida.

Considerando a emissão de carbono como sendo zero, os biocompósitos, segundo os autores, poderiam ser usados para gerar energia.

Lodha & Netravali (2002) produziram e caracterizaram, segundo suas propriedades interfaciais e mecânicas, compósitos de proteína de soja com reforço de fibras de rami.

Mikhailov et al. (2001) obtiveram compósitos de celulose e quitina e avaliaram as modificações ocorridas nas estruturas de cada um dos componentes. Verificaram que a adição de pequenas quantidades de quitina à celulose tinha um efeito plastificante nas fibras de celulose.

Curvelo et al. (2001) demonstraram a eficácia de reforço das fibras celulósicas, oriundas de eucalipto, na melhoria das propriedades mecânicas de biopolímeros termoplásticos obtidos com glicerol e amido.

Cumpre lembrar que o uso de fibras naturais, principalmente aquelas com potencial de uso já confirmado como fibra de coco e sisal, na obtenção de biopolímeros a base de amido e glicerol, pode ser uma solução com viabilidade econômica, social e ambiental para o glicerol que será gerado na fabricação de biodiesel por transesterificação de óleos vegetais.

d- Adsorção de óleos e graxas

Há relatos na literatura de uso de fibras como adsorventes de matéria orgânica. Um exemplo é a remoção de óleos e graxas de efluentes de postos de gasolina, investigado por Khan et al. (2004), que em experimento laboratorial, usaram casca de coco, bagaço, casca de arroz, cavacos de madeira, paina (fibras de semente de paineira), fibra de tabua, *Salvinia sp.* e, como parâmetro de referência, fibras de poliéster. Todos os materiais retiraram mais de 70% da massa de óleo, à exceção das cascas de coco e do bagaço, que retiraram 32% e 20%, respectivamente. Os melhores desempenhos foram das fibras com características hidrofóbicas – fibras da semente de paineira, fibras de tabua, *Salvinia sp.* e poliéster.

3.3.3 O uso de fibras de coco

A possibilidade de aproveitamento do resíduo gerado após o consumo da água de coco, no fruto verde, ou da parte comestível do fruto maduro, tem despertado grande interesse de pesquisadores no mundo, que buscam soluções mais nobres do que a simples disposição das cascas dos cocos em aterros, como ocorre em larga escala no Brasil.

a- Chapas de partículas

A confecção de chapas usando cascas de coco, principalmente as fibras, e a propriedade aglutinante da lignina, presente em percentual elevado nas fibras de coco (vide tabela 3.1), são destacadas a seguir.

Khedari et al. (2003a) demonstraram a possibilidade de se obter placas com fibras de coco e resinas (uréia-formaldeído, fenol-formaldeído e isocianato) com características de baixa condutividade térmica, representando um ganho energético com refrigeração, principalmente em países de clima tropical. As placas apresentaram

resistência inferior ao que se esperaria se tivessem sido feitas com madeira, entretanto mostraram-se indicadas para uso como isolantes térmicos em paredes e tetos.

Van Dam et al. (2004) pesquisaram a lignina retirada da parte fibrosa e da não fibrosa de cascas de coco e constataram a potencialidade da substância para ser usada como ligante na produção de placas com uso de cascas de coco verde e maduro. A potencialidade de uso da lignina como material ligante na produção de chapas de madeira foi constatada, também, por Hüttermann et al (2001) e Westin et al. (2001), conforme destacado no item 3.5, que se refere ao uso de madeira e da lignina para obtenção de chapas de partículas.

Van Dam et al. (2004a) produziram chapas e material moldado em 3D usando somente cascas de coco, portanto sem uso de adesivos. As placas obtidas foram comparadas ao MDF ("medium density fiberboard") e às chapas de partículas (aglomerados) obtendo resultados semelhantes e até superiores em relação às propriedades mecânicas e absorção de água. Apresentaram, contudo, densidade alta o suficiente para inviabilizar o uso de pregos e sendo possível o uso de parafusos somente após a perfuração da chapa com furadeira.

O artigo revela que a alta densidade inviabiliza o uso do compósito para determinados fins devido à alta rigidez e pouca flexibilidade.

b- Cimento / Solo / Argamassa

Vários estudos foram realizados visando à incorporação de fibras de coco ao cimento. Paramasivam et al. (1984) pesquisaram as características de placas corrugadas de fibrocimento usando fibras de coco e concluíram que a eficiência das placas obtidas com coco era semelhante àquela obtida com asbesto.

Ghavami et al. (1999) estudaram a possibilidade de incorporação de sisal e fibra de coco em solos para produzir compósitos de baixo custo, com grande potencial de uso

na construção civil em países com população de baixo poder aquisitivo. Afirmaram que materiais betuminosos têm grande capacidade de impermeabilização, configurando um excelente material a ser usado para impedir que fibras como o sisal e as de coco possam absorver água. Revelaram, também, que comparativamente ao sisal a fibra de coco absorve menos água.

Toledo Filho et al. (2000, 2003) estudaram a influencia de atmosferas alcalinas em fibras de coco e sisal e como poderia ser melhorada a durabilidade de compósitos de argamassa utilizando tais fibras vegetais como reforço.

Khedari et al. (2001) investigaram materiais de construção leves, contendo cimento, areia e fibras de resíduos de coco jovens. Observaram a redução da condutividade térmica devido à incorporação das fibras e à diminuição da densidade do compósito sem comprometer as características necessárias à sua utilização na construção, recomendando-o para uso em paredes e telhados.

Savastano et al. (1999) obtiveram compósitos de argamassa de escória de alto-forno reforçados com fibras naturais, com o objetivo de produzir telhas de baixo consumo energético. Obtiveram bons resultados para testes de resistência nos compósitos onde foram usadas polpa de eucalipto, fibras de coco ou mistura de fibras de sisal e polpa de eucalipto. Analogamente, as telhas obtidas com tais compósitos tiveram performances que atenderam às exigências internacionais.

Estudando matriz semelhante, de escória de alto-forno reforçada com fibras de coco, John et al. (2005) compararam as características de fibras em compósitos novos e em compósitos com 12 anos de uso. Não verificaram nenhum dano nas fibras retiradas do material envelhecido ao mesmo tempo em que não foi observada nenhuma diferença significativa nos teores de lignina nos dois compósitos.

Khedari et al. (2005) adicionaram fibras de coco a compósitos de solo-cimento, com concentração final de fibras de 8,9% em massa e verificaram diminuição da condutividade térmica do produto em 54% e redução do peso em 750 g, cerca de 7,6%. Os autores propuseram várias proporções entre os materiais de formação da matriz de solo-cimento e as fibras de coco, com diminuição do percentual de areia e de fibra de forma a tornar o material economicamente viável. Houve aumento na condutividade térmica observada, porém com valores bem abaixo daqueles encontrados para os produtos comerciais existentes.

Toledo Filho et al. (2004) utilizaram fibras curtas de sisal e coco em compósitos com argamassa de cimento e verificaram que a adição de 0,2%, em volume, de fibras de 25 mm de sisal e de coco retarda o início do processo de fissura pela contenção da contração plástica, conseguindo, desta forma, controlar o desenvolvimento de fissuras em compósitos com pouco tempo de uso.

c- Polímeros Convencionais

Vários estudos constam da literatura objetivando melhorar as propriedades de polímeros reforçando-os com fibras de coco. Dentre tais trabalhos pode-se destacar o de Rozman et al. (2000) que relataram a capacidade da lignina em compatibilizar a interação de fibras de coco com polipropileno para obtenção de compósitos contendo os dois materiais. Verificaram que o uso da lignina conferiu aumento das características de flexibilidade e diminuição de absorção de água, tanto na quantidade de água absorvida quanto na variação de espessura da chapa. Entretanto, não foi constatada melhoria nas propriedades de tração.

Wambua et al. (2003) produziram compósitos com uso de polipropileno reforçado com fibras naturais (sisal, cânhamo, juta e fibra de coco). As propriedades mecânicas dos compósitos foram comparadas entre si e com dados da literatura

referentes ao polipropileno reforçado com fibra de vidro. Os compósitos com fibra de coco apresentaram os menores valores das propriedades mecânicas quando comparados aos outros compósitos com fibras naturais, porém com resistência ao impacto superior ao da juta. As propriedades mecânicas dos compósitos com fibras naturais foram comparáveis às dos compósitos com fibras de vidro.

As propriedades térmicas e mecânicas de compósitos a base de PET pós-consumo e fibras de coco foram investigadas por Santos (2002), que verificou a viabilidade na obtenção do compósito que apresentou propriedades que permitiam a sua utilização em vários setores.

O efeito da camada de cera natural das fibras de coco em polietileno reforçado com as fibras foi estudado por Brahmakumar et al. (2005), que verificaram um importante papel da cera nas ligações entre as fibras e a matriz. A remoção da cera resultou em diminuição da resistência à tração.

Geethamma et al. (1998) conseguiram melhorar a capacidade de reforço de fibras de coco em borracha submetendo as fibras e uma solução de borracha a tratamento com álcali.

d- Polímeros biodegradáveis

Bledzki e Gassan (1999) num extenso estudo de revisão sobre compósitos reforçados com fibras naturais alertaram para a potencialidade de uso das referidas fibras em compósitos plásticos biodegradáveis em função da vulnerabilidade das fibras às intempéries. Afirmaram, ainda, que as características físicas das fibras são dependentes e inversamente proporcionais à umidade. Pontuaram a existência de vários tratamentos que melhoraram as características de adesão das fibras naturais usadas em compósitos, com conseqüente aumento da repelência à umidade, da resistência aos

efeitos ambientais e das propriedades mecânicas. Afirmaram que, até a data de publicação do artigo, as principais fibras naturais eram a juta, o linho e a fibra de coco e que vários compósitos de fibras naturais alcançaram as características mecânicas dos compósitos obtidos com as fibras de vidro e estavam sendo usados na indústria automobilística e em movelaria. Chamaram a atenção, ainda, para o fato de que as fibras naturais devem ser avaliadas, também, quanto ao aspecto de serem recursos naturais renováveis, enquanto as chamadas fibras técnicas, como fibra de vidro e de carbono, não o são.

Mohanty et al. (2002) destacaram a potencialidade do uso das fibras naturais, tais como: kenaf, cânhamo, linho, juta, henequém, fibra da folha de abacaxi, fibra de coco e sisal, combinadas a matrizes poliméricas oriundas de recursos renováveis, para produzir compósitos que seriam competitivos com aqueles de origem sintética. A produção de biopolímeros a base de celulose, de amido, de óleo de soja, entre outros, com reforço de fibras naturais são continuamente estudados e desenvolvidos.

e- Fertilizante / substrato

O pó gerado no processo de obtenção das fibras da casca de coco pode ser aproveitado de várias maneiras. Pode ser submetido a processo de compostagem, largamente conhecido, ou como sugerem Abad et al. (2002) ser usado como fertilizante de plantas ornamentais. Encontraram concentrações altas de fósforo, potássio, sódio e cloretos, enquanto as concentrações de nitrogênio disponível, de cálcio, de magnésio e de micro-elementos foram pequenas. O material mostrou-se promissor para ser usado em substituição à turfa na formulação de substratos para uso em recipientes de crescimento de plantas ornamentais.

Hernandes-Apaolaza et al. (2005) também fizeram uso de fibras de cascas de coco como substrato para o crescimento de plantas ornamentais. Pontuaram a

similaridade das cascas de coco com a turfa e que sua utilização como meio de crescimento de plantas na Espanha está aumentando.

O uso do pó oriundo das cascas de coco foi usado por Silveira et al. (2002) como substrato, isolado e em combinação com outros materiais, na produção de mudas de tomateiro. Os resultados obtidos com o pó de coco foram promissores quando usado em mistura com outros materiais (húmus de minhoca com substrato comercial e somente com o substrato comercial) tendo, inclusive, desempenho melhor do que as misturas onde o pó não foi incorporado. Foi ressaltado que o uso do pó de coco associado ao substrato comercial tem viabilidade econômica, com redução do custo de cerca de 47% quando comparado ao uso do substrato comercial puro.

As fibras de cascas de coco verde foram usadas como substrato na produção de mudas de tomate em casas de vegetação (CARRIJO et al., 2002, 2004), mostrando resultados promissores quando comparados a outros substratos, tais como cascas de arroz, maravalhas, mistura usando solo, substrato comercial etc.

f- Telha

O uso de folhas de coqueiro como cobertura de construções é de conhecimento popular, sendo utilizadas em comunidades carentes e indígenas. Um estudo das alterações das propriedades mecânicas destas folhas devido à ação da natureza foi desenvolvido por Pillai et al. (1982), que observaram que a diminuição da resistência do material se dava fundamentalmente devido à chuva, à alternância de atmosferas secas e úmidas, à decomposição por fungos e à própria natureza frágil das folhas.

Como descrito no subitem b do item 3.3.3, Savastano et al. (1999) produziram telhas usando argamassa de escória de alto forno reforçada com fibras naturais, conseguindo atender exigências de normas internacionais para os compósitos onde foram usadas polpa de eucalipto, fibras de coco ou mistura de fibras de sisal e polpa de

eucalipto. Nos subitem e item citados acima, consta trabalho de Khedari et al. (2001) que investigaram materiais de construção leves, compostos de cimento, areia e fibras de resíduos de coco jovens e os recomendaram para uso como elemento de cobertura.

g- Adsorvente

As cascas de coco podem ser usadas na adsorção de óleos e graxas, conforme relatam Khan et al. (2004), que observaram a possibilidade do uso das fibras em efluentes de postos de gasolina. Conforme descrito no subitem d do item 3.3.2, fibras hidrofóbicas tiveram melhor desempenho do que as fibras de coco, retirando cerca de 70% e 32% da massa existente dos contaminantes, respectivamente. Experimentos de modificação da superfície externa das fibras de coco, tornando-as mais apolares, podem melhorar a performance observada.

Existem vários artigos na literatura sobre a utilização de carvão ativo obtido a partir das cascas e das fibras de coco, notadamente de frutos maduros onde a chamada casca é a parte escura e rígida e não o folhelho externo (mesocarpo) de onde são extraídas as fibras (ver figura 5.1).

Guo et al. (2001) usaram carvão ativo comercial de coco para promover a oxidação de NO em NO_2 em mistura de gases, com objetivo de uso em gases de combustão, uma vez que o NO_2 pode ser removido de tais gases com lavagem de água.

Mohan et al. (2005) utilizaram carvão ativado, obtido de resíduos de cascas de coco e de fibras de coco, para adsorver cromo hexavalente de soluções aquosas. O cromo VI é um poluente originado no tratamento de peles em curtumes. O teste foi realizado em uma amostra sintética visando uso posterior no tratamento dos efluentes oriundos de curtumes. O carvão foi formado por processo térmico em ambiente inerte sem tratamento químico e tanto o carvão ativado obtido com as fibras quanto o formado a partir das cascas de coco demonstraram eficácia na remoção do metal.

Um segundo processo de carbonização com uso de ácido sulfúrico e posterior ativação em várias temperaturas foi efetuado e o carvão obtido também adsorveu o cromo. O carvão obtido por esse processo apresentou melhor eficácia de remoção de cromo do que o carvão de cascas de coco obtido somente com tratamento térmico, porém com menor eficiência de adsorção do que o carvão de fibras de coco, também obtido somente com tratamento térmico.

Singh et al. (2003) observaram a possibilidade de remoção da cor de efluentes, devida aos corantes azul de metileno (catiônico) e metil orange (aniônico), com uso de carvão ativado obtido a partir de fibras de cascas de coco submetidas à carbonização por ácido sulfúrico e posterior ativação por calor.

h- Usos Gerais

Outra possibilidade para o uso de fibra de coco, assim como de outros resíduos tais como serragem, fibras do fruto da palma, cascas de arroz e de amendoim, é a produção de briquetes (CHIN & SIDDIQUE, 2000).

Khedari et al. (2003) fizeram estudo sobre a aplicabilidade de fibras de coco, oriundas de resíduos da agricultura, como dessecantes, em substituição à sílica gel em sistema de condicionamento de ar. Foi observado que a temperatura de saída do ar do leito de fibras é menor do que àquela correlacionada à sílica gel, implicando em um ganho energético já que se gastaria menos energia para resfriamento.

Selvam et al. (1998) demonstraram a potencialidade de aproveitamento das cascas de coco para produzir “fios“ de SiC (carbeto de silício), que são usados como material de reforço de metais e cerâmica. O SiC foi obtido por um processo de pirólise a 1400ºC usando ferro como catalisador. O rendimento da reação foi superior ao observado quando se fez uso de cascas de arroz, sabidamente ricas em sílica. O

percentual de óxido de silício nas cascas de coco é cerca de 3,5%, sendo o composto inorgânico majoritário.

O artigo apresenta uma possibilidade técnica de aproveitamento das cinzas das cascas de coco ou de produtos que as contenham, caso sejam incinerados após o término de seu ciclo de vida.

As cascas de coco podem ser usadas em processos industriais de digestão anaeróbica para gerar metano que é, posteriormente, usado como combustível. Kivaisi e Eliapenda (1994) estudaram a influência de pré-tratamentos químicos e de diminuição do tamanho das partículas das fibras de coco, que resultaram no aumento de produção de metano em processo de digestão anaeróbica promovidos por microorganismos do rúmen.

3.4 O uso de papel

O papel reciclado é o constituinte majoritário na telha, obtida e relatada neste trabalho, portanto seus usos recentes em compósitos, como reforço ou como matriz, foram investigados e estão destacados a seguir.

A possibilidade de uso de papel reciclado, como componente de reforço em compósitos, abriu uma série de pesquisas dentre as quais a desenvolvida por Wistara et al. (1999) que estudaram as propriedades e os tratamentos de fibras de papel após processos de reciclagem. O trabalho destaca as transformações sofridas na superfície das polpas de papel em virtude de processos de reciclagem e a uma série de tratamentos objetivando melhorar as características do material. Constataram que as fibras tendem a aumentar a “molhabilidade” e a concentração de grupos carboxila, o que caracterizaria uma melhora nas características de ligação, porém as mudanças na superfície da polpa são pequenas e aparentemente não desempenham papel dominante nas características da

polpa reciclada. Argumentam, então, que o aumento da cristalinidade e mudanças na superfície da fração fina, como conseqüência da reciclagem, é que devem ter um importante papel na diminuição da resistência à ruptura e da resistência à tração das polpas recicladas.

O papel tem sido muito empregado como elemento de reforço, mas há relatos na literatura de uso de papel reciclado como elemento base para a formação de chapas de fibras: Chih & Szu (2003) obtiveram um compósito de papel reciclado reforçado com resina de fenol-formaldeído. O produto tinha característica fogo-retardante e apresentava características mecânicas, de absorção de água e de tempo de queima, satisfatórias para um teor de resina superior a 11%; Krzysik et al. (1997) produziram e caracterizaram chapas de fibras de densidade média (MDF) usando fibras de madeira de demolição e de papel reciclado, que seriam destinados a aterros, resina fenólica e cera de parafina. As chapas obtidas apresentaram valores de flexão estática de acordo com norma de padrões comerciais, entretanto os valores de ligação interna ficaram abaixo dos requisitos da norma, para as proporções usadas. Tendo em vista os resultados obtidos, os autores apontaram para a viabilidade de desenvolvimento de painéis baseados no uso de mistura de fibras de madeira e de papel.

A obtenção de chapas de partículas de madeira com adição de flocos de papel reciclado, fazendo uso de resina a base de isocianato, foi obtida por Grigoriou (2003), que constatou que a adição de papel não alterou significativamente os valores de resistência à flexão das chapas, porém as características de ligação interna, de resistência à fixação de parafuso e de aumento de espessura por absorção de água se deterioraram significativamente com o aumento da concentração de papel nos compósitos. A adição de até 50% em peso de uma mistura de papel reciclado, contendo papel de jornal, de revista e de escritório, em substituição a madeira, não comprometeu

as características físicas para uso das chapas em interior, a exceção da resistência à fixação de parafuso.

O uso de papel como reforço em cimento foi estudado por Coutts (1989) que comparou as características físicas de compósitos obtidos com papel usado e com polpa de papel Kraft de *P. radiata*. Observou que para o cimento com 12%, em massa, de papel os valores de absorção de água e de densidade foram semelhantes, mas os valores de resistência à flexão e de fratura foram superiores para a polpa de papel kraft. Ressaltou, contudo, que para determinados fins seria vantajoso o uso do papel usado devido ao baixo custo.

3.5 O uso de madeira e de lignina

Da mesma forma que o papel, a madeira usada para confecção de chapas de partículas mereceu destaque, pois é o constituinte principal nas chapas com fibras de coco obtidas neste trabalho. A lignina tem papel importante como aglutinante em vários experimentos descritos na literatura e, como as fibras de coco têm um percentual de lignina superior ao de outras fibras (tabela 3.1), deu-se destaque, também, aos trabalhos que fizeram uso de lignina.

A utilização de madeira para produzir chapas de partículas é amplamente conhecida, havendo no mercado grande uso das chapas para confecção de móveis e divisórias. Entretanto, muito ainda se pesquisa sobre a possibilidade de melhorar as propriedades dos compósitos, seja testando diferentes espécies de madeira ou substituindo parcialmente a madeira por fibras ou, ainda, substituindo o adesivo sintético por substâncias naturais. Iwakiri et al. (2001) avaliaram o potencial de utilização de cinco espécies de pínus, individualmente e misturadas, para a produção de chapas de partículas e indicaram todas as espécies como tendo grande potencial para

serem usadas. As espécies estudadas foram *Pinus oocarpa, P. caribae, P. maximinoi, P. tecunumannii*.

Lima et al. (2004) efetuaram estudo para verificar as propriedades mecânicas de painéis de fibras (epicarpo) de babaçu (*Orbignya sp*) em combinação com partículas de *Pinus elliottii* utilizando resina uréia-formaldeído como adesivo. Encontraram resultados promissores quando compararam as chapas contendo babaçu com as de *Pinus elliotti*.

A substituição parcial da resina uréia-formaldeído por extratos tânicos de *Mimosa coesalpiniaefolia* em chapas de madeira aglomerada foi realizada por Gonçalves et al. (2003). As chapas obtidas, contendo 90% e 80% de substituição da resina sintética, atenderam as especificações das normas de comercialização de aglomerados.

Hüttermann et al. (2001) obtiveram chapas de partículas com incubação de fibras de madeira com enzimas oxidantes de fenol, resultando em um processo de oxidação da camada externa da lignina das fibras. Tais fibras foram prensadas e o compósito obtido atendeu aos padrões alemães de qualidade para MDF. Segundo os autores, este processo produzirá pela primeira vez compósitos de madeira obtidos somente com produtos naturais sem adição de resinas. A polimerização da lignina pela ação da enzima pode ser realizada em escala industrial e a resina obtida poderia substituir as resinas sintéticas usadas atualmente na produção de chapas de partículas.

O uso de lignina como agente aglutinante foi relatado por Westin et al. (2001) que usaram lignina comercial, subproduto oriundo da fabricação de papel Kraft, e sais de metais como fixadores, na produção de chapas de partículas. Antes da produção das referidas chapas, os cavacos e a polpa de madeira foram impregnados com a lignina. As chapas foram obtidas segundo procedimento padrão e com prensagem a quente (210ºC

por 6 min). Posteriormente, parte delas foi submetida a tratamento térmico adicional (165ºC por 4 horas), procedimento este que confere melhoria nas características físicas do material. Foi observado que as chapas com lignina que não foram submetidas ao tratamento térmico adicional apresentaram propriedades mecânicas semelhantes às das chapas de controle, sem adição de lignina, que foram submetidas ao referido tratamento por calor, configurando, desta forma, a capacidade de aglutinação da lignina. Constatou-se, também, vantagem adicional com economia de energia que seria usada no tratamento térmico. A adição de lignina conferiu, ainda, um menor aumento de espessura no teste de absorção de água nos compósitos, notadamente naqueles que foram submetidos ao segundo tratamento térmico.

Moslemi (1999) fez um levantamento de vários compósitos comerciais com matriz mineral (cimento e gesso) reforçada com partículas ou fibras de madeira. O grande mercado a ser explorado faria uso de recursos primários ou reciclados, como papel de jornal, madeira de demolição etc.

Destacou vários produtos em potencial e comercializados que poderiam ser produzidos, tais como: chapas de madeira-cimento; chapas de fibrocimento; chapas de fibro-gesso e chapas de partículas-gesso. Pontuou que os produtos poderiam não só usar fibras de madeira e partículas, mas também subprodutos como resíduos de polpa, revistas, jornais e outros resíduos sólidos.

Harper (1982) fez levantamento histórico sobre o desenvolvimento de placas com matrizes de silicato de cálcio reforçadas e livres de asbesto na “Cape Boards and Panels”. Foram usadas fibras de vários materiais para reforço, abrangendo: cerâmica; fibras de carbono; plásticos; celulose e metal. As fibras que forneceram o melhor resultado foram as de celulose, com uso de polpa de madeira, de polpa mecânica e de papel de jornal. Dentre os produtos que usaram fibras de celulose, o que apresentou o

melhor desempenho foi o que utilizou polpa de madeira, pois os outros dois conferiram menor dureza às placas.

Neste trabalho foram desenvolvidos compósitos fazendo uso de fibras de papel usado e de cascas de coco verde, para obtenção de coberturas para construção civil, e chapas de partículas com substituição parcial da madeira por fibras da casca de coco.

4. Impactos provocados pelo coco (*Cocos nucifera*) verde

Os impactos abordados neste capítulo são decorrentes do não aproveitamento das cascas de coco após o consumo da água e do fruto e referem-se à geração de cascas e à conseqüente emissão de metano, quando esses resíduos são dispostos em aterros e vazadouros.

No capítulo 1 foi visto como é coletado o resíduo sólido urbano (RSU), qual é a eficiência no processo de coleta, quais são as quantidades produzidas e quais parcelas deste resíduo são destinadas a aterros e vazadouros. Neste capítulo são estimadas as quantidades potenciais de cascas de coco geradas devido ao consumo do fruto verde e o percentual de participação delas na composição do RSU, no Brasil e no município do Rio de Janeiro. Posteriormente, são estimadas as emissões de metano oriundas da decomposição anaeróbica do RSU e das cascas de coco verde e, em seguida, comparadas com uso de indicadores propostos neste trabalho. Finalmente, as emissões relativas ao RSU são confrontadas com aquelas existentes nos inventários do município do Rio de Janeiro e do Brasil.

Antes, porém, cabe ressaltar que iniciativas para aproveitamento de resíduos e de CH_4 gerados pelo RSU são louváveis e devem ser incentivadas para que possam ser usadas como alternativa quando um uso mais nobre não for possível.

Uma das formas de se aproveitar o potencial do RSU é como fonte alternativa para a geração de energia térmica e elétrica. Oliveira (2004) aponta o potencial da biomassa residual, RSU e resíduos da agricultura, para a geração de energia com custo negativo, uma vez que tais insumos teriam custos de tratamento caso não fossem usados. Argumenta, ainda, que apresentam vantagem adicional por estarem à disposição para uso localmente, não demandando grandes investimentos adicionais em linhas de transmissão, por exemplo.

Em estudo que aborda o setor energético no Brasil sob o ponto de vista de eficiência, uso de energia renovável e impacto ambiental na geração e no uso, Geller et al. (2004) propuseram doze políticas a serem implementadas, dentre as quais o uso de biomassa para geração de combustível, energia e calor. Destacaram a disponibilidade e ineficiência no uso do bagaço de cana na co-geração e a perda de biomassa e poluição local proporcionada pela queima das folhas de cana na colheita. Propuseram uso mais eficiente do bagaço e mecanização da colheita sem queimada e, ainda, estimaram que mesmo com os métodos tradicionais de colheita e processamento o Brasil poderá obter cerca de 94 milhões de toneladas de bagaço em 2010, representando um aumento de cerca de 37% em relação aos cerca de 68 milhões de toneladas estimados para 2000.

Há de se enfatizar, porém, que a hierarquia para a destinação final do RSU considerando o critério de resíduo final mínimo, deve ser: redução da geração na fonte; reutilização do material produzido; reciclagem; recuperação de energia e aterro sanitário (SERÔA DA MOTTA & CHERMONT, 1996 apud OLIVEIRA, 2000).

No caso das cascas de coco a redução da geração na fonte e a reutilização do material não se aplicam, entendendo-se aqui a reutilização como reuso que visa a atender aos mesmos requisitos de uso existentes anteriormente ao descarte, enquanto a reciclagem é considerada como processo de transformação que possibilita o aproveitamento do material em usos diversos.

Via de regra os materiais considerados como recicláveis são aqueles não contaminados, formados por papel, plástico, vidro e metais. Os materiais de origem orgânica, como restos de alimentos, madeira, papel e podas de jardim, normalmente quando passam por processo de aproveitamento são destinados a compostagem (OLIVEIRA, 2000).

As cascas de coco verde têm um grande potencial de aproveitamento e embora estando presentes no RSU são pouco usadas para a geração de energia ou mesmo para a obtenção de adubo ou utilização do metano formado nos aterros pela decomposição.

O aproveitamento de resíduos recicláveis pode acarretar em diminuições da demanda de energia e de emissão de GEE. Em estudo sobre a quantidade de energia e emissão de CO_2 evitadas devido à reciclagem de resíduos (alumínio, plástico, papel, aço e vidro) no Brasil, Pimenteira et al. (2004) estimaram que se todo o resíduo gerado no país em 1996 fosse reciclado seria evitada a emissão de cerca de 18,3 Mt de CO_2 no período de 2000 a 2007, para um cenário muito conservador. Fazendo uso de um cenário um pouco menos conservador, tal emissão seria da ordem de 28,4 Mt de CO_2. Os cálculos foram baseados na emissão evitada como conseqüência da diminuição na geração de energia proporcionada pelo processo de reciclagem.

Em estudo usando um modelo de insumo-produto ("input-output") sobre a reciclagem do resíduo sólido urbano da cidade do Rio de Janeiro, Pimenteira et al. (2005) concluíram que a reciclagem diminui a emissão de gases de efeito estufa e reduz a demanda de energia no meio produtivo como conseqüência do uso dos materiais secundários oriundos da reciclagem.

Oliveira & Rosa (2003) em estudo sobre o potencial de uso do resíduo brasileiro, com abordagem dos aspectos energético, ambiental, social e econômico, pontuaram que a coleta seletiva poderia evitar a emissão de 10 milhões de toneladas equivalentes de carbono quando comparada à coleta convencional.

É notório, portanto, que a seqüência usando o critério do resíduo final mínimo deve ser aplicada quando possível. No caso do coco há especificidade por se tratar de um produto ligado à cultura e à tradição culinária do país. Portanto, a geração das cascas é praticamente inevitável fazendo com que a busca de alternativas de uso sustentável

desse resíduo seja alvo de pesquisas para que ele não seja destinado aos aterros. A quantidade de cascas de coco geradas e a conseqüente emissão de metano nos aterros são abordadas a seguir.

4.1. A geração de cascas de coco verde (*Cocos nucifera*) no Brasil e na Cidade do Rio de Janeiro

A geração de cascas de coco é função direta do consumo do fruto, cuja produção no Brasil aumentou cerca de 100% no período de 1997 a 2002, conforme visto no capítulo 1.

Para a quantificação do resíduo de coco gerado, adotou-se como base de cálculo a produção do fruto no país, no município e na região metropolitana do Rio de Janeiro (IBGE – PAM, 2002).

Admitindo-se que cada coco gera, em média, um resíduo de cascas de 1,5 Kg e que todo fruto é consumido ainda verde, a produção agrícola no Brasil em 2002, aproximadamente 1,928 bilhões de frutos, geraria, potencialmente, 2,892 milhões de toneladas de casca de coco verde.

O aumento considerável da produção e da produtividade no período compreendido entre 1997 e 2002 permite estabelecer, em um cenário de crescimento linear da produção, que a geração potencial de cascas de coco chegará a 5,2 milhões de toneladas/ano em 2012, representando um aumento de 80% na quantidade potencial de cascas de coco gerada, em relação ao ano de 2002 (ver Gráfico 4.1).

O percentual potencial de cascas de coco geradas em relação a todo o lixo coletado no Brasil no ano de 2000, que foi de 157.708 t/dia, [IBGE-PNSB-2000 (2004) – correspondência particular fornecida pela Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sócias, corrigindo o valor constante do PNSB-2000 (2002),

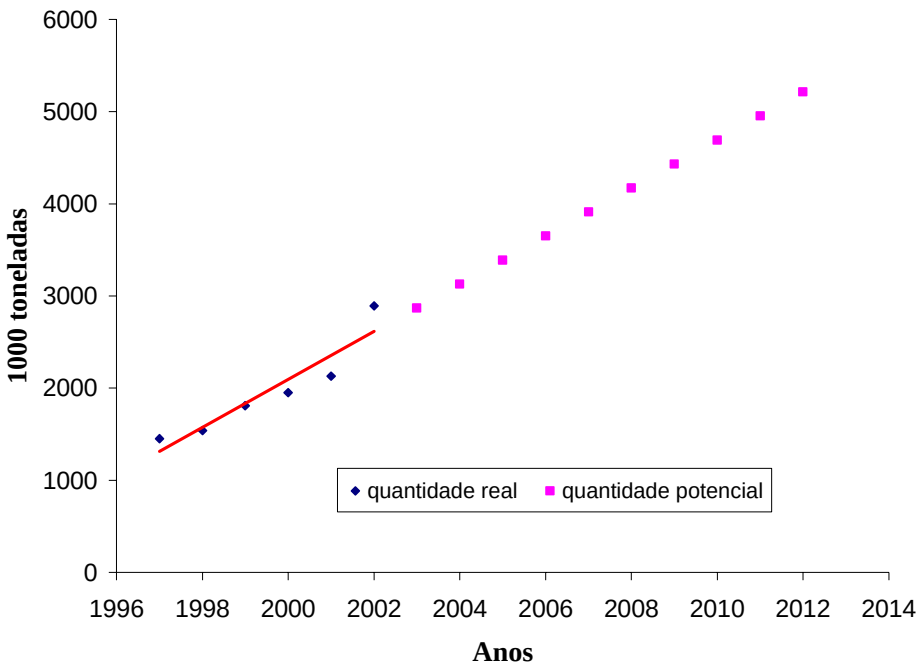


Gráfico 4.1– Curva de crescimento linear da quantidade potencial de casca de coco verde, gerada a partir da evolução real no período de 1997 a 2002.

que era de 228.413 t/dia], seria de 3,4%, o que já traduzia, àquela época, a relevância de se buscar um aproveitamento sustentável das cascas de coco verde.

Uma forma mais realista de se avaliar o impacto das cascas de coco na quantidade de resíduo sólido urbano é não se considerar todo o lixo coletado, mas somente a fração composta por matéria orgânica, papel/papelão, folhas, madeira e pano (fração organo-celulósica) que possui tempo de degradação comparável ao das cascas de coco. No município do Rio de Janeiro, situado no estado do Rio de Janeiro, na região sudeste do Brasil, e com características de representatividade do comportamento social do país, tal fração representa 75% da composição total do lixo (COMLURB). Considerando-se o mesmo valor para o Brasil, o percentual potencial de cascas de coco em relação à fração organo-celulósica, seria de 4,5%.

O cálculo do impacto provocado pelas cascas de coco no município do Rio de Janeiro pode ser efetuado a partir da quantidade de coco produzida na região, uma vez

que não há dados confiáveis sobre o consumo. No ano de 2002, o município do Rio de Janeiro produziu 3,15 milhões de unidades. Esta quantidade não representa, seguramente, o consumo efetivo na cidade, pois parte do que é produzido em outras regiões do estado do Rio de Janeiro e no nordeste do Brasil, este último responsável por cerca de 72% da produção nacional, também é destinado ao município do Rio de Janeiro. Entretanto, como não há dados disponíveis sobre o volume exato comercializado optou-se por utilizar os valores da produção municipal e da região metropolitana. Neste sentido, as estimativas feitas adiante estarão subdimensionadas, uma vez que consideram apenas a produção no município e na região metropolitana e não o consumo efetivo.

A produção municipal teria o potencial de gerar 4,72 mil toneladas de cascas de coco. Este valor corresponde a 0,15% do total de lixo gerado no município, que foi de 3,24 milhões de toneladas, para o mesmo ano de 2002 (COMLURB). Se fosse considerada apenas a fração organo-celulósica este valor passaria para 0,2%.

Considerando-se a produção da área metropolitana do Rio de Janeiro, 23,19 milhões de unidades, o potencial de geração de cascas de coco seria de 34,78 mil toneladas, correspondendo a 1,1% do total de lixo recolhido no município, ou 1,4% da fração organo-celulósica.

Resumindo-se, pode-se dizer que as cascas de coco verde representam um percentual que estaria compreendido, no mínimo, entre 0,15% e 1,1% do total de lixo recolhido no município. O primeiro percentual foi calculado admitindo-se que toda a produção de coco da cidade foi consumida no próprio município, enquanto o segundo foi obtido supondo-se que toda a produção da área metropolitana foi consumida na cidade do Rio de Janeiro.

Se fosse considerada apenas a fração organo-celulósica do lixo, estes valores passariam para 0,2% e 1,4%, respectivamente. É bom lembrar que estes valores ainda estão subestimados uma vez que não consideram a parcela da produção da região Nordeste destinada para o município do Rio de Janeiro.

Como a contribuição das cascas de coco em nível nacional está sobredimensionada, pois estabelece que todo coco é "consumido" verde e posteriormente destinado aos aterros, enquanto as estimativas para o município estão subdimensionadas, considerando até mesmo a produção da região metropolitana, pode-se generalizar dizendo que a participação das cascas de coco no RSU está compreendida entre os dois valores, ou seja, 1,1% e 3,4%.

4.2. A quantidade de metano gerado pelo RSU e pelas cascas de coco verde

A emissão de metano é um impacto provocado pelas cascas de coco, sendo um importante fenômeno a ser considerado se estes resíduos ficam submetidos a condições de decomposição anaeróbica, quando dispostos em aterros ou vazadouros, como conseqüência de sua não utilização.

Com o objetivo de comparar a quantidade potencial de metano produzido, a partir das cascas de coco verde, com o valor esperado do gás gerado pelo total do lixo coletado, usou-se a metodologia de cálculo do Painel Intergovernamental sobre Mudança do Clima (IPCC, 2000).

O método usado foi o Padrão, série 1 ("Defaut-tier 1"), que apresenta a seguinte fórmula de cálculo:

Emissões de CH_4 = [(RSM_T • RSM_F • L_o) – R] (1 - OX), (4.1)

onde:

RSM_T= Resíduo Sólido Municipal Total;

RSM_F= Fração do Resíduo Sólido Municipal disposta em aterros;

L_o= Potencial de Geração de Metano [FCM • COD • COD_F • F • 16 /12];

FCM = Fator de correção de metano;

COD = Carbono orgânico degradável [(0,4 • A) + (0,17 • B) + (0,15 • C) + (0,3 • D)];

A = Fração de papel ou têxtil do RSM;

B = Fração de resíduo de jardim, de parque ou outras matérias putrescíveis não orgânicas do RSM;

C = Fração de resíduo de comida do RSM;

D = Fração de madeira ou palha do RSM;

COD_F = Fração do COD dissimilada;

F = Fração de CH_4, por volume, em gases de aterros;

R = CH_4 recuperado;

OX = Fator de oxidação.

Todas as considerações foram efetuadas admitindo-se que as cascas de coco verde teriam a mesma destinação do lixo coletado nos municípios, portanto todas as referências feitas ao Resíduo Sólido Municipal (RSM) foram substituídas pelo Resíduo de Casca de Coco (RCC)

A fórmula adaptada utilizada foi:

Emissões de CH_4 = [(RCC_T • RCC_F • L_o) – R] (1 – OX), (4.2)

onde:

RCC_T = Resíduo de Casca de Coco Total;

RCC_F = Fração de Casca de Coco disposta em aterro;

L_o= Potencial de Geração de Metano [FCM • COD • COD_F • F • 16/12];

FCM = Fator de correção de metano;

COD = Carbono orgânico degradável (0,3 • D);

D = Fração de fibra ou celulose do RCC;

COD_F = Fração do COD dissimilada;

F = Fração de CH_4, por volume, em gases de aterros;

R = CH_4 recuperado;

OX = Fator de oxidação.

Os cálculos foram feitos considerando-se os percentuais de disposição de lixo fornecido pelo PNSB-2000 (2002) que indicam que cerca de 75% dos domicílios dos municípios têm o lixo produzido recolhido, embora 99% dos municípios do Brasil realizem coleta (ver capítulo 1).

O valor do resíduo de casca de coco (RCC_T) usado foi baseado na produção agrícola nacional de coco do ano de 2000, ou seja, 1,30 x 10^3 milhões de frutos, que geram 1,95 milhão de toneladas de cascas de coco.

O valor da fração de resíduo de casca de coco disposta em aterro (RCC_F) usado foi 0,75. Este valor está subdimensionado uma vez que traduz o percentual de residências com coleta de lixo e não a quantidade percentual coletada e disposta em aterros. Nas cidades com maior número de habitantes há uma geração maior de lixo do que nas cidades menores e é, justamente, onde há maior geração é que ocorre, também, maior eficiência na coleta. A quantidade real disposta em aterro é, sem dúvida, superior a 75% da quantidade de cascas de coco gerada.

Considerando um cenário conservador para a disposição de lixo coletado, foi usado um fator de 0,4 para o FCM, o que atende às recomendações do IPCC para paises em desenvolvimento.

Utilizando dados do PNSB-2000 (2002) e do IBGE-PNSB-2000 (2004), discutidos no capítulo 1, num cenário mais realista, foram usados valores de 70% de lixo destinado a aterros sanitários (FCM = 1,0) e os 30% restantes, destinados a aterros não gerenciados com menos de cinco metros de profundidade (FCM = 0,4).

Para o cálculo do COD, foram desprezadas as contribuições oriundas das parcelas A, B e C na Fórmula 4.1. Considerou-se o teor de material seco nas cascas de coco (15%) e o resíduo de carbono fixo (25%). Este último percentual se aproxima bem do fator 0,3 indicado para frações de madeira e palha (0,3 x D), constante da fórmula original do IPCC. O valor usado, então, foi 0,25 x 0,15 = 0,038, enquanto teoricamente seria 0,3 x 0,15 = 0,045.

Em resumo, as considerações feitas foram:

$\mathbf{RCC_T}$ = Para o Brasil: produção agrícola nacional do ano 2000 x 1,5 =1.952.116 t ou 1.952,116 Gg

Para o Rio de Janeiro: produção agrícola da região metropolitana de 2002 x 1,5 = 34.784 t ou 34,784 Gg

$\mathbf{RCC_F}$ = 0,75

FCM = 0,4 (cenário conservador) e (0,7 x 1,0) + (0,3 x 0,4) para o cenário mais realista

COD = 0,038 [base seca das cascas (0,15) x teor de carbono fixo (0,25)]

COD_F = 0,6 (recomendado pelo IPCC é 0,5-0,6 quando não se exclui a lignina da massa do resíduo)

F = 0,5 (recomendado pelo IPCC)

R = 0

OX = 0 (recomendado pelo IPCC)

Para as estimativas de emissão de metano, correspondentes ao RSU, foi aplicada a Fórmula 4.1, considerando-se: (a) as quantidades de RSM foram relativas ao RSU coletado em 2000, para o Brasil, e ao coletado em 2002, para o Rio de Janeiro; (b) o valor do RSM_F foi de 1, considerando que todo o RSM foi destinado a aterros e/ou vazadouros e (c) o valor do COD foi de 0,157, obtido com uso da composição do RSU de 2001, fornecido pela COMLURB e extensivo ao Brasil. Os demais valores são idênticos aos usados para o cálculo das emissões relativas às cascas de coco.

Em resumo, os valores usados foram:

RSM = Para o Brasil: RSU coletado em 2000: 57.563.420 t/ano ou 57.563,42 Gg

Para o Rio de Janeiro: RSU coletado em 2002: 3.240.000 t/ano ou 3.240 Gg

$\mathbf{RSM_F}$ = 1,0 (todo o RSU coletado foi destinado em aterros e/ou vazadouros)

FCM = 0,4 (cenário conservador) e (0,7 x 1,0) + (0,3 x 0,4) para o cenário mais realista

COD = 0,157 (de acordo com composição do lixo fornecida pela CUMLURB em 2001 e extensivo ao Brasil)

COD_F = 0,6 (recomendado pelo IPCC é 0,5-0,6 quando não se exclui a lignina da massa do resíduo)

F = 0,5 (recomendado pelo IPCC)

R = 0

OX = 0 (recomendado pelo IPCC)

Os resultados obtidos estão sintetizados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1 - Quantidade potencial de metano gerado pela disposição de cascas de coco e RSU em vazadouros e aterros no Brasil e na cidade do Rio de Janeiro.

LOCAL	METANO GERADO (Gg / ano)			
	CENÁRIO CONSERVADOR[1]		CENÁRIO REALISTA[2]	
	CASCAS DE COCO	RSU	CASCAS DE COCO	RSU
BRASIL (2000)	8,78	1450	17,9	2971
RIO DE JANEIRO[3] (2002)	0,16	81,6	0,32	167

1- Tudo é disposto em vazadouro
2- 70% são dispostos em aterros e 30% em vazadouros
3-Considerando a produção da Região Metropolitana do Rio de Janeiro

Para melhor se avaliar a dimensão das emissões de metano geradas, pode-se propor um indicador de monitoração da geração de metano a partir de cascas de coco, que seria (Kg CH_4) / (t de coco) ou (Kg CH_4) / (100 Kg de coco). Tais indicadores assumiram valores de 6,0 Kg CH_4/t de coco, para o cenário conservador, e 12 Kg CH_4/t de coco para o cenário realista. Em termos percentuais, os valores seriam 0,6% e 1,2%, respectivamente.

Um outro indicador a ser utilizado é aquele que pode traduzir a contribuição potencial das cascas de coco na produção de metano, em relação ao metano produzido pelo lixo, em determinado ano. Tal indicador é: (t CH_4 de coco ao ano) / (t CH_4 do RSU ao ano) x 100 e assumiria os valores de 0,6% para o Brasil e 0,2% para o Rio de Janeiro, tanto para o cenário conservador quanto para o realista.

Este indicador não é sensível ao tipo de destinação final imposta aos resíduos, uma vez que a produção do metano, tanto para o coco quanto para o lixo, se fará, para cada um dos cenários, dentro das mesmas condições.

Para o caso específico em estudo, os valores encontrados são diferentes porque há no menor (0,2%) um subdimensionamento do consumo efetivo de coco, baseado apenas na produção local do fruto e não no consumo real. O segundo valor, 0,6%, está superestimado, uma vez que admitiu-se que toda a produção nacional de coco seria consumida ainda verde, o que de fato não ocorre.

O que se pode dizer, sobretudo, é que a contribuição de metano oriundo do coco estaria entre 0,2% e 0,6% de todo o metano gerado nos aterros e vazadouros.

Um último indicador importante é o que traduz o potencial de geração de metano do coco em relação àquele gerado pelo RSU, por unidade de massa. Tal indicador é: (Kg CH4 / t coco) / (Kg CH4 / t RSU). O valor encontrado foi de 0,24. Portanto, para o Brasil e para o Rio de Janeiro, a produção potencial de metano nos aterros a partir do coco é 24% da capacidade do lixo em produzir o gás.

Outra correlação importante que pode ser feita é comparar as emissões de metano do RSU, obtidas neste trabalho, com as que são fornecidas pelos inventários do Brasil e do Rio de Janeiro, discutidas no capítulo 2, na Tabela 2.8 e na Tabela 2.9. (COMUNICAÇÃO NACIONAL, 2004, INVENTÁRIO DO RJ, 2000).

A quantidade de metano emitido no ano de 1994 no Brasil, de acordo com o inventário (COMUNICAÇÃO NACIONAL, 2004) foi de cerca de 677 Gg, enquanto os valores encontrados neste trabalho para o ano de 2002, para os dois cenários usados, são de 1450 e 2971 Gg (Tabela 4.1). As datas são muito diferentes, mas se for extrapolada para o Brasil a variação observada no município do Rio, no período entre 1990 e 1998, que foi de 71%, as emissões do país em 1998 seriam de aproximadamente 1157 Gg. Este valor, ainda abaixo da faixa aqui encontrada, indica uma boa possibilidade de coerência entre os cálculos efetuados neste capítulo.

A emissão de metano constante no inventário do Brasil (ano de 1994) foi originada por uma massa de RSU de 21.554 Gg para uma conformação de 76,1% de vazadouros, 21,8% de aterros e, ainda, 2,1% classificados como outros. O FCM foi de 0,6, recomendado para quando não há dados sobre a profundidade dos reservatórios. Aplicando a massa de RSU usada pelo inventário na metodologia deste trabalho, os valores encontrados são de 542 e 1.112 Gg, ficando o valor do inventário (677 Gg) dentro da faixa encontrada.

Com relação ao município do Rio de Janeiro, o inventário (INVENTÁRIO DO RJ, 2000) traz o valor de 222,5 Gg para o ano de 1998, enquanto as emissões da Tabela 4.1, relativas ao ano de 2002, estão na faixa de 81,6 a 167 Gg e são, evidentemente, menores, mesmo para o cenário mais realista. Fazendo uso da massa de RSU utilizada no inventário (2.941 Gg), as emissões, segundo as situações de contorno deste trabalho, estariam entre 74 e 151 Gg. A comparação neste caso deve ser efetuada com o segundo cenário, que é o que mais se aproxima das considerações do inventário.

Há alguns dados que contribuem para a emissão do inventário estar maior. São eles: a disposição do RSU usada naquele documento foi específica, sendo de 66,5% para aterros, 28,5% para vazadouros com mais de 5m e somente 5% para vazadouros com menos de 5%. Como o fator de correção de metano (FCM) para aterros com mais de 5 m é 0,8, enquanto para os de menos de 5 m é de 0,4, há uma diferença para o cenário realista traçado neste trabalho (que usou 70% para aterros e 30% para vazadouros com menos de 5 m); outro fato é que o valor do COD no inventário era de 0,167 e neste trabalho é de 0,157; O COD_F aqui foi de 0,6, enquanto no inventário foi de 0,77.

Cabe lembrar que os fatores usados neste trabalho são baseados em dados para o Brasil, como os percentuais de aterro e vazadouro, em fatores gerais recomendados pelo

IPCC, como o COD_F de 0,6 (usado quando a massa de lignina for incluída) e em dados do Rio, como o valor do COD de 0,157 (calculado com a composição do lixo do ano de 2001). Como a intenção aqui é de comparar dados para o Brasil com os do Rio de Janeiro, julgou-se importante manter a mesma metodologia para as duas regiões.

Resumindo o que foi discutido, pode-se dizer que as estimativas de emissões de metano gerado pelo RSU, efetuadas neste trabalho, estabelecem faixas de valores que guardam boa correlação com as quantidades existentes nos inventários do município do Rio de Janeiro e do Brasil.

Não fez parte do escopo deste trabalho a estimativa da emissão evitada de carbono devido ao aproveitamento das cascas de coco verde. É, portanto, importante que sejam efetuados estudos para avaliar as emissões, tanto de CH_4 quanto de CO_2, que são evitadas devido a não disposição das cascas em aterros e vazadouros.

5. A utilização sustentável das cascas de coco verde

A destinação sustentável das cascas de coco (*Cocos nucifera)* verde pode ser conseguida com o uso das fibras das cascas do fruto na obtenção de compósitos que podem ser empregados de maneira diversificada, dependendo da natureza dos materiais usados nas formulações.

A possibilidade de usos múltiplos das fibras de coco, mencionados no capítulo 3 deste trabalho, tais como incorporação ao cimento e ao solo e reforço de biopolímeros, comprovam o potencial de uso das fibras do fruto. Novas aplicabilidades para a fibra como a fabricação de compósitos com celulose de papel, que podem ter usos diversos dentre os quais a obtenção de telhas e, ainda, a confecção de chapas de partículas com substituição parcial da madeira foram desenvolvidas e são apresentadas neste capítulo.

5.1. Fabricação de telha

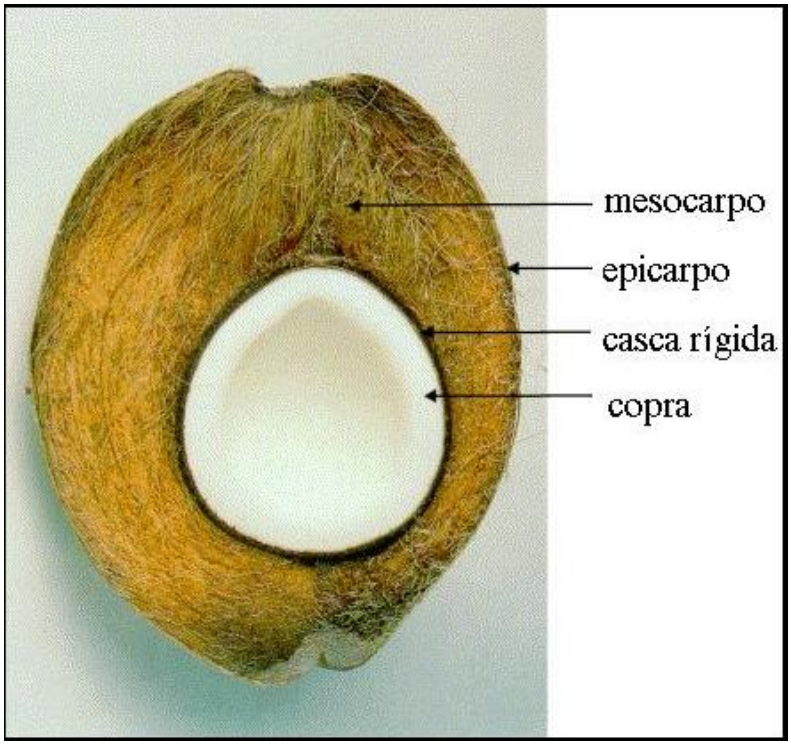
Uma alternativa que propicia o uso sustentável da casca do coco verde é a obtenção de compósitos de fibras de coco e celulose de papel usado, constituindo-se um produto que utiliza material 100% reciclado em sua formulação.

Para obtenção de compósitos com fibras de coco verde visando, inicialmente, a utilização como cobertura para construções, foram usadas matrizes celulósicas de papel e fibras de coco, como elemento de reforço. Com isso, almejou-se verificar se as fibras de coco poderiam conferir maior resistência mecânica aos compósitos além de dar destinação sustentável ao resíduo de coco.

5.1.1. Obtenção dos compósitos

As fibras de coco são obtidas do mesocarpo do fruto (folhelho). Tanto no fruto verde quanto no fruto maduro há possibilidade de extração das fibras, como visto no

capítulo 3. A figura 5.1 ilustra as principais partes do coco. Nesta figura a copra está desenvolvida, o que é uma característica do fruto maduro. No fruto verde a copra é praticamente inexistente e a casca rígida ainda não está formada completamente. Neste trabalho, que faz uso de frutos verdes, é designado como casca o conjunto do epicarpo, do mesocarpo e da casca rígida em formação.



Fonte: van Dam et al. (2004)

Figura 5.1 – Partes principais do coco maduro. As fibras são extraídas do mesocarpo, a copra contém material gorduroso e o epicarpo possui resinas que dão proteção ao fruto. Nos frutos verdes a casca ainda está em formação e a copra praticamente não existe, havendo abundância de água na parte interna da copra. Para o fruto verde a designação de casca, usada neste trabalho, abrange o epicarpo, o mesocarpo e a casca rígida em formação.

As fibras de coco (*Cocos nucifera*) verde foram fornecidas pelo CENPA (Centro de Pesquisas Ambientais) com comprimento médio na faixa de 2-4 cm, sendo obtidas a partir do coco inteiro com o uso de moinho de martelo. As fibras de coco não foram submetidas a nenhum processo para controle do teor de água, uma vez que o

Tabela 5.1 - Experimentos efetuados para obtenção de compósitos de fibras de coco verde e papel reciclado.

EXPERIMENTO	ESPECIFICAÇÃO
A	100% de papel usado
B	15% de fibra de coco + 85% de papel usado (p/p)
C	20% de fibra de coco + 80% de papel usado (p/p)
D	25% de fibra de coco + 75% de papel usado (p/p)
E	30% de fibra de coco + 70% de papel usado (p/p)

processamento para obtenção dos compósitos ocorre em meio aquoso. Todo o procedimento de obtenção dos compósitos foi pautado nas condições de produção existentes na unidade fabril onde, posteriormente, foram produzidos, em escala experimental, os sistemas de cobertura (telha).

O papel usado na parte laboratorial foi de resíduo de escritórios, enquanto na parte industrial foi de procedência variada.

A realização prática da pesquisa aconteceu no laboratório de Energia da Madeira e no de Celulose e Papel, ambos pertencentes ao Departamento de Produtos Florestais (DPF), do Instituto de Florestas (IF), na Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). Foram realizados estudos preliminares de obtenção de compósitos na oficina de papel reciclado do Núcleo de Estudo e Apoio ao Menor (NEAM) na Pontifícia Universidade Católica (PUC-RJ).

Para a produção dos compósitos foram usadas misturas com vários percentuais de fibra de coco e papel reciclado. Na Tabela 5.1 constam os experimentos efetuados que foram testados e avaliados.

Os experimentos foram realizados misturando-se água, fibra de coco verde e papel usado em um Refinador Bauer (Figura 5.2). Em cada ensaio, utilizou-se 1,5 Kg de

Figura 5.2 - Refinador Bauer para homogeneização dos insumos para produção dos compósitos. Pertencente ao IF/UFRRJ.

material sólido (fibra e papel) e 60 litros de água. Inicialmente, foram colocados no refinador 57 litros de água, ligou-se a agitação e adicionou-se aos poucos a fibra de coco e o papel, mantendo-se a agitação.

Após a adição de todos os componentes, procedeu-se agitação no refinador por 10 minutos. O material foi recolhido, através da válvula localizada no fundo do refinador, para um recipiente plástico e, depois, transferido para um equipamento ("desaguadouro" - Figura 5.3) formado por três compartimentos, aos quais se encaixaram três molduras quadradas de 50 cm de lado com uma tela para a retenção da massa de papel/fibras de coco, com a conseqüente formação dos compósitos propriamente ditos. O "desaguadouro" era dotado de um sistema acoplado a uma bomba de vácuo para sucção de água dos compósitos. Em cada experimento foram produzidos três painéis de 45 cm x 45 cm para a retirada dos corpos-de-prova.

Os painéis formados (Figura 5.4) foram levados à estufa por 24 horas a uma

Figura 5.3 – "Desaguadouro" - Conjunto de telas projetado e utilizado para a formação de compósitos de fibras de coco verde e papel usado.

Figura 5.4 – Compósito obtido com mistura de papel usado e fibras de coco verde.

temperatura de 70°C e depois prensados a frio a uma pressão de 2,45 MPa, ficando com espessura nominal de 2 mm, sendo submetidos, posteriormente, aos ensaios de avaliação.

5.1.2. Testes laboratoriais nos compósitos

Os corpos-de-prova, obtidos das chapas produzidas, foram aclimatados em uma sala com temperatura de 20 ± 3°C e umidade relativa de 65 ± 5% e destinados aos ensaios de flexão estática (módulo de elasticidade - MOE e módulo de ruptura – MOR), tração (ligação interna - LI), absorção de água (inchamento em espessura – IE - e aumento de massa - AA), de acordo com a norma ASTM D 1037-91.

Os testes de flexão estática e de tração foram efetuados em uma máquina universal de ensaios marca EMIC, modelo MEM 10.000.

Seguem descrições dos testes efetuados:

a. Flexão Estática - Módulo de Ruptura (MOR)

O ensaio para a determinação do módulo de ruptura (MOR), foi efetuado de acordo com a norma ASTM D 1037-91. Dos compósitos com espessura nominal de 2 mm (com valores reais compreendidos entre 2 e 3 mm) foram obtidos oito corpos-de-prova, para cada um dos experimentos descritos na Tabela 5.1, sendo a metade retirada com a largura paralela a um lado da chapa e a outra metade com a largura perpendicular ao referido lado. A largura nominal foi de 50 mm e o comprimento nominal de 24 vezes a espessura nominal mais 50 mm, ou seja, 98 mm. O vão entre as duas bases de apoio do corpo-de-prova foi de 48 mm (24 vezes a espessura nominal). A carga foi aplicada no centro do corpo-de-prova a uma velocidade de deslocamento de 3 mm/min, sendo a carga máxima anotada e o MOR calculado pela fórmula:

$$\mathbf{MOR = 3\,P\,L\,/\,2\,b\,d^2} \qquad \mathbf{(5.1)}$$

onde:

MOR = módulo de ruptura, em Kgf/mm^2;

P = carga máxima, em Kgf;

L = comprimento do vão de apoio do corpo-de-prova, em mm;

b = largura do corpo-de-prova, em mm;

d = espessura do corpo-de-prova, em mm.

Os resultados dos ensaios foram submetidos a testes de rejeição de valores dispersos (Teste de Dixon e Teste de Grubbs). As médias dos resultados das análises foram convertidas para MPa e juntamente com os respectivos desvios-padrão, constam da Tabela 5.2.

Tabela 5.2- Resultados dos ensaios de módulo de ruptura (MOR) nos compósitos de papel usado e fibras de coco.

FIBRAS (% p/p)	**MOR[1] (MPa)**	**DP[2] (MPa)**	**CV[3] (%)**
0	8,8	1,3	14
15	15,5	5,7	37
20	8,0	2,3	28
25	7,5	1,5	20
30	7,8	1,0	13

1- MOR – Módulo de ruptura
2- DP – Desvio-padrão
3- CV – Coeficiente de variação

b. Flexão Estática - Módulo de Elasticidade (MOE)

A determinação do módulo de elasticidade (MOE), foi efetuada de acordo com a norma ASTM D 1037-91. O MOE é calculado no mesmo teste em que se calcula o MOR, fazendo-se uso do valor da carga no limite de proporcionalidade. No teste é plotada uma curva de carga x deslocamento e os valores de P_l e y_1, na fórmula 5.2, são obtidos da seção reta da curva. O MOE foi calculado pela fórmula:

$$\mathbf{MOE = L^3 P_l / 4\, b\, d^3 y_l} \qquad \mathbf{(5.2)}$$

onde:

MOE = módulo de elasticidade, em Kgf/mm^2;

L = comprimento do vão de apoio do corpo-de-prova, em mm;

P_l = carga no limite de proporcionalidade, em Kgf;

b = largura do corpo-de-prova, em mm;

d = espessura do corpo-de-prova, em mm;

y_l = deflexão na carga do limite de proporcionalidade.

Os resultados dos ensaios foram submetidos a testes de rejeição de valores dispersos (Teste de Dixon e Teste de Grubbs). As médias dos resultados das análises foram convertidas para MPa e juntamente com os respectivos desvios-padrão, constam da Tabela 5.3.

Tabela 5.3 - Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade (MOE) nos compósitos de papel usado e fibras de coco.

FIBRAS (% p/p)	**MOE[1] (MPa)**	**DP[2] (MPa)**	**CV[3] (%)**
0	411	132	32
15	541	189	35
20	162	48	30
25	131	29	22
30	174	30	17

1- MOE – Módulo de elasticidade
2- DP – Desvio-padrão
3- CV – Coeficiente de variação

c. Resistência à tração perpendicular à superfície da chapa – Ligação Interna (LI)

O teste de ligação interna (LI) é uma determinação de tração perpendicular à superfície da chapa e serve para averiguar a força de coesão interna dos constituintes do produto. A determinação da LI foi efetuada de acordo com a norma ASTM D 1037-91.

Foram testados oito corpos-de-prova quadrados com área nominal individual de 25 cm^2, para cada um dos experimentos descritos na Tabela 5.1. O teste consiste em fixar, com uso de cola/adesivo, em cada um dos lados do corpo-de-prova, placas

quadradas de aço ou liga de alumínio com 50 mm de lado e com reentrâncias, em duas das laterais opostas, para fixação nas garras do aparelho de ensaio. Nos testes realizados foi efetuada uma adaptação, substituindo-se as placas de aço ou alumínio por outras feitas de madeira. O adesivo usado foi à base de poliacetato de vinila, próprio para colagem de madeira, aglomerados etc. A figura 5.5 mostra as placas de fixação de madeira e o corpo-de-prova submetido ao ensaio.

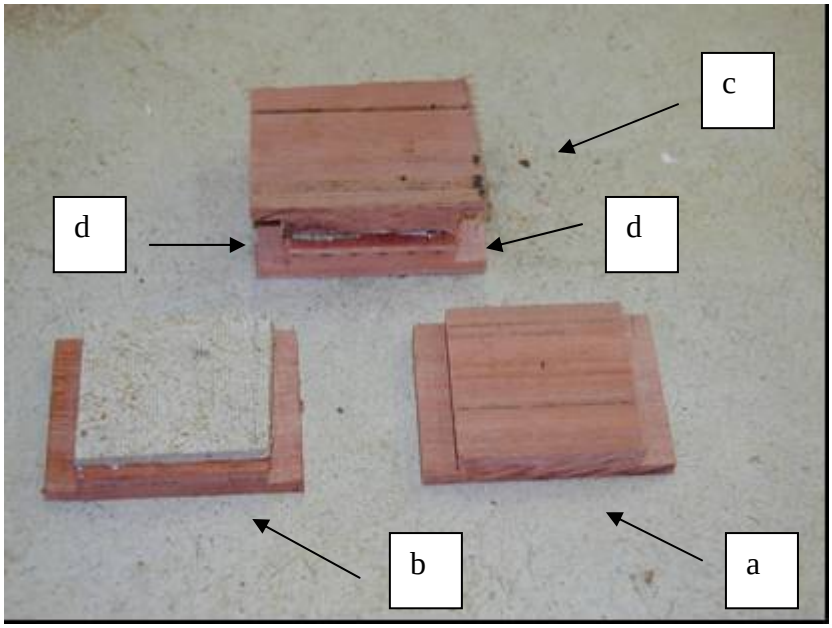


Figura 5.5 – Corpo-de-prova e placas de fixação de madeira usados na determinação da resistência à tração perpendicular à superfície da chapa – ligação interna (LI): (a) placa de fixação de madeira; (b) corpo-de-prova com um dos lados fixados à placa de madeira; (c) corpo-de-prova fixado nos dois lados, pronto para ser submetido ao ensaio de determinação de LI e (d) base para encaixe na garra inferior da máquina de ensaios.

Os corpos-de-prova foram colocados na máquina de ensaios e tracionados até a carga máxima, onde há rompimento ou ocorrência de falha. A LI foi calculada pela fórmula:

$$LI = P / b\, b' \qquad (5.3)$$

onde:

LI = ligação interna, Kgf/mm^2;

P = carga máxima de tração perpendicular no rompimento ou falha, em Kgf;

b = largura do corpo-de-prova, em mm;

b' = comprimento do corpo-de-prova, em mm.

Os resultados dos ensaios foram submetidos a testes de rejeição de valores dispersos (Teste de Dixon e Teste de Grubbs). As médias dos resultados das análises foram convertidas para KPa e juntamente com os respectivos desvios-padrão, constam da Tabela 5.4.

Tabela 5.4 - Resultados dos ensaios de ligação interna (LI) nos compósitos de papel usado e fibras de coco.

FIBRAS (% p/p)	**LI[1] (KPa)**	**DP[2] (MPa)**	**CV[3] (%)**
0	89,2	11,8	13
15	107,8	24,5	22
20	69,6	10,8	15
25	65,7	6,9	11
30	59,8	5,9	9

1- LI – Ligação interna
2- DP – Desvio-padrão
3- CV – Coeficiente de variação

d. Absorção de água – aumento de massa (AA) e inchamento em espessura (IE).

A determinação de água absorvida foi efetuada de acordo com a norma ASTM D 1037-91. Os testes foram efetuados em quatro corpos-de-prova para cada experimento descrito na Tabela 5.1. Os corpos-de-prova, que eram quadrados com largura nominal de 15 cm, foram pesados para a determinação de aumento de massa. Já para a determinação do aumento de espessura foram efetuadas quatro medidas no centro de

cada um dos lados, a uma distância de 25 mm da borda, e anotada a média das quatro medições. Os corpos-de-prova foram mergulhados verticalmente em água, fazendo-se novas leituras, de massa e de espessura, após 2h e após 24 h do início do teste. Os resultados são expressos em percentual de água absorvida - aumento de massa (AA) e aumento ou inchamento em espessura (IE). A figura 5.6 apresenta os corpos-de-prova após o ensaio, com destaque para as marcas, no centro de cada um dos lados, onde foram efetuadas as medidas de espessura.

Figura 5.6 – Corpos-de-prova após ensaio de absorção de água, evidenciando as marcas, no centro de cada um dos lados, onde foram feitas as medições de espessura.

Os resultados dos ensaios foram submetidos a testes de rejeição de valores dispersos (Teste de Dixon e Teste de Grubbs). As médias dos resultados das análises juntamente com os respectivos desvios-padrão, constam da Tabela 5.5 (aumento de massa) e Tabela 5.6 (aumento de espessura).

Tabela 5.5 - Resultados dos ensaios de absorção de água - aumento de massa (AA) nos compósitos de papel usado e fibras de coco.

FIBRAS (% p/p)	AA[1] 2h (%)	DP[2] (MPa)	CV[3] (%)	AA[1] 24h (%)	DP[2] (MPa)	CV[3] (%)
0	134	5	4	174	19	11
15	171	52	30	193	51	26
20	254	13	5	276	16	6
25	274	7	2	293	6	2
30	275	4	2	296	4	1

1- AA – aumento de massa, por absorção de água
2- DP – Desvio-padrão
3- CV – Coeficiente de variação

Tabela 5.6 - Resultados dos ensaios de absorção de água - aumento de espessura (IE) nos compósitos de papel usado e fibras de coco.

FIBRAS (% p/p)	IE[1] 2h (%)	DP[2] (MPa)	CV[3] (%)	IE[1] 24h (%)	DP[2] (MPa)	CV[3] (%)
0	85	9	11	130	11	8
15	114	8	7	126	11	9
20	113	8	7	121	4	4
25	136	8	6	159	4	3
30	137	8	5	150	3	2

1- IE – aumento de massa, por inchamento ou aumento em espessura.
2- DP – Desvio-padrão
3- CV – Coeficiente de variação

A Tabela 5.7 apresenta as médias dos resultados de todos os testes realizados nos experimentos descritos na Tabela 5.1 e que foram apresentados separadamente nos itens a; b; c; d, acima.

As médias dos resultados obtidos nos testes, constantes da Tabela 5.7, foram comparados graficamente, a fim de se avaliar as tendências de comportamento dos materiais quando as proporções de fibra de coco verde e papel variaram.

Tabela 5.7 – Médias dos resultados dos ensaios efetuados nos compósitos de fibra de coco com papel usado.

FIBRAS (% p/p)	MOR[1] (MPa)	MOE[2] (MPa)	LI[3] (KPa)	ABSORÇÃO DE ÁGUA			
				Aumento de massa (%)		Aumento de espessura (%)	
				2horas	24 horas	2 horas	24horas
0	8,8	411	89,2	134	174	85	130
15	15,5	541	107,8	171	193	114	126
20	8,0	162	69,6	254	276	112	121
25	7,5	131	65,7	274	293	136	159
30	7,8	174	59,8	275	296	137	150

1- MOR – Módulo de ruptura
2- MOE – Módulo de elasticidade
3- LI – Ligação Interna

5.1.3. Comparação dos resultados dos testes laboratoriais nos compósitos

A comparação das médias dos resultados obtidos nos testes laboratoriais, constante da Tabela 5.7, foi efetuada com auxílio de gráficos e é apresentada a seguir.

A tendência de modificação de MOR com a variação do percentual de fibras incorporadas à matriz de papel, (experimentos A, B, C, D, e E da Tabela 5.1) pode ser observada no Gráfico 5.1.

No Gráfico 5.2 é demonstrada a correlação do percentual de fibras de coco com o MOE para os experimentos da Tabela 5.1, enquanto no Gráfico 5.3 é feita a correlação para a LI.

A influência do percentual de fibras no aumento de massa devido à absorção de água é apresentada no Gráfico 5.4, enquanto o Gráfico 5.5 demonstra a conseqüência da adição das fibras no aumento de espessura por absorção de água, para os experimentos da Tabela 5.1.

No Gráfico 5.1 pode-se observar uma tendência ao aumento do MOR, com 15% de fibras incorporadas, sugerindo uma faixa ótima entre 8% e 17%. O aumento observado entre os compósitos sem adição de fibras e com 15% foi da ordem de 75%.

Para os percentuais de fibra superiores a 15%, os valores de MOR tendem a ser inferiores, porém próximos ao que foi encontrado para o compósito com 100% de papel.

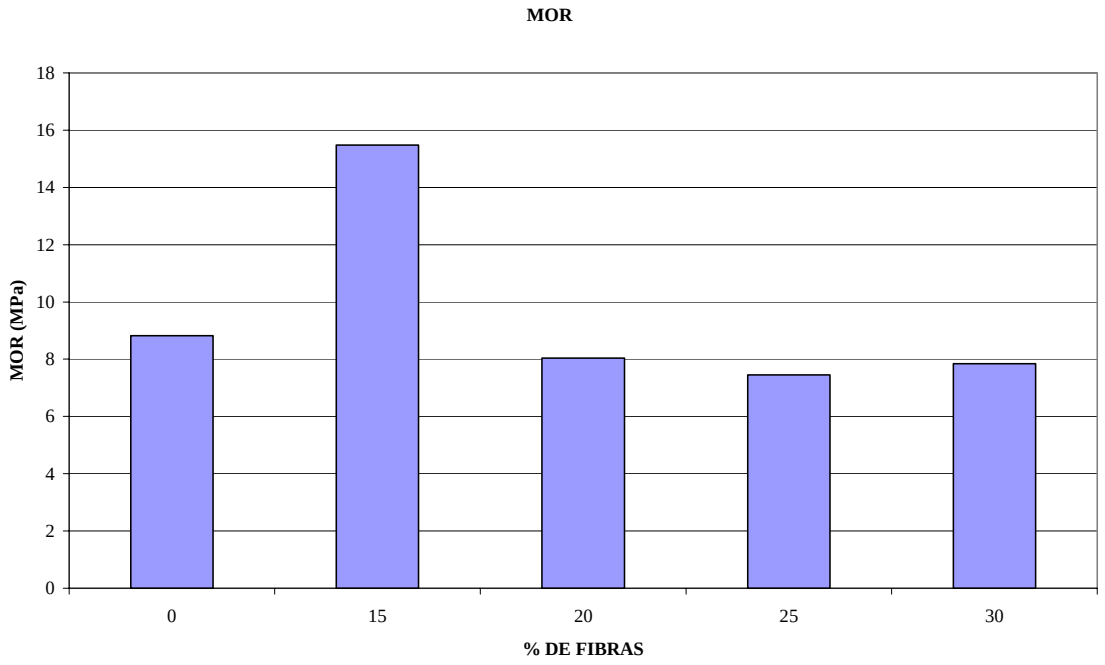


Gráfico 5.1 - Correlação entre o percentual de fibras incorporadas à matriz de papel com o módulo de ruptura (MOR). Experimentos A, B, C, D e E da Tabela 5.1.

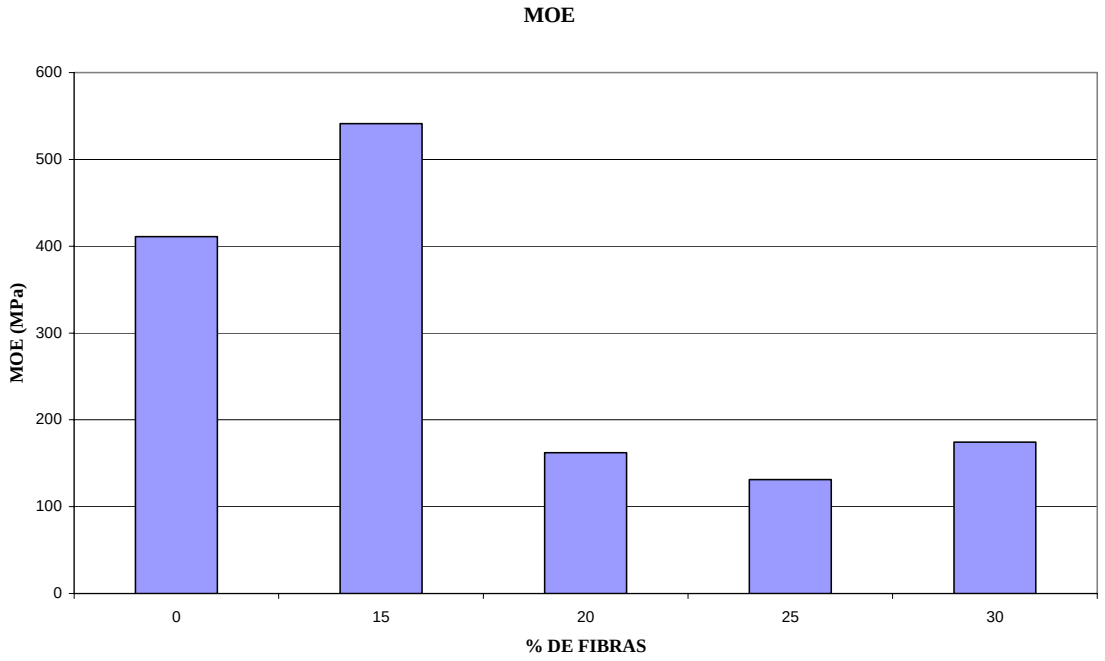


Gráfico 5.2 - Correlação entre o percentual de fibras incorporadas à matriz de papel com o módulo de elasticidade (MOE). Experimentos A, B, C, D e E da Tabela 5.1.

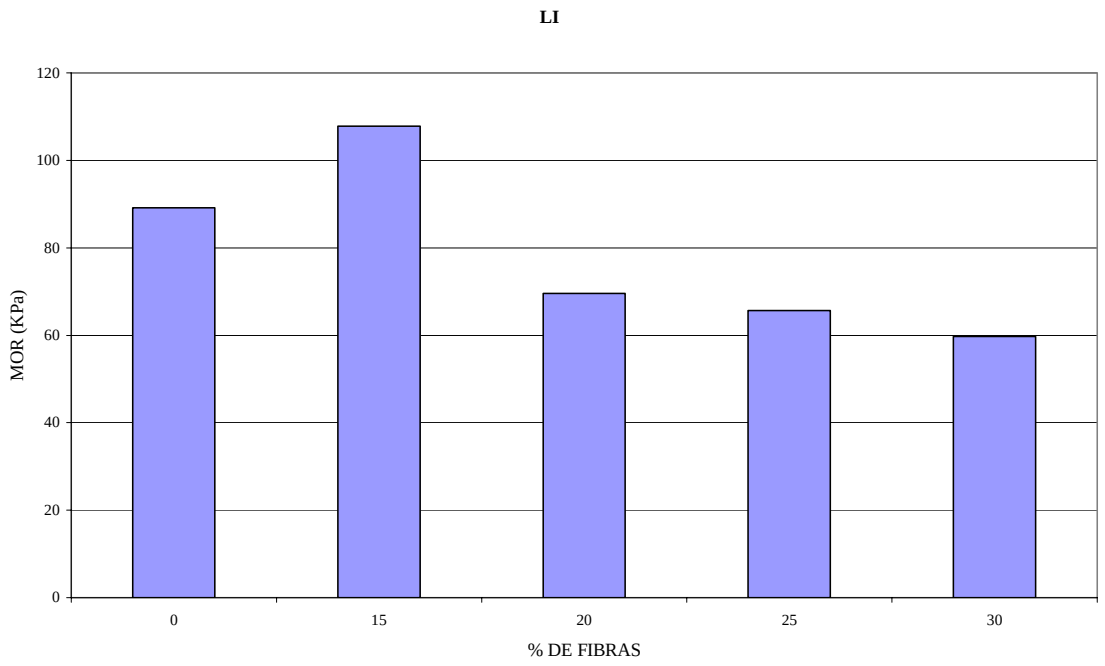


Gráfico 5.3 - Correlação entre o percentual de fibras incorporadas à matriz de papel com o valor da ligação interna (LI). Experimentos A, B, C, D e E da Tabela 5.1.

Quando se mediram os valores de MOE (Gráfico 5.2) os compósitos apresentaram tendência semelhante àquela observada para o MOR (Gráfico 5.1) quanto à faixa ideal para incorporação de fibras. Entretanto, o acréscimo entre o valor medido para o compósito sem adição de fibras e o com 15% foi de aproximadamente 30%. Já os compósitos com percentuais maiores de fibras (20%, 25% e 30%) provocaram a diminuição do valor do MOE.

Quanto a LI (Gráfico 5.3), os compósitos também apresentaram tendência a um comportamento semelhante ao observado para o MOR, com um aumento do valor entre o compósito sem fibras de coco e o com 15%, de cerca de 20%. Os demais percentuais apresentaram valores semelhantes e cerca de 70% do valor referente ao compósito com 100% de papel.

Pode-se destacar que os compósitos com 20%, 25% e 30% de fibras, em todos os três parâmetros, MOR, MOE e LI, apresentaram valores semelhantes dentro de cada um dos testes.

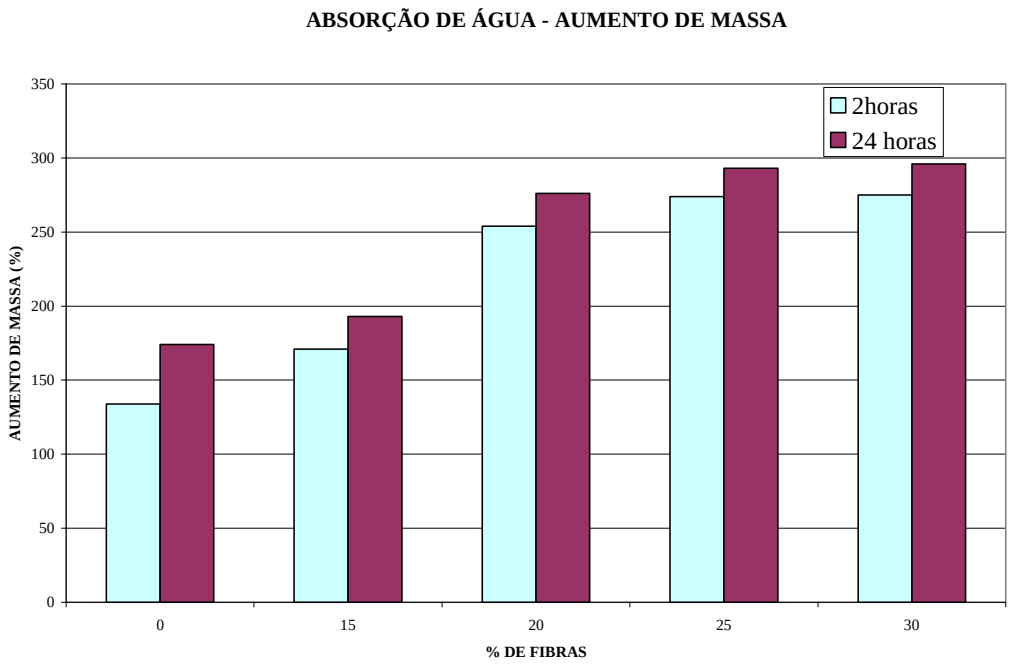


Gráfico 5.4 - Correlação entre o percentual de fibras incorporadas à matriz de papel com o percentual de aumento de massa devido à absorção de água. Experimentos A, B, C, D e E da Tabela 5.1.

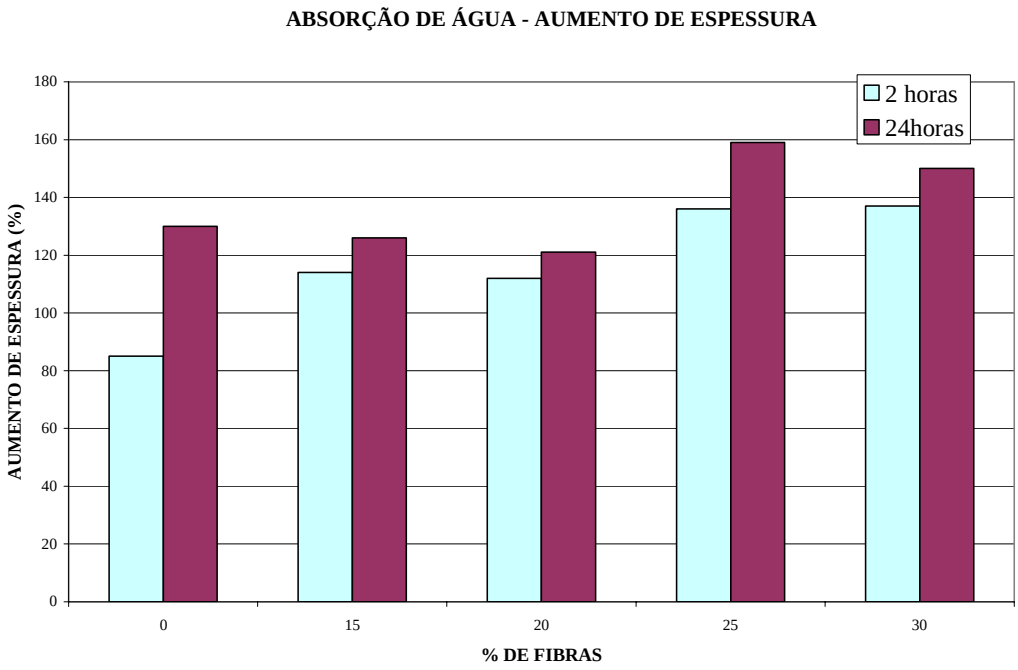


Gráfico 5.5 - Correlação entre o percentual de fibras incorporadas à matriz de papel com o percentual de aumento de espessura devido à absorção de água, Experimentos A, B, C, D e E da Tabela 5.1.

A absorção de água, tanto para o aumento de massa quanto para o aumento em espessura (Gráfico 5.4 e Gráfico 5.5, respectivamente), teve tendência a aumentar proporcionalmente ao aumento do percentual de fibras, tendendo a estabilizar a partir de 20% de fibras. Verificou-se, também, que os testes realizados em 24 h absorveram mais água, resultando no aumento de espessura e aumento de massa quando comparados aos ensaios efetuados em 2 h.

Pode-se inferir que, dentro das restrições experimentais efetuadas, os testes de flexão estática (MOR e MOE) e de tração (LI) indicaram que a adição de 15% de fibras tem tendência a melhorar a performance dos painéis. O aumento da quantidade de água absorvida, proporcionalmente ao aumento do percentual de fibras, era esperado uma vez que as fibras de coco deixam espaço entre as fibras de celulose, onde a água fica retida.

Os compósitos obtidos são de aparência inovadora e bela (vide Figura 5.4). As fibras de coco ficam aparentes proporcionando desenhos e formas distintas nas superfícies do material. Devido às características de isolamento acústico do papel, o compósito pode ser aperfeiçoado para ser usado como isolante em ambientes construídos. Devido à sua beleza rústica pode ser usado para acabamentos, forrações e rebaixamento de tetos ou servir de base para outros produtos que não sejam usados para sustentação.

5.1.4. Obtenção das mantas e das telhas

Posteriormente à execução dos testes laboratoriais procedeu-se à produção, em escala industrial e em fase experimental, dos sistemas de cobertura com fibras de coco na Italchap, indústria localizada em Curitiba que produz telhas à base de papel reciclado e cimento asfáltico.

Testes prévios realizados em laboratórios indicaram que o limite percentual máximo de incorporação de fibras era de 35%. Acima deste valor a quantidade de celulose do papel não era suficiente para incorporar as fibras de coco, devido ao volume muito grande de fibras em relação ao de pasta de celulose. Tinha-se como objetivo experimental obter o aproveitamento máximo de fibras no produto.

No processo produtivo o percentual máximo exeqüível de incorporação de fibras de coco, para que houvesse homogeneidade da “telha ecológica”, foi de 30%, sendo que o melhor resultado operacional foi alcançado com o percentual de 25%.

Embora os testes laboratoriais, respeitadas as condições experimentais usadas, apontassem a faixa próxima a 15% de fibras de coco como a de melhor resultado, o percentual de 25% foi escolhido por permitir maior incorporação de fibras e para que fosse possível avaliar a influência do processo de impermeabilização nas propriedades físicas mensuradas. Tal avaliação se deu por intermédio de comparação com os compósitos com 15% e 25% de fibras incorporadas, com o intuito de verificar se havia melhoria das propriedades com o processo de impermeabilização, que conferissem às telhas características semelhantes as dos compósitos com 15% e, evidentemente, melhores do que as dos experimentos com 25% de fibras.

O ideal seria produzir as telhas com outras proporções de fibras de coco, entretanto o ajuste do percentual de fibras não era uma operação simples, uma vez que foi efetuada uma adaptação no processo produtivo existente para permitir a incorporação das fibras, somando-se ao fato de que havia restrições ao tempo de uso da fábrica. Foram produzidas mantas lisas e telhas onduladas, nas dimensões de 1,60 m x 0,60 m e com espessura de 3 mm, para avaliações de campo e laboratorial.

O efeito de impermeabilização de materiais betuminosos sobre fibras de coco foi relatado por Ghavami et al. (1999), que afirmaram que tais materiais seriam excelentes para impedir que as fibras absorvessem água.

O processo de fabricação das telhas consistiu das seguintes etapas:

a) Trituração de papel e formação de polpa;

b) Mistura da polpa de papel com as fibras de coco;

c) Formação da manta e moldagem das telhas;

d) Secagem e corte das aparas das telhas;

e) Impermeabilização das telhas.

a) Trituração do papel e formação de polpa

O papel usado, obtido no mercado de reciclagem e com constituição e procedência variada, passou por um triturador com uso abundante de água, formando uma massa que foi levada a um tanque com agitação proporcionada por uma bomba de água.

b) Mistura da polpa de papel com as fibras de coco

As fibras de coco verde, fornecidas pelo CENPA (Centro de Estudos em Pesquisas Ambientais), com comprimento médio de 4 cm, foram adicionadas manualmente ao tanque e homogeneizadas com a massa de papel.

c) Formação da manta e moldagem das telhas

A mistura aquosa de papel e fibras de coco foi bombeada para uma esteira (Figura 5.7) e levada para um sistema de calandras (Figura 5.8), onde houve definição da espessura e formação das mantas, que posteriormente foram moldadas manualmente com uso de barras cilíndricas de aço.

A Figura 5.9 ilustra detalhes da manta após moldagem, evidenciando as fibras de coco incorporadas à matriz de papel.

Figura 5.7 - Esteira contendo a mistura de polpa de papel e fibras de coco.

Figura 5.8 - Formação da manta após passagem nas calandras.

Figura 5.9- Detalhe das mantas moldadas - fibras de coco incorporadas à matriz de papel.

d) Secagem e corte das aparas das telhas;

As mantas moldadas foram secas ao tempo (Figura 5.10) e posteriormente cortadas (Figura 5.11) para assumir as dimensões de 1,6 m x 0,60 m, com massa total de 1,5 Kg, sendo 0,375 Kg de fibras de coco e 1,125 Kg de papel.

Figura 5.10 - Secagem ao tempo das mantas moldadas.

Figura 5.11 - Corte das mantas moldadas.

e) Impermeabilização das telhas.

As mantas aparadas (telhas) foram submetidas ao processo de impermeabilização com cimento asfáltico (CAP 20) a 180ºC por 2 horas e estocadas. As telhas foram denominadas de “telhas ecológicas”. A Figura 5.12 apresenta uma visão integral das telhas, enquanto a Figura 5.13 apresenta, em detalhe, as fibras incorporadas.

Foram impermeabilizadas, também, mantas não onduladas para serem submetidas a testes laboratoriais. A massa de cimento asfáltico adicionada foi de cerca de 1,5 Kg/telha. Desta forma, as características finais da telha ecológica foram: (a) dimensões de 1,6 m x 0,60 m; (b) espessura de 0,3 cm; (c) massa total de 3 Kg, sendo 0,375 Kg de fibras de coco, 1,125 Kg de papel usado e 1,5 Kg de cimento asfáltico.

As etapas do processo produtivo que não foram fotografadas atendem à deliberação do empresário da Italchap, que solicitou que tais procedimentos não fossem divulgados.

Figura 5.12 - "Telha ecológica", com impermeabilização (esquerda) e sem impermeabilização.

Figura 5.13 – Detalhe da "telha ecológica" evidenciando as fibras de coco na superfície.

5.1.5. Testes laboratoriais nas mantas impermeabilizadas e nas telhas onduladas

As mantas impermeabilizadas produzidas foram submetidas aos ensaios de flexão estática (MOR e MOE), tração (ligação interna) e absorção de água. As condições foram as mesmas usadas para os compósitos analisados, segundo descrição no item 5.1.2, e as médias dos resultados juntamente com os desvios-padrão estão na Tabela 5.8.

Tabela 5.8 - Resultados dos ensaios efetuados nas mantas impermeabilizadas contendo 25% de fibras de coco.

Teste	Manta impermeabilizada com 25% de fibras	DP[6]	CV[7] (%)
MOR[1] (MPa)	7,3	1,7	24
MOE[2] (MPa)	208	73	35
LI[3] (KPa)	392	83	21
AA[4] 2h (%)	4	0,7	18
AA[4] 24h (%)	8	1,1	13
IE[5] 2h (%)	1	0,7	70
IE[5] 24h (%)	2	1	50

1- MOR – Módulo de ruptura
2- MOE – Módulo de elasticidade
3- LI – Ligação Interna
4- AA – aumento de massa, por absorção de água
5- IE – aumento de espessura, por absorção de água
6- DP – Desvio-padrão
7- CV – Coeficiente de variação

Os resultados obtidos, constantes da Tabela 5.8, foram comparados com aqueles resultantes das análises nos compósitos com 0%, 15% e 25% de fibras, sem impermeabilização, e estão detalhados na Tabela 5.9.

Os resultados foram interpretados com o uso de gráficos. A tendência de modificação do MOR com o percentual de fibras nos compósitos com 0%, 15% e 25% de fibras incorporadas, sem impermeabilização, e com 25%, com impermeabilização, pode ser observada no Gráfico 5.6.

Tabela 5.9 - Comparação dos resultados dos ensaios efetuados nas mantas de telhas ecológicas com 0%, 15% e 25% de fibras incorporadas, sem impermeabilização, e com 25% com impermeabilização.

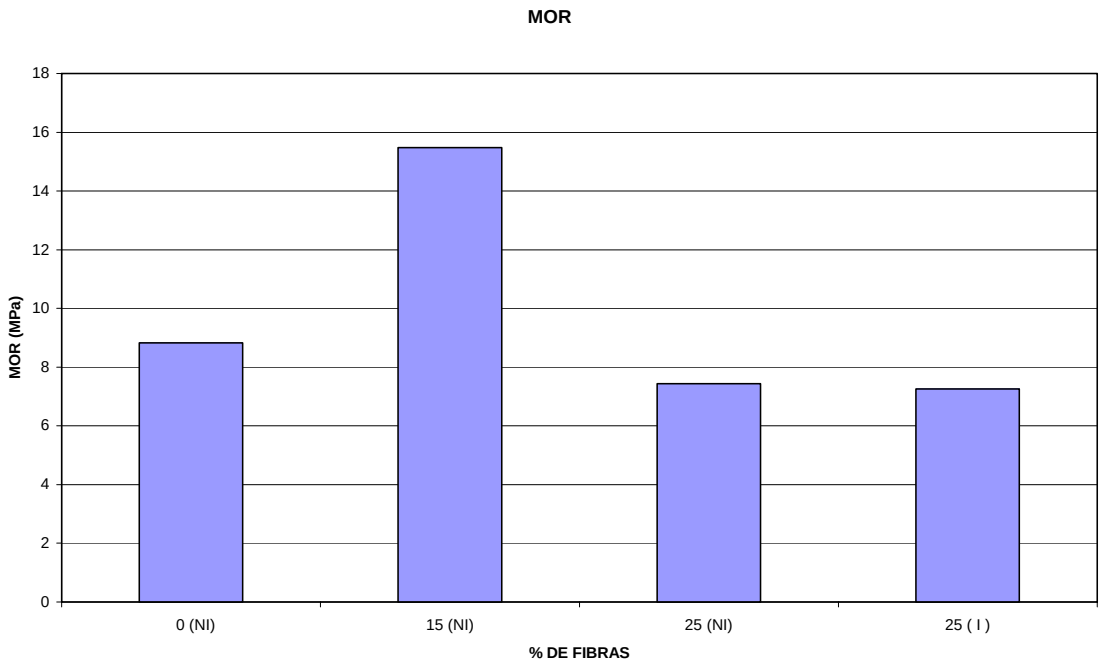
FIBRA (% p/p)	MOR[1] (MPa)	MOE[2] (MPa)	LI[3] (KPa)	ABSORÇÃO DE ÁGUA			
				Aumento percentual de massa		Aumento percentual de espessura	
				2horas	24 horas	2 horas	24horas
0 (NI)	8,8	411	89	134	174	85	130
15 (NI)	15,5	541	108	171	193	114	126
25 (NI)	7,4	131	66	274	293	136	159
25 (I)	7,3	208	392	4	8	1	2

1- MOR – Módulo de ruptura
2- MOE – Módulo de elasticidade
3- LI – Ligação Interna
NI – Não impermeabilizado
I – Impermeabilizado – "Telha Ecológica"

O Gráfico 5.7 apresenta a tendência de modificação do MOE com o percentual de fibras nos compósitos com 0%, 15% e 25% de fibras incorporadas, sem impermeabilização, e com 25%, com impermeabilização.

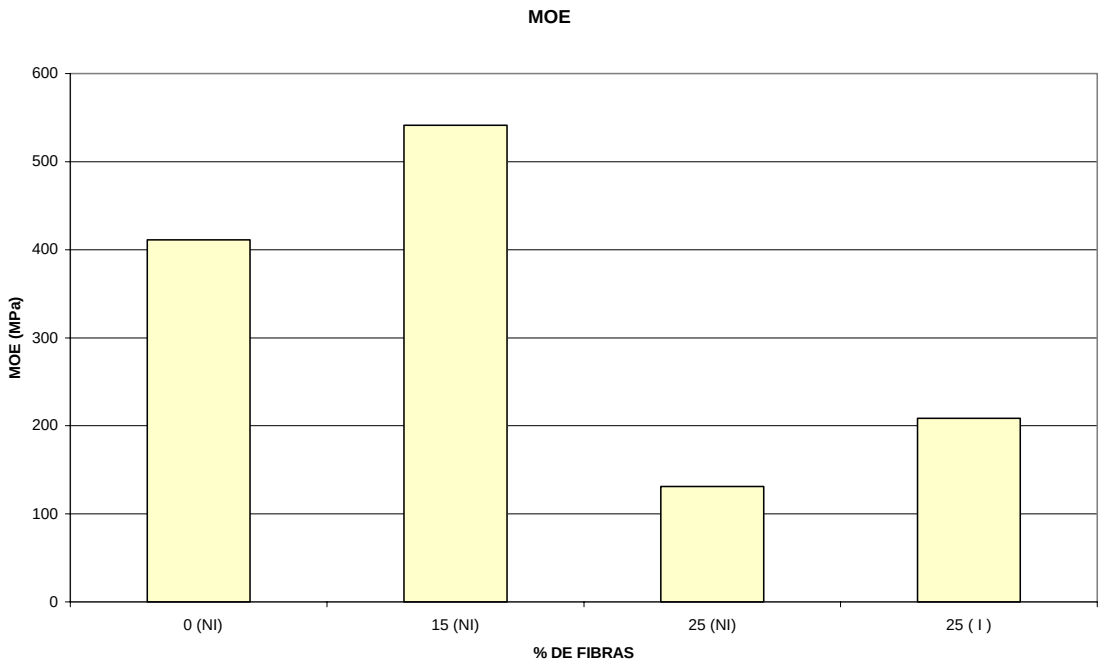
A tendência de modificação de LI com o percentual de fibras nos compósitos e na telha ecológica pode ser observada no Gráfico 5.8.

O Gráfico 5.9 e o Gráfico 5.10 apresentam as tendências de modificação do percentual de absorção de água (aumento de massa e aumento de espessura, respectivamente) com a variação do percentual de fibras nos compósitos e na telha ecológica.



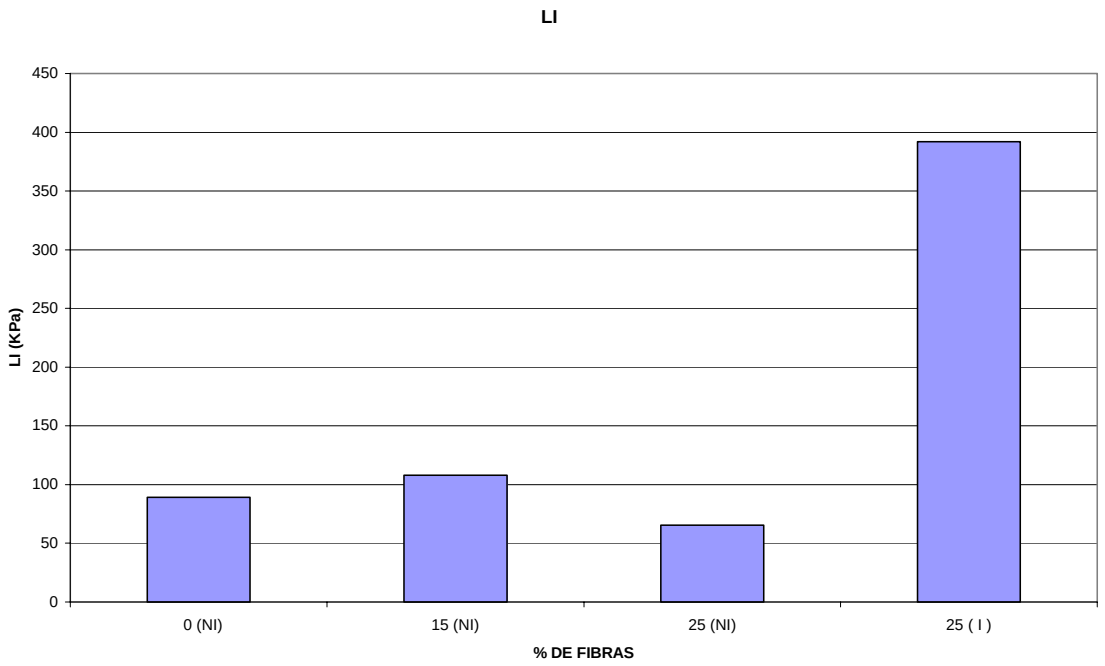
NI – Não impermeabilizado I – Impermeabilizado – "Telha Ecológica"

Gráfico 5.6 - Correlação entre os valores de MOR e o percentual de fibras nos compósitos com 0%, 15% e 25% de fibras incorporadas, sem impermeabilização, e com 25% com impermeabilização. Experimentos da Tabela 5.9.



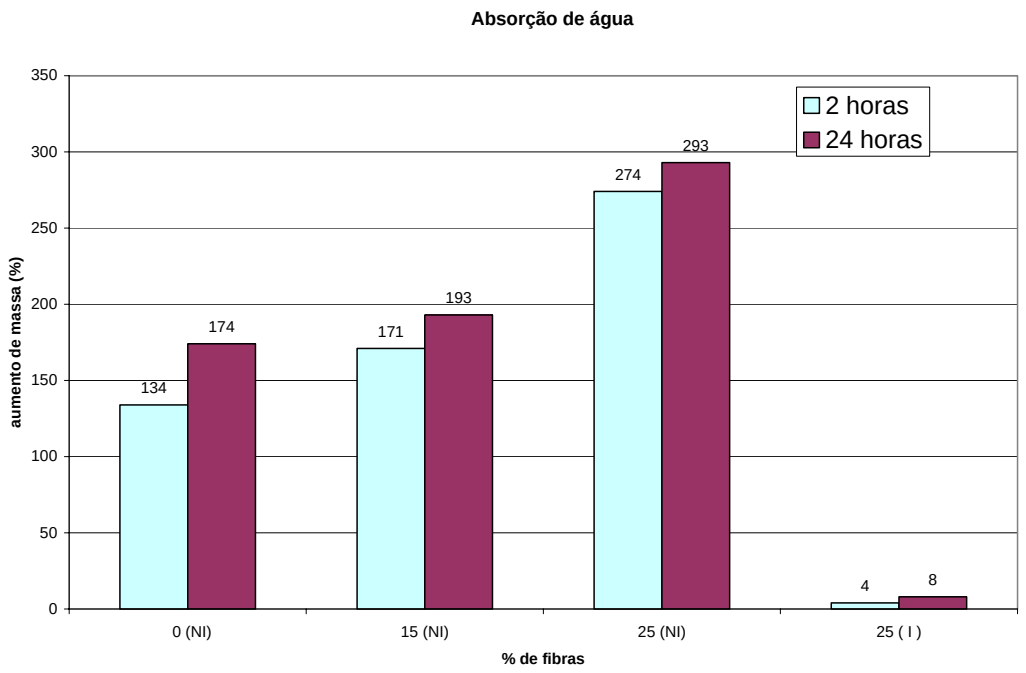
NI – Não impermeabilizado I – Impermeabilizado – "Telha Ecológica"

Gráfico 5.7 - Correlação entre os valores de MOE e o percentual de fibras nos compósitos com 0%, 15% e 25% de fibras incorporadas, sem impermeabilização, e com 25% com impermeabilização. Experimentos da Tabela 5.9.



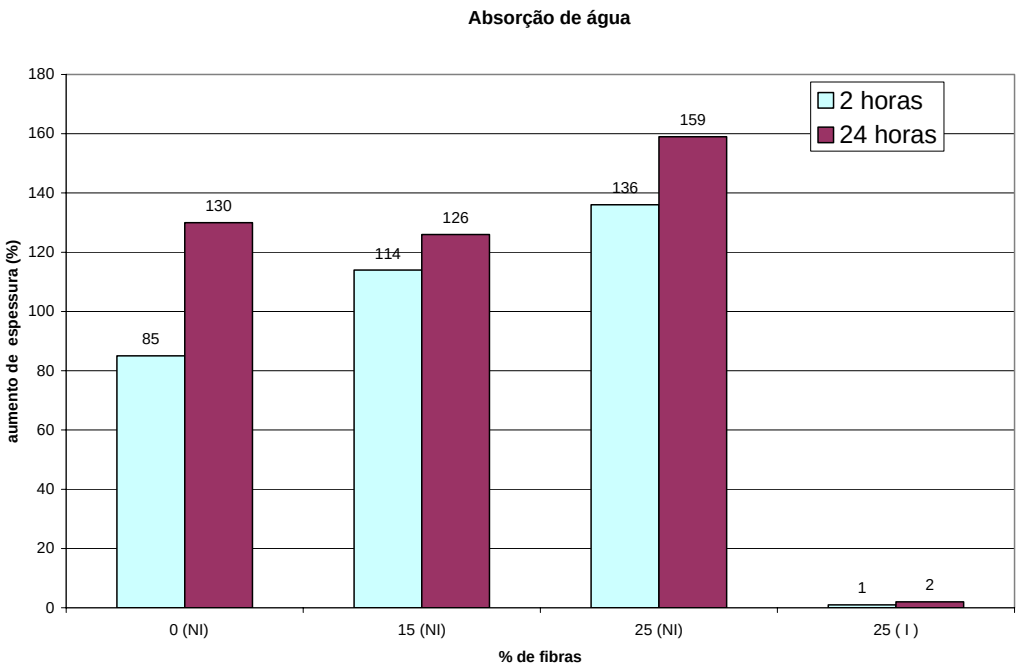
NI – Não impermeabilizado I – Impermeabilizado – "Telha Ecológica"

Gráfico 5.8 Correlação entre os valores de Ligação Interna e o percentual de fibras nos compósitos com 0%, 15% e 25% de fibras incorporadas, sem impermeabilização, e com 25% com impermeabilização. Experimentos da Tabela 5.9.



NI – Não impermeabilizado I – Impermeabilizado – "Telha Ecológica"

Gráfico 5.9- Correlação entre os valores de absorção de água(aumento de massa) e o percentual de fibras nos compósitos com 0%, 15% e 25% de fibras incorporadas, sem impermeabilização, e com 25% com impermeabilização. Experimentos da Tabela 5.9.



NI – Não impermeabilizado I – Impermeabilizado – "Telha Ecológica"

Gráfico 5.10- Correlação entre os valores de absorção de água (aumento de espessura) e o percentual de fibras nos compósitos com 0%, 15% e 25% de fibras incorporadas, sem impermeabilização, e com 25% com impermeabilização. Experimentos da Tabela 5.9.

5.1.6. Comparação dos resultados dos testes laboratoriais nas mantas

Quando se compararam os valores obtidos para o compósito com 25% de fibras de coco incorporadas com aqueles obtidos para a manta impermeabilizada ("telha ecológica"), contendo a mesma porcentagem de fibras, constatou-se que a impermeabilização ocasionou aumentos do módulo de elasticidade, de cerca de 58%, e da ligação interna, de aproximadamente 490%. Entretanto, praticamente não alterou o valor do módulo de ruptura.

É importante ressaltar que os valores de tração (ligação interna) passaram a ter uma dependência muito maior com o uso do impermeabilizante do que com o teor de fibras das placas.

Houve diminuição significativa da absorção percentual de água em massa e em espessura quando se compararam os compósitos, tendo 25% de fibras de coco

incorporadas, com a “telha ecológica”, contendo a mesma porcentagem de fibras. A redução foi de cerca de 5.500% e foi observada tanto no teste com 2 horas de duração quanto no ensaio com 24 horas.

A impermeabilização conferiu características melhores do que aquelas encontradas no compósito com 15% de fibras. A ligação interna foi maior cerca de 250%, enquanto a absorção de água apresentou redução dos valores de cerca de 4.000%.

As telhas onduladas foram aplicadas em um telhado piloto sendo expostas à ação do tempo desde fevereiro de 2004, não apresentando rachaduras ou permeabilidade à água. No teste de campo foi observado conforto térmico superior ao esperado para telhas de amianto, porém não foram efetuadas medições. Foi observada, também, alteração na coloração da superfície da telha exposta aos raios solares, que mudou de preto para cinza escuro.

A “telha ecológica” foi aplicada no telhado piloto com sustentação de ripas distantes aproximadamente 37,5 cm, com a fixação nas ripas feita com pregos que foram aplicados nas cristas das ondulações das telhas (Figura 5.14). A fixação foi efetuada com colocação dos pregos de forma alternada, pulando sempre uma crista e fixando na seguinte, e de tal forma que na ripa seguinte as cristas que não receberam pregos na ripa anterior fossem fixadas.

Além de serem aplicadas no telhado piloto, as telhas foram usadas, recentemente, na cobertura do telhado do futuro galpão de pesquisas de biodiesel, pertencente ao IVIG/COPPE/UFRJ e configura um belo conjunto quando visto internamente com as treliças confeccionadas com bambu (Figura 5.15).

Figura 5.14 – Fixação da "telhas ecológicas" com colocação dos pregos de forma alternada nas cristas das ondulações.

Figura 5.15 – Telhado do futuro galpão de obtenção de biodiesel do IVIG/COPPE/UFRJ, feito com uso das "telhas ecológicas" e treliças de bambu.

5.1.7. Potencial de utilização e estimativa de custo no Brasil da telha de celulose reforçada com fibra de coco (“telha ecológica”)

A seguir é feita uma projeção do potencial de uso da telha ecológica baseada na quantidade potencial de cascas de coco disponíveis, visando uso em programas de erradicação de déficit habitacional no país. Em seguida, é feita uma estimativa do custo do produto.

a- Potencial de uso

Levando-se em consideração as projeções efetuadas no capítulo 4 para a geração de cascas a partir de produção de coco verde no Brasil em 2002 (1,928 bilhões de frutos) e, ainda, admitindo-se que: (a) cada fruto gera 1,5 Kg de cascas e tem cerca de 10% de fibras e (b) cerca de 75% do resíduo produzido será coletado (segundo capítulo 1), haverá a disponibilidade potencial de 216.900 t/ano de fibras.

Considerando um percentual de incorporação de 25%, a quantidade de fibras usadas em cada telha será de 375g e o potencial de produção de telhas de 578,4 milhões de unidades/ano. Sendo a área útil da telha de 0,75 m^2, a área total de cobertura seria de 433,8 milhões de m^2. O potencial de uso das telhas pode, então, ser estimado:

A- Para uma área de telhado de 60 m^2, poder-se-ia atender 7,2 milhões de casas populares/ano;

B- Para uma área de telhado de 50 m^2, poder-se-ia atender 8,7 milhões de casas populares/ano;

C- Para uma área de telhado de 40 m^2, poder-se-ia atender 10,8 milhões de casas populares/ano.

O déficit habitacional do Brasil é de cerca de cinco milhões de residências, com uma projeção de aumento deste déficit de 600 mil habitações/ano. Há, portanto, uma demanda de 1,1 milhão de casas/ano para que se possa eliminar o déficit habitacional em 10 anos.

Seria necessário usar cerca de 15% do potencial existente de geração de fibras de casca de coco verde na fabricação das telhas, com o intuito de eliminar o déficit habitacional, considerando-se as residências de 60 m^2.

A utilização da "telha ecológica" poderá ocorrer não só no âmbito de programas sociais, podendo ser oferecida, também, ao mercado formal para uso em áreas rurais e urbanas.

b- Estimativa de custo

O custo de produção da telha ecológica é de aproximadamente R$ 3,50, com a fibra de coco representando de 10% a 15% desse preço, sendo o cimento asfáltico responsável por cerca de 45% desse custo. Como a telha tem dimensões de 1,6 m x 0,6 m, o custo por metro quadrado é de R$ 3,65.

Uma telha comercial, de nome Onduline, confeccionada com fibras vegetais e impermeabilizada com material betuminoso, tem preço médio final de comercialização de aproximadamente R$ 25,00. Como as dimensões da referida telha são 2,0 m x 0,95 m o preço por metro quadrado é de cerca de R$ 13,15.

A "telha ecológica" desenvolvida neste trabalho ainda precisa de algumas melhorias de acabamento e de proteção aos raios ultravioleta, como foi visto no item 5.1.6, mas diante da comparação efetuada acima, há indicação de viabilidade de fabricação em escala industrial, pois o seu preço de produção tende a ser competitivo.

5.2. Obtenção de chapas de partículas

A obtenção de chapas de partículas é uma alternativa que propicia o uso da casca do coco verde com substituição parcial da madeira por fibras do fruto.

Chapas de partículas, conhecidas também como aglomerados, são painéis manufaturados a partir de partículas de madeira e de materiais ligantes, onde as partículas são pequenos fragmentos de madeira com comprimento variando entre 1,3 e

12,7 mm, com largura e espessura entre 0,13 e 1,3 mm e com distribuição aleatória nas chapas. Os materiais ligantes são, normalmente, resinas poliméricas com a função de promover a ligação entre as partículas de madeira. Dentre tais resinas destacam-se a de uréia-formaldeído e a de fenol-formaldeído.

Conforme descrito na introdução, um dos objetivos deste trabalho é o de verificar se há possibilidade de substituição parcial da madeira por fibras de coco em chapas de partículas. Fez parte dos experimentos, também, a comparação das propriedades físicas dos compósitos contendo fibras de coco com a chapa obtida somente com madeira. Para obtenção dos compósitos foram usados *Pinus elliottii* (madeira), resina uréia-formaldeído e fibra de coco (*Cocos nucifera).*

5.2.1. Obtenção das chapas

A fibra de coco (*Cocos nucifera*) obtida a partir do coco inteiro, com o uso de moinho de martelo e desfibrador, foi fornecida pelo CENPA (Centro de Estudos em Pesquisas Ambientais), e cortada a um comprimento de cerca de 1cm.

Foram coletadas aleatoriamente três árvores de Pinus elliottii, com 12 anos de idade, plantadas no campus da Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro (UFRRJ). As partículas de *Pinus elliottii* do tipo convencionais, medindo 3 cm de comprimento e 0,6 mm de espessura foram geradas em um picador de disco e posteriormente passadas no moinho de martelo com peneira de 12 mm. Logo após, as partículas foram classificadas com o uso de peneiras, sendo utilizadas aquelas que passaram na peneira de 4 mm e ficaram retidas na peneira de 2 mm.

As fibras de coco e as partículas de pínus beneficiadas foram secas em estufa de circulação forçada a $103 \pm 2^{o}C$, até atingir o teor de umidade pré-estabelecido de 5% (base peso seco). O adesivo, uréia-formaldeído (PB-2346, fornecido pela Borden

Química), foi misturado ao catalisador de sulfato de amônio, que foi empregado com concentração de 2% (p/p) sobre a massa do adesivo, e foi aplicado às partículas de *Pinus elliottii* e às fibras de *Cocos nucifera*. Tal aplicação foi efetuada por meio de aspersão, no interior de um cilindro rotativo, utilizando-se uma pistola de ar comprimido. O adesivo foi utilizado em proporções de 6% e 8% (base peso seco) sobre a massa total de pínus e fibra. Na formação do colchão, as partículas foram distribuídas ao acaso, sendo efetuada a pré-prensagem no interior de uma forma quadrada, de madeira, com 40 cm de lado e 30cm de altura. A prensagem foi feita em prensa de aquecimento elétrico, com pratos planos e horizontais.

O delineamento experimental constou de oito tratamentos que estão discriminados na Tabela 5.10.

Tabela 5.10 - Percentagem de partículas de pínus (*Pinus elliottii)*, fibras de coco (*Cocos nucifera*) e uréia-formaldeído (adesivo) na composição das chapas.

Tratamento	Teor de Adesivo (% p/p) (uréia-formaldeído)	Fibra de coco (% p/p)	Partículas de Pínus (% p/p)
T1	6	0	100
T2	8	0	100
T3	6	10	90
T4	8	10	90
T5	6	20	80
T6	8	20	80
T7	6	30	70
T8	8	30	70

Os parâmetros usados no processo de produção dos painéis foram: (a)densidade nominal da chapa: 0,70 g/cm³; (b) conteúdo de adesivo: 6% e 8%; (c) teor de umidade das partículas: 5%; (d) tempo de prensagem: 10 minutos; (e) tempo de fechamento da prensa: 23 segundos; (f) temperatura de prensagem: 160ºC e (g) pressão da prensa: 30 kgf/cm^2 (2940 KPa).

A Figura 5.16 apresenta a chapa de partícula com 20% de fibras de coco e 6% de adesivo, enquanto a Figura 5.17 traz uma imagem detalhando a superfície da mesma chapa.

Figura 5.16 – Chapa de partícula com 20% de fibras de coco e 6% de adesivo.

Figura 5.17 – Detalhe da superfície da chapa de partícula com 20% de fibras de coco e 6% de adesivo.

5.2.2. Testes laboratoriais nas chapas de partículas

Depois de prensadas, as chapas foram deixadas em uma sala de climatização com umidade relativa de 65 ± 5% e temperatura de 20 ± 1ºC (ASTM D 1037-91), até atingir o equilíbrio.

Os corpos-de-prova foram obtidos das chapas produzidas e testados de acordo com a norma ASTM D 1037-91. Os ensaios realizados foram: flexão estática - módulo de ruptura (MOR) e módulo de elasticidade (MOE); tração - ligação interna (LI) e absorção de água (inchamento em espessura 2 horas e 24 horas (IE2 e IE24) e aumento

Tabela 5.11 - Valores mínimos para as propriedades mecânicas (MOR, MOE e LI) e valores máximos para inchamento em espessura (IE) para chapas de partículas, segundo a norma CS 236-66 - Material formed wood particleboard.

Tipo (uso)	Densidade (g/cm^3) Média min	Classe[3]	MOR (Kgf/cm^2) Média mín	MOE (Kgf/cm^2) Média mín	LI (Kgf/cm^2) Média mín	IE (%) M. máx.
1[1]	A (alta, igual ou superior a 0,80g/cm^3)	1	168	24500	14	55
		2	236	24500	9,8	55
	B (média, entre 0,60 e 0,80 g/cm^3)	1	112	24500	4,9	35
		2	168	28000	4,2	30
	C(baixa, abaixo de 0,60 g/cm^3)	1	56	10500	1,4	30
		2	98	17500	2,1	30
2[2]	A (alta, igual ou superior a 0,80g/cm^3)	1	168	24500	8,75	55
		2	238	35000	8,2	55
	B (média, entre 0,60 e 0,80 g/cm^3)	1	126	17500	4,55	35
		2	175	31500	4,2	35

[1]**Tipo 1** - Chapa de partículas (geralmente feita com resina uréia-formaldeído) adequada para aplicação em interiores
[2]**Tipo 2** - Chapa de partículas feita com resina durável e altamente resistente à umidade e calor (geralmente resina fenólica) adequada para aplicações em interiores e certas aplicações em exteriores quando assim classificadas.
[3]**Classe** - Classificação de resistência baseada nas propriedades dos painéis produzidos.
MOR – Módulo de ruptura
MOE – Módulo de elasticidade
LI – Ligação interna
IE – Inchamento em espessura.

de massa a 2horas e 24 horas (AA2 e AA24). As condições de realização dos testes foram as mesmas descritas no item 5.1.2, subitens a; b; c; d.

A Tabela 5.11 apresenta os valores mínimos para as propriedades mecânicas e valores máximos para inchamento em espessura, exigidos pela norma americana de comercialização CS 236-66.

Os valores de MOR, MOE e LI, constantes na norma CS 236-66, foram convertidos para o sistema internacional (SI), usado neste trabalho, e estão apresentados na Tabela 5.12.

Tabela 5.12 - Valores mínimos, de MOR, MOE e LI, exigidos pela norma CS 236-66 para as propriedades mecânicas de chapas de partículas, convertidos para o sistema Internacional (SI).

Tipo (uso)	Densidade (g/cm^3) Média mínima	Classe[3]	MOR (MPa) Média mín	MOE (MPa) Média mín	LI (KPa) Média mín
1[1]	A (alta, igual ou superior a 0,80g/cm^3)	1	16,46	2401	1372
		2	23,13	2401	960,4
	B (média, entre 0,60 e 0,80 g/cm^3)	1	10,98	2401	480,2
		2	16,46	2744	411,6
	C(baixa, abaixo de 0,60 g/cm^3)	1	5,49	1029	137,2
		2	9,60	1715	205,8
2[2]	A (alta, igual ou superior a 0,80g/cm^3)	1	16,46	2401	857,5
		2	23,32	3430	2744
	B (média, entre 0,60 e 0,80 g/cm^3)	1	12,35	1715	445,9
		2	17,15	3087	411,6

[1]**Tipo 1** -Chapa de partículas (geralmente feita com resina uréia-formaldeído) adequada para aplicação em interiores

[2]**Tipo 2** - Chapa de partículas feita com resina durável e altamente resistente à umidade e calor (geralmente resina fenólica) adequada para aplicações em interiores e certas aplicações em exteriores quando assim classificadas.

[3]**Classe** - Classificação de resistência baseada nas propriedades dos painéis produzidos.

MOR – Módulo de ruptura

MOE – Módulo de elasticidade

LI – Ligação interna

De acordo com a faixa nominal de densidade usada neste trabalho (0,7 g/cm^3), os valores da tabela a serem usados são referentes ao tipo 1, densidade grau B (média) e classe 1 e/ou 2, correspondentes a densidades entre 0,6 e 0,8 g/cm^3.

Os ensaios efetuados nas chapas de partículas foram:

a. Densidade básica da madeira e das chapas

O valor médio da massa especifica aparente da madeira (*Pinus elliottii*) utilizada na confecção dos painéis foi de 0,42 g/cm³. Segundo Maloney (1977), a densidade é a variável mais importante relacionada ao componente que regula as propriedades da chapa. Os valores médios das densidades das chapas encontram-se na Tabela 5.13.

Tabela 5.13 - Valores médios das densidades das chapas.

Tratamento	**T1**	**T2**	**T3**	**T4**	**T5**	**T6**	**T7**	**T8**
Densidade (g/cm³)	0,72 a	0,73 a	0,67 ab	0,62 bc	0,58 c	0,63 bc	0,63 bc	0,61 bc

1- Teste de Tukey ao nível de probabilidade de 95%. Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si.

Para avaliar a influência das densidades obtidas nos resultados dos testes físicos a serem realizados foi utilizado o teste de Tukey ao nível de 95% de probabilidade.

Pode-se observar na Tabela 5.13 que os valores médios de densidade das chapas variaram em relação ao valor nominal de 0,70 g/cm^3, o que pode ter ocorrido devido à dificuldade de homogeneização das fibras de coco com as partículas de madeira. Este foi o principal problema encontrado na obtenção das chapas. As fibras tendiam a se enovelar provocando possíveis pontos de ruptura nas chapas e tendendo a diminuir as densidades. A densidade é a variável fundamental para a classificação das chapas em função dos valores mínimos estabelecido pela norma CS 236-66 (Tabela 5.11 e Tabela 5.12).

Analisando os valores das densidades pelo teste de Tukey, observa-se que não houve diferença significativa entre os tratamentos T3 a T8, já que valores que são seguidos de mesma letra não diferem estatisticamente entre si.

Esta análise habilita, estatisticamente, o tratamento T5, com densidade abaixo da faixa compreendida entre 0,6-0,8 g/cm^3 da norma CS 236-66, a ser comparado com os demais tratamentos que resultaram em placas nesta faixa de densidade, entretanto para

confrontá-lo com os valores da norma será considerada a faixa de densidade abaixo de 0,6 g/cm^3.

b. Flexão Estática - Módulo de Ruptura (MOR)

O ensaio para a determinação do módulo de ruptura (MOR) foi efetuado de acordo com a norma ASTM D 1037-91 (Figura 5.18). Dos compósitos, com espessura nominal de 0,5 cm, foram obtidos seis corpos-de-prova, para cada um dos oito experimentos descritos na Tabela 5.10. As condições de realização dos testes e a fórmula para o cálculo do MOR estão descritas no item 5.1.2, subitem a.

Figura 5.18 - Ensaio de flexão estática para determinação do módulo de ruptura (MOR) e do módulo de elasticidade (MOE) das chapas de partículas de pínus e fibras de coco verde.

Os resultados dos ensaios foram submetidos a testes de rejeição de valores dispersos (Teste de Dixon e Teste de Grubbs). As médias dos resultados das análises

foram convertidas para MPa e juntamente com os respectivos desvios-padrão constam da Tabela 5.14.

Tabela 5.14 - Resultados dos ensaios de módulo de ruptura (MOR) nas chapas de partículas de pínus com fibras de coco.

Tratamentos	Fibra de coco (% p/p)	Adesivo (% p/p)	MOR[1] (MPa)	DP[2] (MPa)	CV[3] (%)
T1	0	6	21,9	6,0	27
T2	0	8	23,2	6,4	28
T3	10	6	12,9	3,6	28
T4	10	8	18,3	2,1	11
T5	20	6	14,3	5,1	36
T6	20	8	18,4	4,5	25
T7	30	6	15,5	4,1	26
T8	30	8	13,0	3,3	25

1- MOR – Módulo de ruptura
2- DP – Desvio-padrão
3- CV – Coeficiente de variação

c. Flexão Estática - Módulo de Elasticidade (MOE)

A determinação do módulo de elasticidade (MOE), foi efetuada de acordo com a norma ASTM D 1037-91. O MOE é calculado no mesmo teste em que se calcula o MOR, fazendo-se uso do valor da carga no limite de proporcionalidade. As condições de realização dos testes e a fórmula para o cálculo do MOE estão descritas no item 5.1.2, subitem b.

Os resultados dos ensaios foram submetidos a testes de rejeição de valores dispersos (Teste de Dixon e Teste de Grubbs). As médias dos resultados das análises foram convertidas para MPa e juntamente com os respectivos desvios-padrão constam da Tabela 5.15.

Tabela 5.15 - Resultados dos ensaios de módulo de elasticidade (MOE) nas chapas de partículas de pínus com fibras de coco.

Tratamentos	Fibra de coco (% p/p)	Adesivo (% p/p)	MOE[1] (MPa)	DP[2] (MPa)	CV[3] (%)
T1	0	6	2372	704	30
T2	0	8	2724	722	27
T3	10	6	1578	456	29
T4	10	8	2277	1054	46
T5	20	6	1521	369	24
T6	20	8	1873	476	25
T7	30	6	1602	269	17
T8	30	8	1277	242	19

1- MOE – Módulo de elasticidade
2- DP – Desvio-padrão
3- CV – Coeficiente de variação

d. Resistência à tração perpendicular à superfície da chapa – Ligação Interna (LI)

O teste de ligação interna (LI) é uma determinação de tração perpendicular à superfície da chapa e serve para averiguar a força de coesão interna dos constituintes do produto. A determinação da LI foi efetuada de acordo com a norma ASTM D 1037-91.

Foram testados seis corpos-de-prova quadrados, com área nominal individual de 25 cm^2, para cada um dos experimentos descritos na Tabela 5.10. As condições de realização dos testes e a fórmula para o cálculo da LI estão descritas no item 5.1.2, subitem c.

Os resultados dos ensaios foram submetidos a testes de rejeição de valores dispersos (Teste de Dixon e Teste de Grubbs). As médias dos resultados das análises foram convertidas para KPa e juntamente com os respectivos desvios-padrão constam da Tabela 5.16.

Tabela 5.16 - Resultados dos ensaios de tração – ligação interna (LI) nas chapas de partículas de pínus com fibras de coco.

Tratamentos	Fibra de coco (% p/p)	Adesivo (% p/p)	LI[1] (KPa)	DP[2] (KPa)	CV[3] (%)
T1	0	6	421	141	33
T2	0	8	431	67	15
T3	10	6	490	63	13
T4	10	8	559	70	12
T5	20	6	363	80	22
T6	20	8	372	163	43
T7	30	6	353	115	32
T8	30	8	343	92	27

1- LI – Ligação interna
2- DP – Desvio-padrão
3- CV – Coeficiente de variação

A Tabela 5.17 apresenta as médias dos resultados dos ensaios de flexão estática (módulo de ruptura e módulo de elasticidade) e tração (ligação interna) realizados nos experimentos descritos na Tabela 5.10 e que foram apresentados separadamente nos subitens a; b; c; d, do item 5.2.2 acima. A avaliação dos resultados consta do item 5.2.3.

Tabela 5.17 - Valores médios de módulo de ruptura, módulo de elasticidade e ligação interna, obtidos para as chapas de partículas de pínus e fibra de coco.

Tratamentos	Fibras (% p/p)	Resina Uréia-formaldeído (% p/p)	Propriedade avaliada		
			MOR[1] (MPa)	MOE[2] (MPa)	LI[3] (KPa)
T1	0	6	21,9	2372,2	421,4
T2	0	8	23,2	2723,5	431,2
T3	10	6	12,9	1578,2	490,0
T4	10	8	18,3	2277,1	558,6
T5	20	6	14,3	1520,9	362,6
T6	20	8	18,4	1872,7	372,4
T7	30	6	15,5	1602,2	352,8
T8	30	8	13,0	1277,2	343,0

1- MOR – Módulo de ruptura
2- MOE – Módulo de elasticidade
3- LI – Ligação Interna

e. Absorção de água – aumento de massa (AA) e inchamento em espessura (IE)

A determinação de água absorvida foi efetuada de acordo com a norma ASTM D 1037-91. Os testes foram efetuados em quatro corpos-de-prova para cada experimento descrito na Tabela 5.10. As condições de realização dos testes e o cálculo de absorção de água estão descritos no item 5.1.2, subitem d. Os resultados são expressos em percentual de água absorvida - aumento de massa (AA) e aumento ou inchamento em espessura (IE).

Os resultados dos ensaios foram submetidos a testes de rejeição de valores dispersos (Teste de Dixon e Teste de Grubbs). As médias dos resultados das análises juntamente com os respectivos desvios-padrão, constam da Tabela 5.18 (aumento de massa) e Tabela 5.19 (aumento de espessura).

Tabela 5.18 - Resultados dos ensaios de absorção de água - aumento de massa (AA) nas chapas de partículas de pínus e fibras de coco.

Tratamentos	**Fibra de coco** (% p/p)	**Adesivo** (% p/p)	**AA[1] 2h** (%)	**DP[2]** (MPa)	**CV[3]** (%)	**AA[1] 24h** (%)	**DP[2]** (MPa)	**CV[3]** (%)
T1	0	6	111	18	16	125	21	17
T2	0	8	87	15	17	98	16	16
T3	10	6	94	6	6	104	13	12
T4	10	8	88	3	4	96	4	4
T5	20	6	106	11	10	114	10	9
T6	20	8	86	13	15	97	9	9
T7	30	6	91	6	7	96	13	13
T8	30	8	89	4	4	98	4	4

1- AA – aumento de massa, por aumento de massa.
2- DP – Desvio-padrão
3- CV – Coeficiente de variação

Tabela 5.19 - Resultados dos ensaios de absorção de água - aumento de espessura (IE) nas chapas de partículas de pínus e fibras de coco.

Trata mentos	Fibra de coco (% p/p)	Adesivo (% p/p)	IE[1] 2h (%)	DP[2] (MPa)	CV[3] (%)	IE[1] 24h (%)	DP[2] (MPa)	CV[3] (%)
T1	0	6	49	10	20	57	12	21
T2	0	8	38	6	16	43	8	18
T3	10	6	30	6	20	35	17	46
T4	10	8	16	1	4	18	1	7
T5	20	6	17	4	22	20	5	24
T6	20	8	14	3	21	17	4	20
T7	30	6	17	1	6	22	1	4
T8	30	8	14	3	20	18	4	20

1- IE – aumento de massa, por inchamento ou aumento em espessura.
2- DP – Desvio-padrão
3- CV – Coeficiente de variação

A Tabela 5.20 apresenta as médias dos resultados dos ensaios de inchamento em espessura (IE) e absorção de água (AA) a 2 horas e a 24 horas de imersão, realizados nos experimentos descritos na Tabela 5.10 e que foram apresentados separadamente no subitem e, do item 5.2.2 acima. A avaliação dos resultados consta do item 5.2.3.

Tabela 5.20 - Valores médios de inchamento em espessura (IE) e absorção de água em massa (AA) a 2 horas e 24 horas obtidos para as chapas de partículas de pínus e fibra de coco.

Trata-mentos	Fibra de coco (% p/p)	Adesivo (% p/p)	Propriedade Avaliada			
			IE[1] 2h (%)	IE[1] 24 h (%)	AA[2] 2h (%)	AA[2] 24h (%)
T1	0	6	49	57	111	125
T2	0	8	38	43	87	98
T3	10	6	30	35	94	104
T4	10	8	16	18	88	96
T5	20	6	17	20	106	114
T6	20	8	14	17	86	97
T7	30	6	17	22	91	96
T8	30	8	14	18	89	98

1- IE – aumento de massa, por inchamento ou aumento em espessura.
2- AA – aumento de massa, por aumento de massa.

5.2.3. Comparação dos resultados dos testes laboratoriais nas chapas de partículas de pínus e fibra de coco

Foram efetuadas avaliações dos resultados dos testes por comparação com os valores contidos na norma CS 236-66 e na literatura e, ainda, com o uso de gráficos correlacionando os parâmetros medidos e a variação do percentual de fibras de coco usadas para as duas concentrações de adesivo.

a. Valores contidos na norma CS 236-66 e na literatura

Confrontando-se os valores obtidos nos testes com aqueles especificados na norma CS 236-66 e com trabalhos semelhantes na literatura, tem-se:

a.1) MOR

Todos os tratamentos proporcionaram valores de MOR superiores aos estabelecidos pela norma CS 236-66 (10,98 MPa, Tabela 5.12), inclusive aqueles com maiores teores de fibra de coco.

Comportamento semelhante foi observado por Lima et al. (2004) no estudo de painéis de fibras (epicarpo) de babaçu (*Orbignya sp*) em combinação com partículas de *Pinus elliottii* nas mesmas proporções utilizadas neste trabalho, tanto de material lignocelulósico, quanto de adesivo e, ainda, com a mesma densidade nominal da chapa.

Iwakiri et al. (2001) encontraram valores médios de MOR que variaram de 16,84 MPa a 21,11 MPa em um estudo de cinco espécies de Pínus tropicais e suas combinações com 8% de adesivo e densidade nominal dos painéis de 0,70g/cm^3.

Brito & Silva (2002) estudando as propriedades de chapa de partículas a partir de *Gmelina arborea* Linn. Rox. e *Samanea saman*, usando 10% de adesivo e densidade

nominal de 0,70g/cm^3, encontraram valores de MOR que variaram de 8,24 MPa a 12,56 MPa.

a.2) MOE

Com exceção dos tratamentos T2 (2723,5 MPa) e T5 (1520,9 MPa), este último com densidade de chapa abaixo de 0,60 g/cm³, os demais tratamentos estão abaixo do estabelecido pela norma CS 236-66 (Tabela 5.12).

Brito & Silva (2002), citados no subitem a.1, acima, encontraram valores médios oscilando entre 1559,2 MPa a 2335,3 MPa, enquanto Iwakiri et al. (2001), também citados no subitem a.1, encontraram valores médios para MOE que variaram de 2512,4 MPa a 3150,6 MPa.

a.3) LI

Os tratamentos T3, T4 e T5 apresentaram valores superiores ao valor mínimo estabelecido pela norma CS 236-66 (Tabela 5.12). Vale lembrar que as chapas do tratamento T5 apresentaram densidade média de 0,58 g/cm^3. Os demais tratamentos apresentaram valores inferiores ao valor mínimo estabelecido pela norma.

Lima et al. (2004) encontraram valores que variaram de 376,3 KPa a 401,8 KPa. Já Iwakiri et al. (2001) encontraram valores médios para LI que variaram de 709,5 KPa a 1032,9 KPa.

a.4) Inchamento em espessura (IE)

Os tratamentos T1 e T2 (100% de pínus) tiveram valores superiores aos valores máximos especificados pela norma CS 236-66 (Tabela 5.11), o T3 (10% de fibras de coco e 6% de resina) teve valor igual ao máximo estipulado pela norma no teste de 24 h

de duração (35%), enquanto todas as chapas restantes, com adição de fibras, tiveram valores abaixo do valor máximo reportado na norma.

Lima et al. (2004) encontraram valores de IE que variaram respectivamente de 32% a 37% para 2h e de 49% a 57% para 24h.

Iwakiri et al. (2001) encontraram valores médios para IE 2 horas que variaram de 25,20% a 34,80%, enquanto para 24 horas a variação foi de 39,70% a 32,70%.

a.5) Absorção de água em massa (AA)

Este parâmetro não é abordado na norma CS 236-66.

Os valores médios para AA 2 horas e AA 24 horas encontrados neste trabalho são semelhantes aos encontrado por Lima et al. (2004).

Iwakiri et al. (2001) encontraram valores médios para AA 2 horas que variaram de 68,82% a 83,60%, enquanto para AA 24 horas a variação foi de 78,69% a 93,81%.

b. Comparação gráfica

Os resultados dos testes nas chapas de partículas foram interpretados com o uso de gráficos considerando alterações no teor de fibras usadas para cada uma das concentrações de resina uréia-formaldeído, assim como os resultados decorrentes da mudança do teor de resina usada e do número de horas de ensaio.

b.1) MOR

A tendência de modificação do MOR em função do percentual de fibras usadas nos compósitos com 6 e 8% de resina uréia-formaldeído (Tabela 5.17) pode ser observada no Gráfico 5.11.

Quando se variou o percentual de resina de 6% para 8% houve tendência de aumento dos valores de MOR, exceto para a chapa com 30% de fibras (T8). Uma das possíveis explicações para tal fato seria a falta de homogeneidade devido à dificuldade de se misturar as fibras com as partículas de pínus.

Houve tendência à diminuição dos valores de MOR quando se comparam as chapas contendo fibras com T1 (100% de pínus). Já os valores de MOR dos compósitos com fibras não apresentaram nenhum padrão de correlação, mas há uma tendência de aumento dos valores de MOR com o aumento do percentual de fibras nos compósitos com 6% de adesivo.

b.2) MOE

A tendência de modificação do MOE em função do percentual de fibras usadas nos compósitos com 6% e 8% de resina uréia-formaldeído (Tabela 5.17) pode ser observada no Gráfico 5.12.

Assim como foi observado para os valores de MOR, houve tendência de aumento dos valores de MOE quando se variou o percentual de resina de 6**%** para 8%, exceto para a chapa com 30% de fibras (T8).

Também houve tendência à diminuição dos valores de MOE quando se compararam as chapas contendo fibras com T1 (100% de pínus). Já os valores de MOE dos compósitos com fibras não apresentaram nenhum padrão de correlação, mas há uma tendência de diminuição dos valores de MOE com o aumento do percentual de fibras nos compósitos com 8% de adesivo, enquanto nos compósitos com 6% de adesivo os valores ficaram praticamente constantes.

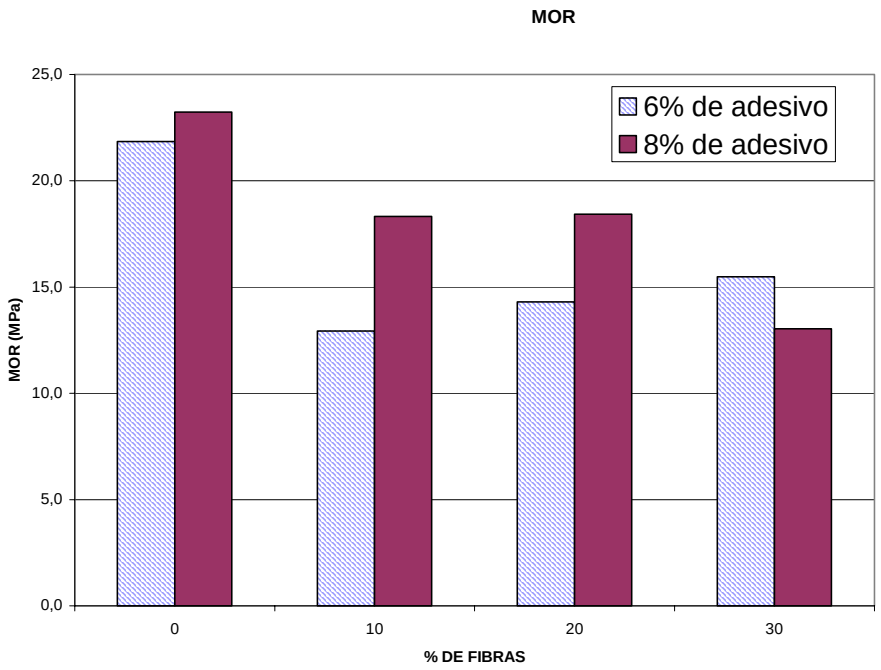


Gráfico 5.11– Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com o módulo de ruptura (MOR). Experimentos T1 a T8 da Tabela 5.10 e da Tabela 5.17.

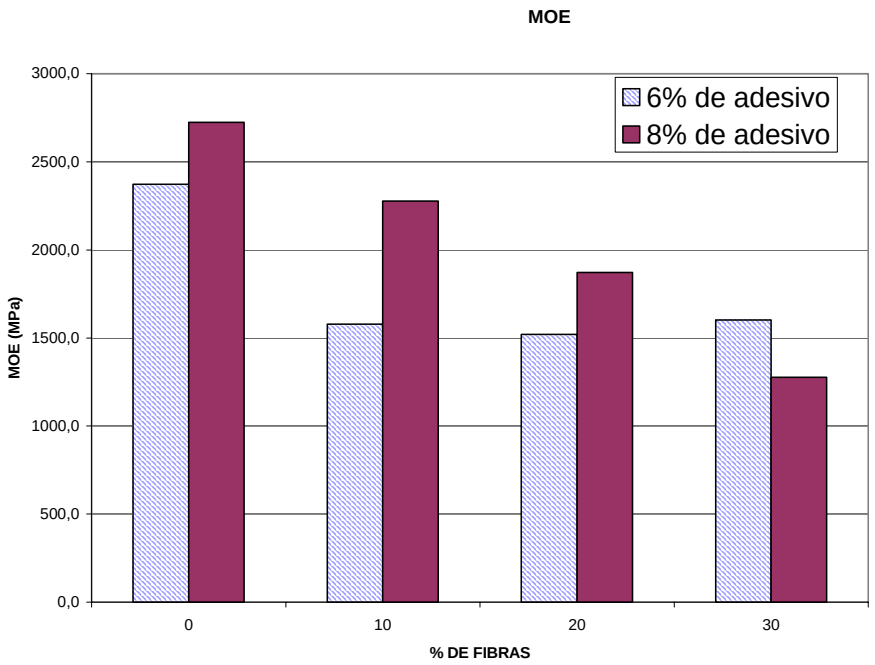


Gráfico 5.12 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com o módulo de elasticidade (MOE). Experimentos T1 a T8 da Tabela 5.10 e da Tabela 5.17.

b.3) LI

A tendência de modificação do LI em função do percentual de fibras usadas nos compósitos com 6**%** e 8% de resina uréia-formaldeído (Tabela 5.17) pode ser observada no Gráfico 5.13.

Assim como nos dois ensaios anteriores, foi observada tendência de aumento dos valores de LI quando se variou o percentual de resina de 6**%** para 8%, exceto para a chapa com 30% de fibras (T8).

Houve aumento do valor de LI quando se comparou o compósito com 100% de pínus com aquele contendo 10% de fibras.

Houve tendência de aumento dos valores de LI quando se adicionaram poucas quantidades de fibras aos compósitos (10%) e, ainda, diminuição dos valores, para aquém daqueles obtidos com 100% de pínus, nas chapas com quantidades de 20% e 30% de fibras.

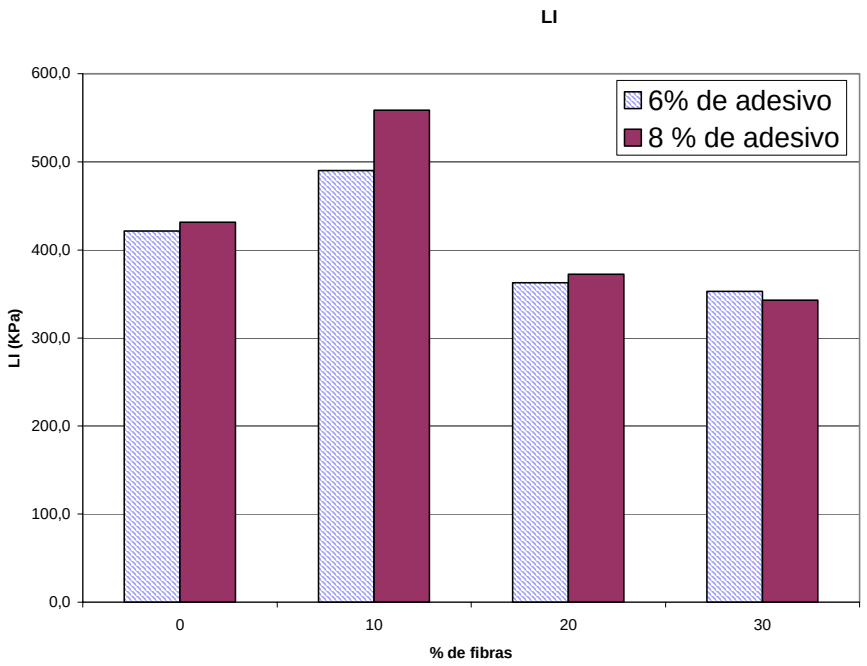


Gráfico 5.13 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com a ligação interna (LI). Experimentos T1 a T8 da Tabela 5.10 e da Tabela 5.17.

b.4) IE

A tendência de modificação do IE em função do percentual de fibras usadas nos compósitos com 6% de resina uréia-formaldeído, para os ensaios de 2h e de 24h de imersão, pode ser observada no Gráfico 5.14.

Para os compósitos com 6% de adesivo, houve tendência de aumento dos valores de IE quando se variou o número de horas de ensaio de 2 para 24.

Houve tendência à redução no aumento da espessura das chapas em função do aumento do percentual de fibras incorporadas.

A tendência de modificação do IE em função do percentual de fibras usadas nos compósitos com 8% de resina uréia-formaldeído, para os ensaios de 2h e de 24h de imersão, pode ser observada no Gráfico 5.15.

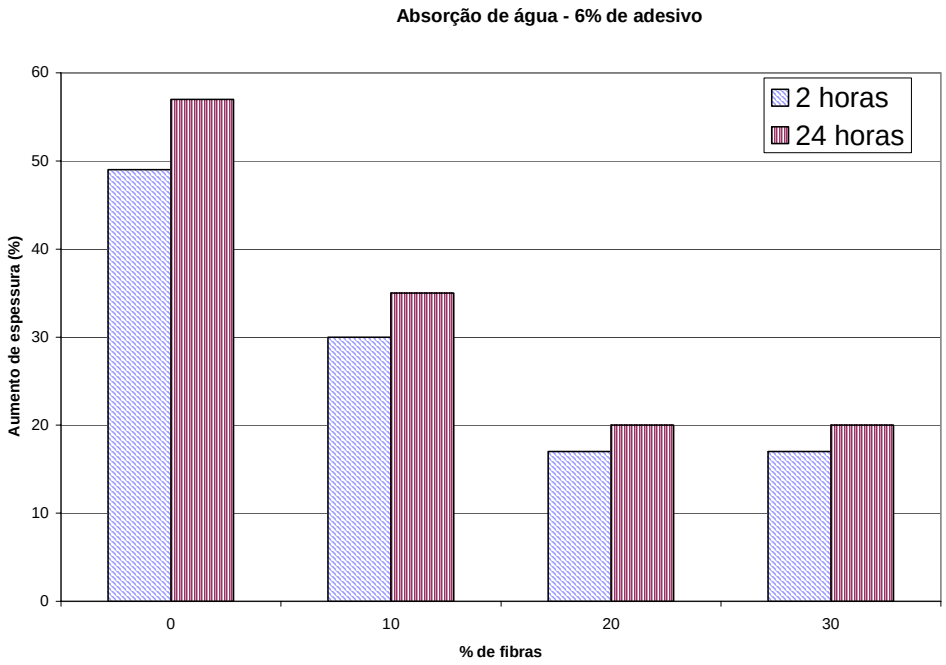


Gráfico 5.14 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com o inchamento em espessura (IE). Experimentos com 6% de resina (T1, T3, T5 e T7) da Tabela 5.10 e da Tabela 5.20.

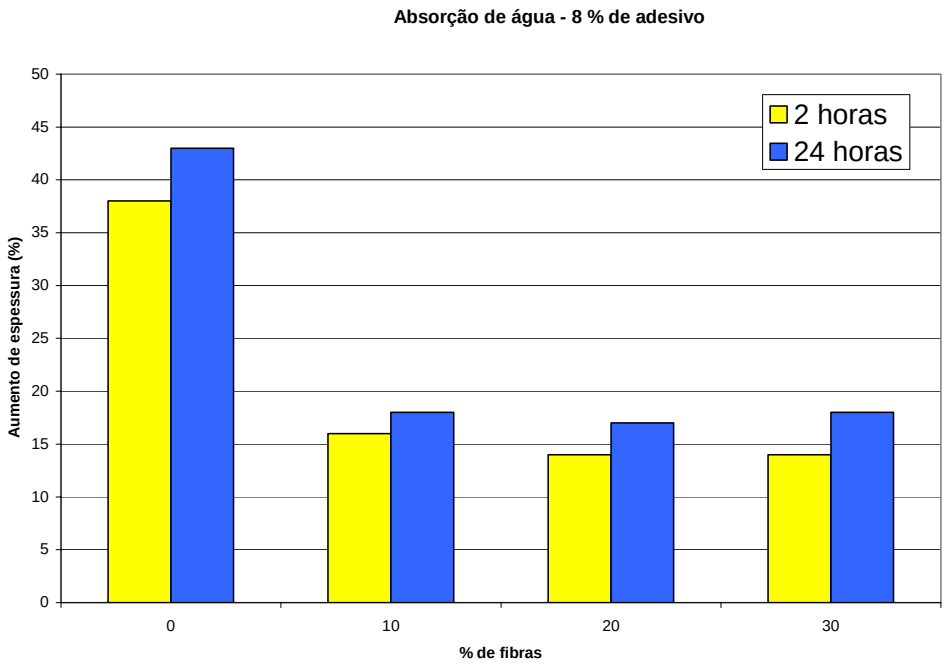


Gráfico 5.15 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com o inchamento em espessura (IE). Experimentos com 8% de resina (T2, T4, T6 e T8) na Tabela 5.10 e da Tabela 5.20.

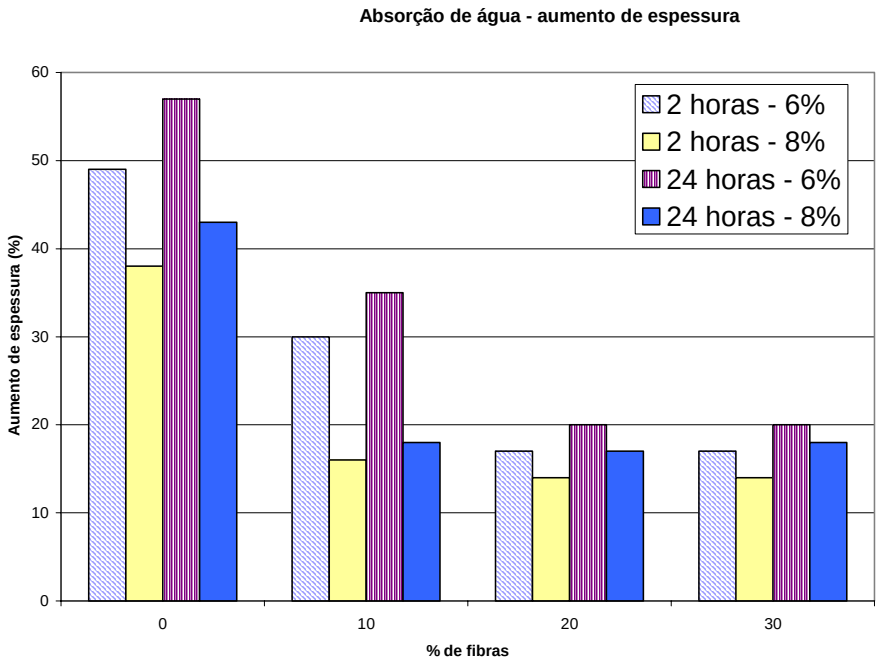


Gráfico 5.16 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com o inchamento em espessura (IE). Experimentos com 6 e 8% de resina (T1 a T8) na Tabela 5.10 e da Tabela 5.20.

Tal qual ocorreu nos compósitos com 6% de adesivo, nos compósitos com 8% da resina houve tendência de aumento dos valores de IE quando se variou o número de horas de ensaio de 2 para 24.

Com o aumento do percentual de fibras incorporadas, houve tendência à redução no aumento da espessura das chapas, quando se comparam os compósitos sem fibras de coco e aqueles com 10% de fibras. Para as concentrações de 10%, 20% e 30% os valores são praticamente iguais.

A tendência de modificação do IE em função do percentual de fibras usadas nos compósitos com 6% e 8% de resina uréia-formaldeído, para os ensaios de 2h e de 24h de imersão, pode ser observada no Gráfico 5.16.

A adição de fibras proporciona um aumento de espessura menor, quando se compara com placas sem fibras, atingindo valores menores para os percentuais de fibra de 20% e 30%.

b.5) AA

A tendência de modificação da AA em função do percentual de fibras usadas nos compósitos com 6% de resina uréia-formaldeído, para os ensaios de 2h e de 24h de imersão, pode ser observada no Gráfico 5.17.

Houve tendência de aumento dos valores de AA quando se variou o número de horas de ensaio de 2 para 24.

Com o aumento do percentual de fibras incorporadas, houve tendência à pequena redução na quantidade de água absorvida pelas chapas.

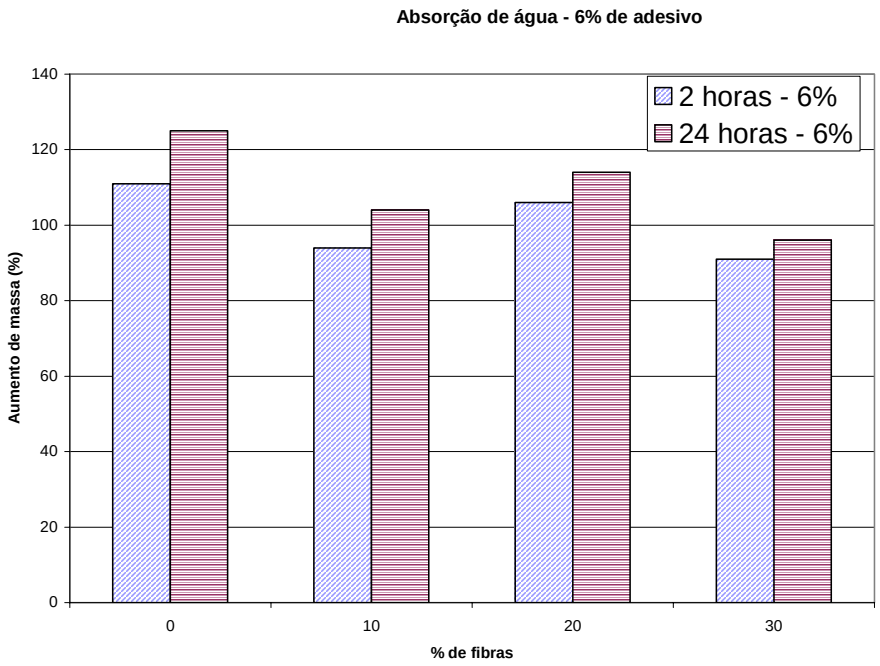


Gráfico 5.17 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com absorção de água (AA). Experimentos com 6% de resina (T1, T3, T5 e T7) da Tabela 5.10 e da Tabela 5.20.

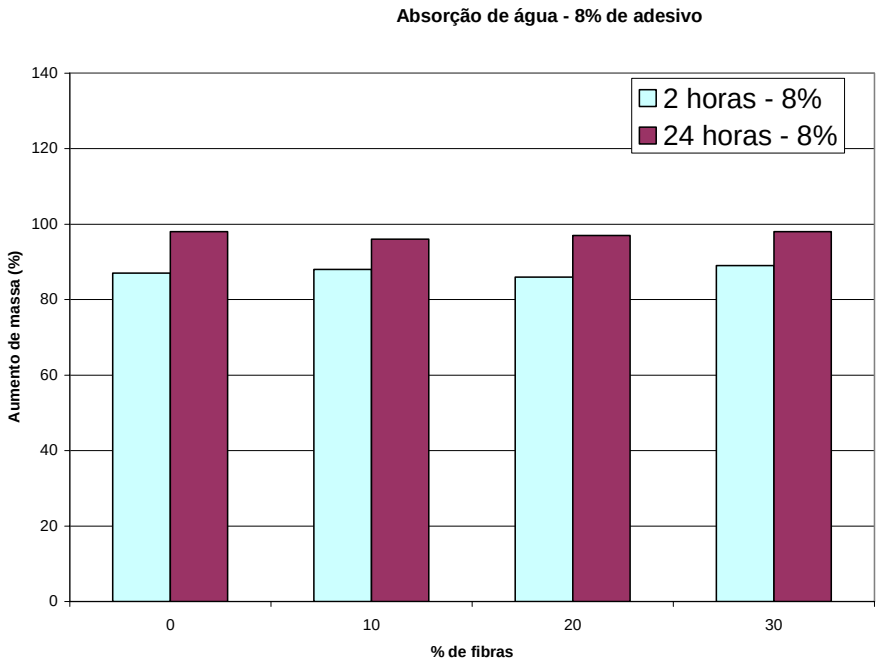


Gráfico 5.18 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com absorção de água (AA). Experimentos com 8% de resina (T2, T4, T6 e T8) da Tabela 5.10 e da Tabela 5.20.

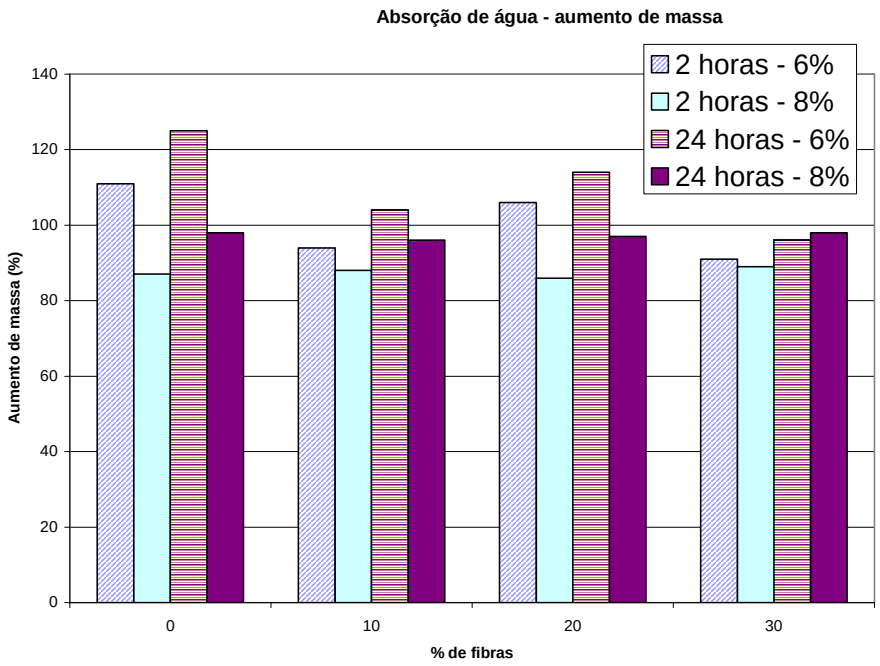


Gráfico 5.19 - Correlação entre o percentual de fibras de coco, usadas nas chapas de pínus, fibras e resina uréia-formaldeído, com a absorção de água (AA). Experimentos com 6 e 8% de resina (T1 a T8) da Tabela 5.10 e da Tabela 5.20.

A tendência de modificação da AA em função do percentual de fibras usadas nos compósitos com 8% de resina uréia-formaldeído, para os ensaios de 2h e de 24h de imersão, pode ser observada no Gráfico 5.18.

Houve tendência de aumento dos valores de AA quando se variou o número de horas de ensaio de 2 para 24.

Com o aumento do percentual de fibras incorporadas, houve tendência a pequeno aumento na quantidade de água absorvida pelas chapas. Pode-se dizer que a adição de fibra não confere mudanças apreciáveis na massa de água absorvida.

A tendência de modificação da AA em função dos percentuais de fibras usadas nos compósitos com 6% e 8% de resina uréia-formaldeído, para os ensaios de 2h e de 24h de imersão, pode ser observada no Gráfico 5.19.

Não há uma tendência clara de variação da massa de água absorvida com o aumento da quantidade de fibras incorporadas, portanto a adição de fibras praticamente não altera a massa de água absorvida pelas chapas.

Quando se aumenta o percentual de resina, mantendo constante a quantidade de fibra, há uma tendência a diminuir a massa de água absorvida.

Pode-se dizer que de acordo com os resultados observados e considerando a restrição dos percentuais usados de fibra de coco, houve tendência à diminuição dos valores de MOR e MOE com a adição de fibras. Já para a LI, o compósito com 10% de fibras foi o que apresentou a melhor performance. Deve-se destacar que o valor médio encontrado para as chapas com 10% de fibras e com 6% de adesivo foi maior do que o valor obtido para as chapas sem uso de fibras e com 8% de adesivo, sugerindo a ação de algum constituinte das fibras no processo de cura das chapas. Quanto à absorção de água, o aumento do percentual de fibras de coco proporcionou variações menores de inchamento em espessura e aumentos de massa semelhantes.

A análise dos experimentos sugere a possibilidade de adição de fibras de coco em substituição ao pínus em chapas de partículas.

5.3. Sugestão final: formação de um pólo eco-social

O uso de alguns materiais recicláveis, como lata de alumínio, garrafas PET e papel estão disseminados na sociedade brasileira por intermédio de cooperativas de catadores de resíduos. A sugestão que se segue é de que haja uma extensão destas práticas a fim de que as cascas de coco sejam integradas às atividades dos catadores.

As observações feitas por Bungay (2004), sobre as dificuldades de uso de resíduos da agricultura, permite uma discussão sobre o meio do modo produtivo ao qual se refere o autor. Todos os argumentos estão baseados, salvo melhor juízo, nos meios de produção centralizados, onde há necessidade de abastecimento de grandes mercados e,

por conseguinte, grande produção e produtividade. Os pontos levantados pelo autor são: (a) a dificuldade de recolhimento em grande escala dos subprodutos; (b) a necessidade de grandes áreas para o plantio; (c) o preço nem sempre é atrativo e (d) pulverização de matéria prima e processamento dificultando a logística.

Não há necessidade efetiva de que o uso de resíduos, seja da agricultura ou de outra origem, se dê desta forma. Podem-se imaginar algumas alternativas ao modelo proposto. Dentre elas podem ser destacadas:

a. A descentralização dos meios produtivos com inserção de cooperativas no mercado de trabalho;

A descentralização com a formação de pequenas células produtivas e formação de cooperativas pode ser uma saída importante, e que em verdade não é novidade. As células desenvolvidas próximas às fontes geradoras dos resíduos fariam o beneficiamento e se possível a própria utilização do subproduto da agricultura, evitando a todo custo o transporte do resíduo bruto.

b. Surgimento de novas frentes de trabalho com efetiva inclusão social;

O modelo, evidentemente, promoveria a inclusão social com abertura de novas frentes de trabalho sem distinção de região, podendo ser desenvolvido na área urbana ou rural, dependendo de onde esteja a fonte geradora dos resíduos.

c. Incentivo ao extrativismo;

Faz parte da proposta a existência de atividades de extrativismo que podem ser geradoras de resíduos ou de fibras que possam ter uso dentre as várias opções existentes e pesquisadas.

d. Preços competitivos

A questão dos preços dependeria de muitos fatores e não há como garantir sem estudos específicos a competitividade dos produtos. Entretanto, pelo fato de serem

usados materiais reciclados e haver associação em forma de cooperativa, a possibilidade de sucesso existe.

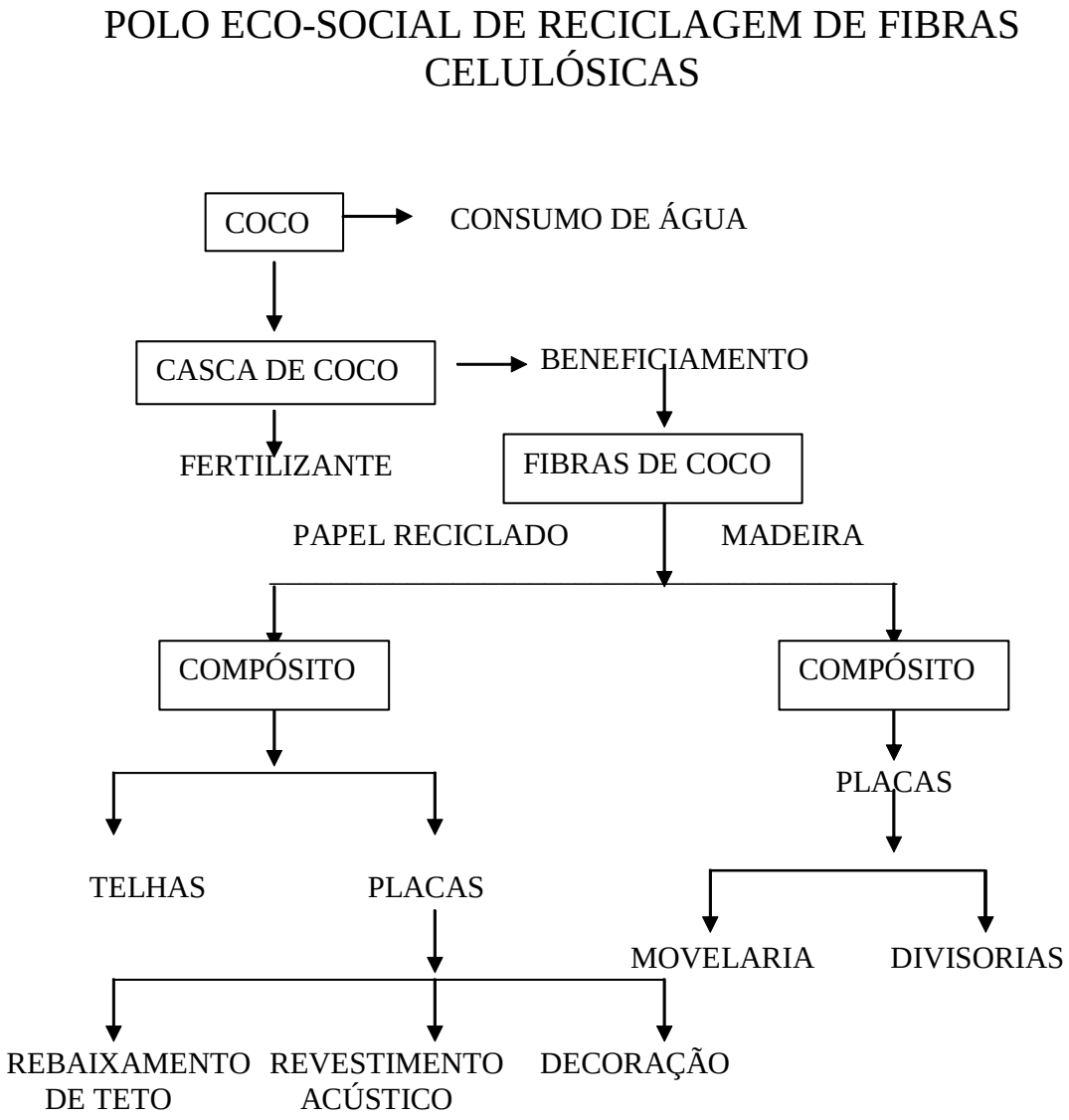


Figura 5.19 - Fluxograma simplificado de produção no Pólo Eco-Social de reciclagem de fibras celulósicas.

Dentro das características apresentadas e com viabilidade de execução, poderiam ser implementadas células de uso de fibras de celulose, por intermédio de cooperativas

para população de baixo poder aquisitivo, com usos múltiplos das fibras de coco e de papel e madeira recicladas, configurando um centro de desenvolvimento de produtos recicláveis, que poderia ser denominado de pólo eco-social de reciclagem de fibras celulósicas.

Com base nos compósitos estudados e desenvolvidos neste trabalho pode-se sugerir a implementação de um pólo com atividades que são mostradas no esquema da Figura 5.19.

O pólo tem como alicerce o uso de três materiais básicos: papel reciclado, coco verde e madeira reciclada, produzindo compósitos de fibras de coco e papel reciclado, com usos múltiplos ou após processo de impermeabilização constituindo telhas. Com o uso de fibras de coco e de madeira, associadas a resinas aglutinantes, podem ser obtidas chapas com usos diversos. Todos os compósitos mencionados na Figura 5.19 foram discutidos neste trabalho e podem ser desenvolvidos e aprimorados para uso, desde que submetidos a testes finais de performance. São indicados, em princípio, como compósitos de acabamento e no caso dos que não tenham tratamento impermeabilizante devem ser usados somente para uso interior, onde não haja contra indicações quanto ao fato de serem inflamáveis.

Este trabalho não abordou experimentalmente o uso de cascas de coco como fertilizantes, mas citou trabalhos da literatura onde este uso foi abordado (ABAD et al., 2002, HERNANDES-APAOLAZA et al., 2005, CARRIJO et al., 2002, 2004).

O Pólo eco-social tem aporte nos princípios da ecologia industrial, fundamentalmente pelo uso de materiais secundários e pela utilização de recursos renováveis, e na desmaterialização, pois os compósitos são de densidade pequena, portanto, configurando uma linha de produtos leves.

Como foi dito anteriormente, as fibras vegetais têm densidade pequena, portanto, os produtos nos quais elas forem usadas terão tendência a ser mais leves. O uso de materiais com menor densidade na formulação de produtos faz parte de uma grande tendência mundial denominada de desmaterialização, como foi mencionado no capítulo 3. Obter produtos mais leves pela substituição de materiais ou pela diminuição das massas dos constituintes usados nas formulações, pela diminuição das emissões de poluentes ou resíduos gerados após o ciclo de vida dos produtos, ou ainda, pela diminuição de qualquer tipo de recurso natural ou não usado na produção é considerado como desmaterialização (GERELLI, 1995).

O uso das fibras de coco configura um processo de reciclagem que é uma das ferramentas da Ecologia Industrial, que segundo Graedel (1994, 1996) é a engenharia do século XXI, onde é abordada uma visão sistêmica do meio produtivo, na qual procura-se otimizar o ciclo total dos materiais, desde o virgem até o acabado, incluindo componentes, produtos principais e secundários e disposição final. A associação de várias células produtivas compartilhando o uso de recursos naturais, a reciclagem e o estudo do ciclo de vida dos materiais são ferramentas da ecologia industrial, assim como o aproveitamento de resíduos. A integração produtiva é, portanto, uma opção de gestão que contempla aspectos econômicos, ambientais e sociais, que configuram os três pilares do desenvolvimento sustentável.

A sugestão de implementação do pólo é baseada na possibilidade de inclusão social e de aproveitamento de resíduos.

A busca pelo uso de resinas e impermeabilizantes naturais pode tornar, em futuro próximo, o pólo em uma célula de desenvolvimento de produtos ambientalmente corretos. Como exemplo, podem ser citadas as produções de biopolímeros reforçados

com fibras de coco; chapas de partículas com uso de lignina como adesivo e telhas com impermeabilização de resinas naturais.

Outro aspecto a ser considerado é a possibilidade de usos de outras fibras naturais, o que diversificaria a produção tornando o pólo mais dinâmico.

Conclusões

OBJETIVO GERAL

Os estudos efetuados possibilitaram a obtenção e avaliação de compósitos que têm potencial para serem produzidos e comercializados, proporcionando o aproveitamento das fibras de coco e a conseqüente redução nas emissões de metano, além de contribuir para o aumento da vida útil dos aterros. Portanto, com relação ao objetivo geral do trabalho pode-se dizer que é possível aproveitar as cascas de coco (*Cocos nucifera*) verde que atualmente são destinadas aos aterros e vazadouros.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Com relação aos objetivos específicos e desenvolvimentos propostos para execução deste trabalho, pode-se dizer que:

1- No Brasil, embora 99,34% dos 5.507 municípios tenham coleta de resíduo sólido urbano (RSU) (PNSB-2000, 2002), a eficácia no processo de recolhimento é muito menor. A estimativa efetuada neste trabalho indica que cerca de 4.231 domicílios hipotéticos têm coleta de lixo integral, o que representa cerca de 75% dos domicílios do país. Para o município do Rio de Janeiro o percentual é de cerca de 95%. Estes percentuais não traduzem o volume de lixo coletado, mas sim a qualidade dos serviços, pois é nos municípios de maior população onde há maior geração de RSU e onde, também, a eficiência de coleta é maior.

2- Foram determinadas as quantidades potenciais de cascas de coco *(Cocos nucifera)* geradas, admitindo-se que todo fruto seja consumido verde. Os cálculos para o Brasil foram baseados na produção nacional de 2002, que foi de 1,928 bilhões de frutos,

enquanto as estimativas para o município do Rio de Janeiro foram baseadas na produção do município e da região metropolitana em 2002, que foram de 3,15 milhões e 23,19 milhões de unidades, respectivamente (IBGE-PAM, 2002). Os valores encontrados foram de 2,892 milhões de toneladas para o Brasil e de 4,72 mil toneladas de cascas para o município do Rio de Janeiro, com base na produção municipal, e 34,78 mil toneladas considerando-se a produção metropolitana. Estas estimativas foram efetuadas devido ao fato de não haver dados precisos sobre o consumo de coco verde no país e no município do Rio de Janeiro. O valor encontrado para o Brasil está sobredimensionado, uma vez que nem todo fruto é consumido verde, enquanto os valores para o município estão subdimensionados, já que o consumo é muito maior do que a produção municipal e da região metropolitana. Pode-se usar como argumento o fato de o nordeste brasileiro, que contribui com cerca de 70% da produção nacional, destinar parte do que produz para o Rio de Janeiro e a constatação de que a população da cidade representava no ano de 2000 cerca de 3,40% da população do Brasil, enquanto as produções de coco do município e da região metropolitana contribuíram, respectivamente, com apenas 0,16% e 1,20% da produção nacional de coco em 2002 e com 0,10% e 1,12% no ano de 2000. Cabe lembrar que ao estipular valores extremos de geração de cascas e posteriormente compará-los com a produção de RSU nas mesmas regiões ter-se-á uma faixa de contribuição das cascas de coco verde sobre o RSU.

É importante ressaltar, ainda, que os frutos de coco maduro também possuem uma camada externa (folhelho) de onde podem ser extraídas as fibras que também são destinadas aos aterros.

Baseados nos dados de produção nacional de coco no período de 1997 a 2002 (IBGE-PAM, 2002), verificou-se que há uma tendência de crescimento linear da produção, com base inclusive em aumento de produtividade. Desta forma, no ano de

2012 a quantidade potencial de cascas de coco chegará a 5,2 milhões de toneladas, representando um aumento de 80% em relação ao ano de 2002.

Foi estimado o percentual de cascas de coco em relação ao RSU para o Brasil (ano de 2000) e para o município do Rio de Janeiro (ano de 2002). Os valores encontrados foram de 3,4% para o país e 1,1% para o município, considerando-se a produção de coco da região metropolitana. Considerada somente a fração orgânico-celulósica, onde se enquadram as cascas de coco, tais percentuais foram de 4,5% para o Brasil e 1,4% para o município.

Baseando-se nos percentuais encontrados e nas situações de contorno dos cálculos, pode-se generalizar sugerindo que a contribuição das cascas de coco verde no RSU está compreendida entre 1,1% e 3,4%.

3- Foram estimadas as quantidades de metano gerado pela disposição de RSU e das cascas de coco verde em vazadouros e aterros, segundo metodologia do IPCC. Para tanto, considerou-se que a coleta da casca do fruto se dá de forma idêntica à do RSU. Foram considerados dois cenários para destinação. O primeiro, denominado de conservador, considerou que todo o resíduo seria encaminhado para vazadouros, enquanto o segundo, designado como realista, destinava 30% do resíduo para vazadouros e 70% para aterros sanitários e controlados. Portanto, os valores reais devem estar compreendidos entre os dois valores estimados. Para o Brasil, o potencial de geração de metano seria de 8,78 a 17,9 Gg/ano, enquanto na cidade do Rio de Janeiro, considerando-se somente o coco produzido na região metropolitana, seria de 0,16 a 0,32 Gg/ano. O metano gerado pelo RSU seria de 1.450 a 2.971 Gg/ano para o Brasil e 81,6 a 167 Gg/ano para o Rio de Janeiro.

As estimativas de emissão de metano relativas ao RSU, efetuadas para o Brasil e para o município do Rio de Janeiro, apresentaram boa correlação quando comparadas com as existentes no inventário do país (COMUNICAÇÃO NACIONAL, 2004) e no inventário do município do Rio de Janeiro (INVENTÁRIO DO RJ, 2000).

4- Foram propostos três indicadores para avaliar as emissões de metano originárias das cascas de coco em relação ao gás gerado pelo RSU, a saber: (a) (Kg CH_4) / (t de coco) ou (Kg CH_4) / (100 Kg de coco); (b) (t CH_4 de coco ao ano) / (t CH_4 de RSU ao ano) x 100 e (c) (Kg CH_4 / t coco) / (Kg CH_4 / t RSU). Tais indicadores permitem avaliar, respectivamente: (a) o potencial absoluto de geração de metano originário das cascas de coco; (b) o potencial relativo de geração do gás oriundo das cascas em relação ao produzido pelo RSU, ao ano e (c) o potencial relativo de geração do gás oriundo das cascas em relação ao produzido pelo RSU, por unidade de massa. Os valores encontrados para o potencial absoluto de geração de metano oriundo das cascas de coco foram 6,0 e 12,25 (Kg CH_4) / (t de coco), enquanto os valores para o potencial de geração das cascas em relação ao RSU, por produção anual, foram de 0,2% e 0,6% e, finalmente, para o potencial relativo de produção de metano em relação ao RSU, por unidade de massa, o valor foi de 24%.

O que tais indicadores traduzem, em síntese, é que as cascas de coco tem o potencial de gerar entre 6 e 12 Kg de CH_4 / t de casca de coco dispostas em aterros e vazadouros e que a emissão de metano está entre 0,2% e 0,6% do gás produzido pelo RSU e, ainda, que a capacidade das cascas em gerar metano é 24% do potencial que o RSU possui para gerar o referido gás.

5- Com relação ao desenvolvimento de compósitos, foram realizados experimentos que evidenciaram a possibilidade de incorporação de fibras de coco verde à matriz de celulose (papel reciclado) para a produção de compósitos.

Usando os valores do módulo de ruptura (MOR), do módulo de elasticidade (MOE) e de tração (ligação interna - LI) como parâmetros de avaliação e considerando a restrição dos percentuais usados nos experimentos, houve uma tendência de que o melhor valor estimado de fibras de coco adicionadas ao compósito fosse o de 15%. Tal adição tendeu a melhorar a performance do compósito.

A verificação mais detalhada de qual seria o percentual de fibras a ser adicionado para provocar a maior mudança possível nas características do compósito com 100% de papel, teria que levar em consideração percentuais menores de fibras, o que não era o objetivo deste trabalho, que buscou maximizar o uso das fibras de coco.

O aumento da quantidade de água absorvida, proporcionalmente ao aumento do percentual de fibras incorporadas, era esperado, uma vez que as fibras de coco deixam espaço entre as fibras de celulose, onde a água fica retida.

Os compósitos obtidos são de aparência inovadora e bela. As fibras de coco ficam aparentes proporcionando desenhos e formas distintas nas superfícies do material. Devido às características de isolamento acústico do papel, o compósito pode ser aperfeiçoado para ser usado como isolante em ambientes construídos. Devido à sua beleza rústica, pode ser usado para acabamentos, forrações e rebaixamento de tetos ou servir de base para outros produtos que não sejam usados para sustentação.

6- Foi obtido produto composto de papel reciclado e de fibras de coco e impermeabilizado com cimento asfáltico, com o objetivo de uso como cobertura em ambientes construídos. O produto foi denominado de “telha ecológica”.

De acordo com os testes laboratoriais, a impermeabilização com cimento asfáltico foi eficiente, havendo diminuição significativa, de cerca de 5.500%, no percentual de água absorvida em relação ao compósito sem impermeabilização contendo o mesmo teor de fibras.

Os valores de tração, ligação interna, aumentaram significativamente após a impermeabilização com cimento asfáltico, anulando a diminuição observada quando percentuais acima de 15% de fibras foram adicionados. O valor após a impermeabilização é cerca de 3,5 vezes a quantidade obtida para o compósito com 15% de fibras e 4 vezes o valor encontrado para compósitos sem adição de fibras. Entretanto, não foi observada alteração no módulo de ruptura na flexão estática.

Embora o melhor percentual de fibras, encontrado com as restrições experimentais usadas, fosse de 15%, a produção em escala industrial, em fase experimental, foi efetuada usando-se 25% de fibras com o objetivo de maximizar o uso das fibras e verificar se o processo de impermeabilização poderia melhorar as características mecânicas do produto, tornando-o semelhante ao compósito com 15% de fibras. Partiu-se do pressuposto que o percentual de 25% de fibras não comprometeria o uso futuro da telha.

O uso do cimento asfáltico fez com que os valores de ligação interna deixassem de ser dependentes do percentual de fibras.

A utilização das matérias primas (fibras de coco verde, papel reciclado e cimento asfáltico) na composição de um produto, a “telha ecológica”, tem caráter inovador e inédito.

A “telha ecológica” está em teste de campo desde fevereiro de 2004, sendo submetida à ação do tempo, e até o presente momento não apresentou rachaduras ou permeabilidade à água. Entretanto, testes laboratoriais precisam ser efetuados para uma

melhor avaliação da vida útil do produto e caracterização de suas reais potencialidades e possibilidades de usos.

Há perda parcial de coloração da telha durante a exposição aos raios solares, passando de preta para cinza escuro, provavelmente por perda parcial dos compostos presentes na superfície do material. Estudos devem ser efetuados buscando um fixador destes compostos ou tentando encontrar um impermeabilizante com capacidade de encapsular o cimento asfáltico ou até mesmo substituí-lo. Existem algumas possibilidades a serem testadas, tais como: intensificar a quantidade de lignina, que pode ser extraída do próprio coco; usar o líquido da castanha do caju, que é rico em polifenóis, e, ainda, utilizar polímeros naturais.

Atualmente, a "telha ecológica" está sendo usada como cobertura do galpão e do laboratório de produção de biodiesel, pertencente ao IVIG/COPPE/UFRJ. A estrutura de sustentação das telhas foi toda montada com bambu e o conjunto telha-bambu oferece uma visão harmoniosa e de real beleza.

7- A produção potencial de telhas no Brasil, com uso de 25% de fibras de coco na composição, é de 578,4 milhões de telhas/ano, o que poderia cobrir 7,2 milhões de residências com áreas de cobertura de 60 m^2 ou 8,7 milhões com áreas de 50 m^2 ou, ainda, 10,8 milhões de casas populares com 40 m^2 de áreas a serem cobertas.

O déficit habitacional do Brasil é de cinco milhões de habitações com um crescimento anual de 600 mil residências. Para suprir esta demanda em 10 anos, seria necessário usar cerca de 15% das fibras de coco existentes na produção das telhas, atendendo a 1,1 milhão de habitações por ano.

A "telha ecológica" pode ser empregada em habitações urbanas e rurais, não tendo seu uso restrito a programas sociais de eliminação de déficit habitacional.

O custo de produção estimado da “telha ecológica” foi de cerca de R$ 3,50, por unidade ou R$ 3,65/m^2. Uma telha comercial, de nome Onduline, constituída, segundo o fabricante, de fibras celulósicas e com impermeabilização feita por material betuminoso, tem um valor final de comercialização de cerca de R$ 25,00 por unidade ou R$ 13,15/ m^2.

A “telha ecológica” necessita de aperfeiçoamentos, como foi discutido anteriormente, mas diante dos custos apresentados há possibilidade de viabilização de fabricação da telha em escala industrial. Portanto, o uso das fibras nas telhas depende única e exclusivamente de ações que viabilizem a produção e comercialização do produto.

8- Foi investigada a possibilidade de utilização das fibras de coco verde em chapas de partículas, com substituição parcial da madeira de pínus por fibras de coco verde e os resultados foram promissores.

Usando-se a tração (ligação interna) como parâmetro de avaliação e considerando-se a restrição dos percentuais de fibras usados nos experimentos, o compósito com 10% de fibras teve o melhor desempenho, enquanto os outros dois (com 20% e 30%) tiveram valores cerca de 10% abaixo do obtido para o compósito de madeira. Utilizando-se os valores do módulo de ruptura (MOR) e do módulo de elasticidade (MOE), pode-se dizer que a adição de fibras de coco piorou a performance dos compósitos, mesmo para os menores percentuais.

Quanto ao inchamento em espessura (IE) por absorção de água, todos os compósitos com fibra tiveram menores inchamentos do que obteve o compósito com 100% de madeira. Já o aumento de massa (AA) por absorção de água foi praticamente o mesmo para todos os compósitos.

Com exceção do aumento de espessura por absorção de água, todas as demais diferenças observadas não são muito grandes, mas servem para indicar tendências. Portanto, há tendência de que ao se adicionar as fibras haja diminuição dos módulos de elasticidade e de ruptura.

Outro fato importante a ser destacado é o aumento da ligação interna no compósito com 10% de fibras e, ainda, a menor variação de espessura e aumentos de massa praticamente iguais na absorção de água. Tudo indica que algum componente das fibras de coco atuou, efetivamente, nas ligações internas, conferindo ao compósito melhor resultado. Este efeito provavelmente foi conseguido pela ação da lignina das fibras que agiu como um ligante adicional. Porém, ao aumentar-se o percentual de fibras de coco, a menor resistência das fibras prevaleceu sobre o efeito aglutinante da lignina.

A ação da lignina, presente nas cascas de coco, como elemento ligante na obtenção de compósitos foi destacada por van Dam et al. (2004), que observou comportamento irreversível a 140ºC na curva de calor especifico das cascas de coco, devido, segundo o autor, a reações de condensação ou cura dos componentes da lignina. Portanto, nesta temperatura há reações que conferem a lignina ação adicional de ligante. Desta forma, ao se fazer uso das fibras de coco pode-se usar menos resina de uréia-formaldeído sem perder as características de tração (ligação interna).

Estudos adicionais devem ser realizados para determinação dos melhores percentuais de fibras a serem usados para minimizar a quantidade de resina uréia-formaldeído a ser empregada.

Os compósitos com maior proporção de resina uréia-formaldeído tiveram melhor performance, salvo algumas exceções.

Com relação aos valores mínimos estabelecidos pela norma CS 236-66, nenhuma das chapas obtidas conseguiu aprovação em todos os testes. As chapas com

10% de fibras não conseguiram valor ideal somente para o MOE, enquanto as chapas de madeira não conseguiriam aprovação em MOE (somente o compósito com 6% de resina), LI e IE.

Os resultados indicam a possibilidade de incorporação das fibras de coco verde em chapas de partículas. Testes complementares precisam ser efetuados para se verificar se haveria alguma restrição ao uso.

9- Uma forma possível de se implementar a produção de compósitos e produtos usando fibras celulósicas de coco e de papel e madeira, seria por intermédio de cooperativas de produtores. A sugestão é de que seja desenvolvido um pólo de reciclagem de fibras celulósicas, denominado de pólo eco-social, constituindo uma célula produtiva capaz de agregar trabalhadores comunitários e recicladores com o objetivo de produzir e comercializar os produtos desenvolvidos neste trabalho. Trata-se de uma idéia factível, mas que precisa ser melhor avaliada segundo os aspectos econômicos.

10- Vários projetos podem ser desenvolvidos tendo-se como base os estudos efetuados neste trabalho, tais como:

a- As quantidade de cascas de coco e de metano estimadas a partir das produções do fruto no Brasil e no Rio de Janeiro podem ser reavaliadas a partir de um controle rigoroso das quantidades reais de cascas de coco que chegam aos aterros e vazadouros. Isto só será possível com a implantação de serviços de coleta seletiva e de pesagem do RSU ou com conhecimento da quantidade de cascas de coco coletadas;

b- As placas de papel usado e fibras de coco podem ter usos diversos, portanto estudos devem ser desenvolvidos visando verificar a real possibilidade de produção

industrial das placas para uso como revestimento acústico, rebaixamento de teto ou com fins decorativos;

c- Um estudo de ciclo de vida da "telha ecológica", incluindo testes de determinação da vida útil do produto, deve ser desenvolvido para que sejam melhor conhecidas as características e propriedades do material;

d- Estudos buscando novos impermeabilizantes para serem usados em substituição ao cimento asfáltico devem ser feitos, principalmente com uso da lignina oriunda das cascas e fibras do coco. A possibilidade de usar outros adesivos naturais como o líquido oriundo da torrefação da castanha de caju, rico em polifenóis, é outra grande possibilidade de aprimoramento da "telha ecológica";

e- A substituição da resina uréia-formaldeído nas chapas de partículas deve ser realizada. Neste sentido, a lignina oriunda das cascas de coco deve ser estudada como um possível substituinte;

f- Testes suplementares devem ser efetuados nas chapas de partículas para verificar as potencialidades e restrições de uso do produto;

g- O uso de cooperativas para produção de produtos oriundos de papel usado já é uma realidade no Brasil. A implementação de pólos eco-sociais de reciclagem de fibras celulósicas tem, portanto, grande chance de ser bem sucedido e deve ser desenvolvido em municípios onde haja consumo de coco e facilidade de obtenção de papel usado e cimento asfáltico. Como foi dito anteriormente, estudos abordando os aspectos econômicos de implementação dos pólos eco-sociais devem ser feitos.

As cascas de coco têm um grande potencial de uso e podem servir de meio de renda e melhoria da qualidade de vida da população de baixo poder aquisitivo. A utilização das cascas tem abrangência nos aspectos ambiental, social e econômico servindo, portanto, como um promotor de desenvolvimento sustentável;

h- Devem ser desenvolvidos estudos para estimar a emissão de carbono evitada pela utilização das cascas de coco, em complementaridade ao cálculo de emissão de metano oriundo da disposição das cascas de coco em aterros e vazadouros que foi efetuado neste trabalho. Há, neste caso, emissão evitada de CH_4 e de CO_2. Estes dados, aliados ao estudo do ciclo de vida das telhas, poderiam configurar um projeto de Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL).

Melhorar as condições de vida da população nos seus aspectos sociais e ambientais é desejo de grande parte da sociedade e obrigação de qualquer pesquisador.

Referências

ABAD, M. et al. “Physico-chemical and chemical properties of some coconut coir dusts for use as a peat substitute for containerized ornamental plants”. **Bioresource Technology**, v. 82, pp. 241-245, 2002.

AKERS, S. A. S. et al. “Micromechanics studies of fresh and weathered fibre cement composites. Part 1: dry testing”. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, v. 11, n. 2, pp. 117-124, 1989.

AKERS, S. A. S., STUDINKA, J. B. “Ageing behaviour of cellulose fibre cement composites in natural weathering and accelerated tests”. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete,** v. 11, n. 2, pp. 93-97, may 1989.

AL-SULAIMAN, F. A. “Mechanical properties of date palm fiber reinforced composites”. **Applied Composite Materials**, v. 9, pp. 369-377, 2002.

ASTM D 1037-91. **American Society for Testing Materials**. Standard methods of evaluating the properties of wood-base fiber and particle materials. v. 04.09 Philadelphia, 1991.

BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2 ed. Porto Alegre, Bookman, 2002.

BENTUR, A., AKERS, S. A. S. “The microstructure and ageing of cellulose fibre cement composites cured in a normal environment”. **The International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete,** v. 11, n. 2, pp. 99-109, may 1989.

BLEDZKI, A. K., GASSAN, J. “Composites reinforced with cellulose based fibres”. **Progress in Polymer Science**, v. 24, pp. 221-274, 1999.

BRAHMAKUMAR, M., PAVITHRAN, C., PILLAI, R. M. “Coconut fibre reinforced polyethylene composites: effect of natural waxy surface layer of the fibre on fibre/matrix interfacial bonding and strength of composites”. **Composites Science and Technology**, v. 65, n. 3-4, pp. 563-569, mar. 2005.

BRITO, E. O., SILVA,G. C. “Propriedades de chapas de partículas produzidas a partir de *Gmelina arbórea Linn Roxb*. e *Samanea saman (Jacq.) Merr*”. **Floresta e Ambiente**, v. 9, n. 1, pp. 127-134, 2002.

BUNGAY, H. R. “Confessions of a bioenergy advocate”. **Trends in Biotechnology**, v. 22, n. 2, pp. 67-71, 2004.

CAMPOS, C. P., MUYLAERT, M. S., ROSA, L. P. “Historical CO_2 emission and concentrations due to land use change of croplands and pastures by country”. **Science of the Total Environment**. In press, corrected proof. Disponível em: <www.sciencedirect.com> desde 02 de março de 2005. Acesso em: abril de 2005.

CARRIJO, O. A., LIZ, R. S., MAKISHIMA, N. “Fibra da casca de coco verde como substrato agrícola”. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 4, pp. 533-535, dez. 2002.

CARRIJO, O. A. et al. “Produtividade do tomateiro em diferentes substratos e modelos de casas de vegetação”. **Horticultura Brasileira**, v. 22, n. 1, pp. 05-09, jan-mar. 2004.

CHIH, P. C., SZU, C. H., “Manufacture of flame retardant foaming board from waste papers reinforced with phenol-formaldehyde resin”. **Bioresource Technology**, v. 86, pp. 201-202, 2003.

CHIN, O. C., SIDDIQUI, K. M. “Characteristics of some biomass briquettes prepared under modest die pressures”. **Biomass and Bioenergy**, v. 18, n. 3, pp. 223-228, 2000.

CLEVELAND, C. J., RUTH, M. “Interconnections between the depletion of minerals and fuels: the case of copper production in the United States”. **Energy Sources**, v. 18, pp. 355-373, 1996.

COMLURB. **Companhia Municipal de Limpeza Urbana**. Disponível em: http://www2.rio.rj.gov.br/comlurb/ma_lcoletado.htm#recolhi_rio

COMUNICAÇÃO NACIONAL**. Comunicação Nacional Inicial do Brasil à Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima**, República Federativa do Brasil, Ministério de Ciência e Tecnologia, 1 ed. Brasília, 2004.

COUTTS, R. S. P. “Wastepaper fibres in cement products”. **Cement and Concrete Composites**, v. 11, n. 3, pp. 143-147, 1989.

CS 236-66. **Commercial Standard CS 236-66** - Material formed wood particleboard, 1968.

CURVELO, A. A. S., CARVALHO, A. J. F., AGNEELLI, J. A. M. "Thermoplastic starch-cellulosic fibers composites: preliminary results". **Carbohydrate Polymers**, v. 45, pp. 183-188, 2001.

GASSAN, J., BLEDZKI, A. K. "Possibilities to improve the properties of natural fiber reinforced plastics by fiber modification – jute polypropylene composites". **Applied Composite Materials**, v. 7, pp. 373-385, 2000.

GEETHAMMA, V. G. **"**Composite of short coir fibres and natural rubber: effect of chemical modification, loading and orientation of fibre". **Polymer**, v. 39, n. 6-7, pp. 1483-1497, 1998.

GELLER, H. et al. "Policies for advancing energy efficiency and renewable energy use in Brazil". **Energy Policy**, v. 32, pp. 1437-1450, 2004.

GERELLI, E. **Società Post-industriale e Ambiente,** Gius. Laterza & Figli Spa, Roma, 1995.

GHAVAMI, K., TOLEDO FILHO, R. D. BARBOSA, N. P. "Behaviour of composite soil reinforced with natural fibres". **Cement and Concrete Composites**, v. 21, pp. 39-48, 1999.

GONÇALVES, C. A. et al. "Produção de chapas de madeira aglomerada com adesivo uréia-formaldeído modificada com tanino de Mimosa *caesalpinaefolia Bentham* (Sabiá)". **Floresta e Ambiente**, v. 10, n. 1, pp. 18-26, jan/dez. 2003.

GRAEDEL, T. E. "Industrial Ecology: definitions and Implementations". In SOCOLOV et al. (eds). **Industrial Ecology and Global Change.** Cambridge, UK, Manchester University Press, pp. 23-41, 1994.

GRAEDEL, T. E. "On the concept of industrial ecology". **Annual Review of Energy and the Environment**, v. 21, pp. 69-98, 1996.

GRIGORIOU, A. H. "Waste paper–wood composites bonded with isocyanate". **Wood Science and Technology,** v. 37, pp. 79-89, 2003.

GUO, Z. et al. "Catalytic oxidation of NO to NO_2 on activated carbon". **Energy Conversion and Management**, v. 42, n. 15-17, pp. 2005-2018, 2001.

HARPER, S. “Developing asbestos-free calcium silicate building boards”. **Composites**, pp. 123-128, apr. 1982.

HENRIQUES, R. M. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos: uma Abordagem Tecnológica.** Tese de M.Sc., Programa de Planejamento Energético/ COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.

HERNANDES-APAOLAZA, L. et al. “Reuse of waste materials as growing media for ornamental plants”. **Bioresource Technology**, v. 96, pp. 125-131, jan. 2005.

HERRMANN, A. S., NICKEL, J., RIEDEL, U. “Construction materials based upon biologically renewable resources - from components to finished parts”. **Polymer Degradation and Stability**, v. 59, pp. 251-261, 1998.

HÜTTERMANN, A., MAI, C., KHARAZIPOUR**,** A. “Modification of lignin for the production of new compounded materials”. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 55, n. 4, pp. 387, 2001

IBGE-PAM-2002. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**, SIDRA, Banco de Dados Agregados, Produção Agrícola Municipal Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/bda/tabela/listabl.asp?c=1613&z=t&o=11>

IBGE-PNSB-2000. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico-2000**. Diretoria de Pesquisas, Departamento de População e Indicadores Sociais, contato pessoal em 2004.

INVENTÁRIO DO RJ**. Inventário de Emissões de Gases de Efeito Estufa da Cidade do Rio de Janeiro.** Prefeitura da Cidade, Secretaria de Meio Ambiente. Rio de Janeiro, 2000.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Cambio Climático 2001: La Base Científica**. Resumen Técnico. Parte de la Contribución Del Grupo de Trabajo I al Tercer Informe de Evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático. 2001a. Disponível em: <http://www.grida.no/climate/ipcc_tar/wg1/index.htm>

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 1990: The Intergovernmental Panel on Climate Change Scientific Assessment**. Houghton, J. T. et al. (ed.). New York, Cambridge University, 1990.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Climate Change 2001: The Scientific Basis**. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. New York, Cambridge University, 2001.

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Good Practice Guidance and Uncertainty Management in National Greenhouse Gas Inventories.** Chapter 5: Waste, pp 5.1-5.31, 2000. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gp/english/5_Waste.pdf>

IPCC. Intergovernmental Panel on Climate Change. **Guidelines for National Greenhouse Gas Inventory**. v. 3: Reference Manual, pp. 1-20, 1996. Disponível em: <http://www.ipcc-nggip.iges.or.jp/public/gl/guidelin/ch6ref1.pdf>

IWAKIRI, S. et al. "Produção de chapas de madeira aglomerada de cinco espécies de pínus tropicais". **Floresta e Ambiente**, v. 8, n. 1, pp. 137-142, jan/dez. 2001.

JAYAMOL, G., BHAGAWAN, S. S., THOMAS, S. "Effects of environment on the properties of low-density polyethylene composites reinforced with pineapple-leaf fibre". **Composite Science and Technology**, v. 58, pp. 1471-1485, 1998.

JOHN, V. M. et al. "Durability of slag mortar reinforced with coconut fibre". **Cement and Concrete Composites, i**n press, corrected proof**.** Disponível em: <www.sciencedirect.com> desde 24 de novembro de 2004, acesso em fev. 2005.

KHAN, E., VIROJNAGUD, W., RATPUKDI, T. "Use of biomass sorbents for oil removal from gas station runoff". **Chemosfere**, v. 57, n. 7, pp. 681-689, 2004.

KHEDARI, J., CHAROENVAI, S., HIRUNLABH, J. "New insulating particleboards from durian peel and coconut coir". **Building and Environment**, v. 38, n. 3, pp. 435-441, 2003a.

KHEDARI, J. et al. "Feasibility study of using agriculture waste as desiccant for air conditioning system". **Renewable Energy**, v. 28, n. 10, pp. 1617-1628, 2003.

KHEDARI, J. et al. "New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity". **Cement and Concrete Composites**, v. 23, n. 1, pp. 65-70, 2001.

KHEDARI, J., WATSANASATHAPORN, P., HIRUNLABH, J. “Development of fibre-based soil–cement block with low thermal conductivity”. **Cement and Concrete Composites,** v. 27, n. 1, pp. 111-116, jan. 2005.

KIVAISI, A. K., ELIAPENDA, S. “Pretreatment of bagasse and coconut fibres for enhanced anaerobic degradation by rumen microorganisms”. **Renewable Energy**, v. 5, n. 5-8, pp. 791-795, aug. 1994.

KRZYSIK, A. M., YOUNGQUIST, J. A., BOWERS, H. “Medium density fiberboard panels from waste wood and paper”. **11 Konferencja Naukowa Wydzialu Technologii Drewna SGGGW**. Drewno – material Ekologiczny, Warszawa, 18-19, Listopada, pp. 351-357, 1997. Disponível em: <www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1997/krzys97a.pdf>

LIMA, A. M. et al. “Avaliação da fibra de babaçu como matéria prima para a fabricação de chapas de partículas”. In: **Resumo dos trabalhos do IX Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeiras**, Cuiabá, pp. 132, 2004.

LODHA, P., NETRAVALI, A. N. “Characterization of interfacial and mechanical properties of ‘green’ composites with soy protein isolate and ramie fiber”. **Journal of Materials Science**, v. 37, pp. 3657-3665, 2002.

LUO, S., NETRAVALI, A. N. “Interfacial and mechanical properties of environmental-friendly ‘green’ composites made from pineapple fibers and poly(hidroxybutyrate-co-valerate) resin”. **Journal of Materials Science**, v. 34, pp. 3709-3719, 1999.

MacVIKAR, R., MATUANA, L. M., BALATINECZ, J. J. “Aging mechanisms in cellulose fiber reinforced composites”. **Cement and Concrete**, v. 21, pp. 189-196, 1999.

MALONEY, T. M. **Modern Particleboard & Dry-process Fiberboard Manufacturing.** San Francisco, Miller Freeman, 1977.

McMULLEN, P., “Fibre resin composites for aircraft primary structures: a short history, 1936-1984”. **Composites**, v. 15, n. 3, jul. 1984.

MEHTA, G. et al. “Effect of novel sizing on the mechanical and morphological characteristics of natural fiber reinforced unsaturated polyester resin based bio-composites”. **Journal of Materials Science**, v. 39, pp. 2961-2964, 2004.

MIKHAILOV, G. M. et al. **"**Composite fibers based on chitin and cellulose**.** In: Macromolecular chemistry and polymeric materials". **Russian Journal of Applied Chemistry**, v. 74, n. 9, pp. 1573-1576, 2001. Traduzido de Zhurnal Prikladnoi Khimi, v. 74, n. 9, pp. 1526-1529, 2001.

MOHAN, D., SINGH, K. P., SINGH, V. K. "Removal of hexavalent chromium from aqueous solution using low-cost activated carbons derived from agricultural waste materials and activated carbon fabric cloth". **Industrial & Engineering Chemistry Research,** v. 44, n. 4, pp. 1027-1042, 2005.

MOHANTY, A. K., MISRA, M., DRZAL, L. T. "Sustainable bio-composites from renewable resources: opportunities and challenges in the green materials world". **Journal of the Polymers and the Environment**, v. 10, n. 1/2, pp. 19-26, 2002.

MOHANTY, A. K., MISRA, M., HINRICHSEN, G**. "**Biofibres, biodegradable polymers and biocomposites: An overview" **Macromolecular Materials and Enginneerig,** v. 276-277, n. 1, pp. 1-24, 2000.

MOSLEMI, A. A. "Emerging technologies in mineral-bonded wood and fiber composites"**. Advanced Performance Materials**, v. 6, pp. 161-179, 1999.

OLIVEIRA, L. B. **Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos e Abatimento de Emissões de Gases de Efeito Estufa**. Tese de M.Sc., Programa de Planejamento Energético/ COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2000.

OLIVEIRA, L. B. **Potencial de Aproveitamento Energético de Lixo e de Biodiesel de Insumos Residuais no Brasil**. Tese de D.Sc., Programa de Planejamento Energético/ COPPE/UFRJ. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2004.

OLIVEIRA, L. B., ROSA, L. P. "Brazilian waste potential: energy, environmental, social and economic benefits". **Energy Policy**, v. 31, pp. 1481-1491, 2003.

PARAMASIVAM, P., NATHAN, G. K., DAS GUPTA, N. C. "Coconut fibre reinforced corrugated slabs". **International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete**, v. 6, n. 1, pp. 19-27, 1984.

PELTONEN, P. "Wear and deformation characteristics of fibre reinforced asphalt pavements". **Construction and Building Materials,** v. 5, n. 1, 1991**.**

PERVAIZ, M., SAIN, M. M. "Carbon Storage potential in natural fiber composites". **Resources, Conservation and Recycling**, v. 39, pp. 325-340, 2003.

PILLAI, C. K. S. et al. “A mechanical study of the deterioration of coconut leaf thatch under natural and accelerated environmental conditions”. **Journal of Materials Science (Historical Archive)**, v. 17, n. 10, pp. 2861-2868, 1982.

PIMENTEIRA C. A. P. et al. “Energy conservation and CO_2 emission reductions due to recycling in Brazil”. **Waste Management**, v. 24, pp. 889-897, 2004.

PIMENTEIRA C. A. P. et al. “Solid wastes integrated management in Rio de Janeiro: input–output analysis”. **Waste Management**, in press, corrected proof. Disponível em: <www.sciencedirect.com> desde 07 de dezembro de 2004. Acesso em: abril de 2005.

PNSB-2000. **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico–2000**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: CD-ROM, versão 1.3.2, de 18 de Março de 2002.

REDDY, N., YANG, Y. **“**Biofibers from agricultural byproducts for industrial applications”. **Trends in Biotechnology**, v. 23, n. 1, pp. 22-27, jan. 2005.

ROSA, L. P. et al. “Comments on the Brazilian Proposal and contributions to global temperature increase with different climate responses—CO_2 emissions due to fossil fuels, CO_2 emissions due to land use change”. **Energy Policy**, v. 32, n. 13, pp. 1499-1510, sep. 2004.

ROSA, L. P., RIBEIRO, S. K. “The present, past and future contributions to global warming of CO_2 emissions from fuels”. **Climatic Change**, v. 48, pp. 289-308, 2001.

ROZMAN, H. D. et al. “The effect of lignin as a compatibilizer on the physical properties of coconut fiber–polypropylene composites”. **European Polymer Journal**, v. 36, n. 7, pp. 1483-1494, 2000.

SANTOS, M. S., **Propriedades Térmicas e Mecânicas de Materiais Reciclados a Base de PET Pós-consumo e Cargas de Coco**. Tese de M.Sc., IMA/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, 2002.

SAVASTANO Jr., H. et al. “Plant fibre reinforced cement components for roofing”. **Construction and Building Materials**, v. 13, pp. 433-438, 1999.

SELVAN, A., NAIR, N. G., SINGH, P. “Synthesis and characterization of SiC whiskers from coconut shells”. **Journal of Materials Science Letters**, v. 17, pp. 57-60, 1998.

SHINE, K. P. et al. “Alternatives to the global warming potential for comparing climate impacts of emissions of greenhouse gases”. **Climate Change,** v. 68, pp. 281-302, 2005.

SILVEIRA, E. B. et al. “Pó de coco como substrato para a produção de mudas de tomateiro”. **Horticultura Brasileira**, v. 20, n. 2, pp. 211-216, junho 2002.

SINGH, K. P. et al. “Color removal from wastewater using low-cost activated carbon derived from agricultural waste material”. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 42, n. 9, pp. 1965-1976, 2003.

STUBER, N., PONATER, M., SAUSEN, R. “Why radiative forcing might fail as a predictor of climate change” **Climate Dynamics,** v. 24, pp. 497-510, 2005.

THWE, M. M., LIAO, K. “Environmental effects on bamboo-glass / polypropylene hybrid composites”. **Journal of Materials Science**, v. 38, pp. 363-376, 2003.

TOLEDO FILHO, R. D. et al**. “**Free, restrained and drying shrinkage of cement mortar composites reinforced with vegetable fibres”. **Cement and Concrete Composites,** In press, corrected proof**.** Disponível em: <www.sciencedirect.com> desde 16 de novembro de 2004.

TOLEDO FILHO, R. D. et al. “Development of vegetable fibre–mortar composites of improved durability”. **Cement and Concrete Composites**, v. 25, n. 3, pp. 185-196, 2003.

TOLEDO FILHO, R. D. et al. “Durability of alkali-sensitive sisal and coconut fibres in cement mortar composites”. **Cement and Concrete Composites**, v. 22, n. 2, pp. 127-143, 2000.

van DAM, J. E. G. et al. “Process for production of high density/high performance binderless boards from whole coconut husk. Part 1: Lignin as intrinsic thermosetting binder resin”. **Industrial Crops and Products**, v. 19, n. 3, pp. 207-216, 2004.

van DAM, J. E. G., van den OEVER, M. J. A., KEIJSERS, E. R. P. “Production process for high density high performance binderless boards from whole coconut husk”. **Industrial Crops and Products**, v. 20, n. 1, pp. 97-101, jul. 2004a.

WAMBUA, P., IVENS, J., VERPOEST, I. “Natural fibres: can they replace glass in fibre reinforced plastics?” **Composites Science and Technology**, v. 63, pp. 1259-1264, 2003.

WESTIN, M., SIMONSON, R., ÖSTMAN, B. “Kraft lignin wood fiberboards – The effect of kraft lignin addition to wood chips or board pulp prior to fiberboard production”. **Holz als Roh – und Werkstoff**, v. 58, pp. 393-400, 2001.

WILLIAMS, G. I., WOOL, R. P. “Composites from natural fibers and soy oil resins”. **Applied Composites Materials**, v. 7, pp. 421-432, 2000.

WISTARA, N., ZHANG, X., YOUNG, R. A. “Properties and treatments of pulp from recycled paper. Part II. Surface properties and crystallinity of fibers and fines”. **Cellulose**, v. 6, pp. 325-348, 1999.

WOLLERDORFER, M., BADER, H. “Influence of natural fibres on the mechanical properties of biodegradable polymers”. **Industrial Crops and Products,** v. 8, pp. 105-112, 1998.