



**Universidade Estadual Paulista
"Júlio de Mesquita Filho"
Campus de Bauru**



Maria Fernanda Nóbrega dos Santos

**Análise dos impactos na construção civil: Avaliação do Ciclo
de Vida em chapas de partículas para forros**

**Bauru
2010**

Maria Fernanda Nóbrega dos Santos

**Análise dos impactos na construção civil: Avaliação do Ciclo
de Vida em chapas de partículas para forros**

Dissertação apresentada como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Produção pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção da Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”.

Área de Concentração:
Gestão de Operações e Sistemas

Linha de Pesquisa:
Gestão Ambiental

Orientadora:
Profa. Dra. Rosane Ap. Gomes Battistelle

Co-Orientador:
Prof. Dr. Ivaldo De Domenico Valarelli

**Bauru
2010**

Santos, Maria Fernanda Nobrega dos.
Análise dos impactos na construção civil:
Avaliação do Ciclo de Vida em chapas de partículas
para forros / Maria Fernanda Nobrega dos Santos, 2010.
150 f. : il.

Orientador: Rosane Aparecida Gomes Battistelle

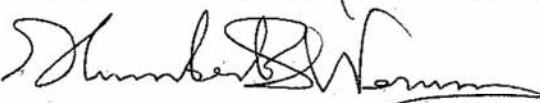
Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2010.

1. Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).
2. Construção civil. 3. Chapas de partículas.
I. Universidade Estadual Paulista. Faculdade de
Engenharia. II. Título.

ATA DA DEFESA PÚBLICA DA DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DE MARIA FERNANDA NÓBREGA DOS SANTOS, DISCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, DO(A) FACULDADE DE ENGENHARIA DE BAURU.

Aos 24 dias do mês de setembro do ano de 2010, às 14:00 horas, no(a) SALA 08 DO STI DA FACULDADE DE ENGENHARIA, reuniu-se a Comissão Examinadora da Defesa Pública; composta pelos seguintes membros: Profa. Dra. ROSANE APARECIDA GOMES BATTISTELLE do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Bauru, Prof. Dr. HUMBERTO S. A. VARUM do(a) Departamento de Engenharia Civil / Universidade de Aveiro - Portugal, Prof. Dr. ADILSON RENOFIO do(a) Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Bauru, sob a presidência do primeiro, a fim de proceder a arguição pública da DISSERTAÇÃO DE MESTRADO de MARIA FERNANDA NÓBREGA DOS SANTOS, intitulada "CONTRIBUIÇÃO À ANÁLISE DOS IMPACTOS NA CONSTRUÇÃO CIVIL. AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA EM CHAPAS DE PARTÍCULAS". Após a exposição, a discente foi argüida oralmente pelos membros da Comissão Examinadora, tendo recebido o conceito final: Aprovada. Nada mais havendo, foi lavrada a presente ata, que, após lida e aprovada, foi assinada pelos membros da Comissão Examinadora.


Profa. Dra. ROSANE APARECIDA GOMES BATTISTELLE


Prof. Dr. HUMBERTO S. A. VARUM


Prof. Dr. ADILSON RENOFIO

*Para meus pais,
meus professores primeiros.*

Agradecimentos

Quando caminhamos, sentimos que depende de nós cada pequeno passo que nos levará ao nosso objetivo. No entanto, apesar de sermos os maiores responsáveis, tanto pela alegria ao final do percurso, quanto pelos tropeços ao longo do caminho, nunca caminhamos sozinhos. Existe uma verdadeira multidão, muitas vezes invisível, que acompanha e apóia qualquer caminhada. São pais, irmãos, avós, tios, primos, amigos, professores e colegas, que sem eles, ou a caminhada se tornaria muito árdua, ou muito solitária, ou mesmo impossível. E apesar da ajuda inestimável (mesmo se foi somente por abdicarem da nossa companhia) é apenas nesta pequena página que eles são mencionados. Parece até injusto para com aqueles que tanto fizeram por nós, mas ao contrário, todos podem ter certeza que sua presença vibra e permeia cada página deste trabalho. Podem ter certeza, que foi em função da minha família, minha mãe **Cristina**, meu pai **Gilberto**, e meu irmão **Gabriel**, pelo amor e pela educação que eles me dedicaram, que eu me tornei quem sou hoje, que eu pude estudar e escrever cada linha deste trabalho. E foi pela presença do **Vinícius**, pelo carinho sempre disponível e pelo apoio nas horas difíceis, que eu encontrei alegria no percurso, imaginando que tudo valeria à pena. Por causa da **Rosane**, minha orientadora e acima de tudo amiga, que eu tive condições de realizar tudo que realizei, sempre sabendo quando me guiar e quando me deixar voar sozinha. Por causa do Prof. **Varum**, pela acolhida em meu estágio em Portugal, que eu tive condições de realizar tanto um objetivo profissional, quanto um sonho pessoal. E foi por meio do **CNPq** e do **Departamento de Engenharia de Produção**, nas pessoas dos seus funcionários e professores, por acreditaram em mim, que pude realizar este trabalho. Agradeço especialmente ao meu co-orientador Prof. **Ivaldo**, que muito me ajudou na realização prática do trabalho, ao Prof. **José Ângelo**, pela disponibilidade na execução dos ensaios, e ao **Luís**, que esteve presente quando mais precisávamos de uma mãozinha. Mas foi em virtude dos muitos **amigos** que eu encontrei pelo caminho – afinal, são eles que tornam a vida melhor – que eu pude suportar os percalços inevitáveis. Só me resta agora, agradecer a cada um pelo apoio durante este trabalho, e mais do que isso, por fazerem parte de uma jornada maior, que é a minha vida. Neste momento, lembro-me de uma pequena oração que diz: *“Obrigada Deus por existir, por viver e por chegar até aqui”*.

Resumo

Em virtude da pressão exercida pelos diversos segmentos da sociedade, para que o setor da construção civil se torne ambientalmente mais adequado, muito tem se discutido a respeito do aproveitamento de resíduos na produção de materiais de construção e uma infinidade de pesquisas vem sendo desenvolvidas com este objetivo. Porém, antes que estes produtos possam ser chamados de “sustentáveis” e que efetivamente um sistema de reciclagem seja implantado, é imprescindível que se compreendam todas as consequências envolvidas nesta ação e, principalmente, quais os reais ganhos para o ambiente (e para o setor) se isto ocorrer. Para que se possa obter um quadro geral dos impactos ambientais associados a estes produtos, uma das ferramentas mais utilizadas é a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), que vem sendo cada vez mais aceita como resposta às indagações ambientais do novo milênio. Diante do exposto, o objetivo deste trabalho é contribuir para um maior entendimento a respeito dos impactos ambientais na construção civil, por meio da realização de um estudo comparativo de ACV dos diferentes tipos de chapas de partículas fabricadas a partir de resíduos, que vêm sendo desenvolvidas na Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Bauru. As chapas foram fabricadas a partir dos seguintes resíduos: bagaço da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*); folhas caulinares do bambu (*Dendrocalamus giganteus*); cavacos provenientes do beneficiamento das madeiras pinos (*Pinus elliottii*) e imbuia (*Ocotea porosa*). O estudo foi desenvolvido com base nas orientações metodológicas da série de Normas NBR ISO 14040 (2009), a unidade funcional adotada foi o m² das chapas e para a avaliação dos impactos foi empregado o método EDIP. De acordo os resultados, as chapas produzidas a partir das folhas do bambu apresentaram o menor potencial de impacto ambiental, na maioria das categorias avaliadas. Em contrapartida, as chapas de cavacos de pinos foram as que apresentaram o maior potencial de impacto ambiental. Dentre os fatores que mais influenciaram no aumento do potencial de impactos ambientais das chapas avaliadas, podem ser citados: a distância entre a fonte de origem das matérias-primas e a unidade de produção, a porcentagem de perdas do resíduo utilizado e o uso de insumos considerados tóxicos, como a resina uréia-formaldeído.

Palavras chave: Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). Construção civil. Chapas de partículas.

Abstract

Regarding the pressure from various sectors of the society, the construction industry is becoming more concerned about the environment impacts associated at its activities, and recently, particular attention has being devoted to the use of waste in construction materials and several research projects have been developed in this field. However, before labeling these products as "sustainable", and before initiate the production of any product based on recycling, it is necessary to comprehend all the steps involved in this action, and mainly, to quantify the real gains for the environment (and for the industry) associated to it. In the evaluation of the environmental impacts associated with these products, the most used tool is the Life Cycle Assessment (LCA), which is being increasingly accepted in research for the environmental goals of the new millennium. Therefore, the main objective of this master thesis was to study the environmental impacts in the construction, namely through the completion of a comparative LCA of different types of particleboards made of residues, which have being developed at Universidade Estadual Paulista (UNESP) Campus of Bauru. The boards were manufactured using the following residues: sugar cane bagasse (*Saccharum spp*); bamboo stalk leaves (*Dendrocalamus giganteus*); pieces from the processing of pine wood (*Pinus elliottii*) and imbuia (*Ocotea porosa*). The study was developed based on the methodological guidelines included in the standards series NBR ISO 14040 (2009). The functional unit adopted was the square meter of boards, and the EDIP method was employed for the impacts assessment. The results demonstrate that the boards produced of bamboo stalk leaves had the least environmental impact potential in most of the evaluated categories. In contrast, the boards made of pine particles showed the largest environmental impact potential. Among the factors that most influenced the increase in environmental impacts potential of the evaluated particleboards, can be mentioned: the distance between the raw materials source and the production unit, the losses in the used residues and the employment of toxic substances, such as urea-formaldehyde resin.

Keywords: Life Cycle Assessment (LCA). Construction. Particleboards.

Lista de Ilustrações

Figura 1: Habitações na Pré-história e seus impactos.....	23
Figura 2: Habitações na Idade Antiga e seus impactos.	24
Figura 3: Habitações na Idade Média e seus impactos.	25
Figura 4: Habitações na Idade Moderna e seus impactos.....	28
Figura 5: Habitações na Idade Contemporânea e seus impactos.	31
Figura 6: Cenário de emissões de gases de efeito estufa entre 2000 e 2100.....	32
Figura 7: Consumo de energia por setor.	33
Figura 8: Perdas de materiais nos processos construtivos convencionais.....	36
Figura 9: Composição de resíduos de novas construções, em massa (%).	37
Figura 10: Telha contendo amianto.	40
Figura 11: <i>Spray</i> contendo CFC.....	40
Figura 12: Tubulação contendo chumbo.....	41
Figura 13: Chapa contendo formaldeído.....	41
Figura 14: Janela contendo PVC.	42
Figura 15: Granito contendo radônio.....	42
Figura 16: Tintas contendo COVs.	43
Figura 17: Analogia sobre a água no planeta Terra.....	44
Figura 18: Selo ambiental da ABNT.	54
Figura 19: Concreto armado.....	67
Figura 20: Tijolo cerâmico.	67
Figura 21: Blocos de concreto.	68
Figura 22: Cimento Portland.....	69
Figura 23: Cerâmica vermelha.....	69
Figura 24: Cerâmica estrutural.	70
Figura 25: Tijolos cerâmicos maciços.	71
Figura 26: Tijolo de adobe.	71
Figura 27: Tubos de PVC.....	72
Figura 28: Reservatório de água.....	74

Figura 29: Aquecedor solar de água.....	75
Figura 30: Exemplo de piso cerâmico.....	76
Figura 31: Lata de verniz.....	76
Figura 32: Madeira eucalipto.....	77
Figura 33: Viga de madeira pinos.	78
Figura 34: Madeiras diversas.....	79
Figura 35: Telha ecológica.	79
Figura 36: Resina UF.	84
Figura 37: Emulsão parafina.	85
Figura 38: Sulfato de amônio.	85
Figura 39: <i>Saccharum spp.</i>	86
Figura 40: Resíduo de cana.....	86
Figura 41: <i>Pinus elliottii.</i>	87
Figura 42: Resíduo de pinos.	87
Figura 43: <i>Dendrocalamus giganteus.</i>	88
Figura 44: Resíduo de bambu.....	88
Figura 45: <i>Ocotea porosa.</i>	89
Figura 46: Resíduo de imbuia.	89
Figura 47: Fases de uma Avaliação do Ciclo de Vida.....	90
Figura 48: Sistema de produto das chapas de partículas.....	93
Figura 49: O impacto de uma substância no ambiente.....	99
Figura 50: Diferentes chapas de partículas avaliadas.	109
Figura 51: Distância entre as cidades onde foram adquiridos os materiais.	111
Figura 52: Medição dos dados de energia elétrica.	113
Figura 53: Gráfico do consumo de recursos renováveis.	127
Figura 54: Gráfico do consumo de recursos não-renováveis.....	128
Figura 55: Gráfico do consumo de recursos energéticos.....	129
Figura 56: Gráfico do potencial de aquecimento global.	130
Figura 57: Gráfico do potencial de formação fotoquímica de ozônio.	131
Figura 58: Gráfico do potencial de acidificação.	132
Figura 59: Gráfico do potencial de eutrofização.....	133
Figura 60: Gráfico do potencial de toxicidade humana.	135

Lista de Quadros

Quadro 1: Impactos ambientais e sociais da construção civil.....	22
Quadro 2: Energia Incorporada aos materiais de construção.....	35
Quadro 3: Classes de resíduos na construção civil.....	38
Quadro 4: Tipos de concessão de selos ambientais.....	53
Quadro 5: Tipos de selos ambientais.	53
Quadro 6: Exemplos de trabalhos sobre a ACV e a construção civil no mundo.	61
Quadro 7: Avaliação dos materiais segundo o método <i>EcoBlock</i>	63
Quadro 8: A Avaliação do Ciclo de Vida e a construção civil no Brasil.....	66
Quadro 9: Quantidade dos materiais para produção das chapas.....	83
Quadro 10: Características da resina uréia-formaldeído.	84
Quadro 11: Aquisição dos insumos para produção das chapas.....	94
Quadro 12: Aquisição das matérias-primas e seu tratamento.	95
Quadro 13: Produção das chapas de partículas.....	96
Quadro 14: Uso das chapas de partículas.	97
Quadro 15: Tratamento e disposição dos resíduos.....	97
Quadro 16: Inter-relações entre emissões, impactos potenciais e seus efeitos.	100
Quadro 17: Transporte rodoviário durante o processo produtivo das chapas.....	112
Quadro 18: Limites de emissões para veículos pesados.	114
Quadro 19: Emissão de formaldeído pelas chapas de partículas.	115
Quadro 20: Fonte dos dados de inventário.....	117
Quadro 21: Etapa 1 - Chapas de bagaço de cana.....	118
Quadro 22: Etapa 1 - Chapas de cavacos de pinos.....	118
Quadro 23: Etapa 1 - Chapas de folhas de bambu.....	119
Quadro 24: Etapa 1 - Chapas de cavacos de imbuia.	119
Quadro 25: Etapa 2 - Chapas de bagaço de cana.....	120
Quadro 26: Etapa 2 - Chapas de cavacos de pinos.....	120
Quadro 27: Etapa 2 - Chapas de folhas de bambu.....	121
Quadro 28: Etapa 2 - Chapas de cavacos de imbuia.	121

Quadro 29: Etapa 3 - Chapas de bagaço de cana.....	122
Quadro 30: Etapa 3 - Chapas de cavacos de pinos.....	122
Quadro 31: Etapa 3 - Chapas de folhas de bambu.....	123
Quadro 32: Etapa 3 - Chapas de cavacos de imbuia.	123
Quadro 33: Etapa 4 - Chapas de bagaço de cana.....	124
Quadro 34: Etapa 4 - Chapas de cavacos de pinos.....	124
Quadro 35: Etapa 4 - Chapas de folhas de bambu.....	125
Quadro 36: Etapa 4 - Chapas de cavacos de imbuia.	125
Quadro 37: Consumo de recursos renováveis.	127
Quadro 38: Consumo de recursos não-renováveis.	128
Quadro 39: Consumo de recursos energéticos.	129
Quadro 40: Potencial de aquecimento global.....	130
Quadro 41: Potencial de formação fotoquímica de ozônio.	131
Quadro 42: Potencial de acidificação.....	132
Quadro 43: Potencial de eutrofização.....	133
Quadro 44: Potencial de ecotoxicidade.	134
Quadro 45: Potencial de toxicidade humana.....	135

Lista de abreviaturas e siglas

ABCV	Associação Brasileira do Ciclo de Vida
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
BEES	<i>Building for Environmental and Economic Sustainability</i>
BM	Balanço de Massas
C ₂ H ₄	Eteno
CFC	Clorofluorcarbonetos
CH ₄	Metano
CIB	<i>International Council for Research and Innovation in Building and Construction</i>
CO	Monóxido de Carbono
CO ₂	Dióxido de Carbono
CONAMA	COnselho NAcional de Meio Ambiente
COV	Compostos Orgânicos Voláteis
EDIP	<i>Environmental Development of Industrial Products</i>
EMPA	<i>Swiss Federal Laboratories for Testing and Research</i>
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i>
GLP	Gás Liquefeito de Petróleo
GWP	<i>Global Warming Potential</i>
HC	Hidrocarbonetos
IBAMA	Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
ICV	Análise do Inventário do Ciclo de Vida
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MACBETH	<i>Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique</i>
MDF	<i>Medium Density Fiberboard</i>
MP	Material Particulado
MRI	<i>Midwest Research Institute</i>

N	Nitrogênio
N ₂ O	Óxido Nitroso
NORIE	Grupo Orientado para a Inovação na Edificação
NO _x	Óxidos de Nitrogênio
O ₃	Ozônio
OECD	<i>Organisation for Economic Co-operation and Development</i>
OMS	Organização Mundial da Saúde
P	Fósforo
PDEE	Potencial de Desconstrução Efetivo do Edifício
PET	Polietileno Tereftalato
PIB	Produto Interno Bruto
PNUMA	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PVC	Poli (Cloro de Vinila)
RCC	Resíduos da Construção Civil
REPA	<i>Resource and Environmental Profile Analysis</i>
SETAC	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SO ₂	Dióxido de Enxofre
TRACI	<i>Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environment Impacts</i>
UF	Uréia-Formaldeído
UNESP	UNiversidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”
VOC	<i>Volatile Organic Compound</i>
VUP	Vida Útil de Projeto

Sumário

1. Introdução.....	17
1.1 Hipótese	19
1.2 Objetivos	20
1.2.1 Objetivo principal.....	20
1.2.2 Objetivos específicos	20
1.3 Estrutura do trabalho	21
2. Revisão Bibliográfica.....	22
2.1 Retrospectiva histórica	23
2.2 Impactos da construção civil.....	33
2.2.1 Consumo de energia e recursos	33
2.2.2 Emissões para o solo.....	36
2.2.3 Emissões para o ar	39
2.2.4 Emissões para a água.....	43
2.3 A busca da sustentabilidade.....	45
2.3.1 Histórico da questão ambiental.....	46
2.3.2 A questão ambiental na construção civil.....	47
2.4 Métodos de avaliação	52
2.5 Avaliação do Ciclo de Vida	54
2.5.1 ACV e a construção civil no mundo	59
2.5.2 ACV e a construção civil em Portugal	62
2.5.3 ACV e a construção civil no Brasil	64
2.6 Considerações sobre o capítulo	82
3. Metodologia.....	83
3.1 Materiais	83
3.1.1 Resina uréia-formaldeído	84
3.1.2 Emulsão de parafina	85

3.1.3 Sulfato de Amônio	85
3.1.4 Cana-de-açúcar - <i>Saccharum spp</i>	86
3.1.5 Pinos - <i>Pinus elliottii</i>	87
3.1.6 Bambu - <i>Dendrocalamus giganteus</i>	88
3.1.7 Imbuia - <i>Ocotea porosa</i>	89
3.2 Métodos	90
3.2.1 Definição de objetivo do estudo.....	91
3.2.2 Definição de escopo do estudo	91
4. Resultados.....	109
4.1 Análise de Inventário do Ciclo de Vida.....	110
4.1.1 Consumo de recursos renováveis	110
4.1.2 Consumo de recursos não-renováveis.....	111
4.1.3 Consumo de recursos energéticos.....	113
4.1.4 Emissões para o ar	114
4.1.5 Emissões para a água	115
4.1.6 Emissões para o solo.....	115
4.2 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida	126
4.2.1 Consumo de recursos renováveis	127
4.2.2 Consumo de recursos não-renováveis.....	128
4.2.3 Consumo de recursos energéticos.....	129
4.2.4 Potencial de aquecimento global	130
4.2.5 Potencial de formação fotoquímica de ozônio troposférico.....	131
4.2.6 Potencial de acidificação	132
4.2.7 Potencial de eutrofização	133
4.2.8 Potencial de ecotoxicidade	134
4.2.9 Potencial de toxicidade humana	135
4.3 Interpretação do Ciclo de Vida.....	136
5. Conclusões e recomendações.....	138
5.1 Sugestões para futuros trabalhos	139
Referências Bibliográficas	140

***“Tornamos o nosso mundo significativo
pela coragem de nossas perguntas e pela
profundidade de nossas respostas”***

Carl Sagan

1. Introdução

A espécie humana surgiu na face da terra há pelo menos 1,8 milhões de anos e permaneceu vivendo no ambiente natural, sem modificá-lo significativamente, por um longo período de tempo, que corresponde a mais de 99% da existência humana nesse planeta (PARK, 1999). Durante grande parte desse período, os seres humanos permaneceram nômades, coletando frutos, sementes e dividindo o tempo entre caçar e se proteger de outros animais. Se a seca era prolongada, ou o verão demorava a chegar, partiam em busca de novas terras. Permanecer em um mesmo local e fixar residência, parecia uma idéia tão absurda quanto viver por conta própria (SAGAN, 1996).

No entanto, quando o clima estava bom e os alimentos eram abundantes, havia a vontade de continuar no mesmo lugar. Mas ainda existiam as intempéries da natureza, como as chuvas, o frio, o vento e a escuridão da noite, e com vistas a se proteger de todas estas ameaças, o ser humano finalmente percebe que ele pode modificar o ambiente a sua volta, de acordo com as suas necessidades. E a primeira alteração foi justamente a construção de um abrigo, uma habitação. Aliás, uma casa nada mais é que uma proteção que seleciona e corrige a relação do ser humano para com o ambiente; é um fragmento do ambiente modificado segundo projetos humanos (LEMOS, 1996).

E dessa maneira, em algum ponto longínquo do Paleolítico, quando o homem constrói a sua primeira habitação, se inicia a longa jornada humana de transformações no meio ambiente (BENEVOLO, 1983). Entretanto, as habitações foram apenas o primeiro passo: dos aglomerados destas habitações surgem as aldeias; do aumento das aldeias, os povoados; do desenvolvimento dos povoados, as cidades; do crescimento das cidades, as metrópoles, e da união das metrópoles, as megalópoles. Atualmente, estima-se que mais de 3 bilhões de pessoas vivam nestes centros urbanos, ou seja, metade da humanidade e, a cada dia, mais 160 mil habitantes são acrescentados à população das cidades (MORENO, 2002).

Somem-se então, toda a rede de infra-estrutura necessária ao funcionamento destas imensas aglomerações humanas, associado ao atual modelo econômico de produção e consumo de bens e tem-se o resultado atual: um sistema de exploração e modificação do ambiente natural que pode ser considerado insustentável a longo prazo.

Pode-se dizer que a construção civil contribui com grande parte deste problema, pois, para poder produzir os maiores bens em escala do planeta, o setor é responsável pelo consumo de 40% de todos os materiais produzidos no mundo; 40% do total de energia gerada; 17% da água potável disponível e 25% de toda a madeira produzida (ATHENA, 2000). Além disso, o setor ainda responde por números elevados de emissão de resíduos e desperdício de materiais. Segundo as estatísticas do *International Council for Research and Innovation in Building and Construction* (CIB), a construção civil é responsável por 40% de todo o lixo produzido pela humanidade (CIB, 1999).

E justamente por apresentar um potencial de modificação do meio ambiente desta magnitude, a construção civil é também um dos setores que mais tem sofrido pressões dos diversos segmentos da sociedade para se adequar ambientalmente. E contraditoriamente, talvez uma das respostas à questão ambiental esteja exatamente onde tudo começou: a construção habitacional. Seja no desenvolvimento de novas tecnologias de captação e produção de energia solar, na possibilidade de diminuição do consumo de recursos naturais, ou por meio do aproveitamento e encapsulamento de resíduos em materiais de construção, a habitação atualmente se mostra um espaço promissor para o desenvolvimento/aplicação de novas tecnologias e materiais mais sustentáveis, contribuindo para a diminuição dos impactos ambientais humanos.

Dessa maneira, o primeiro passo na direção da sustentabilidade é compreender mais profundamente a relação entre as habitações e o meio ambiente, entender a sua história, de como evoluíram do abrigo inicial, tão inócuo, para se tornarem esse complexo sistema atual, tão impactante no ambiente. Em seguida, o foco deve ser uma apreensão mais detalhada dos impactos relacionados à habitação e, de modo mais geral, à construção na atualidade, para que somente depois, se possa versar a respeito das soluções que se propõem para a mitigação destes impactos: objetivo final deste trabalho. Pois, se o Brasil ainda possui um déficit habitacional de 5,8 milhões de moradias (COSTA, 2010), compreender mais profundamente a relação entre as habitações e o ambiente (histórica e sistematicamente) é de suma importância, principalmente para os arquitetos e engenheiros, já que eles serão os agentes diretamente responsáveis pelas decisões acerca do futuro desta história.

Não é por acaso que a própria palavra Ecologia seja derivada do termo grego “*oikos*” que significa casa. Ecologia é justamente o estudo da casa, ou seja, do lugar onde vivemos. Afinal, uma casa é um mundo pequeno. O mundo, uma casa grande.

1.1 Hipótese

Atualmente, existe um paradigma na indústria da construção civil, de que, ao incorporar resíduos em materiais de construção, estes se tornam “mais sustentáveis”. Contudo, este é um paradigma que precisa ser quebrado, pois, em se tratando de assuntos relacionados ao meio ambiente, para que se possa realmente realizar tal afirmação, se faz necessário efetuar uma avaliação mais aprofundada, sistêmica e interdisciplinar, como o próprio assunto requer.

Dessa maneira, este trabalho baseia-se na hipótese de que, a incorporação de resíduos em materiais de construção, por si só, não os torna “mais sustentáveis”. Este é apenas **um** dos fatores que pode ser usado para avaliar a sustentabilidade de um material de construção, não uma prerrogativa.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo principal

O objetivo principal deste trabalho é contribuir para um maior entendimento a respeito dos impactos ambientais relacionados à construção civil, por meio da realização de um estudo comparativo de Avaliação do Ciclo de Vida dos diferentes tipos de chapas de partículas compostas de resíduos agroindustriais, que vêm sendo desenvolvidas na Universidade Estadual Paulista, campus de Bauru.

1.2.2 Objetivos específicos

- Estabelecer uma retrospectiva histórica dos impactos ambientais decorrentes das habitações e da construção civil, desde os primórdios até o período atual;
- Realizar um levantamento das principais diretrizes e práticas vinculadas à busca pela sustentabilidade na construção;
- Constituir uma visão geral dos estudos de ACV que vêm sendo realizados no setor da construção civil, tanto pesquisas relacionadas aos diversos materiais de construção, separadamente; quanto de edifícios, como um todo;
- Aferir os pontos positivos e negativos do processo produtivo das chapas de partículas estudadas (possibilitando operar melhorias), além de estabelecer qual o material menos impactante para o ambiente;
- Definir quais são os fatores que realmente influenciam na avaliação da sustentabilidade das chapas de partículas compostas de resíduos.

1.3 Estrutura do trabalho

O trabalho foi organizado de acordo com a seguinte estrutura:

- **Revisão Bibliográfica.** Neste capítulo serão discutidos os temas principais e definidos os conceitos que serão utilizados nesta pesquisa. Dentre os assuntos abordados no capítulo: os impactos ambientais relativos à construção civil ao longo da história e na atualidade; as diretrizes e práticas que vêm sendo formuladas para a busca da sustentabilidade nas edificações; os métodos de avaliação ambiental; o histórico da Avaliação do Ciclo de Vida e um panorama geral a respeito das pesquisas sobre a ACV na construção civil.
- **Metodologia.** Neste capítulo serão descritos os métodos e materiais empregados para a realização desta pesquisa. São partes integrantes do capítulo: a definição da estrutura metodológica a ser adotada no trabalho, descrita pela série de Normas NBR ISO 14040 (2009); os procedimentos técnicos empregados para a produção do objeto de estudo (as chapas de partículas) e para a realização dos ensaios e medições, além da descrição das matérias-primas e insumos usados para a fabricação das chapas.
- **Resultados.** Neste capítulo serão expostos os resultados obtidos por meio da parte experimental desta pesquisa. Como resultados deste trabalho, serão apresentados no capítulo: os dados levantados durante a etapa de análise de inventário de ciclo de vida das chapas, a avaliação dos impactos do ciclo de vida das chapas e, posteriormente, a interpretação do ciclo de vida das diferentes chapas de partículas analisadas neste estudo.
- **Conclusões e recomendações.** Neste capítulo serão apresentadas as conclusões a respeito da pesquisa, bem como as recomendações para futuros trabalhos na área.

2. Revisão Bibliográfica

A construção civil é um dos maiores setores impulsionadores da economia em todo o mundo. Na Europa, o setor responde por 10-11% do Produto Interno Bruto (PIB), nos Estados Unidos por 12% e, nos países “em desenvolvimento” a cadeia da construção geralmente representa 2-3% do PIB. No Brasil, estima-se que 9% do PIB esteja vinculado ao setor. Além disso, a construção civil contribui com 7% dos empregos no mundo, dispondo de aproximadamente 111 milhões de postos de trabalho (UNEP, 2003).

Por apresentar um impacto tão significativo na economia global, o setor também responde por um grande potencial de modificação do ambiente, conforme apresentado no Quadro 1. Contudo, nem sempre a construção civil foi considerada tão impactante. Nos primórdios da humanidade, os impactos decorrentes da construção das primeiras habitações, se restringiam a um pequeno consumo de recursos naturais, como a madeira, e ao uso de energia térmica, proveniente do fogo. Somente com o passar dos séculos que as construções se modificaram até chegar ao modelo atual, de sobremaneira que compreender sua evolução, pode ser de grande valia na resolução de seus problemas contemporâneos.

Impactos ambientais e sociais da construção civil		
 Consumo de energia calorífica	 Consumo de água	 Poluição sonora
 Consumo de recursos renováveis	 Emissão de poluentes para a atmosfera	 Consumo de bens
 Consumo de materiais de origem mineral	 Consumo de energia elétrica	 Riscos para a saúde dos trabalhadores
 Emissão de resíduos sólidos	 Consumo de petróleo e seus derivados	 Alterações na topografia e no uso do solo
 Emissão de efluentes líquidos	 Emissão de resíduos tóxicos	 Consequências do transporte de materiais

Quadro 1: Impactos ambientais e sociais da construção civil.
Fonte: Santos (2010).

2.1 Retrospectiva histórica

Pode-se dizer que a primeira habitação, segundo Benevolo (1983), data de 300.000 anos atrás e foi encontrada nos arredores da cidade de Nice, na França. Assim como era característico do período, é constituída de uma estrutura simples de madeira, não possui divisões internas e apenas acolhe um espaço destinado à fogueira e aos trabalhos domésticos (Figura 1). E são justamente os resíduos abandonados pelo homem que permitem que se conheça a sua primeira casa: as sobras de alimentos, como pequenos ossos; os fragmentos de seus utensílios de pedra e alguns pedaços de madeira são os sinais deixados em volta de antigas fogueiras, indicando que ali era uma habitação.



Figura 1: Habitações na Pré-história e seus impactos.
Fonte: Santos (2010).

De acordo com Butera (2009), toda a energia consumida pelos ancestrais pré-históricos provinha de duas fontes: a energia mecânica, advinda das atividades musculares e a energia térmica, resultado da combustão de lenha. Estima-se que nesse período, o consumo médio de calorias girava em torno de 7:1, ou seja, os humanos eram recompensados com sete calorias (comendo) para cada caloria gasta (caçando).

Já no período Neolítico, que corresponde a aproximadamente 10.000 anos atrás, os seres humanos passaram a cultivar os próprios alimentos, o que caracteriza uma mudança radical no seu modo de vida, pois agora podem se estabelecer definitivamente num local fixo (BENEVOLO, 1983). Desse fato, surge a necessidade de habitações mais duráveis e elaboradas, e dos aglomerados destes edifícios vão surgindo as primeiras aldeias. Em virtude da sua recém conquistada perenidade, as habitações passaram a ser confeccionadas com materiais mais sólidos e variados, como paredes de argila seca, alicerces de pedra e pilares de madeira, além disso, passaram a possuir terraços ou telhados como cobertura.

Geralmente, edifícios como os templos religiosos eram construídos com pedras, para que permanecessem imutáveis ao tempo (sendo que até hoje se podem visitar algumas destas obras), enquanto as casas eram construídas com tijolos e argila, para que durassem apenas enquanto houvesse interesse de manutenção, pois com o passar dos anos, sua degradação natural se encarregaria de dissolvê-las e reincorporá-las ao solo.

Esta solução construtiva pode ser considerada muito interessante, pois se assemelha aos ciclos naturais da vida. Analisando a natureza, pode-se dizer que suas transformações geralmente operam em ciclos, como o ciclo da água e dos nutrientes.

Mas voltando às habitações, é crível afirmar que nesse período elas ainda não eram pensadas como um local de permanência, pois todas as atividades eram desenvolvidas no seu exterior e sua função se restringia ao abrigo noturno (para dormir) e à proteção das chuvas (quando fosse necessário). No entanto, em virtude dos avanços técnicos que estavam sendo alcançados na área da agricultura e pecuária, o excedente da produção agrícola estava se acumulando, transformando as aldeias, que até então eram pequenos aglomerados de não mais que umas cinquenta cabanas, em cidades (BUTERA, 2009).

Foi durante os impérios greco-romanos da antiguidade, que as cidades se transformam em estruturas complexas e amplas, tendo como centro desse desenvolvimento o conceito das cidades-estados. Cada cidade mantinha certa autonomia e governo próprio, além de possuir um território maior ou menor, de acordo com suas conquistas. A cidade de Esparta, por exemplo, chegou a dominar uma extensão de mais de 8.400 km², enquanto Atenas abrangia mais de 2.650 km². Já Alexandria, estima-se que pode ter atingido entre meio e um milhão de habitantes (BENEVOLO, 1983).

Em virtude dessa grande aglomeração populacional, surgiram os primeiros problemas relacionados aos resíduos sólidos urbanos, de maneira que as experiências pioneiras na tentativa de gerenciamento ocorreram neste período. Na Grécia, no ano de 500 a.C. os cidadãos atenienses organizaram o primeiro aterro municipal que se tem notícia e exigiram que a disposição do lixo fosse realizada longe dos muros de Atenas (FIRMEZA; MAIA, 2008).

Em Roma, segundo Mumford (1998), as habitações se dividem em dois tipos, de acordo com a classe social: as *domus*, para os cidadãos mais abastados, são residências individuais com um ou dois andares, que podem ter de 800 a 1.000 m²; e as *insulae*, para as classes médias e inferiores, que são construções coletivas de muitos andares e com um grande número de cômodos iguais, construídas geralmente pelos especuladores imobiliários (Figura 2).



Figura 2: Habitações na Idade Antiga e seus impactos.

Fonte: Santos (2010).

Com as estruturas públicas cada vez mais solidificadas, o espaço e as atividades vinculadas à residência vão se tornando menores e mais raros. Toda a vida social, política e religiosa é realizada fora do âmbito doméstico. A abundância dos serviços públicos supre a falta de condições e serviços domésticos na maior parte das habitações.

No entanto, essa época de apogeu das cidades não durou para sempre. Após a queda do império romano, com a crise econômica e política, as cidades foram se enfraquecendo, de modo que houve um grande êxodo da população para o campo, onde as famílias poderiam conseguir seu sustento. Assim, as cidades que restaram eram estruturas sem grande destaque, que estavam à margem da sociedade feudal vigente e, para se proteger de possíveis invasões, foram quase que completamente muradas.

Em função dessa limitação espacial, as ruas ficaram cada vez mais estreitas e tortuosas, os lotes menores e as casas mais esguias (Figura 3). Contudo, esta organização das habitações em fileiras contínuas, com suas fachadas formando o perímetro fechado de um quarteirão e acessos guardados no térreo, servia como uma muralha doméstica, protegendo seus moradores em tempos muito conturbados (MUMFORD, 1998).



Figura 3: Habitações na Idade Média e seus impactos.
Fonte: Santos (2010).

Com muitos andares e a fachada voltada para a rua, as casas medievais eram frias, mal iluminadas e pobremente aquecidas (MASCARÓ, 2005). Ainda era utilizado um sistema de aquecimento semelhante ao do período Paleolítico: uma chama acesa no centro de um cômodo, que permitia tanto o preparo da comida, quanto o aquecimento do ambiente e a iluminação. Contudo, o problema nessa época era a fumaça que, sem um sistema adequado de vazão, ficava pairando pelo ambiente até encontrar alguma janela aberta.

No que concerne aos serviços de saneamento básico, pode-se dizer que nesse período eram praticamente inexistentes. Os domicílios não possuíam coleta de esgoto e, o lixo e os dejetos eram jogados diretamente nas ruas, muitas vezes lançados pelas janelas, para alegria dos porcos e outros animais que vagavam livremente. Somente em dias de festa ou procissão as ruas eram limpas. Em virtude desse cenário é fácil imaginar a situação de falta de higiene e disseminação de doenças que imperava (BUTERA, 2009).

Nesse ponto da história, apesar do aparente atraso tecnológico de que padeciam as estruturas domésticas, o velho continente comemorava o início de uma revolução: as grandes navegações. Portugal e Espanha deixam a Europa rumo às Índias e acabam por descobrir todo um continente, denominado de América. E a partir do momento que haviam sido encontradas novas terras, era preciso habitá-las e colonizá-las, o que literalmente significava que era preciso construir neste novo território, as suas próprias habitações.

A história das habitações no Brasil pode ter tido suas origens nas habitações e nos modos de construir lusitanos, porém, muito do que hoje se pode considerar como uma casa brasileira é uma mistura de conhecimentos e influências de diferentes povos. E o que se pode chamar dos primeiros aglomerados urbanos, eram na verdade choças, construídas a partir de palha e folhas de coqueiro amarradas com cipó, em uma rudimentar estrutura de madeira. No entanto, a primeira mudança estabelecida pelos colonizadores foi o abandono do formato circular da oca e a adoção da forma conhecida pelo europeu como uma habitação, o espaço cúbico (LEMOS, 1996).

Os portugueses que no Brasil chegavam, eram provenientes de diversas regiões e traziam consigo, todo um conhecimento de gerações da chamada arquitetura vernácula. Esse conhecimento de técnicas específicas de determinadas regiões, confrontado com os materiais aqui existentes e principalmente, com o clima tropical, foram gerando um sem número de novas tipologias habitacionais. Não obstante, estes primeiros habitantes, ao mesmo tempo em que encontravam uma grande quantidade de recursos naturais disponíveis, também se deparavam com escassa mão-de-obra especializada e falta de ferramentas. Talvez esse fato, remonte à própria história do desperdício, principalmente na construção civil. Ao vislumbrar a vastidão das novas terras, os imigrantes acostumados ao diminuto espaço, imaginaram serem os recursos inesgotáveis, e assim podiam explorar a vontade. Aliando esse fato à falta de mão-de-obra e ferramentas adequadas, pode-se imaginar a quantidade de árvores que foram cortadas em vão, para que talvez um caibro fosse utilizado na tentativa de se erguer uma casa.

Nessa época, juntamente com o progresso proporcionado pelas grandes navegações, alguns avanços também puderam ser percebidos no ambiente doméstico. De acordo com Mumford (1998) foi somente por volta do final do século XV, com o aparecimento e disseminação do uso de vidro plano para as janelas, que o ambiente dentro das casas passa a ser mais iluminado sem deixar de ser aquecido, o que torna a casa não mais um antro

escuro e frio, mas um local de agradável permanência. Dessa maneira, muitas atividades migram do exterior para o interior da habitação e, como não era mais necessário que todos permanecessem em um só espaço (ao redor do fogo) surge a possibilidade de criar diferentes cômodos, e com eles, nasce também a privacidade.

Porém, ficar mais tempo em casa, em diferentes ambientes, cada qual devidamente iluminado e aquecido, tem seu preço: o aumento do consumo de lenha. Consumindo cada vez mais lenha, e posteriormente carvão, as habitações iniciam assim, uma nova etapa em sua longa caminhada rumo ao aumento do consumo de recursos naturais e energia, e consequente acréscimo dos impactos ambientais (TESSMER, 2002).

Outro capítulo fundamental na história dos impactos inerentes a uma habitação é a questão do consumo de água. Durante um extenso período, que perdurou desde o surgimento das primeiras casas, até meados do século XVIII, a água era vista como um bem escasso e até mesmo precioso, em função da dificuldade para se obter a água. Os povos antepassados tinham de caminhar muito, até o rio ou fonte mais próxima, para buscá-la.

Estima-se que o consumo de água no período medieval, tomando como exemplo a cidade de Paris, era de não mais que três ou quatro litros por dia por habitante (BUTERA, 2009). Se hoje se sabe serem necessários cerca de dois litros por dia apenas para a ingestão humana, pode-se inferir que muito pouco era utilizado em outras atividades, ficando a questão da higiene, definitivamente, em segundo plano. Apenas com o passar do tempo e com as descobertas da medicina – que começa a estabelecer relação entre a falta de higiene e o aparecimento de doenças – é que a água passa a ser utilizada em maior quantidade para atividades como a limpeza dos edifícios e asseio de seus moradores.

As tubulações de água vão surgir pela primeira vez em Londres no ano de 1770, e sua distribuição ainda não era contínua: apenas três vezes por semana a água era liberada e os cidadãos deveriam conservá-la em recipientes para os dias seguintes (BUTERA, 2009). Com o tempo as tubulações se estendem e se ramificam, tornando a água possível em todos os cômodos, entrando definitivamente nas casas e modificando os costumes. Primeiro a cozinha, depois a sala de banho, o vaso sanitário, as banheiras e a ducha, e surgem inclusive, as redes de coleta de águas residuárias. Esse processo é lento, porém definitivo, e com a mudança dos costumes, a água passa a ser largamente utilizada para diversos fins e muda principalmente o seu conceito: de um bem escasso e precioso, a água agora é abundante, de fácil acesso e o mais importante, é barata. Passa a existir aqui, o hábito do desperdício.

Nesse mesmo período, a cidade de Londres também é palco de transformações que irão modificar radicalmente a idéia de cidade, habitação e seu potencial de impactos no ambiente: a revolução industrial. O liberalismo econômico, a acumulação de capital, o desenvolvimento do motor a vapor, as ferrovias e finalmente, a consagração do capitalismo como o sistema econômico vigente, são alguns dos fatores que possibilitaram essa revolução (MORENO, 2002). De acordo com Rolnik (1988, p. 83) “[...] a indústria colocou para a cidade questões novas – ela é ao mesmo tempo seu espetáculo e seu inferno [...]”.

Espetáculo, em virtude das novas oportunidades de trabalho e da diversidade de produtos e serviços que a indústria possibilita, e inferno, em função da exploração dos recursos (em uma escala nunca antes vista), das condições de insalubridade em que trabalhavam e viviam os operários, e dos problemas relacionados à poluição da água, do solo e principalmente do ar (Figura 4).



Figura 4: Habitações na Idade Moderna e seus impactos.
Fonte: Santos (2010).

O século XIX foi particularmente importante na história dos impactos de uma residência, pois registra uma série de significativas mudanças tecnológicas. Além das redes de distribuição de água e de coleta de esgotos, surgem as redes de provimento de iluminação, tanto no espaço público quanto no privado. Durante a primeira metade deste século, permaneceram sendo utilizadas as velas de sebo nas casas e as lanternas suspensas com velas ou lâmpadas a óleo nas ruas. No entanto, é importante mencionar que estas eram técnicas já utilizadas pelos romanos, e por muito tempo não houve interesse em se mudar esta situação. Porém, o óleo das lâmpadas (que era principalmente extraído por meio da caça das baleias cachalotes) começou a se tornar escasso, o que inevitavelmente aumentou seu custo. A partir de então, era necessário procurar uma nova alternativa.

Na Europa, a solução veio com a iluminação a gás: credita-se a idéia aos franceses, porém foram os ingleses que souberam como aplicá-la e distribuí-la. Segundo Butera (2009) em Londres, no início do ano de 1815 existiam 25 km de redes de distribuição de gás para iluminação, enquanto que no final do mesmo ano, a rede já chegava a mais de 40 km. Em 1820, as instalações de produção de gás de iluminação já definiam as estruturas que seriam mantidas pelo próximo século.

Inicialmente nos prédios públicos, a rede de iluminação logo chegou às casas e provocou uma transformação significativa na vida dos seus habitantes, desde as mudanças nos hábitos noturnos, no nível de iluminação das casas, na possibilidade de execução de novas tarefas e até no aumento da jornada de trabalho.

Enquanto isso, nos Estados Unidos, em função da necessidade de iluminação, iniciava-se uma nova era na história da energia. De acordo com Aragão (2005), a resposta dos americanos para a escassez de óleo foi dada no início de 1859, em uma fazenda na Pensilvânia. Nesta data, foi perfurado o primeiro poço de petróleo, considerado o marco inicial da indústria moderna do petróleo.

E continuando com as mudanças tecnológicas deste período, prossegue-se para talvez a mudança mais radical, importante (e impactante) de toda a história: o surgimento da energia elétrica. De acordo com Banham (1975) é justamente com o provimento regular e contínuo de energia elétrica pública que se inicia a maior revolução ambiental da história humana desde o domínio do fogo. E pode-se dizer que isso ocorreu aproximadamente em 1878, quando surge o primeiro sistema elétrico para a iluminação pública na avenida e praça do prédio da Ópera de Paris. Nos Estados Unidos, no mesmo ano, o sistema também é levado a um grande magazine na Filadélfia (BUTERA, 2009).

A partir desse ponto, inúmeras cidades em todo o mundo começam a receber sistemas semelhantes e a energia elétrica inicia a sua era. E em função das novas possibilidades que isso apontava, todos começaram a se perguntar a respeito do que mais a energia pode fazer para resolver os problemas do cotidiano e tornar a vida mais fácil: entre a segunda metade do século XIX e início do século XX aparecem os eletrodomésticos.

Toda essa revolução também está intimamente ligada às mudanças pelas quais passam a mulher durante esse período. A necessidade de economizar tempo dentro de casa para poder exercer outros papéis na sociedade, implica facilitar as atividades domésticas e isso somente poderia ser realizado com o auxílio da recém criada energia elétrica: surgem a lavadora de roupas (1850), o fogão (1851), a lavadora de louças (1865), a geladeira (1887) e o aspirador de pó (1904), dentre inúmeros outros, segundo Butera (2009). É claro que muitos desses aparelhos ainda necessitavam de inúmeros aprimoramentos técnicos para se parecerem com aqueles que se conhecem atualmente, porém, seu conceito e modo de funcionamento já estavam definidos.

Um caso significativo que merece ser ressaltado é o das geladeiras. Inicialmente, os gases utilizados para o resfriamento eram considerados tóxicos, o que dificultava a aceitação do produto. Desse modo, foi somente a partir de 1930 com o emprego do *Freon* que as geladeiras se tornaram populares, afinal, esse parecia o gás ideal para ser utilizado dentro das habitações, pois não era nem tóxico, nem inflamável. O que não se sabia nessa época era que o *Freon* é um gás totalmente instável e pode se decompor com facilidade na atmosfera, destruindo a camada de ozônio (CASSETI; COSTA, 1989). O problema é que este fato só foi descoberto depois dos anos 1980, após décadas de uso contínuo.

Outro caso a ser mencionado é o do ar-condicionado. Uma das inovações deste período que mais demorou a ser utilizada nas residências – estima-se que somente em 1945 foi criado o primeiro modelo específico para as casas – foi também uma das que mais causou impactos ambientais. Quando se iniciaram as vendas foi um grande sucesso comercial, de maneira que as fábricas mal conseguiam acompanhar os pedidos e o consumo de energia elétrica aumentou de modo substancial. Para confirmar, Butera (2009) pondera que em função do excessivo uso do ar-condicionado registraram-se os primeiros blecautes no fornecimento de energia, no forte verão de 1966 nos Estados Unidos.

Nos anos 1970, a disseminação do uso de condicionadores de ar associada à crise energética pela qual os países mais desenvolvidos estavam passando, incentivou a construção de edifícios com baixa troca de calor entre o exterior e o interior, como forma de aumentar a eficiência dos condicionadores sem aumentar o consumo de energia. Essas medidas, além de provocaram um decréscimo na qualidade do ar do interior desses edifícios, induziu a uma série de problemas na saúde de seus habitantes. Eram relatadas irritação e obstrução nasal, desidratação e irritação da pele, problemas na garganta e nos olhos, dor de cabeça, cansaço e perda da concentração. No início da década de 1980, a Organização Mundial da Saúde (OMS) reconheceu esses sintomas como indícios da denominada “Síndrome de Edifícios Doentes” (UEMOTO et al., 2006).

Todavia, não era somente a falta de troca de ventilação com o exterior que estava criando estes sintomas. O ar do lado de fora das casas também estava poluído e a composição dos materiais de construção também havia sido alterada, assim como os meios de produção e os métodos construtivos. Os materiais usados nos acabamentos e mobiliário passaram a ser fontes poluidoras, emitindo compostos químicos para os ambientes internos e causando danos à saúde dos seus moradores (UEMOTO et al., 2006).

E pode-se dizer que a maioria destas mudanças, no modo como as pessoas constroem e se relacionam com as habitações, modificando o ambiente a sua volta, começaram na segunda metade do século XIX e desde então, em tão curto espaço de tempo, distanciaram a humanidade de forma vertiginosa dos modos de vida que a tinham caracterizado pelos últimos milhares de anos (Figura 5).



Figura 5: Habitações na Idade Contemporânea e seus impactos.
Fonte: Santos (2010).

Atualmente, não se jogam mais o lixo e os dejetos diretamente pelas janelas, como faziam os povos antigos, no entanto, uma quantidade infinitamente maior de poluentes é expelida pelas chaminés das indústrias e escapamentos dos veículos para a atmosfera. A diferença é que hoje não se tratam somente de resíduos orgânicos, mas sim de lixo inorgânico, compostos químicos e fumaça de combustíveis queimados (ROAF, 2006).

Em escala planetária, o clima está se alterando, os verões estão mais quentes e os invernos mais frios – fato constatável por qualquer habitante da Terra. A temperatura média está aumentando (os anos de 1995 a 2006, figuram entre os mais quentes da história, desde que as temperaturas na Terra começaram a ser medidas em 1850), as geleiras estão derretendo (desde o ano de 1978, a extensão das geleiras árticas tem diminuído a uma porcentagem média de 2,7% a cada década) e o nível do mar está se elevando (desde o ano de 1993, o nível médio do mar têm aumentado 3,1 mm/ano), dentre outras tantas mudanças perceptíveis em todas as partes do globo (IPCC, 2007).

De acordo com o *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC), ou o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas, dentre as causas mais prováveis destas mudanças, podem ser citadas as variações nas taxas de concentração dos gases de efeito estufa na atmosfera e as alterações na cobertura da camada de ozônio, aspectos que têm relação direta com as atividades antropogênicas de modificação do meio ambiente. Conforme os dados apresentados pelo órgão em seu último relatório (IPCC, 2007), as emissões mundiais de dióxido de carbono – o gás de efeito estufa antropogênico mais importante – aumentaram em média 80% ao ano, entre os anos de 1970 e 2004.

E se a humanidade permanecer nesse ritmo de crescimento, as previsões para o futuro são ainda menos otimistas. A Figura 6, apresenta uma correlação entre a emissão de gases de efeito estufa projetada para os anos 2000 até 2100 (na ausência de políticas climáticas adicionais) e o correspondente aumento de temperatura na superfície da Terra. Cada uma das linhas coloridas corresponde a um cenário diferente considerado pelo estudo.

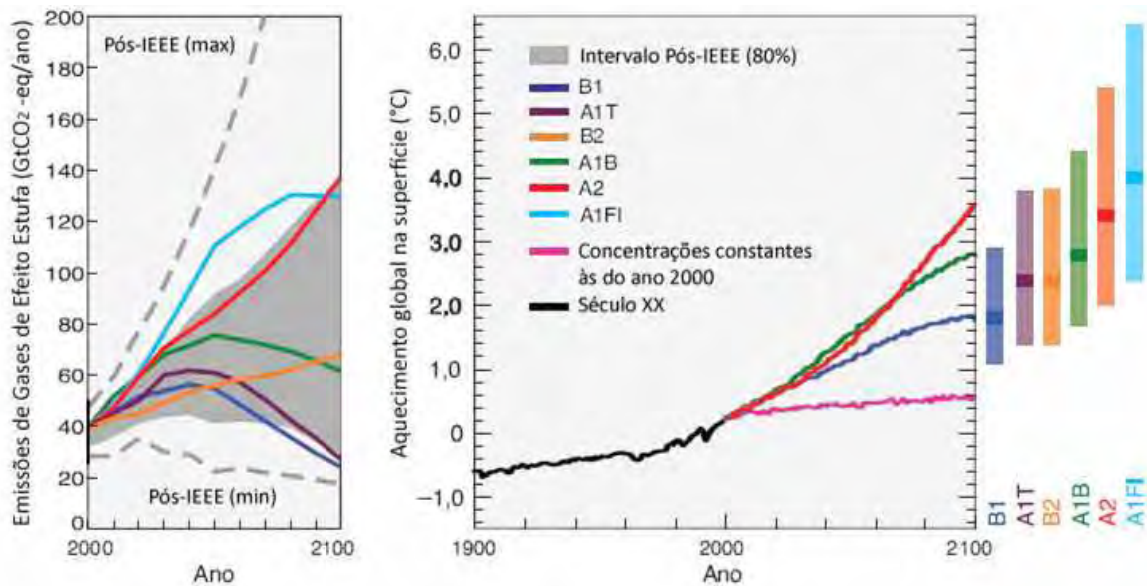


Figura 6: Cenário de emissões de gases de efeito estufa entre 2000 e 2100 (na ausência de políticas climáticas adicionais) e projeção das temperaturas na superfície.
Fonte: Traduzido e adaptado de IPCC (2007).

Contudo, muitos poderão questionar que ainda não existe uma correlação estabelecida entre todas estas mudanças provocadas pelo aquecimento global e o aumento do efeito estufa e que, por fim, o mundo e o clima sempre mudaram. Não obstante, estas transformações nunca ocorreram de maneira tão rápida e contundente.

Nesse ponto, é preciso ter cuidado para não adotar o tom alarmista que muitos trabalhos seguem ao discutir a questão ambiental, no entanto, tratar o assunto com a seriedade que ele merece, pode levar a mudanças que não apenas irão contribuir para solucionar a problemática ambiental, mas sim para elevar a qualidade de vida no planeta.

E o primeiro passo é justamente conhecer o problema: já se sabe da sua existência, agora, é preciso saber a sua profundidade. E o que se apresenta a seguir, é uma breve descrição das principais categorias de impactos ambientais na atualidade, relacionados tanto à construção civil, de um modo geral, quanto especificamente para as habitações.

2.2 Impactos da construção civil

No que tange ao conceito de impacto ambiental, a legislação brasileira (BRASIL, 1986, p. 1) considera ser “[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas [...]”, neste caso, decorrente da construção civil. Assim, nos tópicos seguintes, serão abordadas as principais categorias de impactos relacionadas ao setor.

2.2.1 Consumo de energia e recursos

Dentre as consequências ambientais diretamente relacionadas à construção civil, a mais significativa diz respeito ao consumo de energia e outros recursos (UNEP, 2003). Segundo as estimativas da *Organisation for Economic Co-operation and Development* (OECD), na União Europeia e nos Estados Unidos, a porcentagem de energia consumida no setor corresponde a aproximadamente 40% do total de energia gerada, enquanto no Japão, essa porcentagem é de cerca de 25%, como pode ser visualizado na Figura 7 (OECD, 2003).

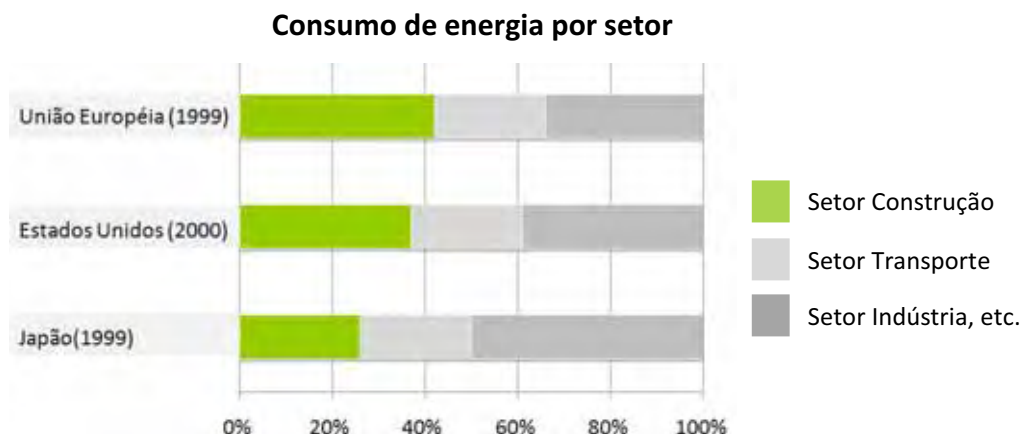


Figura 7: Consumo de energia por setor.
Fonte: Traduzido e adaptado de OECD (2003).

No Brasil, o consumo total de energia elétrica tem crescido a uma média de 7,35% ao ano, passando de 18.346 GWh no ano de 1960 para 304.634 GWh no ano 2000. E neste mesmo ano, o consumo de energia foi distribuído da seguinte maneira entre os setores: 26,88% para o setor residencial, 15,35% para o setor comercial e 43,30% para o setor industrial (SCHMIDT; LIMA, 2004).

Entretanto, os valores a respeito da energia consumida pelo setor residencial brasileiro podem ser considerados subestimados, pois são computados apenas os gastos relativos à etapa de uso das habitações, não sendo considerado o consumo de energia durante as fases de produção e transporte de seus componentes e materiais de construção, muito menos a energia gasta em sua edificação. Para que se possam contabilizar todos estes aspectos, é necessário empregar o conceito de energia incorporada, ou Energia.

A energia incorporada pode ser definida como sendo o total de energia solar equivalente que é utilizada para se produzir determinado recurso, que pode ser tanto outra forma de energia, um material, um produto, um serviço da natureza ou mesmo um serviço humano, conceito este que foi introduzido por Odum (1971). Assim, toda a energia consumida na cadeia de produção de um determinado produto pode ser mensurada, servindo como base de comparação para com outros sistemas e produtos.

Se esse conceito for aplicado na construção civil, terão de ser incluídos: a energia gasta para a produção dos materiais de construção; a energia gasta nos processos de obtenção das matérias-primas a partir das quais são produzidos estes materiais; a energia consumida no transporte destes materiais da fábrica até o revendedor e depois deste até a obra; o transporte diário dos operários até o canteiro de obras, dentre outros aspectos. Dessa maneira, o conceito de energia incorporada é uma importante medida na avaliação da sustentabilidade, pois a degradação ambiental ocorre principalmente em função do uso de energia fóssil não-renovável (ROAF, 2006).

Seguindo nessa linha de raciocínio, pode-se contabilizar a energia incorporada em uma edificação completa. Conforme ENEA (2004) a energia necessária para se produzir os materiais empregados na construção de um apartamento de 100 m² na Itália pode chegar a enorme quantidade de 5 toneladas de petróleo. Para a construção deste apartamento será utilizada mais 0,5 tonelada e, o consumo médio anual, apenas para manter essa residência aquecida, é de mais uma tonelada de petróleo.

Diversas pesquisas têm sido realizadas com vistas a calcular a energia incorporada nos materiais de construção, contudo, ainda que versem sobre o mesmo produto, os valores obtidos podem variar bastante de um estudo para o outro, pois dependem em grande medida das características da região onde o mesmo foi realizado. Como a grande maioria destes estudos se refere aos produtos e processos dos países “desenvolvidos”, se torna muito difícil transpor estes valores para a realidade nacional.

Mesmo assim, apenas à guisa de exemplo, a energia incorporada de alguns materiais comumente utilizados na construção civil é exposta no Quadro 2.

Material	Densidade (kg m ⁻³)	Valor baixo		Valor alto	
		kWh / t ⁻¹	kWh / m ⁻³	kWh / t ⁻¹	kWh / m ⁻³
Agregados naturais	1500	8,3	13,9	33,4	258,5
Madeira (pinho)	500	144,5	72,2	1.973,8	1.000,8
Argamassa	1200	305,8	361,4	1.862,6	2.224,0
Cimento	1500	1.195,4	1.807,0	2.168,4	3.252,6
Tijolos	1700	278,0	472,6	2.613,0	4.448,0
Vidro	2600	3.614,0	9.452,0	8.618,0	22.518,0
Aço (seções)	7800	6.672,0	52.820,0	16.402,0	127.880,0

Quadro 2: Energia Incorporada aos materiais de construção.
Fonte: Adaptado de BRE (1994) apud Roaf (2006).

Com relação ao dispêndio de recursos naturais, pode-se dizer que a cadeia produtiva da construção civil consome entre 14 e 50% de todos os recursos extraídos no planeta, dependendo do nível de desenvolvimento e industrialização de cada país (SJÖSTRÖM, 1996).

No Brasil, dados oficiais quanto ao consumo de materiais de construção ainda são escassos, no entanto, John (2000, p. 16) apresenta um cálculo estimado para dois dos materiais mais utilizados na construção civil: considerando que a produção de cimento no país é de “[...] aproximadamente 35 milhões de toneladas de cimento Portland por ano [...] e [...] assumindo que este cimento é misturado com agregados a um traço médio de 1:6, em massa, pode-se estimar um consumo anual de 210 milhões de toneladas de agregados [...]”. Esses valores se referem apenas aos agregados utilizados na produção de concreto e argamassas, sem incluir, os valores relativos às perdas e outros usos (como a pavimentação).

Desta feita, pode-se ter uma idéia do quão amplo podem se tornar os impactos ambientais relativos à construção civil. Entrementes, é preciso lembrar que foi discorrido apenas a respeito do consumo de recursos e energia, e não se deve esquecer que, como todo sistema, tudo que entra deve sair (os denominados *inputs* e *ouputs*), e nesse caso, sob a forma de emissão de resíduos e poluentes para o ambiente.

2.2.2 Emissões para o solo

De acordo com a Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente (Conama) nº 307/2002 os Resíduos da Construção Civil (RCC) são definidos como sendo os rejeitos “[...] provenientes de construções, reformas, reparos e demolições de obras de construção civil, e os resultantes da preparação e da escavação de terrenos [...] comumente chamados de entulhos de obras, caliça ou metralha” (BRASIL, 2002, p. 95).

Um dos contribuintes para o grande volume de RCC gerado anualmente no Brasil são as perdas que ocorrem no canteiro de obras. Atualmente, estima-se que entre 20 e 30% da massa total dos materiais que são empregados na construção são subutilizados, resultando em perdas, desperdício e, conseqüentemente, em resíduos (PINTO, 1986). A Figura 8 apresenta as porcentagens de perdas para alguns materiais tradicionais na construção civil brasileira, extraídos do estudo de Souza et al. (1998), que por meio do acompanhamento em diversos canteiros de obras, chegaram a uma mediana destas perdas.



Figura 8: Perdas de materiais nos processos construtivos convencionais.

Fonte: Adaptado de Souza et al. (1998).

No Brasil, ainda não existem dados relativos à produção total de RCC no país, contudo, adotando como base a mediana calculada para algumas cidades brasileiras, como sendo 500 kg/hab. por ano (PINTO, 1999), e transpondo para a população total do país, que de acordo com o último censo realizado é de mais de 180 milhões de habitantes (IBGE, 2007), tem-se uma estimativa de mais de 90 milhões de toneladas de resíduos de construção civil por ano que, se não recebem o devido cuidado por parte da administração pública, vão parar ilegalmente na malha urbana, depositados em terrenos baldios (JOHN et al., 2006).

A disposição inadequada dos RCC pode gerar uma série de impactos ambientais. Apenas para elencar alguns destes impactos, Pinto (2005) destaca:

- Degradação de áreas de manancial e de proteção permanente;
- Proliferação de agentes transmissores de doenças, como insetos e roedores;
- Assoreamento de rios e córregos;
- Obstrução dos sistemas de drenagem urbanos;
- Ocupação das vias com resíduos e prejuízo para circulação de carros e pedestres;
- Contaminação por resíduos que apresentam algum grau de periculosidade.

Segundo estudos realizados por Pinto (1986), o RCC no Brasil é composto por mais de 90% de materiais de origem mineral, como as argamassas e cerâmicas, cerca de 4% corresponde aos resíduos de concreto e apenas 3% é composto de outros materiais (plásticos, solos, papéis e matérias orgânicas), como pode ser visualizado na Figura 9. Este fato aponta um grande potencial de reciclagem para a construção civil, já que estes materiais de origem mineral podem ser utilizados para a produção de agregados. Ainda assim, atualmente apenas uma pequena parcela destes resíduos é empregada para este fim.



Figura 9: Composição de resíduos de novas construções, em massa (%).
Fonte: Adaptado de Pinto (1986).

Com o fito de definir, classificar e estabelecer a correta disposição para os resíduos da construção civil, no ano de 2002 foi promulgada a Resolução Conama nº 307/2002 que, baseando-se nos conceitos definidos pela Lei de Crimes Ambientais de 1998, prevê penalidades para os resíduos dispostos em desacordo com a legislação (PINTO, 2005). Nesta resolução, são descritas quatro classes diferentes de RCC e estabelecidas as suas respectivas formas de destinação correta, conforme exposto no Quadro 3.

Classes de resíduos na construção civil

Classe A

A

Descrição - São os resíduos reutilizáveis ou recicláveis como agregados, tais como:

- a) de construção, demolição, reformas e reparos de pavimentação e de outras obras de infra-estrutura, inclusive solos provenientes de terraplanagem;
- b) de construção, demolição, reformas e reparos de edificações: componentes cerâmicos (tijolos, blocos, telhas, placas de revestimento), argamassa e concreto;
- c) de processo de fabricação e/ou demolição de peças pré-moldadas em concreto (blocos, tubos, meios-fios etc.) produzidas nos canteiros de obras.

Destinação - Deverão ser reutilizados ou reciclados na forma de agregados, ou encaminhados a áreas de aterro de resíduos da construção civil, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

Classe B

B

Descrição - São os resíduos recicláveis para outras destinações, tais como: plásticos, papel/papelão, metais, vidros, madeiras e outros.

Destinação - Deverão ser reutilizados, reciclados ou encaminhados a áreas de armazenamento temporário, sendo dispostos de modo a permitir a sua utilização ou reciclagem futura.

Classe C

C

Descrição - São os resíduos para os quais não foram desenvolvidas tecnologias ou aplicações economicamente viáveis que permitam a sua reciclagem/recuperação, tais como os produtos oriundos do gesso.

Destinação - Deverão ser armazenados, transportados e destinados em conformidade com as Normas técnicas específicas.

Classe D

D

Descrição - São os resíduos perigosos oriundos do processo de construção, como: tintas, solventes, óleos e outros, ou aqueles contaminados oriundos de demolições, reformas e reparos de clínicas radiológicas, instalações industriais.

Destinação - Deverão ser armazenados, transportados, reutilizados e destinados em conformidade com as Normas técnicas específicas.

2.2.3 Emissões para o ar

No que se refere às emissões para a atmosfera, pode-se dividir o problema em duas frentes principais: a poluição externa e a poluição interna dos edifícios.

A primeira, diz respeito à emissão de gases de efeito estufa, como o dióxido de carbono (CO₂), que podem ser gerados tanto durante a fase de produção e transporte dos materiais de construção, quanto durante a fase de uso dos edifícios, em função do consumo de energia. Sobre este aspecto, é mister salientar que a cadeia produtiva da construção civil pode ser responsabilizada por cerca de 40% do total das emissões de gases de efeito estufa procedentes de atividades antropogênicas. Em algumas partes do mundo, como a Europa, o setor já é considerado como a maior fonte de emissão destes gases (CIB; UNEP-IETC, 2002).

Dentro do próprio setor, uma das fontes mais notáveis de emissão de CO₂ é o processo produtivo do cimento. Somente para se produzir uma tonelada de clínquer (produto intermediário na fabricação do cimento Portland) pelo método de via seca, estima-se que são liberados entre 820 - 870 kg de CO₂ para a atmosfera (YAMAMOTO et al., 1997). Com relação a toda a cadeia produtiva do cimento, esta pode ser responsabilizada por aproximadamente 3% do total de gases de efeito estufa antropogênicos emitidos no mundo e 5% do total de CO₂ (HUMPHREYS; MAHASENAN, 2002).

A segunda, está vinculada ao decréscimo da qualidade do ar no interior dos edifícios, em função da emissão de substâncias tóxicas à saúde humana, como os compostos orgânicos voláteis, microorganismos patogênicos, poeiras, partículas, fibras e radiação. Parte do problema ocorre pelo fato de que atualmente os edifícios são construídos com materiais sintéticos, que podem exalar substâncias químicas prejudiciais à saúde. Por outro lado, também existem os problemas em virtude da falta de ventilação, insolação e proliferação de agentes patogênicos, como microorganismos e o mofo.

O instituto *The Healthy House* identificou em diversos estudos cerca de 200 substâncias que são emitidas pelos materiais utilizados na construção civil. Alguns destes elementos são cancerígenos, enquanto outros produzem efeitos alérgicos respiratórios, perdas na sensibilidade do olfato e visão, distúrbios dermatológicos e cefaléias (BERGAN, 2005). Assim, apresenta-se nos itens seguintes, uma breve descrição de alguns dos principais elementos presentes nos materiais de construção que podem causar emissões consideradas nocivas à saúde dos usuários de uma edificação, por diversos motivos.

a) Amianto

O amianto é o nome comercial de um conjunto de minerais constituídos basicamente de silicato de magnésio, que por suas propriedades físico-químicas e principalmente, seu baixo custo, tem sido amplamente utilizado na indústria da construção, em produtos como telhas (Figura 10), reservatórios de água, pisos e tubulações (ABREA, 2010).



Figura 10: Telha contendo amianto.
Fonte: <www.fozconstrucao.com>.
Acesso em: 22 de mar. de 2010.

O Brasil está entre os cinco maiores produtores de amianto do mundo e é também um grande consumidor. Contudo, o uso do amianto está relacionado ao surgimento de câncer de pulmão e laringe, fibrose e mesotelioma (um tipo de tumor raro) nos pulmões, peito e abdômen, e os mais expostos a estes riscos são justamente os trabalhadores vinculados a cadeia produtiva do amianto. Desse modo, o uso dessa substância em qualquer material de construção deve ser evitado, tendo sido proibido seu uso no estado de São Paulo por meio da Lei Municipal 13.113 de 2002 (ABREA, 2010). Ainda é importante salientar que o Brasil foi um dos países que mais demorou em proibir o uso do amianto em obras públicas, e mesmo assim, seu uso ainda persiste em obras privadas.

b) CFC - Clorofluorcarbonetos

Os CFCs são um grupo de gases sintetizados industrialmente, diretamente responsáveis pela destruição da camada de ozônio, que protege o planeta Terra das radiações solares. Nos edifícios são utilizados em isolantes de telhados e paredes, forros, produtos aerossóis (Figura 11), refrigeradores e extintores de incêndio (ROAF, 2006).



Figura 11: *Spray* contendo CFC.
Fonte: <www.hsw.uol.com.br>.
Acesso em: 22 de mar. de 2010.

A utilização destes gases em qualquer tipo de material é condenada, em virtude do impacto ambiental que eles representam, pois são até 20.000 vezes mais potentes como gases de efeito estufa do que o CO₂. A produção desses gases foi reduzida de forma notória no início dos anos 2000, porém, o mercado ilegal de CFC ainda permanece na ativa, principalmente em função dos altos custos de substituição dos sistemas de refrigeração (ROAF, 2006).

c) Chumbo

O chumbo é um metal pesado e tóxico, porém, em função da sua elevada resistência à corrosão, encontra muitos usos na construção. A maioria das casas construídas antes da Primeira Guerra Mundial certamente contém componentes de chumbo, como tubulação (Figura 12), calhas e tintas (ROAF, 2006).



Figura 12: Tubulação contendo chumbo.
Fonte: <www.factotumcomercial.com.br>.
Acesso em: 22 de mar. de 2010.

Todavia, quando a água é ligeiramente ácida, as tubulações de chumbo podem sofrer corrosão, ocasionando o aparecimento desta substância na água potável. As vias de contaminação podem ser a inalação e a ingestão, e os sintomas vão desde os mais leves, como fadiga, irritabilidade, cefaléia e náuseas, até os mais graves, como cólica abdominal aguda, convulsões e até mesmo o coma (BRASIL, 2006).

d) Formaldeído

Outro exemplo de substância causadora de contaminação do ar interno nas edificações, comumente encontrada nos materiais de construção é o formaldeído, usado em grande parte dos materiais sintéticos, como as chapas de partículas de madeira (Figura 13), as chapas MDF (*Medium Density Fiberboard*), as tintas, resinas, carpetes e outros revestimentos (BERGAN, 2005).



Figura 13: Chapa contendo formaldeído.
Fonte: <www.dasenwood.com>.
Acesso em: 22 de mar. de 2010.

Mesmo com o passar do tempo, esses materiais continuam exalando formaldeído para o ar, representando inúmeros riscos à saúde humana. O contato prolongado com a substância, por meio do uso destes materiais, pode causar reações alérgicas, diminuição na frequência respiratória, dores de cabeça e perda de olfato. Além disso, existe um problema ainda maior, relacionado à exposição contínua dos trabalhadores que produzem estes materiais de construção, já que o formaldeído é classificado como carcinogênico humano e está relacionado com o desenvolvimento de câncer de pulmão e nasal, bem como possíveis casos de câncer no cérebro e leucemia. Ademais, a exposição ao formaldeído em elevadas concentrações pode até mesmo ser fatal (BERGAN, 2005).

e) PVC - Poli (Cloreto de Vinila)

O PVC é um polímero amplamente utilizado na construção civil, principalmente em virtude de suas características, pois é um material durável, resistente, impermeável e econômico. Atualmente, pode ser encontrado em forros, pisos, divisórias, persianas, revestimentos, tubos e esquadrias (Figura 14), dentro outros produtos (IPVC,2010).



Figura 14: Janela contendo PVC.
Fonte: <www.sublimepvc.com>.
Acesso em: 22 de mar. de 2010.

No entanto, apesar de ser um material considerado “mais sustentável” do que outros tipos de plástico, pois apresenta um baixo consumo energético durante seu processo produtivo, é importante destacar que, em caso de incêndio, ou mesmo durante processos de reciclagem e incineração, o PVC pode emitir poluentes prejudiciais à saúde humana, como as dioxinas, resultado da combustão de substâncias presentes em sua composição (IPVC, 2010).

f) Radônio

Para ilustrar o problema vinculado ao gás radônio, pode ser referido um fato ocorrido em 1985, nos Estados Unidos. Em uma usina nuclear, um dos engenheiros foi submetido a um teste de rotina para avaliar os níveis de radiação presentes em seu corpo. Os alarmes dispararam, mas o problema é que ele não estava saindo da usina, e sim entrando, ao voltar de sua casa (ROAF, 2006).



Figura 15: Granito contendo radônio.
Fonte: Santos (2010).

Desde então, a agência de proteção ambiental dos EUA, a *Environmental Protection Agency* (EPA) vem realizando investigações para melhor compreender a presença e implicações desse gás nas edificações. O fato é que o radônio (um gás natural e radioativo) é expelido por alguns tipos de rocha, presentes tanto no solo onde a obra foi locada, quanto em pedras ornamentais, utilizadas como materiais de construção. Pesquisas realizadas em Cuba revelaram que o granito (Figura 15), muito usado nas habitações brasileiras, é um potente emissor de radônio, e que a exposição a esse elemento aumenta em até 40% o aparecimento e desenvolvimento de algumas espécies de câncer em pessoas geneticamente e fisiologicamente pré-dispostas à doença (BERGAN, 2005).

g) COV - Compostos Orgânicos Voláteis

A necessidade de emprego de materiais com baixo impacto ambiental também recai sobre o setor de tintas (Figura 16), diretamente responsáveis pela emissão de Compostos Orgânicos Voláteis (COV), também conhecidos pela sigla em inglês VOC (*Volatile Organic Compound*). Os COVs são definidos como qualquer composto que participa de uma reação fotoquímica na atmosfera (UEMOTO et al., 2006).



Figura 16: Tintas contendo COVs.
Fonte: <www.arqclaudia.wordpress.com>.
Acesso em: 22 de mar. de 2010.

De acordo com um estudo realizado pela agência EPA e que foi enviado ao congresso americano em 1995, as tintas e os produtos de higiene e limpeza utilizados nas residências são responsáveis por 28% da emissão anual de COVs para a atmosfera. Estes produtos são uma mistura de inúmeros solventes e chegam a ter mais de 60 tipos de substâncias diferentes em sua composição, algumas consideradas tóxicas e nocivas à saúde humana, como os solventes clorados, os compostos aromáticos (benzeno, tolueno, xileno e isômeros), o metil etil cetona, dentre outras (UEMOTO et al., 2006).

2.2.4 Emissões para a água

A água está caminhando para se tornar um dos produtos primários mais valorizados do século XXI, principalmente em virtude do aumento da população global, das mudanças climáticas, da poluição que está restringindo suas reservas e da interferência crescente da civilização em seus fluxos e ciclos naturais. Por outro lado, a água também é considerada a substância mais abundante na biosfera, mas que em virtude da sua distribuição pela superfície terrestre, se torna de difícil acesso e conseqüentemente, escassa. Isso porque, segundo Bassoi e Guazelli (2004), do estoque total de água existente no planeta apenas 0,3% está disponível para uso humano direto, sendo que o restante se encontra nos oceanos, mares, geleiras, nas calotas polares e na atmosfera, conforme apresentado na Figura 17.

Analogia entre o volume de água total no planeta e um reservatório de 1000 litros

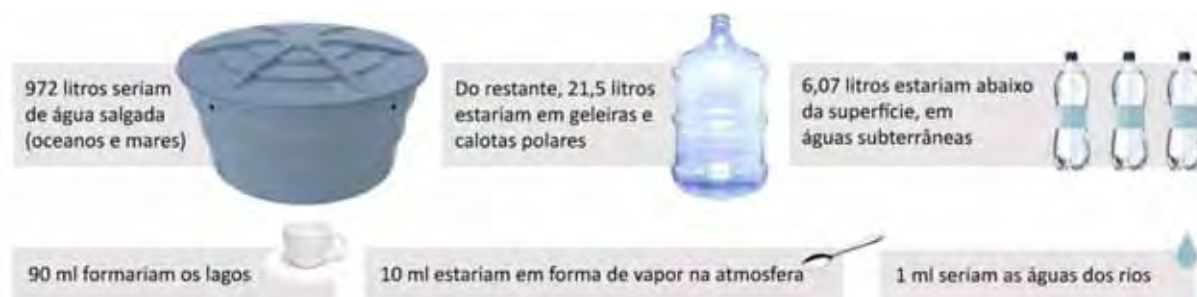


Figura 17: Analogia sobre a água no planeta Terra.

Fonte: Adaptado de Mano (2004).

Como se pode observar, a menor parcela disponível – aquela correspondente às águas dos rios – é justamente de onde se retira a maior parte da água para os usos humanos, e o pior, é também onde são lançados a maioria dos efluentes líquidos resultantes destes usos. As fontes de poluição das águas podem ser agrupadas em quatro tipos: poluição natural; poluição causada por esgotos domésticos; causada por efluentes industriais e poluição causada pela drenagem urbana e agrícola.

Com relação à construção civil, as fontes de poluição se dividem em: efluentes industriais, provenientes da cadeia produtiva dos componentes e materiais de construção; e o lançamento de esgoto doméstico *in natura*, durante a fase de uso dos edifícios. No caso dos efluentes industriais, estes podem variar muito, tanto na quantidade, quanto na qualidade, em função da atividade. Segundo Bassoi e Guazelli (2004, p. 66), dependendo da atividade “[...] os efluentes industriais podem conter elevadas concentrações de matéria orgânica, sólidos em suspensão, metais pesados, compostos tóxicos, microorganismos patogênicos e substâncias teratogênicas, mutagênicas e cancerígenas”.

No caso dos esgotos domésticos, que são provenientes tanto das edificações residenciais, quanto comerciais, a maior preocupação diz respeito à grande quantidade de matéria orgânica, microorganismos patogênicos e as elevadas concentrações de fósforo e potássio presentes no esgoto. No Brasil, estima-se que cada habitante gere entre 120 e 160 litros de esgoto por dia, que se forem lançados sem tratamento nos corpos de água – e a grande maioria o é: apenas um terço dos distritos que possuem coleta de esgoto o trata – acabam por comprometer a utilização das águas para o abastecimento, irrigação e recreação (SNIS, 2007). Os dados apresentados, aliados ao fato da qualidade da água potável ser declinante em todo o mundo, tornarão premente a necessidade de seu uso mais eficiente.

2.3 A busca da sustentabilidade

Ao se deparar com os impactos gerados pelo simples ato de construir, modificando o ambiente a sua volta, com certeza se pode ficar perplexo e preocupado. No entanto, ainda mais alarmante, é o fato de que no mundo atualmente, mais de 1 bilhão de pessoas ainda vivem na pobreza extrema, com renda menor que 1,25 dólar por dia, e não possuem acesso nem à eletricidade, nem aos serviços de saneamento básico, quanto mais a todo o conforto adquirido ao longo da história humana (BANCO MUNDIAL, 2009).

Todas essas pessoas podem (e devem) almejar as conquistas já alcançadas pelos países “desenvolvidos”, porém, o que essa inclusão significaria ao ambiente? É fato que um planeta Terra apenas não seria o suficiente, talvez fossem necessários, mais quatro ou cinco planetas para suprir a demanda de recursos. Um exemplo pungente é a China: ao entrar nesse mundo “desenvolvido”, em algumas regiões do país já se podem encontrar níveis de consumo energético próximo ao dos EUA. Somente entre o ano 1990 e 2000, foram construídos cerca de cinco bilhões de m³ e, se a economia continuar nesse ritmo, a previsão é de que todo o parque residencial e comercial dobre entre 2000 e 2015 (BUTERA, 2009).

Na verdade, parece que todos estão dispostos a percorrer o caminho já trilhado pelos países “desenvolvidos”, incluindo o pacote completo que vem com ele: a emissão dos gases CO₂, a poluição da água, do solo, o aumento do efeito estufa e a degradação dos ecossistemas. Dessa maneira, a situação é extremamente delicada, pois é preciso que essa população consiga melhores condições de vida sem comprometer tanto o ambiente, e essa mudança de paradigma é deveras complexa. O ideal seria que tanto os países “desenvolvidos” quanto aqueles que ainda estão “em desenvolvimento” pudessem ingressar juntos em uma nova era, baseada nos conceitos da sustentabilidade.

De acordo com a Agenda 21 elaborada pela CIB a “Construção Sustentável” pode ser entendida como a resposta do setor da construção civil a todos estes questionamentos, relacionados à mudança de paradigmas apresentada pela busca do que se pode chamar de desenvolvimento sustentável (CIB; UNEP-IETC, 2002).

E o desafio maior dessa resposta está em transformar as novas demandas em oportunidades de renovação do setor, criando materiais e técnicas inovadoras, que satisfaçam não apenas aos requisitos técnicos exigidos, mas que sejam economicamente viáveis, ambientalmente seguras e socialmente aceitáveis (MASTELLA, 2002).

Porém, o sucesso dessa transição, irá depender de como o setor irá conduzir as mudanças necessárias, tomando o cuidado para não deixar de lado nenhum destes aspectos. E como ocorre em todo período de transição, uma infinidade de novas propostas e tecnologias está surgindo, no entanto, somente o tempo se encarregará de dizer quais delas irão se afirmar e permanecerão.

2.3.1 Histórico da questão ambiental

As preocupações com o meio ambiente sempre estiveram presentes na história da humanidade, entretanto, em cada época, sob um viés diferente. Na antiguidade, Platão já discorria a respeito dos problemas de erosão do solo ocasionados por desmatamentos nas colinas da Ática. Em 1669, o primeiro-ministro francês, preocupado com a escassez de madeira, promulgou um dos primeiros decretos relativos à preservação das águas e florestas, ainda que seriamente imbuído de interesses econômicos (MCCORMICK, 1992).

Contudo, pode-se dizer que a efetiva preocupação com a questão ambiental surgiu principalmente depois da 2ª Guerra Mundial, na volta da industrialização. Os acidentes ecológicos, as consequências dos testes atômicos e a publicação de uma série de estudos sobre estas questões, começaram a ganhar destaque e contribuir para a busca de mudanças na política, na legislação e na relação da humanidade com o ambiente (PELICIONI, 2004).

Nesse período, um dos marcos mais significativos para o impulso do ambientalismo foi a publicação do livro *Silent Spring* de Rachel Carson em 1962, pioneiro ao abordar temas como a capacidade limitada dos recursos naturais, a necessidade de preservação da biodiversidade e as implicações das atividades humanas no ambiente (CARSON, 1962).

Assim, a preocupação com o ambiente vai aos poucos passando de um estágio inicial – no qual as atitudes relacionadas à preservação do ambiente eram muitas vezes entendidas como ações radicais, até mesmo românticas – para uma abordagem mais madura, objetiva e sistêmica dos reais problemas causados pelas atividades humanas no meio ambiente. E, cada vez mais, a sociedade foi atribuindo importância às questões ambientais, fato este, que suscitou a necessidade do desenvolvimento de abordagens e ferramentas de gestão que possibilitassem avaliar as consequências ambientais das atividades e decisões que a humanidade estava tomando.

Durante o período seguinte, o debate ambiental atinge proporção global, com o início das grandes conferências internacionais sobre o tema. Em 1972, é realizada em Estocolmo, a primeira Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente Humano, que resultou (entre outros avanços) na criação do Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA). Porém, o debate foi fortemente marcado pelo confronto de interesses entre os países “desenvolvidos” e os países “em desenvolvimento” (MCCORMICK, 1992).

Afinal, nos países denominados “em desenvolvimento”, como o Brasil, o debate a respeito dos problemas ambientais muitas vezes confronta com questões de outra ordem, como as graves contingências econômicas, sociais e políticas, que muitas vezes são tão, ou mais latentes do que os aspectos ambientais. Dessa maneira, o conceito de sustentabilidade nesses países adquire um viés mais amplo, abrangendo outras dimensões e visando à eficiência econômica, a justiça social e a prudência ambiental (SACHS, 1993).

As diferenças de definição do conceito de sustentabilidade entre os países ditos “desenvolvidos” e os “em desenvolvimento”, se dá pelo fato que os primeiros, ao passarem por um rápido processo de industrialização, conseguiram certo equilíbrio econômico e social, mas em contrapartida, esgotaram completamente as suas reservas naturais e atualmente estão consumindo as reservas de outros países, o que certamente não se deseja para aqueles países que ainda estão se desenvolvendo (SILVA, 2007).

E essa variedade de interesses e posicionamentos, muitas vezes antagônicos, levou à impossibilidade de uma definição universal acerca do que é sustentabilidade, assim como, de uma maneira unânime de se avaliá-la. Todavia, atualmente se admite que questões como, a conservação ambiental, a preservação das espécies e a diminuição da poluição, são apenas parte da busca pela sustentabilidade, que inclui também aspectos socioeconômicos, de justiça social, de superação da lógica dos sistemas de dominação capitalistas e de melhoria das condições de vida dos segmentos sociais menos favorecidos (PELICIONI, 2004).

2.3.2 A questão ambiental na construção civil

Com relação à construção civil, tem-se notado um crescente interesse pelas questões ambientais e, o setor, sempre lembrado pelos seus impactos negativos, atualmente procura se modernizar e adotar uma postura mais voltada para a sustentabilidade.

Pode-se dizer que este posicionamento teve início na década de 70, com a grande crise do petróleo mundial, mas foi somente com a chegada da década de 80 – e das primeiras constatações a respeito de que a poluição que a humanidade estava gerando poderia ter parcela de culpa nos desastres ecológicos que estavam acontecendo – que esse conceito realmente se consolidou (ROAF, 2006).

Durante a década de 90, o maior foco das pesquisas era em relação aos materiais de construção e seus impactos no ambiente. Nesse período, foram desenvolvidos diversos métodos visando quantificar os impactos totais de uma edificação, incluindo a energia incorporada nos seus diferentes materiais e ao longo de todo o seu ciclo de vida. Já os anos 2000 têm como temática principal a preocupação com as mudanças climáticas, a escassez das reservas de combustíveis fósseis e as conseqüentes altas nos custos do petróleo e gás.

No Brasil, segundo uma pesquisa realizada por Young e Lustosa (1999), a indústria da construção civil ainda é caracterizada por um perfil poluidor, que resulta principalmente da estratégia adotada pelo setor: crescimento da industrialização baseado na substituição de importações; tendência do setor para atividades potencialmente poluentes; atraso no estabelecimento das Normas e regulamentações ambientais e falta e/ou consolidação tardia de agências especializadas no controle da poluição industrial.

Pesquisas realizadas apontam também para a pouca preocupação das indústrias brasileiras com as questões ambientais. Jobim e Jobim Filho (2006) citam que em um levantamento realizado com aproximadamente 60 construtoras da cidade de Santa Maria - RS, apenas 14% dos respondentes afirmam que a empresa possui critérios de seleção de produtos e fornecedores com algum tipo de preocupação ambiental. Além disso, mais de 18% dos entrevistados não possuía nenhuma idéia a respeito dos impactos causados pelas obras no meio ambiente, e apenas 34% das empresas se preocupavam com o volume e destino dos entulhos gerados na construção. Contudo, a pesquisa aponta que 62% dos entrevistados possuíam interesse no uso de materiais de construção reciclados.

No entanto, apesar destas questões serem relativamente novas, e o Brasil ainda estar dando os primeiros passos nesta área, ao redor do mundo têm surgido inúmeras propostas para solucionar alguns dos principais problemas relacionados aos aspectos ambientais de uma edificação. Dessa maneira, nos próximos itens, são descritas algumas estratégias e práticas vinculadas à questão da busca pela sustentabilidade na construção civil.

a) Materiais de construção

A escolha dos materiais que serão utilizados na construção de uma edificação é de grande importância na busca pela sustentabilidade. Jobim e Jobim Filho (2006) enumeram uma lista de itens que devem ser considerados durante esta etapa:

- A energia necessária para se produzir o material;
- A emissão de CO₂ resultante da fabricação deste material;
- O impacto no ambiente resultante da extração das matérias-primas necessárias para a produção deste material (por exemplo, a extração de pedras em uma pedreira);
- A durabilidade de seus componentes e sua expectativa de vida útil;
- A toxicidade do material e a emissão de compostos químicos;
- E finalmente, o grau de poluição resultante do material ao término de sua vida útil.

Outro aspecto importante a ser considerado é a durabilidade desses materiais *versus* a sua origem. Materiais locais devem sempre ter prioridade de escolha, em virtude dos impactos ambientais decorrentes do transporte de longas distâncias, no entanto, deve-se avaliar a sua durabilidade, já que a longevidade de um material dilui os custos ambientais de sua produção e transporte ao longo de sua vida útil (ROAF, 2006).

b) Durabilidade das edificações

De acordo com John e Sato (2006) a degradação dos materiais e componentes de uma edificação é um aspecto importante, que limita seu tempo de vida útil. Estima-se que o volume de recursos consumidos na manutenção de uma estrutura pode ser equivalente ao volume necessário para a sua construção.

Os autores ainda destacam a importância da especificação de materiais adequados e de qualidade nas obras futuras, criando um “estoque” de casas, estradas, pontes, etc., para que o país não esteja condenado a uma situação de reconstrução e reforma permanentes, o que resulta em enormes custos econômicos, sociais e ambientais para todos. Esse aumento na durabilidade dos materiais e, conseqüentemente, das construções como um todo, pode ser resultado de pequenas alterações projetuais.

c) Incorporação de resíduos nos materiais

Dentre todos os segmentos da construção civil, mesmo com os baixos níveis de desempenho, o que teve maior abrangência quanto à aplicação dos conceitos de sustentabilidade foi o de materiais e componentes da construção. Isso se deve, em boa parte, ao grande número de pesquisas abordando o tema dos materiais de construção compostos de resíduos (ROCHA; CHERIAF, 2003).

De acordo com os autores, a importância do aproveitamento de rejeitos na construção civil se deve basicamente aos fatores:

- Possibilidade de desenvolvimento de materiais de construção de baixo custo a partir de subprodutos ou resíduos industriais;
- Interface direta do setor da construção civil com a cadeia produtiva fornecedora de insumos e bem minerais;
- Ao fato de que a constituição química da grande maioria de resíduos ser predominantemente de silicatos, aluminatos e óxidos alcalinos, os mesmos que fazem parte da constituição básica de diversos materiais de construção;
- À grande quantidade destes materiais que é produzida, possibilitando uma utilização dos resíduos em larga escala.

d) Questão energética

Na busca pela sustentabilidade, pode-se interferir tanto na escala local, diminuindo o consumo de energia nas edificações e na produção de seus componentes; quanto na escala global, buscando alternativas para a produção de energia que sejam provenientes de fontes renováveis, como a energia solar, a eólica, dentre outras. O modelo que atualmente vem se consolidando como proposta mais aceita nesse campo, e abrange todas as questões supracitadas, é o denominado de Tríade Energética: uso de fontes renováveis, uso racional da energia e gestão inteligente da demanda (BUTERA, 2009).

Também é considerada a possibilidade de descentralização da geração de energia, adotando-se um novo modelo, onde a própria residência produz a energia que gasta. Dessa maneira, a casa passaria de uma grande consumidora para geradora de energia, e o melhor, de energia considerada limpa.

Para tanto, o uso de sistemas fotovoltaicos é bastante indicado, pois apresentam diversas vantagens, dentre as quais podem ser citadas, segundo Roaf (2006):

- É uma fonte de energia considerada limpa;
- O principal material que compõe os painéis, a siliciana, possui uma fabricação atóxica;
- O retorno financeiro da energia, ou seja, o tempo que o sistema leva para produzir a quantidade de energia que justifique o investimento, é de 2 a 5 anos, considerando que a vida útil do sistema pode ser superior a 20 anos;
- Por ser produzida no mesmo local onde será consumida, não existem as perdas de transmissão, como ocorre nos sistemas convencionais centralizados;
- São duráveis e confiáveis, e possuem garantia de funcionamento de 20 anos;
- Exigem pouca manutenção, pois os painéis apenas têm de ser limpos periodicamente;
- Podem fornecer energia ininterruptamente durante blecautes no sistema geral.

e) Gestão de resíduos sólidos

Para o problema dos resíduos sólidos provenientes das obras de construção, o Sindicato da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo elaborou um manual contendo as principais diretrizes e práticas da gestão ambiental em canteiros de obras (PINTO, 2005). De acordo com as recomendações do manual, é importante buscar a redução destes resíduos ainda no canteiro, reduzindo o desperdício, ou até mesmo eliminando-o, promovendo a separação do resíduo por classe, reutilizando quando possível e encaminhando o que não for reaproveitado para destinação adequada, por meio de transportadoras licenciadas que depositam o entulho em áreas regulamentadas.

Como aspectos positivos da gestão ambiental nas obras, são citados pelo manual:

- Redução dos custos com a coleta;
- Redução do desperdício;
- Reaproveitamento dos resíduos na própria obra;
- Limpeza e organização do canteiro;
- Redução dos riscos de acidentes de trabalho.

Como resumo das diretrizes apresentadas, para que uma edificação possa ser considerada sustentável, podem ser referidos os seguintes aspectos, de acordo com Butera (2009): a entrada de energia (*inputs*) deve ser reduzida pelo uso de sistemas e técnicas apropriadas; a energia deve ser prioritariamente de origem não fóssil, e sim de fontes renováveis; os *inputs* relativos aos materiais e objetos devem ter um baixo impacto ambiental ao longo de todo o seu ciclo de vida; e as saídas (*outputs*) de resíduos devem ser controladas e reduzidas por meio do uso massivo da reciclagem.



Na verdade, o principal objetivo de todas estas intervenções é reduzir as emissões de gases de efeito estufa e outros poluentes, além de minimizar os impactos ambientais decorrentes das edificações, a níveis que possam ser “sustentados” pelo planeta por um longo período de tempo, o que atualmente está muito distante da realidade.

2.4 Métodos de avaliação

Com o aparecimento inúmeros produtos e serviços, se auto-intitulando “ecologicamente corretos”, surgiu a necessidade de comparar, avaliar e certificar se estes produtos realmente cumpriam o que prometiam. Dessa maneira, foram criados os programas de rotulagem e certificação ambiental, que concedem selos e declarações para os produtos mais adequados ao uso e que possuem um menor impacto ambiental, em relação aos similares disponíveis no mercado. Este sistema visa orientar consumidores e fabricantes a respeito do perfil ecológico dos produtos que eles estão adquirindo (EPA, 1993).




Existe uma diferença conceitual entre rotulagem e certificação ambiental. A rotulagem ambiental é voltada para os consumidores, objetivando orientá-los em relação à escolha de comprar determinado produto, ou não. Já a certificação ambiental é voltada para o relacionamento entre as próprias indústrias, e trabalha com a venda de insumos em grande quantidade, por atacado (BARBOZA, 2001).

Segundo Guerón (2003), os programas de rotulagem ambiental podem ser classificados de acordo com suas características. A mais importante diz respeito à forma como são realizadas as avaliações ambientais dos produtos, e podem ser concedidas por diferentes partes, conforme exposto no Quadro 4.

Tipo	Definição	Exemplo
1ª Parte	É uma afirmação feita pelo próprio fabricante, alegando que seu produto atende a determinados critérios ambientais. Também é chamada de auto-declaração.	 Alumínio reciclável
3ª Parte	São certificações concedidas por organismos que atuam independentes dos fabricantes, que concedem a utilização de rótulos ou selos baseados em critérios ambientais.	 Selo LEED *

Quadro 4: Tipos de concessão de selos ambientais.
 Fonte: Adaptado de EPA (1998). * A imagem está disponível em: <<http://www.usgbc.org>>.
 Acesso em: 23 de ago. de 2010.

Além disso, conforme apreciação da EPA (1998), os programas de certificação ambiental emitem três tipos diferentes de selos, que podem ser visualizados no Quadro 5.

Tipo	Definição	Exemplo
Positivo	Certifica que o produto possui determinados atributos ambientais, por meio da licença de uso de um logo ou termo. Em geral, são selos de aquisição voluntária.	 Reciclável
Negativo	Tipicamente obrigatórios e informam o consumidor sobre os componentes prejudiciais ou perigosos contidos no produto. São avisos de riscos, alertas ou orientações ao consumidor.	 Tóxico
Neutro	Relata os fatos e dados a respeito do produto e permite ao consumidor fazer o seu próprio julgamento, influenciando-os em sua decisão de compra.	 Tabela nutricional

Quadro 5: Tipos de selos ambientais.
 Fonte: Adaptado de EPA (1998).

Diferentes países, como o Canadá, Estados Unidos, Reino Unido e Japão, têm buscado meios padronizados de mensurar os impactos ambientais relativos aos edifícios e a solução por muitos adotada são os programas de rotulagem ambiental. Esses sistemas de avaliação ambiental têm servido de base para a criação de programas em outros países,

como o Brasil, que por meio de adaptações em função das características geográficas, da realidade social e econômica, tem desenvolvido sistemas próprios (SILVA, 2000).

No Brasil, o programa de rotulagem ambiental foi desenvolvido pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) e baseia-se nos programas similares mundiais. O programa denominado “ABNT – Qualidade Ambiental” foi iniciado em 1993 e está estruturado nas referências normativas ISO 14020 e ISO 14024. É qualificado como sendo um programa de 3ª Parte, Positivo e que concede o selo Tipo I, de Aprovação (Figura 18).



Figura 18: Selo ambiental da ABNT.
Fonte: <www.abntonline.com.br>.
Acesso em: 18 de mai. de 2010.

A metodologia adotada pela ABNT para a concessão do selo de qualidade ambiental é baseada na Avaliação do Ciclo de Vida, em virtude desta ser uma prática mundialmente reconhecida (muitos países utilizam a ACV para a concessão de selos ambientais) e das vantagens que o uso desta ferramenta apresenta.

A utilização da ACV em programas de avaliação ambiental é interessante para todas as partes envolvidas, tanto para os consumidores, que podem utilizar estes parâmetros na hora de escolher determinado produto; para as empresas e fabricantes, que podem comparar diferentes processos e produtos e, por meio da análise dos inventários promoverem melhorias ambientais e econômicas em seus produtos, além de ser uma ferramenta de melhoria e promoção da imagem da empresa; como para o governo, que pode incentivar as iniciativas de implementação de ACVs como suporte para definir as prioridades legais e determinação de taxas e impostos (PEREIRA, 2004).

2.5 Avaliação do Ciclo de Vida

A Avaliação do Ciclo de Vida é uma ferramenta cada vez mais importante nos processos de tomadas de decisão em empresas e, sua aplicação no setor da construção civil também apresenta uma série de benefícios, como a possibilidade de uma análise mais detalhada e crítica da etapa de especificação de materiais e a promoção de melhorias ambientais e econômicas nos sistemas de produtos estudados.

Por outro lado, sua aplicação no setor ainda apresenta limitações, como a dificuldade de obtenção de dados e informações referentes aos materiais de construção, devido, entre outros fatores, ao fato da composição química destes materiais ser muito variada. Além disso, o período que o ciclo de vida que uma construção apresenta, pode ser infinitamente mais longo que alguns produtos industriais, já que uma edificação pode durar décadas, até mesmo séculos (SATTLER; PEREIRA, 2006).

O impacto ambiental de uma edificação, assim como de seus respectivos processos construtivos, pode ser inicialmente avaliado apenas com base no inventário do ciclo de vida, que apresenta uma visão detalhada dos fluxos de entradas e saídas do sistema (os consumo de recursos e a emissão de resíduos), entretanto, se essas informações forem associadas às consequências ambientais e econômicas que tais ações podem causar no ambiente, inicia-se então uma nova etapa, denominada avaliação dos impactos (SOARES et al., 2006).

No entanto, são muitas as críticas envolvendo as práticas da ACV, principalmente no que diz respeito às dificuldades de coleta dos dados, a grande quantidade de informações necessárias ao estudo, a definição dos limites do sistema e a dificuldade de vincular os aspectos físicos a potenciais impactos ambientais (LEWIS; DEMMERS, 1996).

Apesar destes problemas, a ACV está caminhando para se tornar a metodologia mais aceita internacionalmente quando se trata de discutir os impactos ambientais de determinado produto ou sistema, justamente devido à amplitude e profundidade de sua abordagem, que a torna uma ferramenta valiosa, capaz de proporcionar uma visão geral do sistema estudado. Contudo, não foi sempre assim. A ACV demorou décadas para que sua metodologia se aperfeiçoasse, passando por períodos controversos (MOURAD et al., 2002).

Inicialmente, em virtude da crise do petróleo, considerava-se que o uso de energia era prioritário em relação a outros aspectos ambientais, como a produção de resíduos, de maneira que os primeiros estudos vinculados com a ACV tratavam apenas da quantificação de energia dos processos industriais, as denominadas “análises de energia” (*energy analyses*). Porém, para se construir o fluxograma do consumo de energia, também era necessário o cálculo do balanço da massa de matérias-primas e dos recursos empregados nos processos, desse modo, alguns analistas passaram a se referir a estes estudos como “análises de recursos” (*resource analyses*), ou ainda como “análises de perfil ambiental” (*environmental profile analyses*). Um panorama geral da evolução histórica da ACV, adaptado a partir de Mourad et al. (2002), é apresentado nos itens seguintes.

a) Década de 1960

O primeiro estudo público que se tem referência foi desenvolvido nos anos 1960 pela Coca-Cola, que contratou o *Midwest Research Institute* (MRI) para comparar os diferentes tipos de embalagens de refrigerante e selecionar qual deles se apresentava como o mais adequado do ponto de vista ambiental e de melhor desempenho com relação à preservação dos recursos naturais (SONNEMANN et al., 2004).

Este processo de quantificação da utilização dos recursos naturais e de emissões utilizado pela Coca-Cola nesse estudo passou a ser conhecido como *Resource and Environmental Profile Analysis* (REPA).

b) Década de 1970

Assim, durante os anos que se seguiram, estes tipos de análises foram se popularizando, sendo empregadas em muitos estudos e enfocando diferentes processos produtivos. Contudo, apesar do crescente interesse nestas ferramentas de avaliação ambiental, foram surgindo novos aspectos a serem contabilizados nas análises, que pudessem mostrar as interações entre os processos e suas consequências locais, como: as emissões para o ar, os efluentes líquidos e a produção de resíduos. Em meados de 1974, a metodologia conhecida como REPA foi aprimorada pelo MRI, durante a realização de estudos para a agência EPA, sendo considerada a precursora do que hoje se conhece como Avaliação do Ciclo de Vida (MOURAD et al., 2002).

c) Década de 1980

A necessidade de se contabilizar não somente o consumo de recursos e energia, mas também as emissões para o ar, água e solo, foram ganhando cada vez mais força no cenário mundial, tanto que a década de 80 foi marcada pelo início dos esforços para a realização de acordos internacionais visando à redução do efeito estufa e proteção da camada de ozônio.

As análises ambientais passam então a incorporar e quantificar estes novos fatores em sua metodologia, passando a ser chamadas de “ecobalço” (*ecobalance*), ou “ecoperfil” (*ecoprofile*), ou ainda “análise de berço ao túmulo” (*cradle to grave*).

Em 1984, inspirado pelos estudos REPA, o instituto *Swiss Federal Laboratories for Testing and Research* (EMPA), por solicitação do Ministério do Meio Ambiente da Suíça, realizou um estudo sobre materiais de embalagem que despertou interesse da comunidade científica ao aplicar uma análise do impacto potencial das emissões do processo. Este estudo foi publicado na forma de um banco de dados, contendo informações sobre o ciclo de vida de uma série de materiais, o que acabou contribuindo para a popularização desta metodologia (MOURAD et al., 2002).

Segundo este mesmo autor, no ano seguinte, a Comunidade Européia publicou a Norma Diretiva 85/339, sobre embalagens para líquidos de consumo humano, estabelecendo que as empresas de bebidas deveriam monitorar o consumo de energia, de recursos naturais e a emissão de resíduos sólidos associados ao seu produto. A interpretação dos resultados das análises ambientais evoluiu para além de um inventário de dados, passando para uma perspectiva mais ampla, com o objetivo de conhecer os potenciais impactos associados ao ciclo de vida dos produtos. Desse modo, foi a partir da evolução destes estudos que surgiu a denominação Análise do Ciclo de Vida (*Life Cycle Analysis*).

d) Década de 1990

Em virtude da crescente popularização das Avaliações do Ciclo de Vida, foram criados inúmeros bancos de dados para subsidiar estes estudos. O instituto suíço EMPA publica novos bancos de dados com informações sobre embalagens, introduzindo na metodologia REPA um sistema de ponderação que utilizava padrões de referência para a saúde humana e para agregar dados sobre os impactos ambientais (MOURAD et al., 2002).

Nos anos subsequentes, visualizando o potencial da técnica apresentada pela ACV como estratégia de *marketing*, alguns estudos tendenciosos foram realizados, levando a público, somente aqueles resultados que interessavam. Foram publicadas pesquisas sobre os mesmos produtos ou serviços, realizadas com modelos diferentes e que encontraram resultados distintos, o que ocasionou confusão acerca da sua interpretação. A proliferação destes estudos, sem uma metodologia padronizada, levou a alguns exageros, que quase chegaram a comprometer a validade desta ferramenta. Essa época é referenciada pelos autores como a fase de “Guerra das ACVs” (MOURAD et al., 2002).

Visando sanar estes problemas, bases de dados têm sido criadas em todo o mundo, principalmente nos Estados Unidos e Europa, disponibilizando informações referentes a estudos de ACV anteriormente realizados, o que facilita futuras pesquisas na mesma área, diminuindo o tempo de execução e os gastos despendidos em uma ACV. Além disso, a partir do início dos anos de 90 foram sendo desenvolvidos programas de computador (*softwares*) para auxiliar na elaboração de uma ACV.

e) Década de 2000

Em virtude das diferenças metodológicas e da discrepância dos resultados apresentados pelos estudos de ACV que vinham sendo realizados, foi constituído um comitê técnico para a elaboração de uma série de Normas que pudesse padronizar estes estudos. Desse modo, o período entre o final da década de 1990 e o início dos anos 2000, foi marcado pelos esforços internacionais em definir e normalizar a ACV (MOURAD et al., 2002).

A *International Organization for Standardization* (ISO) que havia sido muito bem sucedida na organização e unificação da série de Normas sobre sistemas da qualidade, denominada ISO 9000, foi a instituição incumbida. Pode-se dizer assim, que grande parte da metodologia empregada na Norma de gestão ambiental desenvolvida pela ISO, deriva da Norma da qualidade, sendo que ambas focam mais nos procedimentos necessários para a obtenção dos resultados, do que nos próprios resultados (MASTELLA, 2002).

Este trabalho resulta na publicação da Norma ISO 14040 *Environmental Management - Life Cycle Assessment - Principles and Framework*, que estabelece os princípios básicos e requisitos, tanto para a realização, quanto para divulgação dos resultados da ACV. No Brasil, ficou a cargo do Comitê Brasileiro de Gestão Ambiental (ABNT/CB-38) e da Comissão de Estudo de Avaliação do Ciclo de Vida (CE-38:005.01) a elaboração da versão nacional da Norma e, no final de 2001, iniciaram-se as publicações da série:

- **NBR ISO 14040:** Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura, publicada em 2001;
- **NBR ISO 14041:** Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Definição de objetivo e escopo e análise de inventário, publicada em 2004;
- **NBR ISO 14042:** Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Avaliação do impacto do ciclo de vida, publicada em 2004;

- **NBR ISO 14043:** Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Interpretação do ciclo de vida, publicada em 2005.

No ano de 2009, estas Normas foram revisadas, resultando na publicação de uma nova versão da Norma NBR ISO 14040 e no cancelamento das Normas NBR ISO 14041, 14042 e 14043, e sua conseqüente substituição pela Norma NBR ISO 14044. Atualmente, as Normas desta série encontram-se assim subdivididas:

- **NBR ISO 14040:** Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura, publicada em 2009.
- **NBR ISO 14044:** Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações, publicada em 2009.

2.5.1 ACV e a construção civil no mundo

A Avaliação do Ciclo de Vida, apesar de ser uma ferramenta relativamente nova, vem se tornando um método cada vez mais usado, porém, em relação à sua aplicação no setor da construção civil, pode-se dizer que ainda está apenas começando.

Além disso, é muito importante salientar que o desenvolvimento de estudos de ACVs em edificações e materiais de construção requer uma série de adaptações, principalmente no que diz respeito ao tempo de vida. Em geral, os produtos industriais analisados pela ACV possuem um ciclo de vida curto, muitas vezes por períodos que compreendem algumas semanas ou meses, o que torna mais fácil monitorá-los do berço ao túmulo. Já as obras de construção, possuem uma vida útil muitas vezes indeterminada, que se estendem por anos, décadas e mesmo séculos. A complexidade da avaliação de edificações e materiais de construção consiste não apenas nessa adaptação da metodologia em função do tempo, mas também na estruturação das informações em partes separadas, para que possam ser utilizadas apenas para o período do ciclo de vida de interesse (SOARES et al., 2006).

Dentre os diversos estudos de ACV que vêm sendo realizados no mundo, uma parcela ainda pequena se dedica aos impactos específicos de produtos e processos da construção civil. Ortiz et al. (2009) realizaram uma extensa pesquisa a respeito das iniciativas dentro do tema na construção civil e obtiveram os resultados apresentados no Quadro 6, que foram atualizados para este trabalho.

Exemplos de trabalhos sobre ACV e a construção civil no mundo



Na Alemanha, Nebel et al. (2006) realizaram a Avaliação do Ciclo de Vida de diferentes tipos de revestimentos para piso utilizados no país.



Na Argentina, Arena e Rosa (2003) trabalharam com o conceito de ACV aplicado à conservação de energia em edifícios escolares em Mendoza.



Na Austrália, Ross e Evans (2003) estudaram o ciclo de vida de embalagens de plástico, comparando duas estratégias diferentes, o reuso e a reciclagem.



Na China, Wu et al. (2005) avaliaram o ciclo de vida de alguns materiais de construção, considerando as especificidades de seu país.



Na Colômbia, Rodríguez et al. (2010) compararam o consumo de energia e os impactos ambientais de uma residência no país com o de uma casa na Espanha.



Na Dinamarca, Schleisner (2000) efetuou a ACV de diferentes tecnologias para a produção de energia.



Na Escócia, Asif et al. (2007) avaliaram por meio da ACV oito materiais de construção diferentes para uso em residências no país.



Na Eslovênia, Prek (2004) realizou a ACV de sistemas residenciais de aquecimento e condicionamento de ar, por meio do estudo de caso de uma habitação unifamiliar em um edifício de apartamentos.



Na Espanha, Saiz et al. (2006) analisaram o ciclo de vida de telhados verde localizados no centro da cidade de Madri.



Nos Estados Unidos, Scheuer et al. (2003) estudaram por meio da ACV os impactos ambientais dos novos edifícios da Universidade de Michigan.



Na Europa, Citherlet et al. (2000) avaliaram janelas e sistemas de vedação avançados de vidro por todo o continente. No Leste Europeu, Van der Lugt et al. (2006) estudaram o uso de bambu como material de construção, comparando os resultados da ACV com os dados do aço, concreto e madeira.



Na Finlândia, Junnila (2004) realizou a ACV da construção de um edifício de escritórios. Mroueh et al. (2001) estudaram o ciclo de vida da construção de estradas na Finlândia. Nyman e Simonson (2005) avaliaram sistemas de ventilação residenciais, durante um ciclo de vida estimado de 50 anos. Seppala et al. (2002) analisaram o ciclo de vida de produtos de metal.



Na França, Peuportier (2001) desenvolveu uma ACV comparativa entre diferentes tipos de habitação: casas construídas com concreto (consideradas padrão no país); casas estruturadas em madeira e pedras com aquecimento solar; e casas de madeira.



Na Grécia, Koroneos e Dompros (2007) estudaram o ciclo de vida da produção de tijolos no país. Koroneos e Kottas (2007) realizaram a avaliação do consumo de energia de uma casa na cidade de Thessaloniki, durante sua fase de uso.



Na Irlanda, Huang et al. (2009) realizaram a ACV de métodos construtivos para pavimentos asfálticos, e como proceder sua adequada manutenção.



Na Indonésia, Utama e Gheewala (2009) estudaram o atual aumento do consumo de energia nas residências na cidade de Jacarta, por meio da ACV.



Na Itália, Nicoletti et al. (2002) realizaram um estudo de ACV comparando o desempenho de pisos cerâmicos (esmaltados e queimados) e ladrilhos de mármore. Ardente et al. (2005), avaliaram coletores de energia térmica solar.



No Japão, Jian et al. (2003) efetuaram a ACV de um projeto urbano localizado na província de Hyogo. Já Itoh e Kitagawa (2003) analisaram diferentes técnicas para construção de pontes no país, objetivando aumentar seu ciclo de vida.



Na Noruega, Petersen e Solberg (2005) comparam por meio da ACV materiais de construção alternativos e madeira nacionais, com produtos similares suecos.



Na Suécia, Adalberth et al. (2001) executaram a avaliação completa de quatro tipos de habitação localizadas no país. Gustavsson e Sathre (2006) realizaram a ACV do uso da madeira e do concreto em materiais de construção.

2.5.2 ACV e a construção civil em Portugal

Em Portugal, existe uma tendência nos estudos de ACV relacionados à construção civil em abordar as edificações como um todo, realizando a análise do ciclo de vida completo do edifício, diversamente do que ocorre em outros países, como o Brasil, onde os estudos são mais voltados à avaliação dos componentes da edificação separadamente. Como parte das atividades realizadas pela autora durante o estágio de Pós-Graduação no Exterior, na Universidade de Aveiro - Portugal, sob supervisão do Prof. Humberto Varum, apresenta-se alguns estudos mais significativos a respeito deste assunto no país.

Silva (2008) apresenta em sua dissertação de mestrado, um estudo de ACV comparativo entre diferentes materiais à serem aplicados na construção de uma habitação unifamiliar na cidade de Aveiro: concreto, aço e madeira. Para o desenvolvimento do estudo, foi empregado o *software* canadense de ACV denominado ATHENA – *Environmental Impact Estimator*, versão 3.0.2. De acordo com a autora, a madeira pode ser considerada a solução mais adequada ambientalmente, pois apresenta menor consumo de energia, de recursos e menor geração de resíduos. Contudo, a autora destaca a dificuldade de se utilizar um *software* estrangeiro para a avaliação das habitações em Portugal.

Amoêda et al. (2007) realizaram um estudo para avaliar o potencial de desconstrução de edificações, analisando três tipos de paredes (alvenaria de tijolo, gesso cartonado e madeira) baseando-se na metodologia de ACV e na mensuração da Energia. A unidade funcional adotada pelo estudo foi o m² das paredes, considerando-se um ciclo de vida de 50 anos. Segundo os resultados do trabalho, o método construtivo que apresenta um maior Potencial de Desconstrução Efetivo do Edifício (PDEE) é a parede de gesso cartonado, apesar de ser também o material que apresentou o maior índice de Energia inicial.

Macedo et al. (2004) se utilizaram de um método de avaliação ambiental denominado *EcoBlock* para analisar o desempenho da construção de um centro comercial. A metodologia *EcoBlock* tem sido amplamente aplicada na construção civil em Portugal, pois permite avaliar o desempenho ambiental de um produto, projeto ou organização, por meio de indicadores ambientais que, de acordo com os autores “[...] são de fácil compreensão e recolha de informação [...]” (MACEDO et al., 2004, p. 2). Estes indicadores avaliam o consumo de água, materiais, uso do solo, emissão de gases de efeito estufa e outros poluentes, baseando-se em todo o ciclo de vida do sistema estudado.

Melo e Pegado (2002) publicaram estudo a respeito da aplicação do método *EcoBlock* no setor da construção civil em Portugal. Neste estudo, diversos materiais e técnicas construtivas, assim como edificações inteiras, foram avaliados durante todo o seu ciclo de vida, em uma pesquisa do tipo *survey* que foi aplicada em todo o país. Segundo os autores, esse estudo faz parte de uma iniciativa para a criação de um banco de dados a respeito dos produtos e processos construtivos portugueses, sendo que os resultados preliminares para alguns materiais estão dispostos no Quadro 7.

Produtos		Indicadores <i>EcoBlock</i>	Pressão Ambiental Total
Produto	Unidade		
Cimento	t	Consumo de água	100 - 300 L
		Consumo de material	1 - 3 t
		Uso de solo	0,4 - 30 cm ²
		Emissão de poluentes	3 - 60 kg
		Potencial aquecimento global	50 - 200 kg
Cerâmica (pisos e azulejos)	m ²	Consumo de água	2 - 4 L
		Consumo de material	10 - 30 kg
		Uso de solo	0,5 - 2,1 cm ²
		Emissão de poluentes	0,1 - 0,4 kg
		Potencial aquecimento global	1 - 25 kg
Cerâmica (tijolos e telhas)	t	Consumo de água	0,1 - 1 m ³
		Consumo de material	1 - 3 t
		Uso de solo	1 - 5 dm ²
		Emissão de poluentes	20 - 60 kg
		Potencial aquecimento global	0,5 - 1 t
Perfis metálicos	m	Consumo de água	0,01 L
		Consumo de material	0,5 kg
		Uso de solo	0,1 cm ²
		Emissão de poluentes	100 g
		Potencial aquecimento global	0,5 kg
Pintura	m	Consumo de água	500 L
		Consumo de material	1 t
		Uso de solo	10 cm ²
		Emissão de poluentes	10 kg
		Potencial aquecimento global	50 kg

Quadro 7: Avaliação dos materiais segundo o método *EcoBlock*.
Fonte: Adaptado de Melo e Pegado (2002).

2.5.3 ACV e a construção civil no Brasil

No Brasil, os primeiros trabalhos acadêmicos relacionados ao tema da ACV na construção civil somente surgiram a partir do ano 2000. Pode-se dizer que um dos aspectos que dificultou e atrasou a disseminação das ACVs pelo Brasil é o fato do país ainda não possuir um banco de dados públicos consolidado, como em outros países (PEREIRA, 2004).

Atualmente, a maioria dos bancos de dados existentes são referentes a produtos e processos alocados em países industrializados. Fontes de informação a respeito dos países “em desenvolvimento” ainda são escassas, o que torna a execução da ACV nestes países mais lenta e dispendiosa. Mesmo assim, não se recomenda a utilização de bancos de dados europeus ou norte-americanos em pesquisas desenvolvidas em outros países, em virtude do cenário de aquisição dos dados ser muito diferente da realidade estudada, o que pode levar a considerações errôneas a respeito do produto que está sendo avaliado.

Contudo, apesar das dificuldades encontradas ao longo de dez anos de pesquisas no assunto, a produção brasileira sobre a ACV na construção civil hoje é ampla, abordando inúmeros aspectos, tais como: os materiais empregados na estrutura (concreto armado); na vedação vertical (tijolos, adobe, blocos de concreto e cimento); os componentes do sistema hidráulico (tubos de PVC, reservatórios de água e sistemas de aquecimento de água); alguns tipos de revestimentos (como a cerâmica e as tintas); madeira e estruturas de madeira (estruturas de cobertura em pinos, produtos madeireiros e madeira *in natura*); telhas e até mesmo a ACV de edificações completas (escritórios e habitações). Porém, em virtude do tema deste estudo ser a ACV de materiais de construção, somente estes trabalhos serão detalhados, enquanto aqueles que abordam a ACV de edificações serão apenas citados.

A lista dos trabalhos levantados que versam sobre o tema ACV e construção civil no Brasil está exposta no Quadro 8. Nesse quadro é apresentado um sumário, contendo o ano, o autor e o título das dissertações e teses que tratam sobre o assunto, até a presente data. Esse quadro foi formulado a partir de pesquisas realizadas nas bases de dados da Capes, Unicamp, UNESP, USP, UFRJ, UFSC, UNB, UFBA e ABCV (Associação Brasileira de Ciclo de Vida). Assim, o que será apresentado na sequência é uma breve descrição das pesquisas realizadas que empregam a ferramenta ACV em produtos e processos da indústria da construção civil no Brasil, visando compor um panorama geral a respeito da situação atual e dos principais desafios relacionados à aplicação desta ferramenta no setor.

Trabalhos publicados sobre ACV e construção civil no Brasil

Estrutura

- a) 2007 OLIVEIRA, A. S. Análise ambiental da viabilidade de seleção de produtos da construção civil através da ACV e do *software* BEES 3.0.

Vedação vertical

- b) 2001 GRIGOLETTI, G. C. Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha do estado do Rio Grande do Sul.
-
- c) 2002 MASTELLA, D. V. Comparação entre os processos de produção de blocos cerâmicos e de concreto para alvenaria estrutural, através da Análise do Ciclo de Vida.
-
- d) 2002 CARVALHO, J. Análise de Ciclo de Vida ambiental aplicada à construção civil - Estudo de caso: comparação entre cimentos Portland com adição de resíduos.
-
- e) 2003 MANFREDINI, C. Identificação dos impactos ambientais causados pela indústria de cerâmica vermelha do Rio Grande do Sul.
-
- f) 2003 SEYE, O. Análise de Ciclo de Vida aplicada ao processo produtivo de cerâmica estrutural tendo como insumo energético Capim Elefante (*Pennisetum purpureum schaum*).
-
- g) 2005 SILVA, J. G. Análise do Ciclo de Vida de tijolos prensados de escória de alto-forno.
-
- h) 2007 SILVA, F. M. G. Análise da sustentabilidade no processo de produção de moradias utilizando adobe e bloco cerâmico. Caso: assentamento rural Pirituba II – Itapeva-SP.

Sistema hidrossanitário

- i) 2004 BORGES, F. J. Inventário do ciclo de vida do PVC produzido no Brasil.
-
- j) 2004 FONSECA, R. C. Z. O PVC e a sustentabilidade ambiental: marcos históricos e o caso Amanco Brasil.
-
- k) 2004 HUSEIN, H. H. C. Análise de Ciclo de Vida na fabricação de reservatórios de água de fibra de vidro.
-
- l) 2008 ARANTES, L. O. Avaliação comparativa do ciclo de vida de sistemas de aquecimento solar de água utilizados em habitações de interesse social.

Revestimentos

m) 2004 PEREIRA, S. W. Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos.
Aplicação de Avaliação do Ciclo de Vida.

n) 2006 OLIVEIRA, M. C. R. Estudo comparativo de tintas utilizando a Análise do Ciclo de Vida.

Madeiras e estruturas de madeira

o) 2001 BRUGNARA, G. A. Florestas, madeira e habitações: Análise energética e ambiental da produção e uso de madeira como uma contribuição ao desafio da valorização da Floresta Amazônica.

p) 2008 EGAS, L. Análise Pluridimensional da sustentabilidade do ciclo de vida de um sistema estrutural de cobertura em madeira de *Pinus*. Caso: assentamento rural Pirituba II.

q) 2008 ZOLDAN, M. A. Análise dos requisitos organizacionais para a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos madeireiros.

Telhas

r) 2004 OLIVEIRA, K. S. Avaliação do ciclo de vida das telhas ecológicas.

Edificação completa *

s) 2000 SANTOS, C. V. J. Tecnologias de Produção Mais Limpas e Análise do Ciclo de Vida na indústria da construção civil – Estudos de caso.

t) 2002 KLEIN, S. E. S. Diretrizes de gestão ambiental na indústria da construção civil de edificações.

u) 2003 SILVA, V. G. Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica.

v) 2006 TAVARES, S. F. Metodologia para Análise do Ciclo de Vida energético de edificações residenciais brasileiras.

w) 2006 KUHN, E. A. Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social Alvorada.

* Em virtude do tema deste estudo ser a ACV de materiais de construção, somente os trabalhos relacionados ao assunto serão detalhados, enquanto os que abordam a ACV de edificações serão apenas citados.

a) Concreto armado (OLIVEIRA, 2007)

Buscando conhecer melhor os impactos relacionados ao uso do concreto em estruturas, Oliveira (2007) realizou um estudo comparativo entre quatro vigas de concreto armado de cimento Portland (Figura 19), variando em relação aos aditivos. No entanto, além de verificar os impactos ambientais, o autor também objetivava constatar a viabilidade do uso de um *software* norte-americano para a realização da ACV, o *Building for Environmental and Economic Sustainability* versão 3.0 (BEES), desenvolvido pela *Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC) como ferramenta de apoio para a escolha de materiais de construção menos impactantes.



Figura 19: Concreto armado.

Fonte: Santos (2010).

Desse modo, o autor avaliou o ciclo de vida das vigas de concreto armado por meio de duas metodologias: a proposta pelo *software* BEES (que desenvolve todos os cálculos automaticamente) e a ACV convencional (por meio de medições e cálculos baseados em revisões bibliográficas), ambas fundamentadas na série de Normas ISO 14040. Para a etapa de avaliação dos impactos, o autor utilizou o método *Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environment Impacts* (TRACI), desenvolvido pela agência EPA.

Ao comparar os resultados, pôde ser notada uma grande diferença entre os dados gerados pelo *software* BEES 3.0 e pela ACV convencional. Isso se deve principalmente ao fato do programa utilizar bases de dados norte-americanas, advindos de um sistema produtivo muito diferente da realidade nacional. Dessa maneira, o autor conclui que os resultados oriundos do uso de *softwares* estrangeiros não constituem uma fonte confiável, devendo ser utilizados apenas de forma comparativa, enquanto ainda não existem dados nacionais.

b) Cerâmica vermelha (GRIGOLETTI, 2001)

Os materiais provenientes da cerâmica vermelha, como os tijolos (Figura 20), os blocos e telhas, possuem grande aceitação no mercado da construção nacional, de sobremaneira que a sua produção tem grande destaque. Contudo, ainda existem poucos dados a respeito dos impactos ambientais associados a esta atividade. Para preencher esta lacuna, Grigoletti (2001) realiza um múltiplo estudo de caso em 8 indústrias produtoras destes materiais no estado do Rio Grande do Sul.

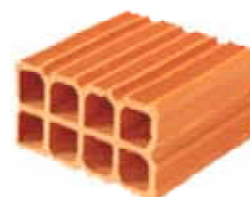


Figura 20: Tijolo cerâmico.

Fonte: Santos (2010).

O trabalho utiliza a metodologia da ACV de forma qualitativa, levantando as principais entradas e saídas dos sistemas de produto avaliados e agrupando os impactos ambientais nas seguintes categorias: consumo de matéria-prima, fontes energéticas, geração de resíduos, emissões e recursos humanos (neste item, o que foi avaliado diz respeito às condições de trabalho e riscos de acidentes ao quais são submetidos os funcionários das empresas pesquisadas). Os dados foram colhidos por meio de envio de questionários, realização de entrevistas e posterior visita técnica às indústrias.

Como resultados da avaliação, a autora aponta que as indústrias possuem algumas práticas direcionadas à questão da sustentabilidade ambiental, como o uso de fontes renováveis de energia (principalmente a lenha) e a incorporação de resíduos de outras atividades à matéria-prima. Em contrapartida, a atividade também é responsável por diversos impactos ambientais, dentre os quais a autora destaca a degradação da área de extração da argila, visto que as indústrias não promovem a recomposição da área afetada e a produção de resíduos sólidos, principalmente devido à grande porcentagem de perdas no processo produtivo, o que demanda especial atenção por parte das empresas.

c) Blocos de alvenaria estrutural (MASTELA, 2002)

Uma opção frequentemente utilizada para a vedação vertical, principalmente em habitações populares, são os blocos de alvenaria estrutural, que podem ser compostos de diferentes materiais, como concreto e cerâmica. Uma das vantagens do uso desse sistema se dá pelo fato que ele é autoportante, ou seja, não necessita de outras estruturas de sustentação, como pilares e vigas.



Figura 21: Blocos de concreto.
Fonte: <www.modulo1.com.br>.
Acesso em: 18 de fev. de 2010.

Na dúvida sobre qual o tipo de bloco menos impactante no ambiente, Mastella (2002) realizou um estudo de ACV comparativo entre as duas variedades de blocos mais utilizadas, de cerâmica e de concreto (Figura 21). Para tornar o estudo mais completo, a ACV foi associada a uma ferramenta de apoio à decisão, um método de balanço de matérias e energia dentro de um sistema, baseado no modelo desenvolvido por Rousseaux (1993).

Como o objetivo principal do estudo era testar a viabilidade de aplicação do método, o ciclo de vida estudado ficou restrito ao processo produtivo dos blocos, sendo que a unidade funcional adotada foi 1 m² de parede, o que equivale a 16,67 blocos.

Após todas as análises, Mastella (2004) conclui que dentro das condições expostas no trabalho, o material que causa menor impacto em sua fase de produção é o bloco de concreto. Entretanto, é importante salientar que apenas os aspectos relativos a essa fase do ciclo de vida dos blocos foram avaliados. Não foram contabilizados, por exemplo, os impactos ambientais relativos à extração das matérias-primas, que no caso dos blocos de concreto é majoritariamente o cimento, material altamente prejudicial ao ambiente, tornando impossível a generalização deste resultado.

d) Cimento Portland (CARVALHO, 2002)

A cadeia produtiva do cimento está associada a uma série de impactos ambientais, relacionados à extração de suas matérias-primas e à energia consumida durante sua produção. Para diminuir este problema, uma das alternativas que se apresenta é substituir o clínquer, presente no cimento Portland, por resíduos com capacidade aglomerante.

Objetivando avaliar os reais benefícios ambientais dessa prática, Carvalho (2002) realiza a ACV do cimento Portland (Figura 22) com a adição de diferentes resíduos. Para a análise foi criada uma fábrica hipotética, considerando as seguintes etapas da produção do cimento: extração das matérias-primas; produção; transporte; uso e reciclagem ou gerenciamento dos resíduos. Os impactos ambientais avaliados dizem respeito à escala global (efeito estufa), regional (acidificação e consumo energético) e local (eutrofização e emissão de material particulado).



Figura 22: Cimento Portland.
Fonte: <www.eht.com.br>.
Acesso em: 13 de jul. de 2010.

e) Cerâmica vermelha (MANFREDINI, 2003)

Dando continuidade aos estudos iniciados pelo Grupo Orientado para a Inovação na Edificação (NORIE) da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, a respeito dos impactos ambientais provocados pela produção de cerâmica vermelha (Figura 23), Manfredini (2003) amplia a abrangência do trabalho, avaliando 40 indústrias produtoras de cerâmica neste mesmo estado.



Figura 23: Cerâmica vermelha.
Fonte: Santos (2010).

As indústrias pesquisadas operam em diferentes escalas (com produção estimada entre 20.000 a 1.500.000 peças/mês). A metodologia empregada para a realização do trabalho foi ACV, com o objetivo de levantar dados relativos ao consumo de recursos naturais, fontes energéticas, geração de resíduos sólidos e emissão de gases para a atmosfera, relacionados às diversas fases produtivas da cerâmica. Além disso, também foram obtidos dados a respeito da energia incorporada nestes materiais de construção.

f) Cerâmica estrutural (SEYE, 2003)

Ainda versando sobre os impactos proporcionados pela indústria da cerâmica vermelha, Seye (2003) se utilizou da ACV para avaliar os impactos ambientais e eficiência energética ao propor a substituição da lenha, principal insumo energético utilizado na produção de cerâmica estrutural (Figura

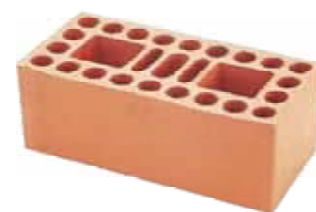


Figura 24: Cerâmica estrutural.
Fonte: <www.aldebaraceramica.com.br>.
Acesso em: 18 de fev. de 2010.

24), por um insumo alternativo, o Capim Elefante (*Pennisetum purpureum schau*). O autor ainda realiza uma análise econômica dos impactos decorrentes do uso desse novo insumo.

Os dados foram obtidos por meio de testes específicos realizados em uma empresa de produção cerâmica localizada no município de Vinhedo - SP, comparando os resultados obtidos a partir da queima de cavacos de madeira com os resultados apresentados pelo Capim Elefante. A unidade funcional adotada pelo estudo foi o milheiro de tijolos produzido. Dentre as etapas do ciclo de vida dos tijolos que foram avaliadas: produção do Capim Elefante; extração da argila; transporte e o processo produtivo da cerâmica estrutural.

Para a fase de avaliação dos impactos do ciclo de vida, foram adotadas as seguintes categorias: chuva ácida; toxicidade humana; ozônio a baixa altitude; eutrofização; aquecimento global e consumo de energia. Como impactos relevantes do processo produtivo, o autor cita: a acidificação do solo e da água, em virtude do uso de fertilizantes no cultivo do Capim Elefante; o potencial de toxicidade humana, em função da liberação de metais pesados durante a queima dos tijolos; além da formação de ozônio a baixas altitudes, resultado da presença de hidrocarbonetos junto à argila, que também são emitidos durante a sua queima. Com relação ao aspecto econômico, conclui-se pela competitividade, já que o milheiro dos tijolos produzidos com Capim Elefante possui um preço de venda calculado em R\$ 138,53, contra um valor de mercado de R\$ 150,00 a 200,00 dos tijolos tradicionais.

g) Tijolos de escória de alto-forno (SILVA, 2005)

A incorporação de resíduos e co-produtos siderúrgicos em tijolos também é uma das alternativas que têm sido apresentadas, permitindo à redução dos impactos ambientais de ambas as atividades. Visando avaliar essa estratégia ambiental, Silva (2005) realiza a ACV de três tipos de tijolos: tijolos cerâmicos maciços (Figura 25); tijolos prensados de solo-cimento e tijolos prensados de escória de alto-forno.



Figura 25: Tijolos cerâmicos maciços.
Fonte: <www.ceramicaqueiroz.com.br>.
Acesso em: 14 de jul. de 2010.

A unidade funcional é comum a todos os sistemas e se caracteriza como sendo 1 m² de parede acabada, considerando-se uma espessura de 15 cm (o que equivale a 80 peças) e vida útil de 50 anos. O ciclo de vida compreendido pelo estudo abrange as seguintes fases: extração das matérias-primas e transformação semi-industrial para a fabricação dos tijolos. Foram excluídas do escopo as fases de armazenagem, distribuição e etapas de pós-fabricação (uso, reuso e manutenção, reciclagem e destinação dos resíduos). A metodologia utilizada pelo trabalho foi baseada nas recomendações da série de Normas ISO 14040, ademais, para a estruturação e tratamento dos dados de inventário foi empregada a plataforma *SimaPro*, uma ferramenta computacional amplamente utilizada para este fim, e para a etapa de avaliação dos impactos foi adotado o método *Eco-Indicator 99*.

Como resultados do estudo, a autora conclui que os tijolos prensados de escória de alto-forno apresentam o melhor desempenho ambiental, contrariando a opinião popular de que os tijolos de solo-cimento são mais sustentáveis. Na verdade, o fato de conter cimento em sua composição, eleva o consumo de energia e as emissões durante a sua produção.

h) Adobe e blocos cerâmicos (SILVA, 2007)

No entendimento de Silva (2007), para que um material seja considerado mais sustentável que outro, é imprescindível que a questão seja avaliada por meio de suas múltiplas dimensões: ambiental, econômica, social e cultural. Desse modo, objetivando definir qual o melhor tipo de vedação estrutural de moradias de interesse social rural, o autor realiza uma análise de sustentabilidade na cadeia produtiva de dois materiais comumente utilizados para este fim, os tijolos de adobe (Figura 26) e os tijolos cerâmicos.



Figura 26: Tijolo de adobe.
Fonte: <kdcs.wordpress.com>.
Acesso em: 25 de mai. de 2010.

Neste trabalho, a unidade funcional usada para comparação foi uma residência por inteiro, ou mais especificamente, a metragem total das paredes construídas com os blocos. No caso do adobe, a metragem foi de 176,14 m² e no caso do tijolo cerâmico, a metragem foi de 154,22 m². Os dados foram levantados por meio de medições no canteiro de obras de duas residências, ambas construídas no assentamento rural Pirituba II, em Itapeva - SP, em regime de mutirão e financiadas pelo programa PSH - Rural, no período de 2004 a 2006.

Como o trabalho pretendia analisar a questão da sustentabilidade por meio de diferentes variáveis, a avaliação dos impactos foi realizada baseando-se na comparação entre a situação original (antes da intervenção) e final (após a intervenção). Com relação às categorias de impactos avaliadas, o autor divide em três variáveis: propriedade e posse do meio de produção e da matéria-prima (recursos, investimentos e controle da gestão); impactos ambientais (consumo de recursos naturais e emissões ao ambiente); impactos sociais e econômicos (relacionados ao trabalho e ao acesso ao bem produzido).

Segundo as conclusões apresentadas pelo trabalho, pode-se dizer que os tijolos de adobe são mais sustentáveis nas dimensões ambientais e econômicas (pois consomem menos energia em sua produção e emitem menos poluentes, além de seu reduzido custo financeiro), em compensação, os tijolos cerâmicos foram considerados mais sustentáveis nas dimensões sociais e culturais (em função de sua maior aceitação e valorização por parte da população, que considera o adobe uma técnica retrógrada e insegura). Contudo, estes aspectos podem ser trabalhados com os moradores, para que o adobe possa ser mais reconhecido e valorizado, alcançando também estas outras dimensões da sustentabilidade.

i) PVC (BORGES, 2004)

Uma das principais dificuldades relacionadas à execução de estudos de ACV está vinculada a grande quantidade de dados a serem levantados na etapa do inventário do ciclo de vida. Com vistas a facilitar este procedimento, diversos bancos de dados têm sido criados ao redor do mundo para apoiar a ACV. No Brasil, uma das instituições que tem despendido esforços para o desenvolvimento de um banco de dados é o Grupo de Prevenção da Poluição da USP, que tem realizado inventários sobre os principais insumos utilizados em estudos de ACV, dentre eles, o PVC.



Figura 27: Tubos de PVC.
Fonte: <www.easy.cl>.
Acesso em: 12 de jul. de 2010.

O PVC é o segundo termoplástico mais consumido em volume no mundo, e atualmente encontra muitos usos na construção civil – estima-se que entre 60 e 70% de todo o PVC produzido é empregado no setor – em esquadrias, conexões, forros, pisos, fios, cabos e tubulações (Figura 27), de acordo com o Instituto do PVC (2010). Desse modo, em virtude da importância do material para a construção civil, Borges (2004) realizou um inventário do ciclo de vida do PVC produzido no Brasil.

Os dados a respeito dos processos e produtos foram coletados diretamente com os fabricantes nacionais e, mesmo assim, algumas considerações e adaptações foram necessárias para substituir informações não disponibilizadas, baseando-se em referências bibliográficas e bases de dados internacionais. A pesquisa envolveu o levantamento dos tipos de tecnologias empregadas na produção do PVC, os recursos naturais e materiais utilizados, a participação das empresas em atividades de transporte, os tipos de energia térmica e elétrica utilizados, dentre outras características.

Os resultados do trabalho apontam que o processo produtivo do PVC no Brasil se diferencia de outros países principalmente devido ao uso da nafta como matéria-prima, ao tipo de tecnologia usada para a produção do cloro, à matriz energética (prioritariamente hidrelétrica) e ao modal de transporte envolvido na cadeia nacional.

j) PVC (FONSECA, 2004)

Em virtude da polêmica envolvendo os impactos ambientais relacionados ao uso do PVC, indústrias no mundo todo têm aderido a um acordo internacional, objetivando amenizar estes impactos e promover o desenvolvimento sustentável do produto. No Brasil, o Grupo Amanco – uma empresa multinacional transformadora de plástico, que também é signatária deste acordo – já implantou diversas melhorias no sistema de produção, inclusive substituindo o estabilizante de PVC à base de chumbo (considerado altamente tóxico) por estabilizantes de cálcio e zinco.

Dessa forma, Fonseca (2004) apresenta os resultados desse processo, visando avaliar o impacto na cadeia produtiva decorrente dessa substituição. Para dar subsídios à intervenção, inicialmente foi realizada a ACV de todo o ciclo produtivo do PVC por uma empresa de consultoria externa à indústria, a *Booz Allen & Hamilton*, e foram identificados 16 pontos críticos ao longo do ciclo de vida. A questão do uso do chumbo foi considerada prioritária e os esforços realizados para sua substituição foram descritos no trabalho.

Todavia, é prudente destacar que os resultados da ACV não estão expostos no trabalho e, em diversos momentos, o texto adota certo tom tendencioso ao elogiar por demasiado a postura “ambientalmente correta” da empresa avaliada, fato este questionável, em um setor notadamente reconhecido pelos seus impactos ambientais.

k) Reservatórios de água de fibra de vidro (HUSSEIN, 2004)

Hussein (2004) realizou a Avaliação do Ciclo de Vida em um sistema produtivo de reservatórios de água de fibra de vidro (Figura 28), objetivando tanto identificar as oportunidades de melhoria no processo, quanto determinar qual a questão ambiental de maior importância no sistema de produto avaliado. Os dados foram coletados *in loco*, mediante visitas técnicas a uma indústria produtora destes



Figura 28: Reservatório de água.
Fonte: <www.guirado.com.br>.
Acesso em: 12 de jul. de 2010.

artefatos e preenchimento de fichas e questionários. A metodologia adotada foi a partir da série de Normas ISO 14040 associada a um processo de decisão multicritério denominado MACBETH (*Measuring Attractiveness by a Categorical Based Evaluation Technique*).

O ciclo de vida estudado corresponde apenas ao processo produtivo dos reservatórios de água que, de acordo com o autor, compreende as seguintes fases: produção de gel para coloração do artefato; aplicação de gel; aplicação da primeira camada de fibra de vidro; aplicação de reforço; aplicação da segunda camada de fibra de vidro; inspeção dos produtos e transporte até o setor de expedição. Para cada uma destas fases foram elencados os tipos de entradas de insumos e respectivas saídas. No entanto, não foram realizadas quantificações a respeito destes dados e estes aspectos também não foram transformados em categorias de impactos ambientais.

Na sequência, foi realizada uma análise multicritério, com o objetivo de identificar qual a etapa do processo de maior impacto ambiental. De acordo com os resultados apresentados, a etapa considerada excelente foi a aplicação de reforço sobre a laminação, pois exige apenas energia mecânica e praticamente não gera resíduos. Em contrapartida, as etapas de laminação com fibra de vidro e a fabricação do gel utilizado na coloração do artefato, foram consideradas críticas e passíveis de melhorias, pois envolvem a manipulação de materiais altamente tóxicos, além da produção de uma série de resíduos.

I) Aquecimento solar de água (ARANTES, 2008)

Não obstante o Brasil estar situado em uma região do globo com altas taxas de insolação anual e o aproveitamento da energia solar sob a forma de calor ser uma alternativa interessante para o aquecimento de água, os altos custos de aquisição de equipamentos para esta finalidade tem inviabilizado o aproveitamento dessa fonte de energia renovável pela maior parte da população brasileira. Frente a esta realidade, diversos sistemas não-convencionais têm sido desenvolvidos, diferenciando-se dos produtos industrializados com relação à configuração, aos materiais empregados e pela possibilidade de autoconstrução.

Contudo, o objetivo principal dos equipamentos alternativos é a redução dos custos, não considerando os impactos ambientais associados ao uso destes novos produtos. Visando obter mais dados a respeito desta questão, Arantes (2008) realiza a ACV de três tipos de sistemas de aquecimento solar de água: um aquecedor solar de baixo custo desenvolvido pela Sociedade do Sol; um aquecedor solar composto de embalagens descartáveis de Polietileno Tereftalato (PET); além de um aquecedor solar industrializado compacto, produzido pela empresa Soletrol (Figura 29).

A ACV foi desenvolvida com base nas recomendações da série de Normas ISO 14040, sendo que na etapa de avaliação dos impactos do ciclo de vida foi adotado o método europeu denominado *Eco-Indicator 99*, que pode ser definido como um sistema de determinação de pesos para os efeitos dos impactos ambientais associados às categorias: danos à saúde humana, à qualidade do ecossistema e dos recursos naturais. Porém, é importante salientar que as categorias de impactos referem-se às condições europeias.

Para a elaboração do inventário do ciclo de vida, foram admitidas três hipóteses na disposição dos equipamentos ao final de sua vida útil, variando com relação à possibilidade (ou não) de reciclagem dos componentes dos sistemas, aspecto que foi determinante no resultado final da avaliação ambiental. Contrariando o senso comum, o sistema que possui menor impacto ambiental é o industrializado, pois, além de sua maior eficiência e durabilidade, ao final de sua vida útil é o mais provável de ser reciclado, em virtude do valor agregado à reciclagem de seus componentes. No entanto, caso seus componentes sejam encaminhados para um aterro, este sistema passa a ser o mais impactante.



Figura 29: Aquecedor solar de água.

Fonte: Arantes (2008).

m) Pisos cerâmicos (PEREIRA, 2004)

O setor de produção de revestimentos cerâmicos vem crescendo ano após ano no Brasil e, somente no ano de 2006, o país produziu 568 milhões de m² (ASPACER, 2010), o que mais uma vez traz à tona o questionamento sobre os potenciais impactos que essa atividade pode representar para o ambiente.

Em busca destes dados, Pereira (2004) realizou a ACV de pisos cerâmicos (Figura 30) em duas fábricas, ambas localizadas no estado de Santa Catarina, objetivando tanto compreender os impactos relativos aos pisos e seu processo de fabricação, quanto apontar os pontos fracos dos processos produtivos e definir qual a empresa mais adequada, no que diz respeito à postura ambiental. Para a aquisição dos dados de inventário foram realizadas visitas técnicas nas empresas estudadas, de acordo com a série de Normas ISO 14040.

A unidade funcional adotada foi de 1 m² de piso cerâmico pronto para expedição, o que corresponde a 5,23 peças em uma das empresa estudadas e 5,10 peças na outra. Na fase de avaliação dos impactos ambientais, a autora optou por utilizar as principais categorias de impacto preconizadas pela série de Normas ISO 14040, com algumas adaptações. A forma de calcular estes impactos foi baseada no modelo apresentado pela agência norte-americana EPA denominado TRACI, de acordo com Bare et al. (2003).

De acordo com os resultados do inventário, associados com os da análise multicritério, a autora conclui que a empresa B apresenta um melhor perfil ambiental em relação à empresa A, principalmente em virtude da otimização de seus processos e produtos, o que resulta em um menor consumo de recursos, diminuição da produção de rejeitos e conseqüentemente, de seu impacto ambiental.

n) Tintas (OLIVEIRA, 2006)

Um dos segmentos da construção civil que mais tem sofrido pressão para se adequar ambientalmente é o de tintas e vernizes (Figura 31), tanto por sua importância e utilização em grande escala, quanto pelos significativos impactos que o produto apresenta ao ambiente, por meio da emissão dos COVs, já citados anteriormente.



Figura 30: Exemplo de piso cerâmico.
Fonte:<compras.f1suprimentos.com.br>.
Acesso em: 12 de mar. de 2010.



Figura 31: Lata de verniz.
Fonte:<annycris.blogspot.com.br>.
Acesso em: 11 de mar. de 2010.

Além disso, com o atual crescimento da indústria moveleira e da consolidação do MDF como sua matéria-prima principal, tem se popularizado o uso de vernizes para a proteção destas peças. Devido à grande variedade de produtos no mercado, Oliveira (2006) verificou ser necessário um estudo comparativo de ACV para que se pudessem avaliar as diferentes características apresentadas por estes produtos, visando orientar os consumidores quanto aos impactos associados ao uso de cada um deles.

Dessa maneira, foram selecionadas para o estudo três variedades de vernizes do tipo *surfacer* (que se caracteriza por ser uma composição pigmentada usada para se obter uma superfície uniforme) de acordo com a base utilizada: o *surfacer* à base de água, à base de solventes e o ultravioleta. A metodologia empregada constitui-se basicamente pelas recomendações apresentadas na série de Normas ISO 14040.

Apontando a falta de um método aceito internacionalmente, a autora do trabalho se priva de realizar a etapa de avaliação dos impactos ambientais dos vernizes, ficando apenas na fase do inventário. Ainda de acordo com a autora, somente estes dados já foram suficientes para a identificação dos pontos de melhoria em todos os sistemas avaliados e o estabelecimento do tipo de verniz mais adequado ambientalmente, o *surfacer* ultravioleta, pois apresenta a menor emissão de COVs e consumo de energia elétrica.

o) Madeiras para construção civil (BRUGNARA, 2001)

Segundo os conceitos preconizados pela arquitetura “bioclimática” ou “sustentável”, a utilização da madeira como material de construção é altamente recomendada, principalmente em virtude de suas características: um material renovável, capaz de capturar CO₂ durante seu crescimento e de baixo consumo energético, se comparado com outros materiais. Contudo, esses benefícios dependem do modelo adotado de produção e extração da madeira, que pode ser tanto proveniente de florestas nativas manejadas, de florestas nativas exploradas sem manejo, quanto originária de áreas de reflorestamento, onde são plantadas espécies exóticas como o eucalipto (Figura 32).



Figura 32: Madeira eucalipto.
Fonte: Santos (2010).

Com o objetivo de descobrir qual o modelo de extração que pode ser considerado menos impactante e conseqüentemente, mais sustentável em longo prazo, Brugnara (2001) realiza uma análise na cadeia produtiva destes três sistemas de suprimentos de madeira

para uso em construções residenciais, avaliando aspectos como o consumo de energia e as emissões de CO₂. Segundo a própria autora, a análise realizada não se configura como uma ACV propriamente dita, mas sim, como uma base de dados a respeito da madeira e sua cadeia produtiva, servindo de ponto de partida para outros estudos mais aprofundados, que possam efetivamente aplicar a ACV neste material.

Os resultados do trabalho apontam para uma maior sustentabilidade do modelo de extração da madeira em áreas de florestas nativas manejadas, pois, ao contrário do que ocorre nas áreas de reflorestamento, não existe consumo de energia e produção de CO₂ nas fases de implantação e manutenção da área, já que a própria natureza se encarrega da função. O principal problema relacionado a este sistema diz respeito à grande distância entre a área de produção da madeira e seu local de uso, fato que se deve ao quase completo esgotamento das florestas nas regiões Sul e Sudeste do país (onde existe grande demanda de uso), sendo necessário buscar madeira das regiões Norte e Centro-Oeste (Pará, Rondônia e Mato-Grosso), o que se traduz em elevado consumo de combustíveis fósseis, produção de gases de efeito estufa e aumento nos impactos ambientais associado à madeira.

p) Madeira pinos para cobertura (EGAS, 2008)

Atualmente, os sistemas de cobertura comumente usados nas casas são feitos com madeiras nativas, advindas do norte e centro-oeste do país, pois as outras regiões tiveram suas florestas reduzidas pela extração irresponsável. Uma das possíveis soluções para o problema é o uso de espécies de reflorestamento, pois apesar de serem exóticas, são plantadas e manejadas para este fim, poupando o corte de essências nativas.



Figura 33: Viga de madeira pinos.
Fonte: <www.leroymerlin.com.br>
Acesso em: 18 de fev. de 2010.

Para Egas (2008) a sustentabilidade que pode advir dessa prática, vai muito além da problemática ambiental. Em seu trabalho sobre a análise de um sistema estrutural de cobertura em madeira pinos (Figura 33), o autor trabalha com a questão da busca pela sustentabilidade em cinco diferentes dimensões: ambiental, social, econômica, política e cultural. Para tanto, o autor realiza o estudo da ACV de uma estrutura de cobertura associado a outras variáveis, como os Indicadores Ethos que avaliam aspectos de responsabilidade social, gerando uma metodologia híbrida, denominada pelo autor de Avaliação Pluridimensional do Ciclo de Vida.

De acordo com os resultados, o uso da madeira na confecção de coberturas por processo de mutirão, pode trazer uma série de impactos positivos na comunidade, como: geração de trabalho, renda e moradia, além dos benéficos ambientais, pois é um material renovável, capaz de capturar CO₂ e gerar energia a partir de seus resíduos. No entanto, identificou-se como ponto crítico do ciclo de vida da cobertura a fase de disposição final do sistema, em virtude do uso de produtos tóxicos para tratamento da madeira. Este processo acaba por contaminar a madeira, havendo a necessidade de depositá-la em aterro industrial e impossibilitando a sua reciclagem, o que se traduz em altos custos ambientais.

q) Produtos madeireiros (ZOLDAN, 2008)

O trabalho realizado por Zoldan (2008) restringe-se a levantar quais os requisitos organizacionais necessários à realização de um estudo de Avaliação de Ciclo de Vida em uma indústria madeireira sem, no entanto, realizar a aplicação efetiva da ferramenta nas madeiras (Figura 34).



Figura 34: Madeiras diversas.
Fonte: <www.revestir.com.br>.
Acesso em: 12 de jul. de 2010.

Para tanto, o autor se utiliza da aplicação de questionários e entrevistas em uma empresa do setor madeireiro de médio porte na cidade de Ponta Grossa - PR, com perguntas formuladas a partir das recomendações e conceitos apresentados pela série de Normas ISO 14040, a respeito dos seguintes tópicos: características da empresa; logística da empresa; processos e produtos; gestão de resíduos; gestão dos insumos e energia; entradas e saídas de materiais e análise do inventário. Como resultados, Zoldan (2008) apresenta um modelo de inventário de ciclo de vida específico para empresas madeireiras, delimitando os fluxos de processos e respectivas entradas e saídas. O autor ainda destaca as dificuldades de aplicação da ferramenta e a falta de conhecimento a respeito da ACV por parte das empresas, mesmo com a crescente necessidade de aquisição das certificações ambientais.

r) Telhas ecológicas (OLIVEIRA, 2004)

Como alternativa às telhas convencionais, surgiu no mercado em meados da década passada as chamadas “telhas ecológicas” (Figura 35), que recebem essa denominação popular por serem produzidas a partir de resíduos pós-consumo, como embalagens cartonadas, de plástico e alumínio.



Figura 35: Telha ecológica.
Fonte: <www.casadatelha.com.br>.
Acesso em: 12 de jul. de 2010.

Entretanto, antes de intitular qualquer produto de “ecológico”, é deveras apropriado realizar uma análise ambiental de seu processo produtivo, como sugere Oliveira (2004). Com esse objetivo, a autora se utiliza da metodologia da ACV para avaliar os aspectos ambientais e impactos potenciais associados às telhas em questão, desde a obtenção das matérias-primas até o descarte final do produto.

Dentre os pontos do ciclo de vida das telhas que necessitam de melhorias, podem ser citados: a etapa de produção, pois durante a secagem da matéria-prima ocorre a queima de Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) e consequente emissão de gases de efeito estufa para a atmosfera, contribuindo com o potencial de aquecimento global; e a etapa de distribuição do produto, pois durante o transporte ocorre a queima de óleo diesel, contribuindo com o potencial de oxidação fotoquímico, acidificação, toxicidade humana e eutrofização.

Ademais, podem ser citados os problemas relacionados à geração de resíduos sólidos e destinação final das telhas, que podem ser prontamente sanados com o encaminhamento destes materiais para a reciclagem/reuso. Mesmo com os diversos impactos associados à produção das telhas, a autora conclui que as mesmas possuem um desempenho ambiental satisfatório, e propõe que os resultados obtidos por meio da ACV sirvam para contribuir na melhoria do processo produtivo, tornando-as efetivamente “ecológicas”.

s) Edificações (SANTOS, 2000)

Santos (2000) realizou dois estudos de caso em seu trabalho, empregando duas metodologias diferentes: o Balanço de Massas (BM) e a ACV. No primeiro caso, o autor utiliza-se da ferramenta BM para analisar uma das etapas da construção (a colocação de pastilhas cerâmicas) de uma edificação de sete pavimentos e uma cobertura. Foram coletados e pesados todos os materiais que entravam e saiam do sistema, verificando as perdas e possíveis intervenções para melhorias no processo. No segundo caso, utilizando-se da ACV foi realizado o monitoramento da construção de um condomínio horizontal, composto por oito habitações unifamiliares. Como parâmetros de consumo de recursos, foram medidas as espessuras das juntas e dimensões dos tijolos utilizados na obra, bem como o traço e o tempo gasto na mistura da argamassa. De acordo com o autor, foram identificadas seis categorias de impactos ambientais, relacionadas tanto às atividades avaliadas no canteiro de obras, quanto durante a fabricação dos materiais utilizados na produção da argamassa (cimento, areia, tijolos e água).

t) Edificações (KLEIN, 2002)

Utilizando-se dos princípios da ACV, Klein (2002) abordou em seu trabalho os impactos ambientais relativos às edificações. O estudo foi baseado em revisões bibliográficas e a autora aponta que os aspectos ambientalmente mais relevantes são: o consumo de materiais provenientes de fontes não renováveis, o consumo de energia e água, a ocupação do solo, a movimentação de terra, o corte de árvores e os resíduos gerados.

u) Edifícios de escritórios (SILVA, 2003)

De acordo com Silva (2003), os métodos de análises ambientais estrangeiros não são a melhor maneira de se avaliar as edificações no Brasil, isto porque, as prioridades, condições e limitações destes métodos são muito diferentes da realidade nacional. Dessa maneira, o objetivo do trabalho é justamente propor diretrizes e iniciar o desenvolvimento de um método para a avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros, baseando-se na Avaliação do Ciclo de Vida destas edificações.

v) Habitações (TAVARES, 2006)

Tavares (2006) realiza a ACV de cinco modelos que simulam as características habitacionais brasileiras, considerando que estas edificações têm um ciclo de vida de aproximadamente 50 anos. O objetivo do trabalho foi verificar quais as fontes mais significativas de consumo de energia em uma edificação habitacional. O autor estima um consumo energético da ordem de 15,01 GJ/m² a 24,17 GJ/m² durante todo o ciclo de vida da edificação, além de estimar a geração de CO₂ durante a fase pré operacional, que pode variar entre 460 kgCO₂/m² e 567 kgCO₂/m².

w) Habitações (KUHN, 2006)

Dando sequência aos estudos que vêm sendo desenvolvidos pelo grupo NORIE, na busca de soluções construtivas ambientalmente mais sustentáveis e economicamente viáveis, Kuhn (2006) realiza a ACV de um protótipo habitacional, o Projeto Alvorada. Foram avaliados, tanto os aspectos ambientais (principalmente através de pesquisas bibliográficas) quanto econômicos da edificação. Um dos objetivos do trabalho era apontar os pontos críticos do projeto e apresentar melhorias, visando seu aperfeiçoamento.

2.6 Considerações sobre o capítulo

Com o objetivo de melhor compreender os impactos ambientais decorrentes da construção civil, buscou-se no presente capítulo, contextualizar a questão das habitações no tempo e no espaço, levantando suas origens históricas, impactos ambientais e evolução ao longo dos anos. O propósito deste levantamento foi justamente tentar entender o assunto de uma maneira mais ampla, afinal, foram as escolhas passadas que levaram à formulação do modelo atual de construção habitacional, com suas vantagens e desvantagens.

Mas o quanto (e como) esse modelo interfere no ambiente? Conforme pôde ser observado, são dados alarmantes, que creditam ao setor da construção o consumo de cerca de 40% da energia mundial, 40% de todos os materiais produzidos no planeta, 17% da água potável disponível e 25% de toda a madeira, dentre outros impactos ambientais e sociais.

No entanto, apesar deste potencial de modificação do ambiente e propagação de impactos, a construção civil também é um espaço promissor para o desenvolvimento e aplicação de novas tecnologias e materiais mais sustentáveis. Medidas como, o desenvolvimento de novas tecnologias de produção e uso de energia, o aprimoramento do processo de escolha dos materiais de construção, a diminuição no consumo de recursos e água, a gestão de resíduos nos canteiros de obra, dentre outras, fazem parte do instrumental do que hoje se pode chamar de “Construção Sustentável”.

E uma das alternativas que se propõe para diminuir o passivo ambiental da construção civil é a incorporação de resíduos em materiais de construção. Não obstante, esta prática ainda é relativamente nova e, apesar de existir um número significativo de pesquisas sobre o tema, muitas abordam somente a viabilidade técnica. Pode-se dizer assim, que a viabilidade ambiental destes novos materiais ainda é um assunto pouco explorado, conforme pode ser verificado nas pesquisas que realizam a ACV de materiais de construção.

Em vista do exposto, e objetivando verificar a hipótese apresentada, como parte experimental deste trabalho foi realizado um inventário dos impactos ambientais decorrentes do emprego de resíduos agroindustriais em materiais de construção, especificamente em chapas de partículas para uso como vedação interna de edificações. Para tanto, foi utilizada a metodologia proposta pela ACV e foram analisadas quatro chapas compostas de diferentes resíduos (bagaço de cana, folhas de bambu, cavacos de pinos e imbuia). Os métodos adotados para tal avaliação estão apresentados no capítulo seguinte.

3. Metodologia

De acordo com as Normas técnicas vigentes e pesquisa bibliográfica realizada, para a execução da parte experimental de um trabalho desta natureza, são necessários os seguintes materiais e métodos, descritos detalhadamente nos próximos itens.

3.1 Materiais

Para a produção das chapas de partículas avaliadas neste estudo, foram utilizados os seguintes materiais, nas quantidades e proporções apresentadas no Quadro 9.

Insumos:

- Adesivo, utilizado para a aglomeração das partículas: resina uréia-formaldeído (UF);
- Aditivo, utilizado para diminuir a absorção de água das chapas: emulsão de parafina;
- Catalisador, utilizado para iniciar o processo de cura do adesivo: sulfato de amônio.

Matérias-primas:

- Cana-de-açúcar (*Saccharum spp*), da qual será utilizado o bagaço;
- Bambu (*Dendrocalamus giganteus*), do qual serão utilizadas as folhas caulinares;
- Pinos (*Pinus elliotii*), do qual serão utilizados os resíduos de seu beneficiamento;
- Imbuia (*Ocotea porosa*), do qual serão utilizados os resíduos de seu beneficiamento.

Quantidade dos materiais para produção das chapas

Matérias-primas	Partículas	Adesivo UF	Parafina	Água	Sulfato amônio
Cana-de-açúcar	1.630,00 g	249,00 g	24,90 g	12,45 g	3,70 g
Resíduo pinos	1.630,00 g	249,00 g	24,90 g	12,45 g	3,70 g
Folhas bambu	1.630,00 g	249,00 g	24,90 g	12,45 g	3,70 g
Resíduo imbuia	1.630,00 g	249,00 g	24,90 g	12,45 g	3,70 g

Quadro 9: Quantidade dos materiais para produção das chapas.
Fonte: Os dados foram obtidos por meio de consulta aos fabricantes.

3.1.1 Resina uréia-formaldeído

Neste trabalho, o adesivo empregado na produção das chapas de partículas foi a resina de uréia-formaldeído (Figura 36). Dentre os motivos que levaram a escolha deste adesivo em particular, podem ser citados os aspectos econômicos e tecnológicos, pois a resina UF proporciona chapas de boa qualidade com baixo consumo de adesivo. Além disso, a resina UF é atualmente o adesivo mais empregado para a fabricação de painéis à base de madeira no Brasil (IWAKIRI et al., 1995).



Figura 36: Resina UF.
Fonte: Santos (2010).

A uréia-formaldeído está classificada, de acordo com Olmos (1992), como sendo uma resina de origem sintética (derivada de petróleo) e resistente à água, além de possuir as seguintes características, conforme apresentado no Quadro 10.

Características da resina uréia-formaldeído

Umidade	Apresenta boa resistência à umidade.
Custo	Custo baixo em relação aos outros adesivos.
Cura	Cura-se à temperatura ambiente ou à temperatura alta (90 à 130 °C).
Coloração	Sua coloração é clara e possibilita a combinação com extensores de origem vegetal para reduzir ainda mais seu custo.
Durabilidade	Não resiste a ambiente muito úmido e quente.
Validade	Sua vida útil no estado líquido é muito limitada (no máximo 90 dias em temperatura ambiente). Quando armazenada à temperatura de 4 a 6 °C a vida útil passa de 6 meses a 8 meses.

Quadro 10: Características da resina uréia-formaldeído.
Fonte: Adaptado de Nascimento (2003).

A resina utilizada neste trabalho foi produzida pela Hexion - Química Indústria e Comércio Ltda. O insumo denominado Cascamite é uma resina UF em solução aquosa, de aparência branca leitosa, com pH (25 °C) variando entre 7,8 a 8,2 e densidade (25 °C) entre 1,275 - 1,298 (g/cm³), conforme informações técnicas fornecidas pelo fabricante.

O principal problema na utilização do adesivo de UF é a emissão de formaldeído para o ar durante o processo de produção das chapas, e posteriormente (em uma quantidade menor) durante o uso das chapas, de sobremaneira que seu uso é limitado em países com um controle ambiental mais rígido. Outra questão, diz respeito ao fato da UF ser produzida a partir de derivados do petróleo, um recurso natural não-renovável e de impactos ambientais significativos. Além disso, por ser um adesivo termofixo (que endurece por meio de reações químicas ativadas pelo calor) requer altas temperaturas para seu processo de cura, o que conseqüentemente, também requer um elevado consumo de energia (DIAS; LAHR, 2004).

3.1.2 Emulsão de parafina

A emulsão de parafina é comumente usada como aditivo para os adesivos na produção de chapas de partículas de madeira, com a função de preencher os possíveis vazios entre as partículas no interior da chapa. Desse modo, a chapa diminui sua capacidade de absorção de água, o que certamente irá influenciar em seu desempenho como um todo. Sendo assim, na produção das chapas avaliadas, utilizou-se como aditivo uma emulsão de parafina (Figura 37) produzida pela Solven - Solventes e Químicos Ltda.



Figura 37: Emulsão parafina.
Fonte: Santos (2010).

3.1.3 Sulfato de Amônio

Segundo Lessmann (2008, p. 66) “A adição de catalisadores na indústria de painéis visa reduzir o pH da resina aplicada e acelerar a cura.” Dentre os catalisadores mais utilizados para este fim, estão o sulfato de amônio e o cloreto de amônio, em virtude de seu baixo custo. Para este trabalho, optou-se por utilizar o sulfato de amônio (Figura 38), já que o cloreto de amônio possui uso restrito em diversos países. Ainda de acordo com Lessmann (2008), o uso do sulfato de amônio como catalisador aumenta a velocidade de cura do adesivo sem, no entanto, alterar seu mecanismo de ação.



Figura 38: Sulfato de amônio.
Fonte: Santos (2010).

3.1.4 Cana-de-açúcar - *Saccharum spp*

A cana-de-açúcar é uma gramínea perene, originária do sudeste asiático e pertencente à Família Poaceae, Subfamília Panicoideae. A cana é uma planta que se adapta muito bem em climas tropicais e, atualmente, é cultivada em mais de cem países, apresentando uma grande diversidade de espécies. Segundo Castro e Andrade (2007), inicialmente a espécie mais utilizada para o cultivo no Brasil foi a *Saccharum officinarum*, mas hoje, em virtude dos inúmeros cruzamentos realizados, as espécies cultivadas são em sua maioria híbridas (Figura 39).



Figura 39: *Saccharum spp*.
Fonte: Santos (2010).

A partir do processamento industrial da cana-de-açúcar é possível obter diretamente oito produtos e subprodutos que, por meio de processos de transformações químicas e bioquímicas, permitem a produção de mais outros cem produtos (ICIDCA, 1999). Dentre estes oito subprodutos primários da cana, o bagaço é um deles (Figura 40), e será empregado neste trabalho para a produção das chapas de partículas avaliadas.

De acordo com o ICIDCA (1999, p. 37), o bagaço da cana pode ser definido como um “[...] resíduo lignocelulósico fibroso, remanescente dos colmos da cana-de-açúcar [...]” que pode ser obtido “[...] na saída do último moinho da usina açucareira e constitui um conjunto heterogêneo de partículas de diferentes tamanhos, que oscilam entre 1 e 25 mm, apresentando um tamanho médio de 20 mm”. Ainda sobre o bagaço, pode-se citar que as suas fibras são também caracterizadas pela rigidez e por apresentarem uma longitude menor que as fibras da madeira, limitando seu uso para algumas atividades (ICIDCA, 1999).

Neste trabalho, o bagaço da cana utilizado provém da Usina Paraíso Bioenergia, localizada no município de Torrinha - SP e foi doado pela empresa para a pesquisa. O bagaço é resultado das atividades da usina, que produz açúcar cristal e álcool combustível e industrial. A cana utilizada na usina é proveniente de fazendas cultivadas na região e passa pelos seguintes processos até a produção do bagaço: colheita da cana, transporte das plantações até a usina, lavagem da cana, picador, desfibrador e moagem, conforme pôde ser observado em visita técnica realizada na empresa.



Figura 40: Resíduo de cana.
Fonte: Santos (2010).

3.1.5 Pinos - *Pinus elliottii*

As árvores conhecidas popularmente como pinos, ou pinheiros, pertencem à Família Pinaceae e são comuns nas florestas de coníferas setentrionais, no entanto, a maior diversidade de espécies e os melhores índices de crescimento ocorrem nos climas temperados e subtropicais (LEÃO, 2000). Ainda de acordo com a autora, a introdução destas espécies no Brasil foi iniciada somente nos anos 1920 e atualmente estima-se que existam mais de 50 espécies cultivadas no país, sendo que dentre estas, a mais comum é o *Pinus elliottii* (Figura 41).



Figura 41: *Pinus elliottii*.
Fonte: Lorenzi et al. (2003).

O *Pinus elliottii* é uma árvore nativa do Sul dos Estados Unidos (Flórida) e foi muito difundida em São Paulo (inclusive pelo governo estadual, por meio do Serviço Florestal) devido à sua precocidade. Segundo Leão (2000, p. 214) “Aos dez anos de idade, elas alcançam, em média, 10 metros de altura e 17 centímetros de diâmetro. Quando atingem o porte adulto, chegam a ter 15 a 30 metros de altura e 60-100 centímetros de diâmetro”. Além disso, esta espécie se desenvolve muito bem no cerrado (suportando sem prejuízo a estação seca) e, nas palavras de Lorenzi et al. (2003, p. 52) “[...] graças à sua abundante produção de sementes em nossas condições a sua multiplicação é muito fácil, chegando a ser espontânea em muitas regiões do sul do país”.

A espécie é muito utilizada para fins de reflorestamento, para a arborização, para a produção de resinas, como matéria-prima para a produção de celulose e papel, e na produção de madeira para a fabricação de móveis e chapas. Para a produção das chapas avaliadas neste trabalho, foram empregados apenas os resíduos do beneficiamento da madeira de pinos, provenientes de laboratórios didáticos da UNESP - Campus Experimental de Itapeva. A madeira utilizada nos laboratórios é procedente de áreas plantadas próximas ao campus e foram doadas pela instituição para a realização da pesquisa. Para uso nos laboratórios, a madeira passa pelos seguintes maquinários: serras, plainas, lixadeiras, dentre outros, os quais produzem um resíduo fino (Figura 42), de coloração clara, que será empregado na produção das chapas.



Figura 42: Resíduo de pinos.
Fonte: Santos (2010).

3.1.6 Bambu - *Dendrocalamus giganteus*

Os bambus, segundo Pereira e Beraldo (2007), pertencem à Família Poaceae, a mesma da cana-de-açúcar, Subfamília Bambusoideae, e possuem aproximadamente 50 gêneros e 1.300 espécies distribuídas naturalmente pelo mundo inteiro, exceto no continente europeu. No Brasil, em virtude do solo e clima favoráveis ao seu desenvolvimento, estima-se que existam mais de 200 espécies nativas.



Figura 43: *Dendrocalamus giganteus*. Fonte: Santos (2010).

Além destas espécies, muitas outras foram introduzidas no país e, em função das condições climáticas, se adaptaram muito bem e atualmente se reproduzem como se fossem nativas. Uma destas espécies é o bambu gigante, *Dendrocalamus giganteus* (Figura 43), que foi introduzido na época da colonização pelos imigrantes japoneses e hoje pode ser encontrado em quase todas as regiões do país (AZZINI; SALGADO, 1981). Esta espécie de grande porte, entouceirante, apresenta colmos com altura entre 24 e 40 m, internódios variando entre 0,4 e 0,5 m, diâmetro médio entre 0,1 e 0,2 m e parede espessa. Usualmente, se adapta com facilidade em regiões tropicais úmidas e subtropicais, e prefere solos ricos (PEREIRA; BERALDO, 2007).

O uso dos colmos de bambu em edificações é uma prática milenar, a qual tem inclusive eficiência comprovada por diversas civilizações ao longo do tempo. Porém, neste trabalho o que será utilizado é o resíduo agrícola proveniente das plantações de bambu, as folhas caulinares. Segundo McClure (1993) é denominada folha caulinar (ou bráctea), a série de folhas que cobrem os colmos de bambu quando este está em crescimento. As brácteas possuem diversas partes: folha, aurícula, lígula e *blade* (ponta).

Para a produção das chapas avaliadas neste trabalho, foram utilizados todos os componentes das folhas caulinares do bambu *D. giganteus*, trituradas em partículas, sem distinção de suas partes (Figura 44). Dentre os motivos que levaram à escolha desta espécie, está o tamanho dos seus colmos, que chegam a 40 m de altura e 10 cm de diâmetro, produzindo as maiores folhas caulinares encontradas. As folhas caulinares utilizadas foram produzidas em uma área dentro do próprio campus da UNESP de Bauru e foram doadas para a realização da pesquisa.



Figura 44: Resíduo de bambu. Fonte: Santos (2010).

3.1.7 Imbuia - *Ocotea porosa*

A árvore conhecida popularmente como imbuia (ou embuia, em algumas regiões) pertence à Família Lauraceae e sua espécie é denominada cientificamente de *Ocotea porosa* (Figura 45). Ocorre com frequência na região sul do estado do Paraná, ao norte de Santa Catarina e também no Rio Grande do Sul, nas submatas dos pinhais e nas partes mais elevadas da encosta Atlântica. Planta semidecídua e heliófita, a imbuia pode ter entre 15 e 20 m de altura e o diâmetro de seu tronco pode medir entre 50 e 150 cm (LORENZI, 2002).



Figura 45: *Ocotea porosa*.
Fonte: Lorenzi (2002).

Em função da qualidade de sua madeira, descrita por Lorenzi (2002, p. 144) como “Moderadamente pesada (densidade 0,65 g/cm³), dura, de cor muito variada, superfície irregularmente lustrosa e lisa, medianamente resistente, de grande durabilidade mesmo em obras expostas” a imbuia tem sido muito requisitada, tanto na confecção de mobiliário, quanto na construção civil, sob a forma de tacos, esquadrias, lambris, dormentes e moirões.

E foram estas mesmas características que incentivaram a extração massiva e sem controle da imbuia, reduzindo sua população e seu ritmo de crescimento de maneira significativa. Tanto que, atualmente a espécie é classificada como vulnerável e figura na lista oficial de espécies ameaçadas de extinção organizada pelo IBAMA (BRASIL, 2008) e desde o ano de 1998 é citada na lista vermelha de espécies ameaçadas de extinção organizada pelo *International Union for Conservation of Nature* (IUCN, 2010).

Dessa maneira, para a produção das chapas avaliadas neste trabalho, foram empregados apenas os resíduos do beneficiamento de peças de imbuia, provenientes de laboratórios didáticos da UNESP - Campus Experimental de Itapeva. Nos laboratórios, as madeiras são utilizadas apenas para fins de ensino e pesquisa, e provém de estoques antigos ou de demolição.



Figura 46: Resíduo de imbuia.
Fonte: Santos (2010).

Os resíduos utilizados são cavacos do tipo flocos, definidos por Gonçalves (2000) como sendo “[...] partículas longas e finas, de largura variável, produzidas por fresas ou facas, em operações de fresamento de peças de madeira [...]” (Figura 46). A escolha da imbuia neste trabalho se justifica pelo fato desta ser a única essência nativa a ser avaliada.

3.2 Métodos

Para a realização da Avaliação de Ciclo de Vida das chapas de partículas foi utilizada a metodologia descrita pela série de Normas ISO 14040, que atualmente é a mais aceita internacionalmente na condução de estudos desta finalidade.

De acordo com a Norma NBR ISO 14040 (2009), que regulamenta os princípios e estrutura da Avaliação do Ciclo de Vida no Brasil, a realização de um estudo desta natureza deve compreender quatro fases (Figura 47):

- Definição de objetivo e escopo;
- Análise de inventário de ciclo de vida;
- Avaliação de impacto do ciclo de vida;
- Interpretação do ciclo de vida.

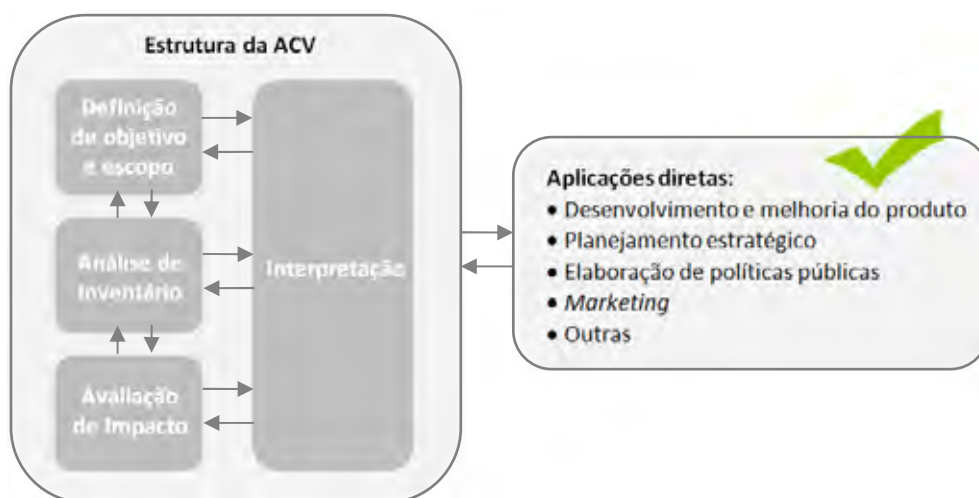


Figura 47: Fases de uma Avaliação do Ciclo de Vida.
Fonte: Adaptado da NBR ISO 14040 (2009, p. 8).

Desse modo, entende-se que a primeira fase da ACV (definição de objetivo e escopo) versa prioritariamente a respeito dos objetivos e da estrutura da avaliação, de sobremaneira que se enquadra na descrição dos métodos, sendo apresentada neste capítulo “Metodologia”. Em contrapartida, as fases subsequentes (análise de inventário, avaliação de impacto e interpretação), por se tratarem da apresentação e discussão de dados, serão expostas no capítulo “Resultados”.

3.2.1 Definição de objetivo do estudo

Levantar os principais aspectos e impactos ambientais¹ relacionados à produção, ainda em fase laboratorial, de diferentes tipos de chapas de partículas para uso habitacional, visando aferir os pontos positivos e negativos de cada processo (possibilitando operar melhorias), bem como estabelecer qual chapa é menos impactante para o ambiente.

Dentre as razões que levaram à realização desta avaliação, mesmo os estudos ainda se encontrando em escala laboratorial, foi justamente procurar orientar os trabalhos em desenvolvimento (e futuros) que abordam a utilização de resíduos em novos materiais, a fim de que se possam conhecer os impactos ambientais associados ao uso destes resíduos.

3.2.2 Definição de escopo do estudo

Segundo as diretrizes da Norma NBR ISO 14040 (2009), o escopo, as fronteiras, o nível de detalhamento e profundidade podem diferir consideravelmente de um estudo de para outro, mas, o importante é que se mantenham os princípios e estrutura estabelecidos pela Norma, assim como se verifique, se os requisitos de qualidade dos dados se encontram alinhados com os objetivos pretendidos pela pesquisa. Assim, na definição do escopo de uma ACV, cada um dos seguintes itens deve ser considerado e claramente descrito.

a) Função dos sistemas de produtos

As chapas de partículas avaliadas no estudo podem ser utilizadas para diversas funções, como: produção de mobiliário, vedação horizontal (forros) e vedação vertical (painéis e divisórias). No entanto, este trabalho será restrito à avaliação do sistema de produto na função de elemento de vedação horizontal (forros).

¹ Enquanto aspectos ambientais dos produtos, entende-se o definido pela Norma NBR ISO 14040 (2009, p. 2), como sendo um “[...] elemento das atividades, produtos ou serviços de uma organização, que pode interagir com o meio ambiente”. Enquanto impactos ambientais, entende-se o definido na legislação brasileira (BRASIL, 1986, p. 1) como sendo “[...] qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas [...]”.

b) Unidade funcional

A unidade funcional, conforme definido na Norma NBR ISO 14040 (2009, p. 4), se configura como sendo uma medida de “[...] desempenho quantificado de um sistema de produto para utilização como uma unidade de referência”.

Nesta avaliação, utilizou-se inicialmente como unidade funcional uma chapa produzida em escala laboratorial, que possui dimensões nominais de 41 x 41 cm (0,1681 m²). Contudo, visando facilitar a realização de avaliações comparativas com outros produtos, já que as dimensões diferiam consideravelmente das chapas produzidas em escala comercial, observou-se que seria mais adequado adotar como unidade funcional o m² (aproximadamente 6 chapas, totalizando 1,0086 m²).

Além disso, de acordo com a Norma NBR 15575-1 (2008) que dispõe sobre aspectos de desempenho em edifícios habitacionais de até cinco pavimentos, a Vida Útil de Projeto (VUP) de um revestimento interno não-aderido (como os forros falsos) é de no mínimo 8 anos e a VUP superior é de 12 anos. O motivo que levou à adoção da VUP mínima foi o fato de que já existe um forro de chapas instalado no Laboratório de Madeiras da UNESP - Bauru, há mais de 6 anos, que permanece em bom estado de conservação, servindo como referência. Dessa maneira, a unidade funcional adotada neste trabalho é de 1 m² das chapas de partículas para forros, considerando seu ciclo de vida por um período de 8 anos.

c) Sistema de produto a ser estudado

O sistema de produto é definido pela Norma NBR ISO 14040 (2009, p. 4) como o “[...] conjunto de processos elementares, com fluxos elementares e de produto, desempenhando uma ou mais funções definidas e que modela o ciclo de vida de um produto”.

No caso deste trabalho, foi estudado todo o sistema envolvendo o processo produtivo das chapas de partículas compostas de resíduos, incluindo: a aquisição dos materiais (insumos e matérias-primas), a produção das chapas, seu uso (como forro interno de um edifício) e a disposição final dos resíduos.

De acordo com a Norma NBR ISO 14044 (2009, p. 8), é recomendável que seja elaborado um fluxograma de processo para descrever o sistema de produto estudado, seus processos elementares e suas inter-relações, facilitando assim, sua compreensão (Figura 48).

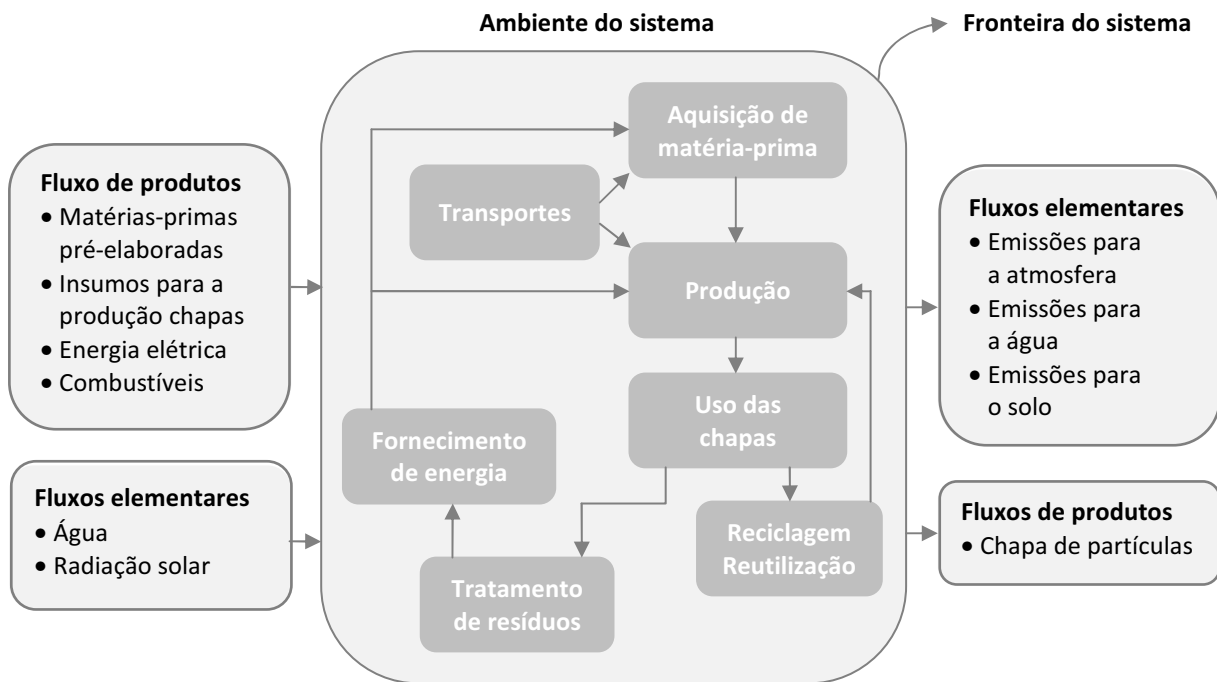


Figura 48: Sistema de produto das chapas de partículas.

Fonte: Adaptado da NBR ISO 14040 (2009, p. 11) para o sistema de produto das chapas de partículas.

Ademais, é importante frisar que este é apenas um esquema do sistema de produto avaliado, e que as pormenorizações referentes a cada processo elementar e seus fluxos de entradas e saídas estão mais detalhadamente abordadas no inventário do ciclo de vida.

d) Fronteira do sistema de produto

A partir do fluxograma apresentado, fica mais clara a compreensão acerca das operações abrangidas pela avaliação realizada, pois, todos os processos e produtos que se encontram além das fronteiras do sistema não serão contabilizados na Avaliação do Ciclo de Vida das chapas de partículas. Por exemplo: se a resina de uréia-formaldeído fosse incluída dentro do sistema de produto, teriam de ser contabilizadas todas as matérias-primas empregadas em sua fabricação, o consumo de combustíveis para o transporte destas matérias-primas até a unidade de produção, a energia gasta em seu processo produtivo e as emissões provenientes deste sistema. Dessa maneira, se o sistema de produto englobasse o processo produtivo de cada uma das matérias-primas e insumos empregados na fabricação das chapas, a avaliação poderia se tornar demasiadamente extensa, inviabilizando a execução deste estudo no tempo disponível.

Para resolver esta questão, a Norma NBR ISO 14044 (2009, p. 8) então define que “Devem ser tomadas decisões com relação a quais processos elementares devem ser incluídos no estudo e o nível de detalhamento com que esses processos elementares devem ser estudados”, afinal, segundo a Norma NBR ISO 14040 (2009, p. 13) “[...] não é necessário despende recursos na quantificação daquelas entradas e saídas que não irão alterar de forma significativa as conclusões gerais do estudo”.

Em virtude do exposto, consideraram-se como processos elementares deste estudo os itens relacionados a seguir, descritos nos respectivos quadros:

- Aquisição dos insumos para a produção das chapas (Quadro 11) e aquisição das matérias-primas e seu tratamento (Quadro 12);
- Produção das chapas de partículas (Quadro 13);
- Uso das chapas de partículas como elemento de vedação (Quadro 14);
- Disposição dos resíduos, considerando a hipótese de que os resíduos serão enviados para aterro sanitário (Quadro 15).

Aquisição dos insumos para a produção das chapas

Adesivo: resina uréia-formaldeído



A resina uréia-formaldeído é fabricada pela Hexion - Química Indústria e Comércio Ltda., localizada na cidade de Curitiba - PR, distante cerca de 498 km da unidade de produção das chapas, em Bauru.

Aditivo: emulsão de parafina



A emulsão de parafina é fabricada pela indústria Solven - Solventes e Químicos Ltda., localizada na cidade de Hortolândia - SP, distante cerca de 252 km da unidade de produção das chapas, em Bauru.

Catalisador: sulfato de amônio



O sulfato de amônio é fabricado pela indústria Bandeirantes Química, localizada na cidade de Araraquara - SP, distante cerca de 133 km da unidade de produção das chapas, em Bauru.

Quadro 11: Aquisição dos insumos para produção das chapas.
Fonte: Santos (2010).

Aquisição das matérias-primas e seu tratamento

Transporte da fonte até a unidade de produção



As folhas caulinares do **bambu** são consideradas um resíduo agrícola, e foram cedidas pelo Laboratório de Máquinas Agrícolas da UNESP de Bauru, distante 2,5 km da unidade de produção das chapas.



O bagaço da **cana-de-açúcar** é um resíduo industrial oriundo do processo produtivo de açúcar e álcool, e foi cedido pela Usina Paraíso Bioenergia, localizada em Torrinha - SP, distante 130 km de Bauru.



Os resíduos de beneficiamento das madeiras **pinos** e **imbuia** são provenientes dos laboratórios didáticos da UNESP de Itapeva, localizada em Itapeva - SP, distante cerca de 260 km de Bauru.

Secagem dos resíduos



Depois do recebimento dos resíduos na unidade de produção, estes são dispostos em bandejas e colocados em uma estufa de secagem de produtos vegetais com circulação/renovação de ar, da Marconi Equipamentos, a uma temperatura estável de 100 °C durante 24 horas.

Trituração dos resíduos



Após a eliminação da umidade dos resíduos, inicia-se o processo de homogeneização das dimensões de suas partículas. O bagaço da cana e as folhas de bambu (em virtude de suas dimensões) necessitam passar primeiramente por um triturador de galhos, da CID Equipamentos.

Moagem dos resíduos



Em seguida, todos os resíduos passam por um macro moinho de rotor vertical com facas móveis e fixas, da Marconi Equipamentos. O moinho promove a moagem de plantas, com dimensão máxima de 20 mm, por meio da ação das facas cortantes a uma velocidade fixa de 1720 RPM.

Peneiramento dos resíduos



A última fase do tratamento dos resíduos é o seu peneiramento. No procedimento são utilizadas peneiras de 1,2 mm, pois somente as partículas maiores que essa dimensão são utilizadas, enquanto as partículas menores são descartadas (em função de aspectos técnicos).

Produção das chapas de partículas

Pesagem dos materiais



Após todos os materiais estarem devidamente preparados, inicia-se o processo de pesagem. Para cada chapa foi utilizado um total de 1,6 kg de partículas, dependendo do tipo da chapa: bagaço da cana-de-açúcar; resíduos de pinos; folhas de bambu ou resíduos de imbuia.

Adição do adesivo e parafina



Para a aglomeração das partículas foi usado um adesivo a base de uréia-formaldeído, em solução aquosa. Além disso, foi adicionada uma emulsão de parafina (para preencher os possíveis vazios internos da chapa) e sulfato de amônio (como catalisador na cura do adesivo).

Mistura dos materiais na encoladeira



Depois de todos os materiais terem sido adicionados, é iniciada a etapa de homogeneização da massa de partículas. Para tanto, é utilizado um misturador do tipo encoladeira de tambor com eixo horizontal e pás rotativas, durante o período de cinco minutos.

Formação do colchão de partículas



A seguir, a massa de partículas é colocada em uma forma de madeira quadrada de 45 x 45 cm, forrada com folhas de alumínio (para evitar que a chapa cole na prensa). Então, com a ajuda de pesos, a massa de partículas é compactada manualmente antes de ir para a prensa.

Prensagem da chapa



Quando a forma é retirada, fica apenas o colchão de partículas, que é levado para a prensa. Neste trabalho, foi empregada uma prensa hidráulica à quente, da marca PHS, com temperatura de 130 °C e força de 80 toneladas durante um período de dez minutos.

Resfriamento e cura



A última etapa do processo de fabricação das chapas de partículas corresponde ao resfriamento das chapas e finalização do processo de cura do adesivo, que ocorre aproximadamente 48 horas após o término da produção, período que as chapas permanecem em descanso.

Uso das chapas de partículas

Serragem da chapa



Somente após o período de cura, as chapas são retificadas em seu tamanho final. Com a utilização de uma serra circular são retirados 2 cm de cada lado da chapa, pois esta região apresenta baixa resistência física e mecânica. A dimensão final das chapas é de 41 x 41 cm.

Instalação dos perfis metálicos *



Para avaliar o uso das chapas como forro interno, utilizou-se as mesmas especificações técnicas válidas para os forros modulares suspensos. De acordo com informações do fabricante, é necessária a instalação de perfis metálicos para sustentação (AMF, 2010).

Instalação das chapas *



Após a instalação dos perfis metálicos, que podem ser de alumínio ou aço, são assentadas as chapas para vedação. Para este trabalho, adotou-se um vão entre os perfis metálicos de 40 x 40 cm, compatível com as dimensões nominais das chapas de 41 x 41 cm.

Uso como forro



Com o forro instalado, adotou-se a VUP de 8 anos. O motivo que levou à adoção da VUP mínima foi o fato de que já existe um forro de chapas instalado no Laboratório de Madeiras da UNESP há mais de 6 anos, que permanece em bom estado de conservação, servindo de referência.

Quadro 14: Uso das chapas de partículas.

Fonte: Santos (2010). * As imagens utilizadas estão disponíveis em: <<http://www.armstrong.com>>. Acesso em: 22 de ago. de 2010.

Tratamento e disposição dos resíduos

Envio dos resíduos para aterro sanitário



Para esta etapa, foi considerada a hipótese de que as chapas de partículas avaliadas, ao final de sua vida útil, serão encaminhadas para disposição no aterro sanitário do município de Bauru, localizado cerca de 18 km do local onde as chapas foram produzidas e utilizadas.

Quadro 15: Tratamento e disposição dos resíduos.

Fonte: Santos (2010).

Segundo a Norma NBR ISO 14044 (2009, p. 9), existem três critérios para a definição de quais entradas e saídas serão incluídas no sistema de produto avaliado. Porém, quando o estudo objetiva obter uma afirmação comparativa entre diferentes produtos para divulgação pública, como o caso deste trabalho, é importante que todos os critérios sejam levados em consideração durante o procedimento de alocação das entradas e saídas do sistema.

- **Massa:**

Com relação à massa, o mais importante a ser quantificado diz respeito às matérias-primas que compõem as chapas (bagaço de cana-de-açúcar, folhas de bambu, resíduos de pinos e imbuia), pois contabilizam 85% da massa das chapas, enquanto todos os outros insumos utilizados na produção das chapas representam 15%.

- **Energia:**

Com relação à energia, podem ser arroladas duas etapas consideráveis, a etapa de produção das chapas de partículas e a etapa de aquisição dos materiais, tanto pelo consumo de energia elétrica, quanto pelo consumo de energia calorífica (queima de combustíveis).²

- **Significância ambiental:**

Com relação à significância ambiental, pode ser citado o exemplo da resina UF, que em massa, representa 12% das chapas, contudo, em função da emissão de formaldeído decorrente de seu uso, pode-se atribuir à mesma uma maior relevância neste estudo.

e) Metodologia de AICV e interpretação subsequente a ser utilizada

Os requisitos para a realização da Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) de um produto, a terceira etapa de uma ACV, estão descritos na Norma NBR ISO 14044 (2009). De acordo com a Norma, a AICV tem como objetivo principal avaliar os resultados do Inventário do Ciclo de Vida (ICV) de um sistema de produto e, por meio da modelagem de seus impactos, melhor compreender a significância ambiental do produto avaliado.

² De acordo com a Norma NBR ISO 14044 (2009, p. 13), com relação ao consumo de energia, pode-se dizer que “Entradas e saídas relacionadas a um material combustível (por exemplo, petróleo, gás ou carvão) podem ser transformadas em entradas ou saídas de energia, multiplicando-as pelos respectivos calores de combustão. Neste caso, deve ser relatado se foi utilizado o poder calorífico superior ou inferior”.

A Norma NBR ISO 14044 (2009, p. 17) define os elementos obrigatórios da AICV:

- Seleção das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização;
- Correlação dos resultados do ICV às categorias de impacto (classificação);
- Cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (caracterização).

Para a avaliação do ciclo de vida das chapas de partículas, serão consideradas as seguintes categorias de impactos: consumo de recursos renováveis; consumo de recursos não-renováveis; consumo recursos energéticos; potencial de aquecimento global; potencial de formação fotoquímica de ozônio troposférico; potencial de acidificação; potencial de eutrofização; potencial de ecotoxicidade e potencial de toxicidade humana.

Os indicadores de cada categoria de impacto estão descritos no item *f*, e o modelo de caracterização utilizado foi baseado no método *Environmental Development of Industrial Products* (EDIP), apresentado por Wenzel et al. (1997). Dentre os motivos que levaram à escolha deste método, pode ser citado o fato de o método EDIP ser tecnicamente comprovado e internacionalmente aceito na condução de estudos de ACV, além disso, o método foi aplicado com sucesso para a realização da ACV do álcool etílico hidratado combustível no Brasil, desenvolvida por Ometto (2005).

Para realizar a correlação entre os dados de inventário e as categorias de impacto ambiental selecionadas, Wenzel et al. (1997) apresentam uma extensa classificação das substâncias químicas emitidas e seus impactos potenciais. De acordo com os autores, o impacto da emissão de uma substância química no meio ambiente depende essencialmente de três fatores: sua quantidade, seus riscos inerentes e a exposição, conforme pode ser visualizado na Figura 49. Para melhor compreender as inter-relações entre as emissões, os impactos potenciais e seus efeitos, é apresentado no Quadro 16 um resumo dos principais poluentes.

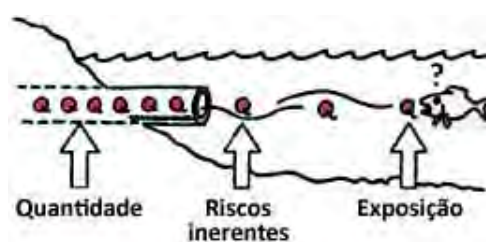
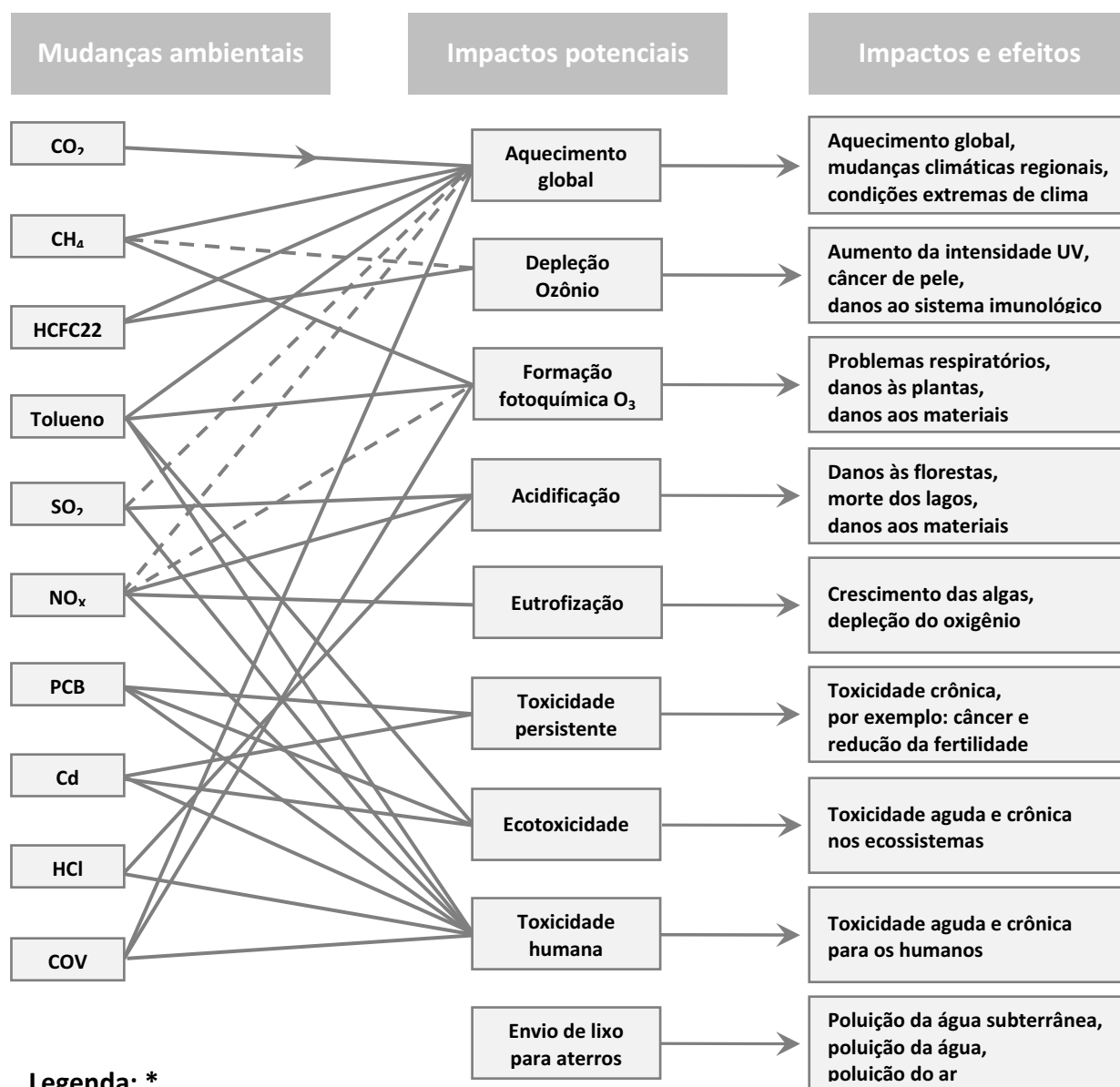


Figura 49: O impacto de uma substância no ambiente. Fonte: Traduzido e adaptado de Wenzel et al. (1997).

A seguir, é realizada a caracterização dos impactos, multiplicando-se os dados do inventário pelos respectivos fatores de caracterização, segundo o método EDIP, descrito por Wenzel et al. (1997). Neste estudo, serão considerados apenas os elementos obrigatórios de uma AICV, excluindo-se os elementos opcionais, como o agrupamento e a ponderação, e.g.

Inter-relações entre emissões, impactos potenciais e seus efeitos



CO₂ - Dióxido de carbono: é o gás de efeito estufa mais importante, sua maior fonte é a produção de energia.

CH₄ - Metano: outro importante gás de efeito estufa, a emissão de CH₄ está mais vinculada com a agropecuária.

HCFC22 - Hidroclorofluorocarbonetos: são os substitutos temporários do CFC, sendo o HCFC22 o mais conhecido.

Tolueno - é um hidrocarboneto aromático, incolor e de odor característico, muito utilizado em solventes e colas.

SO₂ - Dióxido de enxofre: um gás incolor, proveniente dos processos de queima de carvão e óleo combustível.

NO_x - Óxidos de nitrogênio: conjunto de gases presentes na atmosfera, do qual fazem parte o NO, NO₂ e N₂O.

PCB - Bifenilas policloradas: grupo de produtos químicos industriais organoclorados, muito tóxicos e persistentes.

Cd - Cádmio: um metal pesado, tóxico para os humanos e não degradável, acumulando-se na cadeia alimentar.

HCl - Ácido clorídrico: um ácido forte, extremamente corrosivo, que tem efeito direto na acidificação.

COV - Compostos Orgânicos Voláteis: hidrocarbonetos e seus derivados que vaporizam na atmosfera facilmente.

Quadro 16: Inter-relações entre emissões, impactos potenciais e seus efeitos.

Fonte: Traduzido e adaptado de Wenzel et al. (1997). * As definições foram retiradas de Baird (2002).

f) Categorias de impacto selecionadas

Em um estudo de ACV, existe um grande número de categorias de impactos ambientais que podem ser consideradas, dependendo do método adotado e do produto avaliado, pois cada sistema de produto interage de maneira distinta com o ambiente. Desse modo, entende-se que para avaliar os impactos de uma chapa de partículas, segundo as recomendações do método EDIP, é necessário considerar as seguintes categorias de impactos ambientais, conforme detalhado nos itens seguintes.

Para cada categoria de impacto, apresenta-se: uma definição geral do impacto, os indicadores considerados e a fonte de referência para o cálculo (caracterização).

- **Consumo de recursos renováveis**

Segundo Ometto (2005, p. 65), os recursos renováveis são aqueles “[...] que podem ser regenerados e que não serão, necessariamente, esgotados pela exploração humana, considerados de escala regional ou local, podendo variar dependendo do recurso e do processo de extração”.

Neste estudo, podem ser considerados indicadores desta categoria o consumo de água e de recursos naturais, como por exemplo, a madeira, a cana-de-açúcar e o bambu. Para a avaliação desta categoria de impacto considera-se o resultado direto do inventário do ciclo de vida, ou seja, os valores de consumo de recursos renováveis expressos em massa (g).

- **Consumo de recursos não-renováveis**

De acordo com Ometto (2005, p. 65), pode-se definir os recursos não-renováveis como sendo “[...] os que não são regenerados, ou que são regenerados a uma taxa praticamente insignificante frente à sua quantidade disponível. Os recursos não-renováveis apresentam efeitos de escala global de abrangência espacial”.

Neste estudo, podem ser considerados indicadores desta categoria o consumo de óleo diesel, resina uréia-formaldeído e emulsão de parafina (derivados do petróleo), além do consumo de sulfato de amônio (que contém minerais em sua composição), pois são considerados recursos não-renováveis. Para a avaliação desta categoria de impacto considera-se o resultado direto do inventário do ciclo de vida, ou seja, os valores de consumo de recursos não-renováveis expressos em massa (g).

- **Consumo de recursos energéticos**

Segundo Mourad et al. (2002, p. 24), o consumo de energia “É um dos indicadores mais observados na avaliação do ‘custo ambiental’, pois está associado ao requerimento de recursos naturais e também a muitas das emissões para o ar e para a água [...]”.

No caso deste trabalho, a energia consumida é proveniente de usinas hidrelétricas, em função do sistema energético nacional, que privilegia este tipo de geração. Apesar de ser considerada uma fonte “mais limpa” de energia (do que as termoelétricas, por exemplo) a instalação de uma usina hidrelétrica requer uma grande disponibilidade de água e terra, influenciando em todo o ecossistema da região.

O consumo de energia, geralmente, apresenta uma escala de impactos ambientais regionais e para a avaliação desta categoria considera-se o resultado direto do inventário, ou seja, os valores de consumo de energia expressos em kWh. A energia consumida durante o processo produtivo das chapas de partículas foi quantificada em laboratório, por meio de um aparelho denominado “Analisador de Grandezas Elétricas SAGA 4.000”. As medições foram realizadas em cada um dos equipamentos da unidade de produção das chapas.

- **Potencial de aquecimento global**

Segundo Mourad et al. (2002, p. 24), “A atmosfera da Terra é constituída de gases que permitem a passagem de radiação solar e absorvem grande parte do calor emitido pela superfície aquecida da Terra, sendo essa propriedade conhecida como efeito estufa [...]”. Contudo, esse efeito natural de aquecimento (que permite que a temperatura da superfície permaneça estável) vem se intensificando nos últimos séculos, principalmente em virtude das atividades antropogênicas. Acredita-se que a emissão de gases como o dióxido de carbono (CO₂), o metano (CH₄), o óxido nitroso (N₂O) os halocarbonetos e hidrocarbonetos (HC), está diretamente relacionada a este problema, contribuindo para o potencial de aquecimento global (Wenzel et al., 1997).

Neste trabalho, a emissão destes gases ocorre principalmente durante o transporte, de modo que a etapa que mais contribui para a categoria é a aquisição dos materiais. Para calcular o potencial de aquecimento global de cada um dos gases de efeito estufa, o IPCC elaborou um modelo denominado *Global Warming Potential* (GWP), baseado no cálculo do CO₂ equivalente (CO₂ eq.) para cada um destes gases. O CO₂ eq. é utilizado como um indicador do potencial de aquecimento global, tabelado em Wenzel et al. (1997, p. 23-24).

- **Potencial de formação fotoquímica do ozônio troposférico**

Conforme Wenzel et al. (1997), quando algumas substâncias reativas são emitidas para a atmosfera, como o monóxido de carbono (CO) e os COVs, elas são naturalmente degradadas por meio da reação de oxidação, ocorrida sob a influência dos raios solares. No entanto, se existe uma concentração de óxidos de nitrogênio (NO_x) na troposfera (região mais baixa da atmosfera), o ozônio (O_3) pode ser formado. A presença de ozônio na troposfera é associada a uma série de problemas ambientais, como o aumento de doenças respiratórias na população e redução da produtividade agrícola, em escala local e regional.

Neste trabalho, são duas as fontes de gases com potencial para formação fotoquímica do ozônio: a emissão de COVs e CO, em função da queima de combustíveis fósseis durante o transporte das matérias-primas, e a emissão de COVs (especificamente o formaldeído) em função do uso da resina uréia-formaldeído para a produção das chapas. Para o cálculo desta categoria, a substância de referência é o eteno (C_2H_4), ou seja, assim como o CO_2 eq., o eteno é adotado como unidade para mensurar esta categoria e representa o potencial de formação fotoquímica de ozônio troposférico que seria causado pelo eteno. Dessa maneira, para cada substância com potencial de formação de ozônio existe um índice correspondente de eteno, apresentado por Wenzel et al. (1997, p. 101-102).

Ainda segundo o autor, a modelagem desta categoria de impacto deve abordar aspectos temporais (pois os compostos químicos demoram alguns dias para se dissipar na atmosfera), de maneira que os valores adotados se referem a um período intermediário de 4 a 5 dias. Além disso, em virtude da localização da área onde se realiza o estudo, o autor recomenda adotar um modelo químico atmosférico de alta concentração de NO_x .

- **Potencial de acidificação**

Segundo definição de Wenzel et al. (1997), a acidificação pode ocorrer quando são emitidas para a atmosfera substâncias ácidas (ou compostos capazes de ser convertidos em ácido), como o dióxido de enxofre (SO_2) e os óxidos de nitrogênio (NO_x). Estas substâncias são então depositadas no solo, nos vegetais e nas superfícies aquáticas, causando inúmeras consequências, como o declínio das florestas, a mortandade de peixes e a corrosão de estruturas metálicas e de materiais de construção minerais, em monumentos e edificações. Quando estas substâncias presentes na atmosfera são dissolvidas na água das chuvas, causam a denominada “chuva ácida”.

A acidificação é considerada um impacto de abrangência regional e pode ser decorrente de emissões para o ar, para a água e para o solo.

No entanto, as principais substâncias que provocam a acidificação estão relacionadas às emissões para a atmosfera, provenientes da queima de combustíveis fósseis durante o transporte. Dessa maneira, a substância de referência usada para mensurar o potencial de acidificação é o SO_2 equivalente (SO_2 eq.), calculado a partir dos dados apresentados por Wenzel et al. (1997, p. 164).

Neste trabalho, consideram-se capazes de contribuir nesta categoria as substâncias emitidas durante o transporte, principalmente na fase de aquisição dos materiais. Também existe a preocupação com relação à disposição final das chapas, pois o sulfato de amônio $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ usado durante a sua produção também pode ser considerado como um composto potencialmente causador de acidificação.

- **Potencial de eutrofização**

De acordo com Christensen et al. (1993) apud Wenzel et al. (1997, p. 184), a eutrofização pode ser entendida como um enriquecimento dos ambientes aquáticos por meio de nutrientes, ou seja, substâncias que contenham nitrogênio (N) ou fósforo (P). Esta grande quantidade de nutrientes disponível ocasiona um aumento na taxa de crescimento de algas e macrófitas, reduzindo a qualidade da água e o seu teor de oxigênio e, assim, pode provocar o desaparecimento de peixes e outras formas de vida aquática.

Uma das fontes mais importantes de eutrofização é a agricultura, por meio do uso de fertilizantes nitrogenados, outra fonte é a produção de energia por processos de combustão, por meio da emissão de óxidos de nitrogênio para a atmosfera. Além destas fontes, ainda pode ser citada a emissão de efluentes líquidos domésticos e industriais, que possuem grandes quantidades de matéria orgânica, contendo N e P.

A eutrofização é um impacto de abrangência local e regional, que pode ser decorrente tanto de emissões para o ar, quanto para a água ou mesmo para o solo. Para a avaliação desta categoria de impacto são consideradas as quantidades de N e P contidas nas substâncias emitidas durante o ciclo de vida do produto, de modo que a substância de referência é o nitrato equivalente (NO_3^- eq.). A tabela contendo as substâncias que influenciam nesta categoria, bem como os fatores de equivalência, estão descritas em Wenzel et al. (1997, p. 188).

Para a avaliação das chapas de partículas, considerou-se que, dentre as substâncias capazes de influir no potencial de eutrofização, estão as emissões atmosféricas ocasionadas pela combustão, como o NO_x , resultantes da fase de aquisição dos materiais.

- **Potencial de ecotoxicidade**

De acordo com Wenzel et al. (1997), são consideradas substâncias com potencial para influir nesta categoria, aquelas que apresentam efeitos tóxicos para com os organismos e capazes de alterar o funcionamento e a estrutura dos ecossistemas. Propriedades como persistência no ambiente (biodegradabilidade) e capacidade de se acumular nos organismos (bioacumulação), também são consideradas importantes para a determinação do grau de ecotoxicidade de uma substância.

A ecotoxicidade é um impacto ambiental de escala local e regional, proveniente de emissões para o ar, para a água e para o solo, e pode apresentar efeitos agudos e crônicos, tanto para a água quanto para o solo. Para calcular o potencial de ecotoxicidade, Wenzel et al. (1997, p. 212-218) apresenta os fatores equivalentes de ecotoxicidade para um grande número de substâncias químicas. A unidade para cálculo é expressa em m^3/g , ou seja, a quantidade de m^3 necessária para neutralizar cada grama da substância tóxica, de modo que a sua concentração seja suficientemente baixa para não causar efeitos de ecotoxicidade. Neste trabalho, a substância mais importante para ser quantificada nessa categoria é o formaldeído, emitido pelas chapas de partículas em função do uso da resina UF.

- **Potencial de toxicidade humana**

Esta categoria abrange as substâncias consideradas tóxicas, ou seja, capazes de ocasionar problemas à saúde humana pelo contato (inalação ou ingestão), como os compostos aromáticos, os metais pesados, dentre outros. A toxicidade humana também pode ter efeitos agudos ou crônicos, dependendo da concentração da emissão, além disso, seu impacto pode afetar os humanos em escala local e regional. Segundo Wenzel et al. (1997) apud Ometto (2005, p. 72), cinco fatores caracterizam o potencial de toxicidade humana: “[...] a dispersão da substância no ambiente, a transferência da substância pela rota de exposição, o fator de inalação ou ingestão da substância, a toxicidade e a biodegradabilidade da substância.”

A toxicidade humana pode ser considerada um impacto de escala local e regional, afetando os humanos por meio do ar, da água e do solo e, assim como a categoria anterior, o potencial de toxicidade humana é expresso em m^3/g . Os indicadores da toxicidade humana de um grande número de substâncias estão descritos por Wenzel et al. (1997, p. 325-333). No caso deste estudo, a emissão de formaldeído, decorrente do uso de resina uréia-formaldeído, será considerada nesta categoria, já que a exposição à substância pode ser relacionada a diversos prejuízos para a saúde humana.

g) Requisitos de qualidade dos dados

Para que os objetivos da ACV possam ser alcançados, convém que se estabeleçam requisitos mínimos para determinar a qualidade dos dados utilizados durante a avaliação. Além disso, principalmente quando se trata de estudos comparativos de ACV que são disponibilizados ao público, é imprescindível que se abordem os seguintes tópicos com relação a estes requisitos de qualidade, descritos pela NBR ISO 14044 (2009, p. 10).

- **Cobertura temporal**

Durante a etapa de aquisição dos materiais e seu tratamento, pode-se dizer que o período de tempo coberto foi de aproximadamente 15 dias. Com relação à etapa de produção das chapas de partículas, o período de tempo coberto foi de 5 dias, apenas o necessário para a fabricação das chapas. Para as duas etapas subsequentes, empregou-se o período de tempo estabelecido pela Norma NBR 15575-1 (2008) que dispõe que a vida útil de um revestimento interno não-aderido (como os forros) é de no mínimo 8 anos. Contudo, é importante frisar que a decisão de utilizar a vida útil mínima para o sistema de produto analisado é um aspecto determinante na avaliação de seus impactos, pois, quando se adota uma vida útil mais longa, os impactos ambientais provenientes das etapas de aquisição dos materiais e produção (geralmente, as etapas mais impactantes) ficam diluídos pelo seu tempo de uso, contribuindo para aumentar a eficiência ambiental do produto. Ainda assim, optou-se por adotar a vida útil mínima, em função das pesquisas sobre a incorporação de resíduos em chapas de partículas serem recentes, de sobremaneira que não havia dados a respeito do desempenho das chapas por um período superior a 6 anos.

- **Cobertura geográfica:**

Para a realização do ICV, a área geográfica coberta corresponde à região onde se localizam os municípios de Bauru - SP (unidade de produção e aquisição da matéria-prima folhas de bambu), Torrinha - SP (aquisição da matéria-prima bagaço da cana-de-açúcar), Itapeva - SP (aquisição das matérias-primas pinos e imbuia), Curitiba - PR (aquisição do insumo adesivo de uréia-formaldeído), Hortolândia - SP (aquisição do insumo emulsão de parafina) e Araraquara - SP (aquisição do insumo sulfato de amônio). Entretanto, é apropriado salientar que existem outras fontes de origem das matérias-primas e insumos utilizados neste trabalho, localizadas em outros municípios, que também poderiam ter sido adotadas como base de cálculo e possivelmente iriam alterar de modo substancial os resultados obtidos. Mas como é necessário estabelecer um parâmetro para realizar o ICV, foram adotadas as fontes de origem dos materiais que já vinham sendo utilizados nas pesquisas realizadas pela UNESP de Bauru. Quanto à avaliação do impacto do ciclo de vida, a área geográfica coberta depende das categorias de impactos ambientais adotadas, que podem ser tanto de escala local, regional, ou mesmo global (conforme exposto no item g).

- **Cobertura tecnológica:**

A tecnologia empregada para a produção das chapas, bem como o processo produtivo descrito, apesar de seu pequeno porte (escala laboratorial), baseia-se no mesmo procedimento utilizado na maior parte das plantas industriais que produzem chapas de partículas para fim comercial na atualidade. Essa informação pôde ser confirmada por meio de visitas técnicas realizadas em duas das maiores fábricas de chapas de partículas que operam no Brasil. Todavia, existem diferenças significativas, principalmente no que diz respeito à escala de produção laboratorial e industrial. Essas diferenças ocorrem em virtude de que, em todos os processos, existem custos ambientais fixos de instalação e operação da unidade de produção e, se a escala de produção for maior, estarão mais diluídos e consequentemente irão colaborar para o aumento da eficiência ambiental do produto.

- **Precisão, completeza e representatividade dos dados:**

Por se tratar de um estudo realizado durante a fase de projeto dos produtos, é importante lembrar que os dados utilizados para a elaboração deste estudo são apenas indicadores, pois se referem tão somente à execução do processo em escala laboratorial.

No entanto, podem ser de grande valia na elaboração de um panorama geral dos impactos ambientais associados ao uso destes resíduos, bem como para auxiliar na tomada de decisão a respeito de seu emprego (ou não) em chapas de partículas.

- **Consistência e reprodutibilidade dos métodos usados ao longo da ACV:**

O estudo foi realizado tomando-se o cuidado de respeitar as Normas técnicas vigentes e pode ser facilmente reproduzido, observando as mesmas condições laboratoriais.

- **Fontes dos dados:**

A maioria dos dados de inventário foi extraída por meio de medições em laboratório e visitas técnicas. Contudo, alguns dados de inventário, relativos às informações sobre a seleção de categorias e avaliação dos impactos ambientais do ciclo de vida, foram extraídos de literatura pertinente, como teses, dissertações, livros e artigos técnicos sobre o assunto.

- **Incerteza da informação:**

Acredita-se que para o objetivo a que este estudo se propõe, orientar as pesquisas em desenvolvimento que abordam o uso de resíduos em chapas, o nível de incerteza das informações é aceitável, por se tratar de um estudo investigativo de natureza até empírica.

h) Pressupostos e limitações

Conforme explicitado nos itens anteriores, este trabalho se fundamenta em um processo produtivo de escala laboratorial, portanto, se caracteriza como um estudo baseado em suposições (em virtude da escassez de informações a respeito do assunto no país) e de abrangência limitada. Também é importante salientar que o presente estudo limita-se ao processo produtivo das chapas de partículas compostas de resíduos, de modo que não foram abrangidos pelo trabalho os impactos ambientais provenientes dos sistemas produtivos das matérias-primas e insumos, que poderiam certamente ser objeto de estudo de futuros trabalhos. Ainda assim, este estudo procurou reproduzir em uma pequena escala o processo produtivo das indústrias de chapas de partículas que atualmente operam no país, e desta maneira, deve ser entendido apenas como um primeiro passo na investigação dos impactos ambientais decorrentes dessa atividade.

4. Resultados

Com base nas recomendações metodológicas descritas no capítulo anterior, as chapas de partículas compostas de resíduos agroindustriais foram produzidas e avaliadas nas dependências do Laboratório de Processamento da Madeira da UNESP, campus de Bauru.

As diferentes chapas produzidas para avaliação nesta pesquisa, fabricadas a partir de bagaço de cana, cavacos de pinos, folhas caulinares de bambu e cavacos de imbuia, podem ser visualizadas na Figura 50.

Em geral, o material produzido apresentou evidências positivas com relação à utilização dos resíduos selecionados em chapas de partículas, pois as chapas aparentam coesão, qualidade superficial e boa aparência, o que poderá influir em sua aceitação comercial, se futuramente for utilizado como forro em habitações.



Figura 50: Diferentes chapas de partículas avaliadas.
Fonte: Santos (2010).

Com o objetivo de conhecer as propriedades físicas e mecânicas das chapas de partículas compostas de resíduos agroindustriais, diversas pesquisas vêm sendo desenvolvidas na UNESP, campus de Bauru, dentre as quais podem ser referenciadas: o trabalho desenvolvido por Battistelle e Catosse (2008), sobre chapas compostas de bagaço de cana e folhas de bambu; Battistelle et al. (2008), sobre chapas compostas de bambu; Miyazato e Battistelle (2007), sobre chapas compostas de resíduos de embalagens cartonadas e rejeitos da fabricação de celulose e papel, dentre outros trabalhos.

No entanto, apesar do grande número de pesquisas concluídas e em andamento, versando sobre a incorporação de resíduos em chapas de partículas, muito pouco se sabe a respeito dos impactos ambientais associados ao uso destes materiais. Desse modo, este trabalho irá contribuir como um primeiro passo, realizando a ACV de quatro tipos de chapas compostas de resíduos, conforme será apresentado nos próximos itens.

4.1 Análise de Inventário do Ciclo de Vida

Para a realização do inventário do ciclo de vida das chapas de partículas, algumas considerações e suposições tiveram que ser adotadas. A partir destes pressupostos, foram efetuados os cálculos para cada entrada e saída do sistema de produto das chapas avaliadas, sendo que os procedimentos realizados estão descritos nos próximos itens.

4.1.1 Consumo de recursos renováveis e não-renováveis

Com vistas a calcular o consumo de recursos renováveis e não-renováveis no sistema de produto avaliado, utilizou-se o Balanço de Massas. Dessa maneira, tudo que entra no sistema (matérias-primas e insumos) e tudo que sai do sistema (produtos e resíduos) deve ser convertido em grandezas possíveis de mensurar, como por exemplo, em massa. Para este cálculo, utilizaram-se dados provenientes de fontes primárias, ou seja, medições *in loco*.

Em seguida, é utilizado o princípio de conservação da matéria para validar o procedimento, dado pela equação:

$$\text{Entrada} = \text{Produção} + \text{Saídas} \quad (1)$$

Sendo:

Entrada = Todas as entradas do subsistema (matérias-primas e insumo)

Produção = Os produtos manufaturados saídos do subsistema (chapas de partículas)

Saídas = Todas as saídas não manufaturadas do subsistema (resíduos)

Com este cálculo, foi possível estimar o consumo dos seguintes recursos:

- Consumo de recursos renováveis, como: o bagaço da cana-de-açúcar; as folhas caulinares do bambu; os cavacos de pinos; os cavacos de imbuia e a água, utilizados na produção das chapas.
- Consumo de recursos não-renováveis, como: a resina de uréia-formaldeído; a emulsão de parafina e o sulfato de amônio, utilizados na produção das chapas.

4.1.2 Consumo de recursos energéticos

Com relação aos recursos energéticos, podem ser citadas duas importantes entradas no sistema de produto das chapas de partículas: o consumo de energia calorífica (principalmente durante a aquisição dos materiais para a produção das chapas, em função da queima de combustíveis fósseis no transporte) e o consumo de energia elétrica (principalmente durante a produção das chapas, em função do uso de equipamentos).

Para o cálculo do consumo de energia calorífica, utilizaram-se dados provenientes de fontes bibliográficas, ou seja, estimados por meio de literatura. Já para o cálculo do consumo de energia elétrica, utilizaram-se dados provenientes de fontes primárias, ou seja, medições *in loco*. Pois, de acordo com a Norma NBR ISO 14044 (2009, p. 9), “Na prática, todos os dados podem incluir uma mistura de dados medidos, calculados ou estimados”.

- **Consumo de energia calorífica**

Para calcular o consumo de energia calorífica (proveniente de combustíveis fósseis), primeiramente é assumido que o modal de transporte entre os processos elementares de interesse é o rodoviário. Em seguida, as distâncias entre as cidades onde foram adquiridos os materiais para a produção das chapas (Torrinha, Itapeva, Curitiba, Hortolândia e Araraquara) e a cidade onde se localiza a unidade de produção (Bauru) foram estimadas por meio do *Google Maps* (2010), conforme pode ser visualizado na Figura 51.



Figura 51: Distância entre as cidades onde foram adquiridos os materiais.

Fonte: Adaptado do *Google Maps* (2010).

Também é preciso estabelecer alguns parâmetros no que concerne ao veículo que irá realizar o transporte dos materiais. Deste modo, foram adotados os seguintes parâmetros:

- Os materiais foram transportados por um veículo automotor pesado³;
- O veículo possui motor do ciclo Diesel, fabricado no ano de 2006;
- O veículo possui uma capacidade para transportar cerca de 1,5 t de carga.

A partir destas proposições, foi preenchido o Quadro 17, a respeito do transporte rodoviário durante a etapa de aquisição dos materiais para a produção das chapas.

Transporte rodoviário					
Material	Cidade de origem	Cidade de destino	Distância (km)	Capacidade do caminhão (t)	Retorno vazio (sim/não)
Insumos					
Resina UF	Curitiba - PR	Bauru - SP	498,0	1,5	Sim
Parafina	Hortolândia - SP	Bauru - SP	252,0	1,5	Sim
Sulfato amônio	Araraquara - SP	Bauru - SP	133,0	1,5	Sim
Matérias-primas					
Bagaço cana	Torrinha - SP	Bauru - SP	133,0	1,5	Sim
Cavacos pinos	Itapeva - SP	Bauru - SP	263,0	1,5	Sim
Folhas bambu	Bauru - SP	Bauru - SP	2,5	1,5	Sim
Cavacos imbuia	Itapeva - SP	Bauru - SP	263,0	1,5	Sim

Quadro 17: Transporte rodoviário durante o processo produtivo das chapas.
Fonte: Adaptado do modelo apresentado na NBR ISO 14044 (2009, p. 33).

Considerando-se uma média de consumo de Diesel de 4 km/l para os veículos pesados (OMETTO, 2005) e, adotando-se a densidade do Diesel (20 °C) como 840 kg/m³ e Poder Calorífico Inferior de 10.100 kcal/kg (EPE, 2008), é possível obter os valores de consumo de combustível para cada trajeto, transformados em unidade de energia, o kWh.

³ Segundo a Resolução Conama nº 15/1995 (BRASIL, 1995) considera-se “Veículo pesado: o veículo automotor para o transporte de passageiros e/ou carga, com massa total máxima autorizada maior que 3856 kg e massa do veículo em ordem de marcha maior que 2720 kg, projetado para o transporte de passageiros e/ou carga”.

- **Consumo de energia elétrica**

Para o cálculo do consumo de energia elétrica foram realizadas medições nos equipamentos utilizados na produção das chapas de partículas, por meio de um analisador de grandezas elétricas, modelo “SAGA 4.000” que afere a tensão, a corrente, a potência ativa, a potência reativa, a potência aparente e o fator de potência.

Cada equipamento usado na fabricação das chapas foi conectado a um adaptador (para deixar a fiação exposta), que por sua vez foi conectado ao aparelho SAGA, que é interligado a um computador para a aquisição dos dados, conforme pode ser visualizado no esquema apresentado na Figura 52.



Figura 52: Medição dos dados de energia elétrica.
Fonte: Santos (2010).

O aparelho SAGA mede a potência total dos equipamentos durante o período de uso e gera uma planilha de dados, por meio do *software Excel*. Todavia, como alguns dos equipamentos possuíam serviço intermitente, como a estufa, a prensa e a serra, observou-se ser necessário calcular a potência eficaz, dada pela equação:

$$P_n = \sqrt{\frac{\sum P_i^2 \cdot t_i}{T}} \quad (2)$$

Sendo:

P_n = Potência eficaz (W)

P_i = Potência absorvida (W)

t_i = Tempo – instantes de operação (seg)

T = Período de operação (seg)

Com os valores da potência eficaz e do tempo total de operação, pode-se calcular a energia consumida durante a operação, dada pela equação:

$$E = \frac{P_n \cdot h}{1000} \quad (3)$$

Sendo:

E = Energia consumida (kWh)

P_n = Potência eficaz (W)

h = horas

4.1.4 Emissões para o ar

Com relação às emissões para o ar, podem ser citadas duas importantes saídas no sistema de produto das chapas de partículas: as emissões de gases provenientes do transporte (em função da queima de combustíveis fósseis) e a emissão de formaldeído (em função do uso da resina UF). Para o cálculo de ambas as emissões, utilizaram-se dados provenientes de fontes bibliográficas, ou seja, estimados por meio de literatura.

- **Emissão de gases provenientes do transporte**

Para calcular as emissões para a atmosfera provenientes do transporte (queima de combustíveis), utilizam-se os valores de consumo de combustível (já transformados em unidade de energia, o kWh) e multiplicam-se pelos valores limites de emissões de gases para veículos pesados, estabelecidos pela legislação brasileira (BRASIL, 2002) e expostos no Quadro 18. Desta forma, é possível estabelecer as respectivas emissões atmosféricas.

Limites de emissões para veículos pesados (g/kWh)				
A partir de	CO	HC	NO _x	MP
Jan./2006	2,10	0,66	5,00	0,10

Quadro 18: Limites de emissões para veículos pesados produzidos a partir de janeiro de 2006.
Fonte: Adaptado de BRASIL (2002).

- **Emissão de formaldeído proveniente da resina UF**

Com vistas a quantificar as emissões para a atmosfera de formaldeído (provenientes do uso da resina UF) foram utilizados valores médios determinados por Lessmann (2008) em seu trabalho sobre a emissão de formaldeído por chapas de partículas.

Segundo Lessmann (2008, p. 54), as chapas processadas com resina UF apresentam uma gradual liberação de formaldeído para o ar “[...] devido à reversibilidade da reação entre a uréia e o formol; a própria resina sofre hidrólise pela presença da umidade, mesmo à temperatura ambiente”. Desta maneira, durante toda a sua vida útil, as chapas apresentam essa liberação, que se concentra principalmente durante o período de cura da resina. Ainda de acordo com Lessman (2008, p. 54), “[...] o formol que não reagiu durante a síntese e cura da resina, pode estar adsorvido pelas fibras de celulose, ou acumulado em gotículas de água dentro da resina curada, e é gradualmente liberado para o ambiente”.

Para calcular a emissão de formaldeído, multiplicou-se a massa das chapas pelo valor médio de emissão determinado por Lessmann (2008), apresentado no Quadro 19.

Emissão de formaldeído (mg de formol/100 g de amostra)		
Umidade base seca (%)	Ensaio “ <i>perforator</i> ”	Ensaio “ <i>perforator</i> ” corrigido ⁴
8,4	10 (mg formol/100 g amostra)	8 (mg formol/100 g amostra)

Quadro 19: Emissão de formaldeído pelas chapas de partículas.
Fonte: Adaptado de LESSMANN (2008).

4.1.5 Emissões para a água e para o solo

Assim como no caso do consumo de recursos renováveis e não-renováveis, o cálculo das emissões para a água e para o solo foi baseado no Balanço de Massas. Para este cálculo, utilizaram-se dados provenientes de fontes primárias, ou seja, medições *in loco*: foram aferidas as massas dos resíduos gerados pelo processo produtivo das chapas e então estimadas as porcentagens de cada matéria-prima e insumo presentes nestes resíduos.

⁴ Para uso neste trabalho, adotou-se o valor de emissão de formaldeído referente ao resultado do ensaio “*perforator*” corrigido (em função da umidade), ou seja, 8 mg de formol a cada 100 g de amostra das chapas.

Como resumo geral, apresenta-se no Quadro 20, todas as fontes dos dados utilizados para a elaboração do ICV das chapas de partículas, em suas quatro etapas do ciclo de vida. Na sequência, serão apresentados os resultados do inventário de ciclo de vida das chapas avaliadas, referentes às etapas:

- **Etapa 1** - Aquisição dos materiais: Quadro 21 ao Quadro 24;
- **Etapa 2** - Produção das chapas de partículas: Quadro 25 ao Quadro 28;
- **Etapa 3** - Uso das chapas de partículas: Quadro 29 ao Quadro 32;
- **Etapa 4** - Disposição dos resíduos: Quadro 33 ao Quadro 36.




Fonte dos dados de inventário




Etapa 1 - Aquisição dos materiais	Fonte	Referência
<i>Consumo de recursos:</i> bagaço da cana, folhas de bambu e cavacos de pinos e de imbuia	Primária	Santos (2010)
<i>Consumo de recursos:</i> diesel	Bibliográfica	Ometto (2005)
<i>Consumo de energia:</i> elétrica	Primária	Santos (2010)
<i>Consumo de energia:</i> combustível	Bibliográfica	EPE (2008)
<i>Emissões para o ar:</i> CO, HC, NO _x , MP	Bibliográfica	BRASIL (2002)
<i>Emissões para o solo:</i> resíduos de pó de cana, pó de bambu, pó de pinos e pó de imbuia	Primária	Santos (2010)
Etapa 2 - Produção das chapas	Fonte	Referência
<i>Consumo de recursos:</i> bagaço da cana, folhas de bambu e cavacos de pinos e de imbuia	Primária	Santos (2010)
<i>Consumo de recursos:</i> água	Primária	Santos (2010)
<i>Consumo de recursos:</i> resina UF	Primária	Santos (2010)
<i>Consumo de recursos:</i> emulsão parafina	Primária	Santos (2010)
<i>Consumo de recursos:</i> sulfato amônio	Primária	Santos (2010)
<i>Consumo de recursos:</i> diesel	Primária	Ometto (2005)
<i>Consumo de energia:</i> elétrica	Primária	Santos (2010)

<i>Consumo de energia: combustível</i>	Bibliográfica	EPE (2008)
<i>Emissões para o ar: CO, HC, NO_x, MP</i>	Bibliográfica	BRASIL (2002)
<i>Emissões para a água: resina UF, emulsão de parafina, sulfato de amônio</i>	Primária	Santos (2010)
<i>Emissões para o solo: resíduos de cana, bambu, pinos, imbuia, resina UF, emulsão de parafina, sulfato de amônio</i>	Primária	Santos (2010)
Etapa 3 - Uso das chapas	Fonte	Referência
<i>Consumo de recursos: diesel</i>	Primária	Ometto (2005)
<i>Consumo de energia: elétrica</i>	Primária	Santos (2010)
<i>Consumo de energia: combustível</i>	Bibliográfica	EPE (2008)
<i>Emissões para o ar: formaldeído</i>	Bibliográfica	Lessmann (2008)
<i>Emissões para o ar: CO, HC, NO_x, MP</i>	Bibliográfica	BRASIL (2002)
<i>Emissões para o solo: resíduos de cana, bambu, pinos, imbuia, resina UF, emulsão de parafina, sulfato de amônio</i>	Primária	Santos (2010)
Etapa 4 - Disposição dos resíduos	Fonte	Referência
<i>Consumo de recursos: diesel</i>	Bibliográfica	Ometto (2005)
<i>Consumo de energia: combustível</i>	Bibliográfica	EPE (2008)
<i>Emissões para o ar: CO, HC, NO_x, MP</i>	Bibliográfica	Brasil (2002)
<i>Emissões para o solo: resíduos de cana, bambu, pinos, imbuia, resina UF, emulsão de parafina, sulfato de amônio</i>	Primária	Santos (2010)

Quadro 20: Fonte dos dados de inventário.
Fonte: Santos (2010).




Etapa 1: Chapas de bagaço de cana (m²)




Entradas	Consumo de recursos renováveis		Consumo de recursos não-renováveis		Consumo de recursos energia		
	Unidade: gramas		Unidade: gramas		Unidade: kWh		
	Bagaço de cana	17115,30		Diesel (caminhões)	893,53	Elétrica - estufa	80,36
						Elétrica - picador	2,84
						Elétrica - moinho	2,48
					Combustível - diesel	10,50	
TOTAL	17.115,30		TOTAL	893,53	TOTAL	96,18	

Saídas	Emissões para o ar		Emissões para a água		Emissões para o solo		
	Unidade: gramas		Unidade: gramas		Unidade: gramas		
	CO	22,03				Resíduos - pó cana	7335,30
	HC	6,93					
	MP	1,05					
NO _x	52,50						
TOTAL	82,51		TOTAL	0,00	TOTAL	7.335,30	

Quadro 21: Etapa 1 - Chapas de bagaço de cana.
Fonte: Santos (2010).

Etapa 1: Chapas de cavacos de pinos (m²)

Entradas	Consumo de recursos renováveis		Consumo de recursos não-renováveis		Consumo de recursos energia		
	Unidade: gramas		Unidade: gramas		Unidade: kWh		
	Cavacos de pinos	25635,60		Diesel (caminhões)	2185,94	Elétrica - estufa	60,18
						Elétrica - moinho	0,62
						Combustível - diesel	25,66
TOTAL	25.635,60		TOTAL	2.185,94	TOTAL	86,46	

Saídas	Emissões para o ar		Emissões para a água		Emissões para o solo		
	Unidade: gramas		Unidade: gramas		Unidade: gramas		
	CO	53,87				Resíduos - pó pinos	15855,60
	HC	16,93					
	MP	2,57					
NO _x	128,30						
TOTAL	201,67		TOTAL	0,00	TOTAL	15.855,60	

Quadro 22: Etapa 1 - Chapas de cavacos de pinos.
Fonte: Santos (2010).

Etapa 1: Chapas de folhas de bambu (m²)

Entradas	Consumo de recursos renováveis Unidade: gramas		Consumo de recursos não-renováveis Unidade: gramas		Consumo de recursos energia Unidade: kWh	
	Folhas de bambu	19149,00	Diesel (caminhões)	280,28	Elétrica - estufa	96,33
					Elétrica - picador	3,11
					Elétrica - moinho	1,16
					Combustível - diesel	3,29
TOTAL	19.149,00	TOTAL	280,28	TOTAL	103,89	

Saídas	Emissões para o ar Unidade: gramas		Emissões para a água Unidade: gramas		Emissões para o solo Unidade: gramas	
	CO	6,91			Resíduos - pó bambu	9369,00
	HC	2,17				
	MP	0,33				
	NO _x	16,45				
TOTAL	25,86	TOTAL	0,00	TOTAL	9.369,00	

Quadro 23: Etapa 1 - Chapas de folhas de bambu.
Fonte: Santos (2010).

Etapa 1: Chapas de cavacos de imbuia (m²)

Entradas	Consumo de recursos renováveis Unidade: gramas		Consumo de recursos não-renováveis Unidade: gramas		Consumo de recursos energia Unidade: kWh	
	Cavacos de imbuia	13590,90	Diesel (caminhões)	1238,94	Elétrica - estufa	38,29
					Elétrica - moinho	0,34
					Combustível - diesel	14,56
TOTAL	13.590,90	TOTAL	1.238,94	TOTAL	53,19	

Saídas	Emissões para o ar Unidade: gramas		Emissões para a água Unidade: gramas		Emissões para o solo Unidade: gramas	
	CO	30,58			Resíduos - pó imbuia	3810,90
	HC	9,61				
	MP	1,46				
	NO _x	72,80				
TOTAL	114,45	TOTAL	0,00	TOTAL	3.810,90	

Quadro 24: Etapa 1 - Chapas de cavacos de imbuia.
Fonte: Santos (2010).

Etapa 2: Chapas de bagaço de cana (m²)

	Consumo de recursos renováveis		Consumo de recursos não-renováveis		Consumo de recursos energia	
	Unidade: gramas		Unidade: gramas		Unidade: kWh	
Entradas	Bagaço de cana	9780,00	Resina UF	1494,00	Elétrica - balança	0,001
	Água	74,70	Emulsão de parafina	149,40	Elétrica - encoladeira	0,45
			Sulfato de amônio	22,20	Elétrica - prensa	7,09
			Diesel (caminhões)	5,15	Combustível - diesel	0,06
	TOTAL	9.854,70	TOTAL	1.670,75	TOTAL	7,60
	Emissões para o ar		Emissões para a água		Emissões para o solo	
	Unidade: gramas		Unidade: gramas		Unidade: gramas	
Saídas	CO	0,12	Resina UF	29,88	Resíduos - cana	877,13
	HC	0,03	Emulsão de parafina	2,99	Resina UF	131,31
	MP	0,01	Sulfato de amônio	0,44	Emulsão de parafina	13,13
	NO _x	0,30			Sulfato de amônio	1,95
	TOTAL	0,46	TOTAL	33,31	TOTAL	1.023,52

Quadro 25: Etapa 2 - Chapas de bagaço de cana.
Fonte: Santos (2010).

Etapa 2: Chapas de cavacos de pinos (m²)

	Consumo de recursos renováveis		Consumo de recursos não-renováveis		Consumo de recursos energia	
	Unidade: gramas		Unidade: gramas		Unidade: kWh	
Entradas	Cavacos de pinos	9780,00	Resina UF	1494,00	Elétrica - balança	0,001
	Água	74,70	Emulsão de parafina	149,40	Elétrica - encoladeira	0,53
			Sulfato de amônio	22,20	Elétrica - prensa	7,21
			Diesel (caminhões)	5,30	Combustível - diesel	0,06
	TOTAL	9.854,70	TOTAL	1.670,90	TOTAL	7,80
	Emissões para o ar		Emissões para a água		Emissões para o solo	
	Unidade: gramas		Unidade: gramas		Unidade: gramas	
Saídas	CO	0,12	Resina UF	29,88	Resíduos - pinos	902,03
	HC	0,03	Emulsão de parafina	2,99	Resina UF	135,04
	MP	0,01	Sulfato de amônio	0,44	Emulsão de parafina	13,50
	NO _x	0,30			Sulfato de amônio	2,01
	TOTAL	0,46	TOTAL	33,31	TOTAL	1.052,58

Quadro 26: Etapa 2 - Chapas de cavacos de pinos.
Fonte: Santos (2010).

Etapa 2: Chapas de folhas de bambu (m²)

	Consumo de recursos renováveis		Consumo de recursos não-renováveis		Consumo de recursos energia	
	Unidade: gramas		Unidade: gramas		Unidade: kWh	
Entradas	Folhas de bambu	9780,00	Resina UF	1494,00	Elétrica - balança	0,001
	Água	74,70	Emulsão de parafina	149,40	Elétrica - encoladeira	0,54
			Sulfato de amônio	22,20	Elétrica - prensa	6,84
			Diesel (caminhões)	6,46	Combustível - diesel	0,07
	TOTAL	9.854,70	TOTAL	1.672,06	TOTAL	7,45
	Emissões para o ar		Emissões para a água		Emissões para o solo	
	Unidade: gramas		Unidade: gramas		Unidade: gramas	
Saídas	CO	0,15	Resina UF	29,88	Resíduos - bambu	1098,72
	HC	0,05	Emulsão de parafina	2,99	Resina UF	164,49
	MP	0,01	Sulfato de amônio	0,44	Emulsão de parafina	16,45
	NO _x	0,35			Sulfato de amônio	2,44
	TOTAL	0,56	TOTAL	33,31	TOTAL	1.282,10

Quadro 27: Etapa 2 - Chapas de folhas de bambu.

Fonte: Santos (2010).

Etapa 2: Chapas de cavacos de imbuia (m²)

	Consumo de recursos renováveis		Consumo de recursos não-renováveis		Consumo de recursos energia	
	Unidade: gramas		Unidade: gramas		Unidade: kWh	
Entradas	Cavacos de imbuia	9780,00	Resina UF	1494,00	Elétrica - balança	0,001
	Água	74,70	Emulsão de parafina	149,40	Elétrica - encoladeira	0,53
			Sulfato de amônio	22,20	Elétrica - prensa	6,64
			Diesel (caminhões)	6,18	Combustível - diesel	0,07
	TOTAL	9.854,70	TOTAL	1.671,78	TOTAL	7,24
	Emissões para o ar		Emissões para a água		Emissões para o solo	
	Unidade: gramas		Unidade: gramas		Unidade: gramas	
Saídas	CO	0,15	Resina UF	29,88	Resíduos - imbuia	1052,33
	HC	0,05	Emulsão de parafina	2,99	Resina UF	157,54
	MP	0,01	Sulfato de amônio	0,44	Emulsão de parafina	15,75
	NO _x	0,35			Sulfato de amônio	2,34
	TOTAL	0,56	TOTAL	33,31	TOTAL	1.227,96

Quadro 28: Etapa 2 - Chapas de cavacos de imbuia.

Fonte: Santos (2010).

Etapa 3: Chapas de bagaço de cana (m²)

Entradas	Consumo de recursos renováveis	Consumo de recursos não-renováveis	Consumo de recursos energia
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: kWh
		Diesel (caminhões)	14,34
			Elétrica - serra
			0,11
			Elétrica - furadeira
			0,001
			Combustível - diesel
			0,17
TOTAL	0,00	TOTAL	14,34
		TOTAL	0,28

Saídas	Emissões para o ar	Emissões para a água	Emissões para o solo
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: gramas
	Formaldeído	0,60	Resíduos - cana
			2439,39
	CO	0,36	Resina UF
			365,19
	HC	0,11	Emulsão de parafina
			36,52
	MP	0,02	Sulfato de amônio
			5,43
	NO _x	0,85	
TOTAL	1,94	TOTAL	0,00
		TOTAL	2.846,53

Quadro 29: Etapa 3 - Chapas de bagaço de cana.
Fonte: Santos (2010).

Etapa 3: Chapas de cavacos de pinos (m²)

Entradas	Consumo de recursos renováveis	Consumo de recursos não-renováveis	Consumo de recursos energia
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: kWh
		Diesel (caminhões)	14,88
			Elétrica - serra
			0,11
			Elétrica - furadeira
			0,001
			Combustível - diesel
			0,17
TOTAL	0,00	TOTAL	14,88
		TOTAL	0,28

Saídas	Emissões para o ar	Emissões para a água	Emissões para o solo
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: gramas
	Formaldeído	0,60	Resíduos - pinos
			2530,22
	CO	0,36	Resina UF
			378,79
	HC	0,11	Emulsão de parafina
			37,88
	MP	0,02	Sulfato de amônio
			5,63
	NO _x	0,85	
TOTAL	1,94	TOTAL	0,00
		TOTAL	2.952,52

Quadro 30: Etapa 3 - Chapas de cavacos de pinos.
Fonte: Santos (2010).

Etapa 3: Chapas de folhas de bambu (m²)

Entradas	Consumo de recursos renováveis	Consumo de recursos não-renováveis	Consumo de recursos energia		
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: kWh		
		Diesel (caminhões)	13,43	Elétrica - serra	0,11
				Elétrica - furadeira	0,001
				Combustível - diesel	0,16
TOTAL	0,00	TOTAL	13,43	TOTAL	0,27

Saídas	Emissões para o ar	Emissões para a água	Emissões para o solo		
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: gramas		
	Formaldeído	0,60	Resíduos - bambu	2283,18	
	CO	0,34	Resina UF	341,80	
	HC	0,11	Emulsão de parafina	34,18	
	MP	0,02	Sulfato de amônio	5,08	
	NO _x	0,80			
TOTAL	1,87	TOTAL	0,00	TOTAL	2.664,24

Quadro 31: Etapa 3 - Chapas de folhas de bambu.

Fonte: Santos (2010).

Etapa 3: Chapas de cavacos de imbuia (m²)

Entradas	Consumo de recursos renováveis	Consumo de recursos não-renováveis	Consumo de recursos energia		
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: kWh		
		Diesel (caminhões)	13,50	Elétrica - serra	0,11
				Elétrica - furadeira	0,001
				Combustível - diesel	0,16
TOTAL	0,00	TOTAL	13,50	TOTAL	0,27

Saídas	Emissões para o ar	Emissões para a água	Emissões para o solo		
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: gramas		
	Formaldeído	0,60	Resíduos - imbuia	2295,38	
	CO	0,34	Resina UF	343,63	
	HC	0,11	Emulsão de parafina	34,36	
	MP	0,02	Sulfato de amônio	5,11	
	NO _x	0,80			
TOTAL	1,87	TOTAL	0,00	TOTAL	2.678,48

Quadro 32: Etapa 3 - Chapas de cavacos de imbuia.

Fonte: Santos (2010).

Etapa 4: Chapas de bagaço de cana (m²)

Entradas	Consumo de recursos renováveis	Consumo de recursos não-renováveis	Consumo de recursos energia
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: kWh
		Diesel (caminhões)	Combustível - diesel
		113,61	1,33
TOTAL	0,00	TOTAL	TOTAL
		113,61	1,33

Saídas	Emissões para o ar	Emissões para a água	Emissões para o solo
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: gramas
	CO		Resíduos - cana
	2,79		6463,48
	HC		Resina UF
	0,87		967,62
	MP		Emulsão de parafina
	0,13		96,76
	NO _x		Sulfato de amônio
	6,65		14,38
TOTAL	10,44	TOTAL	TOTAL
		0,00	7.542,24

Quadro 33: Etapa 4 - Chapas de bagaço de cana.
Fonte: Santos (2010).

Etapa 4: Chapas de cavacos de pinos (m²)

Entradas	Consumo de recursos renováveis	Consumo de recursos não-renováveis	Consumo de recursos energia
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: kWh
		Diesel (caminhões)	Combustível - diesel
		112,93	1,32
TOTAL	0,00	TOTAL	TOTAL
		112,93	1,32

Saídas	Emissões para o ar	Emissões para a água	Emissões para o solo
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: gramas
	CO		Resíduos - pinos
	2,77		6347,75
	HC		Resina UF
	0,87		950,29
	MP		Emulsão de parafina
	0,13		95,03
	NO _x		Sulfato de amônio
	6,60		14,12
TOTAL	10,37	TOTAL	TOTAL
		0,00	7.407,19

Quadro 34: Etapa 4 - Chapas de cavacos de pinos.
Fonte: Santos (2010).

Etapa 4: Chapas de folhas de bambu (m²)

Entradas	Consumo de recursos renováveis	Consumo de recursos não-renováveis	Consumo de recursos energia
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: kWh
		Diesel (caminhões)	113,22
			Combustível - diesel
			1,32
TOTAL	0,00	TOTAL	113,22
		TOTAL	1,32

Saídas	Emissões para o ar	Emissões para a água	Emissões para o solo
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: gramas
	CO	2,77	Resíduos - bambu
			6398,10
	HC	0,87	Resina UF
			957,83
	MP	0,13	Emulsão de parafina
			95,78
	NO _x	6,60	Sulfato de amônio
			14,23
TOTAL	10,37	TOTAL	0,00
		TOTAL	7.465,94

Quadro 35: Etapa 4 - Chapas de folhas de bambu.
Fonte: Santos (2010).

Etapa 4: Chapas de cavacos de imbuia (m²)

Entradas	Consumo de recursos renováveis	Consumo de recursos não-renováveis	Consumo de recursos energia
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: kWh
		Diesel (caminhões)	113,42
			Combustível - diesel
			1,33
TOTAL	0,00	TOTAL	113,42
		TOTAL	1,33

Saídas	Emissões para o ar	Emissões para a água	Emissões para o solo
	Unidade: gramas	Unidade: gramas	Unidade: gramas
	CO	2,79	Resíduos - imbuia
			6432,29
	HC	0,87	Resina UF
			962,95
	MP	0,13	Emulsão de parafina
			96,29
	NO _x	6,65	Sulfato de amônio
			14,31
TOTAL	10,44	TOTAL	0,00
		TOTAL	7.505,84

Quadro 36: Etapa 4 - Chapas de cavacos de imbuia.
Fonte: Santos (2010).

4.2 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

A partir dos dados levantados no inventário, é possível estabelecer os impactos ambientais potenciais das chapas de partículas. Para a AICV empregou-se o método EDIP, descrito por Wenzel et al. (1997), adotando-se as categorias de impactos ambientais:

- Consumo de recursos renováveis;
- Consumo de recursos não-renováveis;
- Consumo de recursos energéticos;
- Potencial de aquecimento global;
- Potencial de formação fotoquímica de ozônio troposférico;
- Potencial de acidificação;
- Potencial de eutrofização;
- Potencial de ecotoxicidade;
- Potencial de toxicidade humana.

Para cada categoria, Wenzel et al. (1997) apresentam uma lista de substâncias (que podem contribuir para aumentar o potencial de impacto da categoria) e os seus respectivos fatores de equivalência. Ao multiplicar o valor em massa de emissão das substâncias (levantadas no inventário) pelos fatores de equivalência, obtêm-se o potencial de impacto ambiental de cada categoria.

Entretanto, é importante destacar que, em virtude da escala deste trabalho, somente um número relativamente pequeno de substâncias emitidas pelas chapas de partículas foi possível de ser contabilizado em cada categoria, o que limita a abrangência do estudo a escala laboratorial de produção dos materiais avaliados. Ainda assim, todas as categorias obtiveram pontuações, possibilitando um panorama geral dos impactos ambientais das chapas de partículas produzidas a partir de resíduos. Os valores de para cada categoria de impacto estão expostos nos próximos itens.

Também é apropriado salientar que não foram realizados os elementos opcionais da AICV, como: a normalização dos dados, o agrupamento das categorias de impacto, a ponderação e a análise da qualidade dos dados utilizados. Recomenda-se a realização destes elementos opcionais em trabalhos futuros.

4.2.1 Consumo de recursos renováveis

Para o cálculo desta categoria de impactos, foi contabilizado o consumo de recursos renováveis, como o bagaço da cana, as folhas de bambu, os cavacos de pinos e imbuia, assim como a água (apenas foi considerada a água usada na Etapa 2 - Produção). Segundo Ometto (2005), não é necessário o uso de fatores de equivalência nesta categoria, de maneira que os valores de consumo (em gramas/m²) estão expostos no Quadro 37 e Figura 53.

Verifica-se que, o consumo de recursos ocorre majoritariamente durante a etapa de aquisição dos materiais, sendo irrelevante nas outras etapas. A chapa de pinos apresentou elevado consumo devido às características do resíduo utilizado, que continha um elevado teor de pó, diversamente do que ocorreu com as chapas de imbuia.

Consumo de recursos renováveis (g/m ²)				
Etapas	Chapas de cana	Chapas de pinos	Chapas de bambu	Chapas de imbuia
Etapa 1 - Aquisição dos materiais	17.115,30	25.635,60	19.149,00	13.590,90
Etapa 2 - Produção das chapas	74,70	74,70	74,70	74,70
Etapa 3 - Uso das chapas	0,00	0,00	0,00	0,00
Etapa 4 - Disposição dos resíduos	0,00	0,00	0,00	0,00
TOTAL	17.190,00	25.710,30	19.223,70	13.665,60

Quadro 37: Consumo de recursos renováveis.
Fonte: Santos (2010).

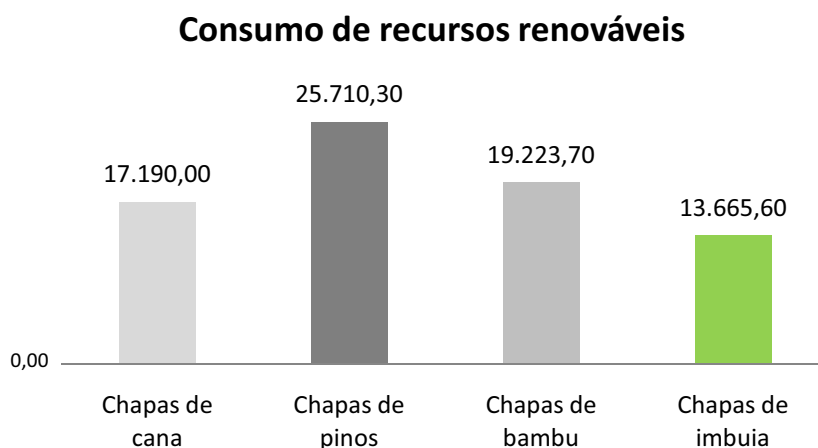


Figura 53: Gráfico do consumo de recursos renováveis.
Fonte: Santos (2010).

4.2.2 Consumo de recursos não-renováveis

Para o cálculo desta categoria de impactos, foi contabilizado o consumo de recursos não-renováveis, como o diesel, a resina UF e a emulsão de parafina (que são produtos derivados do petróleo), além do sulfato de amônio (que contém minerais em sua composição). De acordo com Ometto (2005), não é necessário o uso de fatores de equivalência nesta categoria, de maneira que os valores de consumo (em gramas/m²) estão expostos no Quadro 38 e Figura 54.

Conforme pode ser notado, o consumo de recursos não-renováveis ocorre em todas as fases do ciclo de vida das chapas. As diferenças observadas entre os tipos de chapas advêm principalmente do consumo de diesel, durante a aquisição dos materiais.

Consumo de recursos não-renováveis (g/m ²)				
Etapas	Chapas de cana	Chapas de pinos	Chapas de bambu	Chapas de imbuia
Etapa 1 - Aquisição dos materiais	893,53	2.185,94	280,28	1.238,94
Etapa 2 - Produção das chapas	1.670,75	1.670,90	1.672,06	1.671,78
Etapa 3 - Uso das chapas	14,34	14,88	13,43	13,50
Etapa 4 - Disposição dos resíduos	113,61	112,93	113,22	113,42
TOTAL	2.692,23	3.984,65	2.078,99	3.037,64

Quadro 38: Consumo de recursos não-renováveis.
Fonte: Santos (2010).

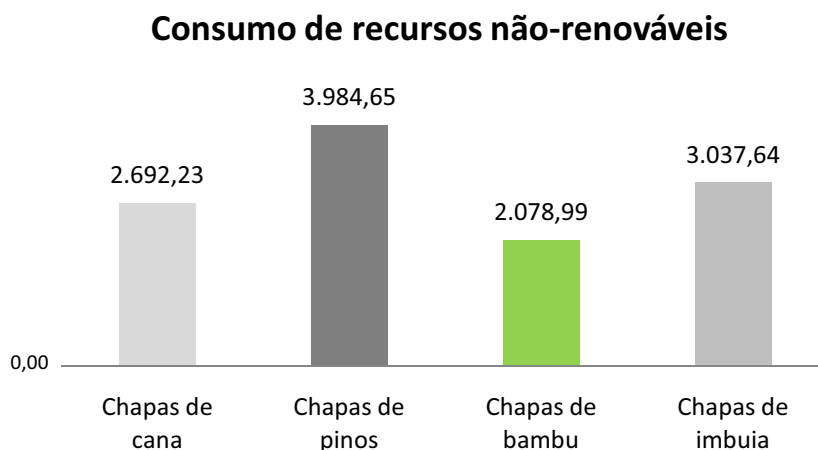


Figura 54: Gráfico do consumo de recursos não-renováveis.
Fonte: Santos (2010).

4.2.3 Consumo de recursos energéticos

Para o cálculo desta categoria de impactos, foi contabilizado tanto o consumo de energia elétrica (decorrente dos equipamentos usados na fabricação das chapas), quanto o consumo de energia calorífica (decorrente da queima de combustíveis fósseis). Segundo Ometto (2005), não é necessário o uso de fatores de equivalência nesta categoria, de maneira que os valores de consumo (em kWh/m²) estão expostos no Quadro 39 e Figura 55.

Verifica-se que, a etapa do ciclo de vida onde ocorre o maior consumo de energia é durante a aquisição dos materiais, sendo dois fatores determinantes: o consumo de combustível para a obtenção dos materiais e o elevado consumo de energia elétrica durante o tratamento das matérias-primas (estufa para secagem).

Consumo de recursos energéticos (kWh/m ²)				
Etapas	Chapas de cana	Chapas de pinos	Chapas de bambu	Chapas de imbuia
Etapa 1 - Aquisição dos materiais	96,18	86,46	103,89	53,19
Etapa 2 - Produção das chapas	7,60	7,80	7,45	7,24
Etapa 3 - Uso das chapas	0,28	0,28	0,27	0,27
Etapa 4 - Disposição dos resíduos	1,33	1,32	1,32	1,33
TOTAL	105,39	95,86	112,93	62,03

Quadro 39: Consumo de recursos energéticos.
Fonte: Santos (2010).

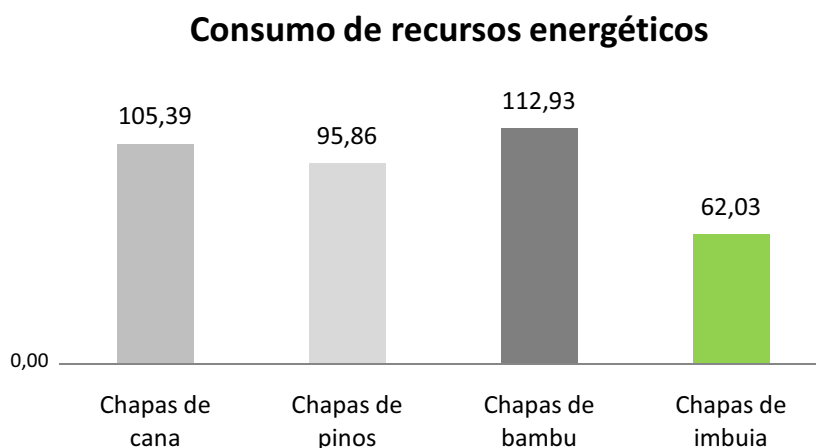


Figura 55: Gráfico do consumo de recursos energéticos.
Fonte: Santos (2010).

4.2.4 Potencial de aquecimento global

Para o cálculo desta categoria de impactos, foram contabilizadas as emissões de monóxido de carbono (CO) e hidrocarbonetos (HC). Os valores de emissão destes gases, quantificados no inventário, foram multiplicados pelos fatores de equivalência descritos em Wenzel et al. (1997) e estão dispostos no Quadro 40 e Figura 56.

Conforme os dados apresentados, a etapa que mais contribui nesta categoria é novamente a aquisição dos materiais, em função das emissões atmosféricas provenientes da queima de combustíveis fósseis. A diferença no potencial de aquecimento global observada entre as chapas é proporcional à distância percorrida da fonte de obtenção da material até a unidade de produção *versus* a massa do resíduo utilizada na produção das chapas.

Potencial de aquecimento global (g CO ₂ eq/m ²)				
Etapas	Chapas de cana	Chapas de pinos	Chapas de bambu	Chapas de imbuia
Etapa 1 - Aquisição dos materiais	64,85	158,53	20,33	89,99
Etapa 2 - Produção das chapas	0,33	0,33	0,45	0,45
Etapa 3 - Uso das chapas	1,05	1,05	1,01	1,01
Etapa 4 - Disposição dos resíduos	8,19	8,15	8,15	8,19
TOTAL	74,42	168,06	29,94	99,64

Quadro 40: Potencial de aquecimento global.
Fonte: Santos (2010).

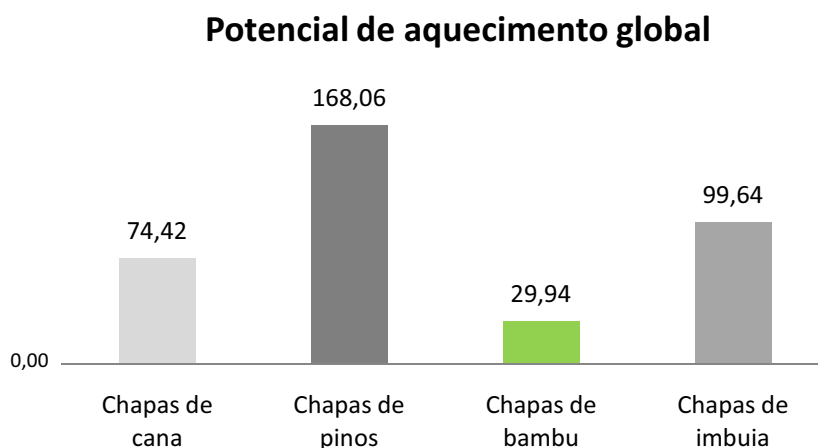


Figura 56: Gráfico do potencial de aquecimento global.
Fonte: Santos (2010).

4.2.5 Potencial de formação fotoquímica de ozônio troposférico

Para o cálculo desta categoria de impactos, foram contabilizadas as emissões de monóxido de carbono (CO) e de formaldeído. Os valores de emissão destes gases, quantificados no inventário, foram multiplicados pelos fatores de equivalência descritos em Wenzel et al. (1997) e estão dispostos no Quadro 41 e Figura 57.

Conforme pode ser verificado, a etapa que mais contribui nesta categoria é o uso das chapas, em função da emissão de formaldeído para o ar. No entanto, é importante destacar que o formaldeído também é emitido durante a produção das chapas, mas como não foram encontradas informações a respeito na literatura nacional, estas emissões não puderam ser contabilizadas. A diferença entre as chapas é devido à emissão de CO durante o transporte.

Potencial de formação fotoquímica de ozônio (g C ₂ H ₄ eq/m ²)				
Etapas	Chapas de cana	Chapas de pinos	Chapas de bambu	Chapas de imbuia
Etapa 1 - Aquisição dos materiais	0,661	1,616	0,207	0,917
Etapa 2 - Produção das chapas	0,004	0,004	0,005	0,005
Etapa 3 - Uso das chapas	24,010	24,010	24,010	24,010
Etapa 4 - Disposição dos resíduos	0,084	0,083	0,083	0,084
TOTAL	24,76	25,71	24,31	25,02

Quadro 41: Potencial de formação fotoquímica de ozônio.
Fonte: Santos (2010).

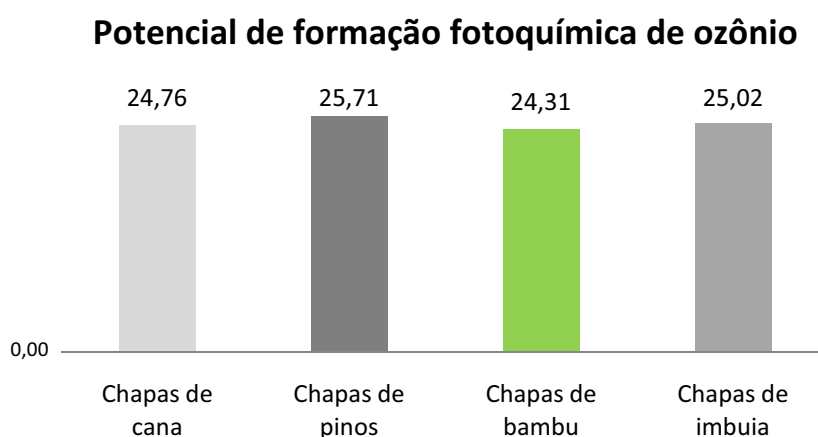


Figura 57: Gráfico do potencial de formação fotoquímica de ozônio.
Fonte: Santos (2010).

4.2.6 Potencial de acidificação

Para o cálculo desta categoria de impactos, foram contabilizadas as emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x). Os valores de emissão deste gás, quantificado no inventário, foram multiplicados pelos fatores de equivalência descritos em Wenzel et al. (1997) e estão dispostos no Quadro 42 e Figura 58.

Conforme observado, a etapa do ciclo de vida das chapas mais significativa com relação a esta categoria é a aquisição dos materiais, em virtude da fonte de emissão do NO_x ser a queima de combustíveis. Também pode ser verificado que, quanto maior a distância entre a origem das matérias-primas e a unidade de produção, maior é o impacto das chapas, vide os resultados apresentados pelas chapas de pinos confrontados com as de bambu.

Potencial de acidificação ($\text{g SO}_2\text{eq/m}^2$)				
Etapas	Chapas de cana	Chapas de pinos	Chapas de bambu	Chapas de imbuia
Etapa 1 - Aquisição dos materiais	36,75	89,81	11,52	50,96
Etapa 2 - Produção das chapas	0,21	0,21	0,25	0,25
Etapa 3 - Uso das chapas	0,60	0,60	0,56	0,56
Etapa 4 - Disposição dos resíduos	4,66	4,62	4,62	4,66
TOTAL	42,22	95,24	16,95	56,43

Quadro 42: Potencial de acidificação.
Fonte: Santos (2010).

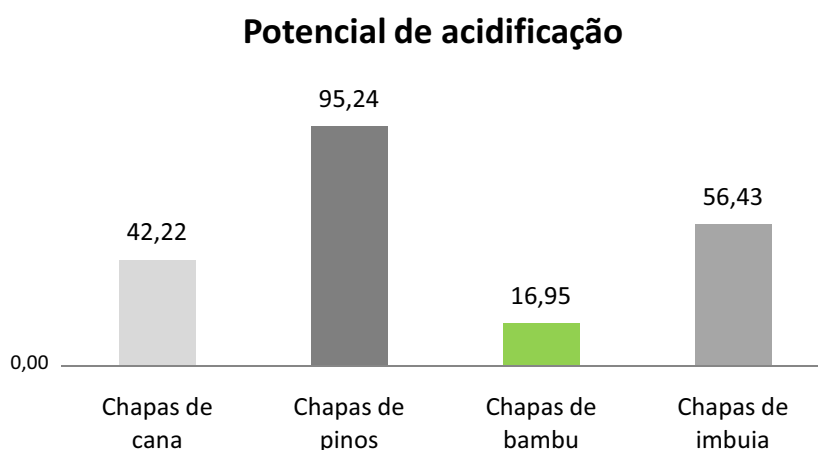


Figura 58: Gráfico do potencial de acidificação.
Fonte: Santos (2010).

4.2.7 Potencial de eutrofização

Para o cálculo desta categoria de impactos, foram contabilizadas as emissões de óxidos de nitrogênio (NO_x). Os valores de emissão deste gás, quantificado no inventário, foram multiplicados pelos fatores de equivalência descritos em Wenzel et al. (1997) e estão dispostos no Quadro 43 e Figura 59.

Assim como no item anterior, a etapa que apresenta a maior contribuição nesta categoria é a aquisição dos materiais, em função do uso do mesmo parâmetro para avaliação: a emissão de NO_x proveniente da queima de combustíveis. Desse modo, as chapas de bambu apresentaram os menores índices de potencial de eutrofização justamente pela pequena distância entre a área de plantação e a unidade de produção das chapas.

Potencial de eutrofização ($\text{g NO}_3^- \text{eq/m}^2$)				
Etapas	Chapas de cana	Chapas de pinos	Chapas de bambu	Chapas de imbuia
Etapa 1 - Aquisição dos materiais	70,88	173,21	22,21	98,28
Etapa 2 - Produção das chapas	0,41	0,41	0,47	0,47
Etapa 3 - Uso das chapas	1,15	1,15	1,08	1,08
Etapa 4 - Disposição dos resíduos	8,98	8,91	8,91	8,98
TOTAL	81,42	183,68	32,67	108,81

Quadro 43: Potencial de eutrofização.
Fonte: Santos (2010).

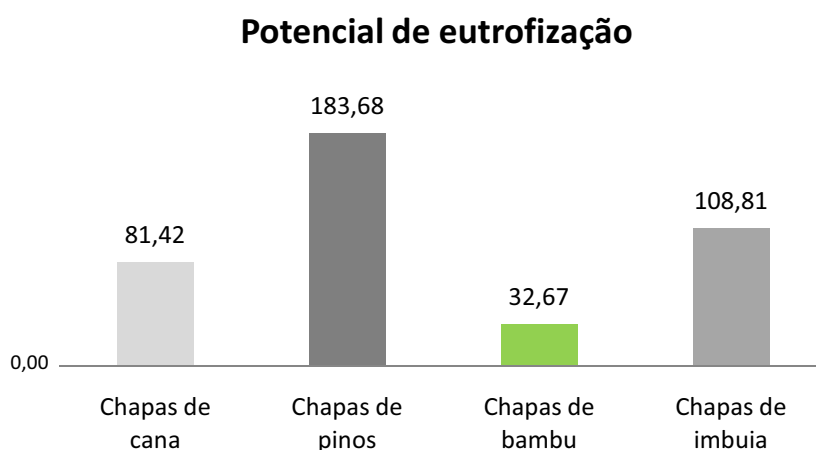


Figura 59: Gráfico do potencial de eutrofização.
Fonte: Santos (2010).

4.2.8 Potencial de ecotoxicidade

Para o cálculo desta categoria de impactos, foram contabilizadas somente as emissões de formaldeído. Os valores de emissão deste gás, quantificado no inventário, foram multiplicados pelos fatores de equivalência descritos em Wenzel et al. (1997).

Como a única etapa que apresentava potencial de ecotoxicidade é a de uso das chapas (em função da emissão de formaldeído), os dados desta categoria estão dispostos de modo distinto. O Quadro 44 apresenta os valores de potencial de ecotoxicidade das chapas de partículas para a etapa 3 (uso das chapas), considerando somente a emissão de formaldeído para o ar. É importante salientar que as chapas também emitem formaldeído durante outras etapas de seu ciclo de vida, como a etapa 2 (produção) e 3 (disposição), contudo, como estas emissão não puderam ser contabilizadas (em função da escassez de dados a respeito na literatura), não foram incluídas nesta categoria.

De acordo com os fatores de equivalência propostos por Wenzel et al. (1997) a emissão de formaldeído para o ar é capaz de contaminar a água e o solo (compartimentos ambientais) de maneira crônica. Assim, para diluir a quantidade de formaldeído emitida por 1 m² das chapas de partículas (de modo a neutralizar o seu efeito de ecotoxicidade), são necessários 14 m³ de água e 120 m³ de solo. Os dados não foram dispostos na forma de gráfico, pois, como foi utilizado um valor único de emissão para todas as chapas, não puderam ser observadas diferenças nos resultados, entre uma chapa e outra.

Potencial de ecotoxicidade (m ³ /m ²)				
Compartimento ambiental	Chapas de cana	Chapas de pinos	Chapas de bambu	Chapas de imbuia
Água - Ecotoxicidade crônica (m ³ de água/m ² de chapa)	14,40	14,40	14,40	14,40
Água - Ecotoxicidade aguda (m ³ de água/m ² de chapa)	0,00	0,00	0,00	0,00
Solo - Ecotoxicidade crônica (m ³ de solo/m ² de chapa)	120,00	120,00	120,00	120,00

Quadro 44: Potencial de ecotoxicidade.
Fonte: Santos (2010).

4.2.9 Potencial de toxicidade humana

Para o cálculo desta categoria de impactos, foram contabilizadas as emissões de monóxido de carbono (CO) e de formaldeído. Os valores de emissão destes gases, quantificados no inventário, foram multiplicados pelos fatores de equivalência propostos por Wenzel et al. (1997) e estão dispostos no Quadro 45 e Figura 60.

Conforme observado, a etapa onde pode ser apontado o maior potencial de toxicidade humana é durante o uso das chapas, em decorrência da emissão de formaldeído. Os valores que estão apresentados no Quadro 45 são referentes às emissões para o ar. Ainda são necessários cerca de 0,0000132 m³ de água e 0,00348 m³ de solo para dissolver o formaldeído emitido pelas chapas de modo que não apresente toxicidade humana.

Potencial de toxicidade humana (m ³ de ar/m ²)				
Etapas	Chapas de cana	Chapas de pinos	Chapas de bambu	Chapas de imbuia
Etapa 1 - Aquisição dos materiais	18.284,90	44.712,10	5.735,30	25.381,40
Etapa 2 - Produção das chapas	99,60	99,60	124,50	124,50
Etapa 3 - Uso das chapas	7.800.298,80	7.800.298,80	7.800.282,20	7.800.282,20
Etapa 4 - Disposição dos resíduos	2.315,70	2.299,10	2.299,10	2.315,70
TOTAL	7.820.999,00	7.847.409,60	7.808.441,10	7.828.103,80

Quadro 45: Potencial de toxicidade humana.
Fonte: Santos (2010).

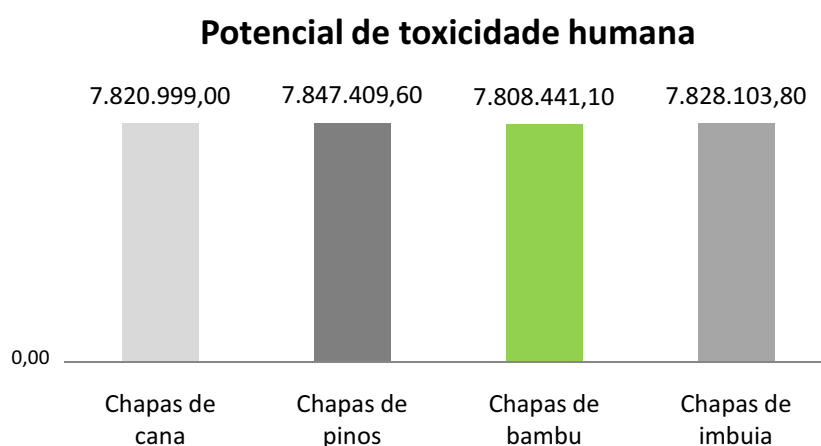


Figura 60: Gráfico do potencial de toxicidade humana.
Fonte: Santos (2010).

4.3 Interpretação do Ciclo de Vida

Segundo a Norma NBR ISO 14044 (2009, p. 24), a interpretação do ciclo de vida de um produto inclui diversos elementos, tais como: a identificação de questões significativas com base nos resultados do ICV e AICV, a avaliação geral do estudo, as conclusões, limitações e recomendações do estudo. Estes elementos estão descritos nos itens seguintes.

- **Identificação de questões significativas**

Com relação aos resultados gerais da ACV das diferentes chapas analisadas, verifica-se um melhor desempenho ambiental das chapas compostas de folhas de bambu, em virtude de seu menor consumo de recursos renováveis e não-renováveis, bem como seu menor potencial de impacto ambiental nas demais categorias avaliadas. Já as chapas compostas de cavacos de pinos apresentaram o pior desempenho ambiental, em função de seu maior consumo de recursos renováveis e não-renováveis, bem como seu maior potencial de impacto ambiental nas demais categorias analisadas.

No entanto, observou-se uma anomalia nos resultados na categoria de consumo de recursos energéticos: as chapas compostas de folhas de bambu apresentaram o pior desempenho ambiental. Isso se deve ao fato de que, as folhas caulinares de bambu, assim como os outros materiais, precisam ser secas em estufa antes de serem utilizadas na produção das chapas. Contudo, em função do seu elevado volume, é necessário um maior dispêndio de tempo e energia para a sua secagem. Deste modo, esse é um ponto do processo produtivo das chapas de bambu onde se podem realizar intervenções para torná-la mais eficiente ambientalmente.

Com relação ao processo produtivo das chapas, observa-se que cada uma das etapas contribui de modo distinto para aumentar os impactos das chapas nas categorias analisadas.

Pode-se dizer que a Etapa 1 (aquisição dos materiais), é a principal responsável pelo aumento dos impactos nas categorias de consumo de recursos renováveis, recursos energéticos, potencial de aquecimento global, potencial de acidificação e potencial de eutrofização. Este aumento se deve, principalmente, em função da emissão de gases provenientes da queima de combustíveis fósseis durante o transporte dos materiais para a produção das chapas.

Já a Etapa 2 (produção das chapas), é a principal responsável pelo aumento dos impactos na categoria de consumo de recursos não-renováveis, em virtude do uso de insumos de fontes não-renováveis, como os derivados do petróleo (resina UF e emulsão de parafina) e aqueles que contêm minerais em sua composição (sulfato de amônio).

A Etapa 3 (uso das chapas), é a principal responsável pelo aumento dos impactos nas categorias de potencial de formação fotoquímica do ozônio, potencial de ecotoxicidade e potencial de toxicidade humana, em função da emissão de formaldeído decorrente do uso da resina UF na aglomeração das chapas.

Em contrapartida, a Etapa 4 (disposição dos resíduos), não apresentou uma contribuição significativa nos impactos ambientais. No entanto, é muito importante destacar que não foram consideradas as consequências ambientais do descarte das chapas contendo formaldeído, em virtude da escassez de dados a respeito na literatura nacional. Se estes parâmetros fossem considerados, a etapa de disposição final das chapas com certeza apresentaria um maior potencial de impacto ambiental.

Conforme pôde ser observado nos resultados de ICV e AICV das chapas de partículas, existem muitos pontos críticos no processo produtivo onde se podem efetuar melhorias, a fim de melhorar o desempenho ambiental das chapas de partículas compostas de resíduos.

- **Conclusões, limitações e recomendações**

Em virtude deste estudo de ACV ter sido realizado ainda durante o desenvolvimento dos produtos analisados, se caracteriza como um estudo baseado em suposições e de abrangência limitada. Ainda é preciso salientar, que este estudo limita-se ao processo produtivo das chapas de partículas compostas de resíduos, de modo que não foram abrangidos pelo trabalho os impactos ambientais provenientes dos sistemas produtivos das matérias-primas e insumos, que poderiam certamente ser objeto de estudo de futuros trabalhos. Desta maneira, o presente trabalho deve ser entendido apenas como um primeiro passo na investigação dos impactos ambientais decorrentes dessa atividade.

5. Conclusões e recomendações

Com o objetivo de melhor compreender os impactos ambientais decorrentes da construção civil, o presente trabalho procurou explorar as diferentes dimensões da questão e, em função da própria pluralidade do assunto, optou-se por uma abordagem interdisciplinar, que hora se volta para as origens históricas do problema, hora se preocupa em quantificar estes danos, para somente depois, sugerir alternativas e soluções.

De acordo com os resultados obtidos, as chapas produzidas a partir das folhas caulinares de bambu foram as que apresentaram os menores potenciais de impactos ambientais, nas categorias de: consumo de recursos não-renováveis, potencial de aquecimento global, potencial de formação fotoquímica de ozônio, potencial de acidificação, potencial de eutrofização e potencial de toxicidade humana. Em contrapartida, as chapas de cavacos de pinos foram as que apresentaram os maiores potenciais de impactos ambientais, nas categorias: consumo de recursos renováveis, consumo de recursos não-renováveis, potencial de aquecimento global, potencial de formação fotoquímica de ozônio, potencial de acidificação, potencial de eutrofização e potencial de toxicidade humana.

Dentre os fatores que mais influenciaram no aumento do potencial de impactos ambientais das chapas avaliadas, podem ser citados: a distância entre a fonte de origem das matérias-primas e a unidade de produção, a porcentagem de perdas do resíduo utilizado e o uso de insumos considerados altamente tóxicos, como a resina UF.

Dessa maneira, uma pesquisa que objetive desenvolver um material de construção mais sustentável, além de incorporar resíduos em sua fabricação, também deve observar as seguintes recomendações:

- Dar preferência para insumos e matérias-primas de origem regional, pois o uso intensivo de transporte é um dos fatores que pode contribuir de maneira decisiva no aumento do potencial de impacto ambiental de um produto;
- Verificar a disponibilidade, o coeficiente de aproveitamento e a disposição correta dos resíduos que poderão ser gerados no processo produtivo deste novo produto que está sendo desenvolvido;

- Não utilizar insumos potencialmente tóxicos na composição do produto, como o formaldeído, que, conforme foi verificado na ACV das chapas, foi o fator mais importante na determinação do potencial de impacto ambiental do material, contribuindo principalmente nas categorias de toxicidade humana e ecotoxicidade.

Mesmo com todo o potencial de impactos ambientais levantados pelo estudo, a reciclagem/reutilização de resíduos em novos materiais ainda apresenta muitos benefícios para o meio ambiente quando comparada com outros processos de disposição final, como a incineração e a disposição em aterros (sem mencionar os lixões a céu aberto, ainda existentes e muito frequentes no país). Porém, antes de qualquer afirmação relativa à sustentabilidade deste novo material, se faz necessário efetuar uma avaliação mais acurada, sistêmica e interdisciplinar de seu potencial de impactos ambientais, e a ACV se mostrou uma ferramenta satisfatória para atingir este objetivo.

Para finalizar, é muito importante salientar que estes questionamentos não devem ser entendidos como entraves para o desenvolvimento de novos materiais produzidos a partir de resíduos, mas sim, como uma contribuição para futuros trabalhos na área, para que as pesquisas realizadas com este intuito estejam cada vez mais próximas da realidade e do conceito de sustentabilidade.

5.1 Sugestões para futuros trabalhos

Seguem algumas sugestões para pesquisas futuras:

- Realizar a ACV de um processo produtivo industrial de chapas de partículas, para comparação com os resultados obtidos em laboratório;
- Realizar a ACV de chapas de partículas compostas de madeiras tradicionais, para comparação com os resultados obtidos com as chapas compostas de resíduos;
- Realizar a ACV dos insumos utilizados na produção das chapas de partículas;
- Estender o escopo do estudo, de modo que o sistema de produto possa abranger a fase de plantio das matérias-primas;
- Considerar outras hipóteses de disposição final dos resíduos provenientes do sistema produtivo analisado, o que certamente irá influenciar em seu potencial de impactos.

Referências Bibliográficas

- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR 15575-1: Edifícios habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho. Parte 1: Requisitos gerais*. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR ISO 14040: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas. *NBR ISO 14044: Gestão Ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações*. Rio de Janeiro: ABNT, 2009.
- ABREA Associação Brasileira dos Expostos ao Amianto. *O Amianto mata. Net, Osasco, 2010. Projeto da campanha "O Amianto Mata"*. Disponível em: <<http://www.abrea.org.br>>. Acesso em: 22 de mar. de 2010.
- ADALBERTH, K.; ALMGREN, A.; PETERSEN, E. H. Life cycle assessment of four multi family buildings. *International Journal of Low Energy and Sustainable Building*, v. 2, 2001.
- AMF Benefícios dos forros modulares e removíveis AMF. Net, Disponível em: <<http://www.amf-brasil.com.br>>. Acesso em: 20 ago. de 2010.
- AMOÊDA, R.; JALALI, S.; MENDONÇA, P. Modelo de avaliação do potencial de desconstrução efectivo de um edifício na fase de concepção. In: CONFERÊNCIA NACIONAL DO AMBIENTE, 9, 2007, Aveiro, *Anais... Aveiro*, 2007.
- ARAGÃO, A. P. *Estimativa da contribuição do setor petróleo ao produto interno bruto brasileiro: 1955/2004*. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.
- ARANTES, L. O. *Avaliação comparativa do ciclo de vida de sistemas de aquecimento solar de água utilizados em habitações de interesse social*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.
- ARDENTE, F.; BECCALI, G.; CELLURA, M.; LO BRANO V. Life cycle assessment of a solar thermal collector. *Renewable Energy*, Oxford, v. 30, n. 7, p. 1031–1054, 2005.
- ARENA, A. P.; ROSA, C. Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza - Argentina. *Building and Environment*, New York, v. 38, n. 2, p. 359–368, 2003.
- ASIF M.; MUNEEER, T.; KELLEY, R. Life cycle assessment: a case study of a dwelling home in Scotland. *Building and Environment*, New York, v. 42, n. 3, p. 1391-1394, 2007.
- ASPACER Associação Paulista das Cerâmicas de Revestimento. *Estatísticas 2006: principais produtores mundiais. Net, Santa Gertrudes, 2010*. Disponível em: <www.aspacer.com.br> Acesso em: 20 de mar. de 2010.

ATHENA Sustainable Materials Institute. *Sustainable building technical manual*. Green building design, construction and operations. Produced by Public Technology Inc. - USA Green Building Council, 1996. 292 p.

AZZINI, A.; SALGADO, L. A. Possibilidades agrícolas e industriais do bambu. *O Agrônomo*, Campinas, v. 3, p. 61-80, 1981.

BAIRD, C. Química ambiental. Tradução Maria Angeles Lobo Recio; Luiz Carlos Marques Carrera. 2 ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BANCO MUNDIAL Poverty: Current Estimates and Outlook. *Net*, 2009. Disponível em: <<http://web.worldbank.org>>. Acesso em: 28 de mar. de 2010.

BANHAM, R. *La arquitectura del entorno bien climatizado*. Buenos Aires: Infinito, 1975.

BARBOZA, E. M. F. Rotulagem ambiental: Rótulos ambientais e Análise do Ciclo de Vida (ACV). Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. *Net*, São Paulo, 2001. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/publicacoes/realtorios/RotulagemAmbiental.pdf/view>>. Acesso em: 15 de mar. de 2010.

BARE, J.; NORRIS, G.; PENNINGTON, D.; MCKONE T. TRACI – Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environment Impacts. *Journal of Industrial Ecology*, Connecticut, v. 6, n. 3-4, p. 49-78, 2003.

BASSOI, L. J.; GUAZELLI, M. R. Controle ambiental da água. In: PHILIPPI JR., A.; ROMERO, M. A.; BRUNA, G. C. (Org.) *Curso de gestão ambiental*. Barueri: Manole, 2004. cap. 3.

BATTISTELLE, R. A. G.; CATOSSE, C. B. Sustainability: use of sugar cane bagasse and bamboo leaves to produce sealing boards. In: ANNUAL PRODUCTION AND OPERATIONS MANAGEMENT SOCIETY CONFERENCE, 20, 2009, Orlando. *Anais...* Orlando: POMS, 2009.

BATTISTELLE, R. A. G.; VALARELLI, I. D.; SAMPAIO, R. M.; NASCIMENTO, M. F. Chapa aglomerada homogênea de bambu da espécie *Dendrocalamus giganteus*: análise da resistência a flexão quando da adição de folha caulinar. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 11, 2008, Londrina. *Anais...* São Carlos: IBRAMEM, 2008.

BENEVOLO, L. *História da cidade*. Tradução Sílvia Mazza. São Paulo: Perspectiva, 1983.

BERGAN, K. Casa saudável: um estudo sobre os sentidos da moradia. Estudo de caso: conjunto Pedro I, Realengo, Rio de Janeiro/RJ. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2005.

BORGES, F. J. *Inventário do ciclo de vida do PVC produzido no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 001 de 23 de janeiro de 1986. Define as situações e estabelece os requisitos e condições para desenvolvimento de Estudo de Impacto Ambiental – EIA e respectivo Relatório de Impacto Ambiental – RIMA.

Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 fev. 1986. Seção 1, p. 2548-2549.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 15 de 13 de dezembro de 1995. Dispõe sobre a nova classificação dos veículos automotores para o controle da emissão veicular de gases, material particulado e evaporativo, e dá outras providências. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 29 dez. 1995. Seção 1, p. 22876-22877.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 307 de 5 de julho de 2002. Estabelece diretrizes, critérios e procedimentos para a gestão dos resíduos da construção civil. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 17 jul. 2002. Seção 1, p. 95-96.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução Conama nº 315 de 29 de outubro de 2002. Dispõe sobre a nova etapa do Programa de Controle de Emissões Veiculares - PROCONVE. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 20 nov. 2002. Seção 1, p. 90-92.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Atenção à saúde dos trabalhadores: Expostos ao chumbo metálico*. Série A. Normas e Manuais Técnicos. Brasília: Editora MS, 2006.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Instrução Normativa nº 6 de 23 de setembro de 2008. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Poder Executivo, Brasília, DF, 24 set. 2008. Seção 1, p. 75-83.

BRUGNARA, G. A. *Florestas, madeira e habitações: Análise energética e ambiental da produção e uso de madeira como uma contribuição ao desafio da valorização da Floresta Amazônica*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

BUTERA, F. M. *Da caverna à casa ecológica*. História do conforto e da energia. Tradução Elza Bassetto. São Paulo: Nova Técnica, 2009.

CARSON, R. L. *Silent spring*. New York: Houghton Mifflin Company, 1962.

CARVALHO, J. *Análise de Ciclo de Vida ambiental aplicada à construção civil* - Estudo de caso: comparação entre cimentos Portland com adição de resíduos. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

CASSETI, V.; COSTA, J. E. A. M. Algumas considerações sobre o ozônio e o projeto ozônio em Goiás. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v. 9/10, n. 1/2, p. 21-42, 1989.

CASTRO, S. B.; ANDRADE, S. A. C. *Tecnologia do açúcar*. Recife: Editora Universitária da UFPE, 2007. (Livro-Texto; 6).

CHEHEBE, J. R. B. *Análise do Ciclo de Vida de produtos*. Ferramenta gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1998.

CIB e UNEP-IETC International Council for Research and Innovation in Building and Construction. *Agenda 21 for Sustainable Construction in Developing Countries*. Pretoria: CSIR Building and Construction Technology, 2002.

CIB International Council for Research and Innovation in Building and Construction. *Agenda 21 on Sustainable Construction*. Rotterdam: CIB, 1999.

CITHERLET, S.; DI GUGLIELMO, F.; GAY, J. B. Window and advanced glazing systems life cycle assessment. *Energy and Buildings*, Lausanne, v. 32, n. 3, p. 225-234, 2000.

COSTA, F. D. Ministro das Cidades anuncia queda do déficit habitacional brasileiro. *Revista Sustentabilidade. Net*, 2010. Disponível em: <<http://www.revistasustentabilidade.com.br>> Acesso em: 20 de ago. de 2010.

DIAS, F. M.; LAHR, F. A. R. Alternative castor oil-based polyurethane adhesive used in the production of plywood. *Materials Research*, São Carlos, v. 7, n. 3, p. 413-420, 2004.

EGAS, L. *Análise pluridimensional da sustentabilidade do ciclo de vida de um sistema estrutural de cobertura em madeira de Pinus*. Caso: assentamento rural Pirituba II. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2008.

ENEA Italian National Agency for New Technologies, Energy and Sustainable Economic Development. *Libro Bianco Energia Ambiente Edificio*. Roma: FINCO, 2004.

EPA Environmental Protection Agency. *Environmental labeling issues, policies, and practices worldwide*. Washington: EPA, 1998.

EPA Environmental Protection Agency. *The use of Life Cycle Assessment in environmental labeling*. Washington: EPA, 1993.

EPE Empresa de Pesquisa Energética. *Balanço Energético Nacional 2008: Ano base 2007*. Rio de Janeiro: EPE, 2008.

FIRMEZA, S. M.; MAIA, L. P. Caracterização física dos resíduos sólidos domiciliares de Fortaleza: implicações para a determinação do seu potencial reciclável/poluidor. *Arquivos em Ciências do Mar*, Fortaleza, v. 41, n. 1, p.74-80, 2008.

FONSECA, R. C. Z. *O PVC e a sustentabilidade ambiental: Marcos históricos e o caso Amanco Brasil*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

GONÇALVES, M. T. T. *Processamento da Madeira*. Bauru: Document Center Xerox - USC, 2000.

GRIGOLETTI, G. C. *Caracterização de impactos ambientais de indústrias de cerâmica vermelha no estado do Rio Grande do Sul*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2001.

GUÉRON, A. L. *Rotulagem e certificação ambiental: uma base para subsidiar a análise da certificação florestal no Brasil*. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2003.

- GUSTAVSSON, L.; SATHRE, R. Variability in energy and carbon dioxide balances of wood and concrete building materials. *Building and Environment*, New York, v. 41, n. 7, p. 940-951, 2006.
- HUANG, Y.; BIRD, R.; HEIDRICH, O. Development of a life cycle assessment tool for construction and maintenance of asphalt pavements. *Journal of Cleaner Production*, Graz, v. 17, n. 2, p. 283-296, 2009.
- HUMPHREYS, K.; MAHASANAN, M. Climate Change. In: BATTELLE. *Toward a sustainable cement industry*. World Business Council for Sustainable Development, 2002. cap. 8.
- HUSEIN, H. H. C. *Análise de Ciclo de Vida na fabricação de reservatórios de água de fibra de vidro*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2004.
- IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Contagem da população 2007*. Notas técnicas. Rio de Janeiro: IBGE, 2007.
- ICIDCA Instituto Cubano de Pesquisa dos Derivados da Cana-de-Açúcar. *Manual dos derivados da cana-de-açúcar: diversificação, matérias-primas, derivados do bagaço, derivados do melaço, outros derivados, resíduos, energia*. Brasília: ABIPTI, 1999.
- IPCC Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2007: Synthesis Report*. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. In: PACHAURI, R. K.; REISINGER, A. (Org.) Geneva: IPCC, 2007.
- IPVC Instituto do PVC. O PVC na Indústria de Construção. *Net*, 2010. Disponível em: <<http://www.institutodopvc.org>>. Acesso em: 12 de jul. de 2010.
- ITOH, Y.; KITAGAWA, T. Using CO₂ emission quantities in bridge life cycle analysis. *Engineering Structures*, n. 25, p. 565-577, 2003.
- IUCN. IUCN Red List of Threatened Species. Version 2010.1. *Net*, 2010. Disponível em: <<http://www.iucnredlist.org>>. Acesso em: 21 de jun. de 2010.
- IWAKIRI, S.; KLOCK, U.; ROCHA, M. P.; SEVERO, E. T. D.; RINCOSKI, C. R.; BORTOLETTO JUNIOR, G.; PIO, N. S. Mistura de espécies na produção de chapas de partículas estruturais "waferboard". *Revista do Setor de Ciências Agrárias*, Curitiba, v. 14, n. 1-2, p. 107-114, 1995.
- JENSEN, A. A. *Life Cycle Assessment (LCA)*. A Guide to approaches, experiences and information sources. Environmental Issues Series, n. 6. United Kingdom: European Environment Agency, 1997.
- JIAN, G.; JIANG, L.; KAZURONI, H. Life cycle assessment in the environmental impact evaluation of urban development – a case study of land readjustment project, Hyogo District, Japan. *Journal of Zhejiang University Science*, Hangzhou, v. 4, n. 6, p. 702-708, 2003.
- JOBIM, M. S. S.; JOBIM FILHO, H. Sistema de avaliação de materiais e componentes na indústria da construção civil: integração das cadeias produtivas. In: SATTLER, M. A.; PEREIRA, F. O. R. (Org.) *Construção e meio ambiente*. Porto Alegre: ANTAC, 2006. cap. 8.

JOHN, V. M. *Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento*. Tese (Livre Docência) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, V. M.; ANGULO, S. C.; KAHN, H. Controle da qualidade dos agregados de resíduos de construção e demolição reciclados para concretos a partir de uma ferramenta de caracterização. In: SATTler, M. A.; PEREIRA, F. O. R. (Org.) *Construção e meio ambiente*. Porto Alegre: ANTAC, 2006. cap. 6.

JOHN, V. M.; SATO, N. M. N. Durabilidade de componentes da construção. In: SATTler, M. A.; PEREIRA, F. O. R. (Org.) *Construção e meio ambiente*. Porto Alegre: ANTAC, 2006. cap. 2.

JUNNILA, S. Life cycle assessment of environmentally significant aspects of an office building. *Nordic Journal Surveying and Real Estate Research, Special Series*, v. 2, 2004.

KLEIN, S. E. S. *Diretrizes de gestão ambiental na indústria da construção civil de edificações*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Regional de Blumenau, Blumenau, 2002.

KORONEOS, C.; DOMPROS, A. Environmental assessment of brick production in Greece. *Building and Environment*, New York, v. 42, n. 5, p. 2114-2123, 2007.

KORONEOS, C.; KOTTAS, G. Energy consumption modeling analysis and environmental impact assessment of model house in Thessaloniki - Greece. *Building and Environment*, New York, v. 42, n. 1, p. 122-138, 2007.

KUHN, E. A. *Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social Alvorada*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

LEÃO, R. M. *A floresta e o homem*. São Paulo: Editora da Universidade de São Paulo; Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais, 2000.

LEMOS, C. A. C. *História da casa brasileira*. 2. ed. São Paulo: Contexto, 1996. (Coleção Repensando a história).

LESSMANN, V. E. *Estudo da reação de cura de resinas uréia-formol por espectrometria de ressonância magnética nuclear*. Dissertação (Mestrado em Química) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2008.

LEWIS, H.; DEMMERS, M. Life Cycle Assessment and Environmental Impact. *Australian Journal of Environmental Management*, Melbourne, v. 3, n. 2, p. 110 - 123, jun. 1996.

LORENZI, H. *Árvores Brasileiras: manual de identificação e cultivo de plantas arbóreas nativas do Brasil*, v. 1, 4. ed. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2002.

LORENZI, H.; SOUZA, H. M.; TORRES, M. A. V.; BACHER, L. B. *Árvores exóticas no Brasil: madeireiras, ornamentais e aromáticas*. Nova Odessa: Instituto Plantarum, 2003.

MACEDO, L.; MARQUES, A.; JOANAZ DE MELO, J. Aplicação da metodologia EcoBlock ao projecto de um centro comercial. In: CONGRESSO SOBRE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL, 1, Porto, 2004. *Anais...* Porto: OE/APEA, 2004.

MANFREDINI, C. *Identificação dos Impactos Ambientais causados pela indústria de cerâmica vermelha do Rio Grande do Sul*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2003.

MANO, R. S. *A captação residencial de água da chuva para fins não potáveis em Porto Alegre: Aspectos básicos da viabilidade e benefícios do sistema*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

MASCARÓ, L. Iluminação e arquitetura: Sua evolução através do tempo. *Revista Arquitectos*, São Paulo, n. 63, e324, ago. 2005.

MASTELLA, D. V. *Comparação entre os processos de produção de blocos cerâmicos e de concreto para alvenaria estrutural, através da Análise do Ciclo de Vida*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

MCCLURE, F. A. *The Bamboos*. Boston: Harvard University Press, 1993.

MCCORMICK, J. *Rumo ao paraíso: a história do movimento ambientalista*. Rio de Janeiro: Relume-Dumará, 1992.

MELO, J.; PEGADO, C. Ecoblock: A method for integrated environmental performance evaluation of companies and products (construction case-study). In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON ECOBALANCE, 5, Tsukuba, 2002. *Anais...* Tsukuba: The Society of Non-traditional Technology, 2002. p. 399-402.

MIYAZATO, T.; BATTISTELLE, R. A. G. Produção limpa: fabricação e viabilidade econômica de chapas de partículas produzidas com diferentes resíduos. In: CONGRESSO NACIONAL DE EXCELÊNCIA EM GESTÃO, 3, 2006, Niterói. *Anais...* Niterói: CNEG, 2006.

MORENO, J. *O futuro das cidades*. São Paulo: Editora Senac São Paulo, 2002.

MOURAD, A. L.; GARCIA, E. E. C.; VILHENA, A. *Avaliação do Ciclo de Vida: Princípios e aplicações*. Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002.

MROUEH, U. M.; ESKOLA, P.; LAINE-YLIJOKI, J. Life-cycle impacts of the use of industrial by-products in road and earth construction. *Waste Management Series*, v. 1, n. 21, p. 271-277, 2001.

MUMFORD, L. *A cidade na história. Suas origens, transformações e perspectivas*. Tradução Neil R. da Silva. 4. ed. São Paulo: Martins Fontes, 1998.

NASCIMENTO, M. F. *CHP – Chapas de partículas homogêneas – Madeiras do nordeste do Brasil*. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

NEBEL, B.; ZIMMER, B.; WEGENER, G. Life cycle assessment of wood floor coverings – a representative study for the German flooring industry. *The International Journal of Life Cycle Assessment*, Berlin, v. 11, n. 3, p. 172-182, 2006.

NICOLETTI, G. M.; NOTARNICOLA, B.; TASSIELLI, G. Comparative life cycle assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. *Journal of Cleaner Production*, Graz, v. 10, n. 3, p. 283–296, 2002.

NYMAN, M.; SIMONSON, C. J. Life cycle assessment of residential ventilation units in a cold climate. *Building and Environment*, New York, v. 40, n. 1, p. 15-27, 2005.

ODUM, H. T. *Environment, power and society*. New York: John Wiley & Sons, 1971.

OECD Organisation for Economic Co-operation and Development. *Environmentally sustainable buildings: challenges and policies*. Paris: OECD, 2003.

OLIVEIRA, A. S. *Análise ambiental da viabilidade de seleção de produtos da construção civil através da ACV e do software BEES 3.0*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

OLIVEIRA, K. S. *Avaliação do Ciclo de Vida das telhas ecológicas*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Metalúrgica) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

OLIVEIRA, M. C. F. R. *Estudo comparativo de tintas utilizando a Análise do Ciclo de Vida*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos Químicos) - Centro Universitário do Instituto Mauá de Tecnologia, São Caetano do Sul, 2006.

OLMOS, M. A. C. *Equipamento e processo de fabricação de chapas de madeira aglomerada a partir de resíduos de madeira*. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1992.

OMETTO, A. R. *Avaliação do Ciclo de Vida do álcool etílico hidratado combustível pelos métodos EDIP, Exergia e Emergia*. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Sustainability in the construction industry: A review of recent developments based on LCA. *Construction and Building Materials*, v. 23, n. 1, p. 28-39, 2009.

PARK, M. A. *Biological Anthropology*. 2 ed. California: Mayfield Publishing Company, 1999.

PELICIONI, A. F. Trajetória do movimento ambientalista. In: PHILIPPI JR., A.; ROMERO, M. A.; BRUNA, G. C. (Org.) *Curso de gestão ambiental*. Barueri: Manole, 2004. cap. 12.

PEREIRA, M. A. R.; BERALDO, A. L. *Bambu de corpo e alma*. Bauru: Canal6, 2007.

PEREIRA, S. W. *Análise ambiental do processo produtivo de pisos cerâmicos*. Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2004.

PETERSEN, A. K.; SOLBERG, B. Environmental and economic impacts of substitution between wood products and alternative materials: a review of micro-level analyses from Norway and Sweden. *Forest Policy and Economics*, v. 7, n. 3, p. 249-259, 2005.

PEUPOORTIER, B. L. P. Life cycle assessment applied to the comparative evaluation of single family houses in the French context. *Energy and Buildings*, Lausanne, v. 33, n. 5, p. 443-450, 2001.

PINTO, T. P. *Gestão ambiental de resíduos da construção civil: a experiência do SindusCon-SP*. PINTO, T. P. (Org.) São Paulo: SindusCon-SP, 2005.

PINTO, T. P. *Metodologia para a gestão diferenciada de resíduos sólidos da construção urbana*. Tese (Doutorado em Engenharia de Construção Civil e Urbana) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

PINTO, T. P. *Utilização de resíduos de construção - estudo do uso em argamassas*. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Planejamento) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1986.

PREK, M. Environmental impact and life cycle assessment of heating and air conditioning systems, a simplified case study. *Energy and Buildings*, Lausanne, v. 36, n. 10, p. 1021-1027, 2004.

ROAF, S. *Ecohouse: a casa ambientalmente sustentável*. Tradução Alexandre Salvaterra. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

ROCHA, J. C.; CHERIAF, M. Aproveitamento de resíduos na construção. In: ROCHA, J. C.; JOHN, W. M. (Org.) *Utilização de resíduos na construção habitacional*. Porto Alegre: ANTAC, 2003. cap. 3.

RODRÍGUEZ, O. O.; CASTELLS, F.; SONNEMANN, G. Life cycle assessment of two dwellings: One in Spain, a developed country, and one in Colombia, a country under development. *Science of the Total Environment*. No Prelo, 2010. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2010.02.021.

ROLNIK, R. *O que é cidade?* São Paulo: Brasiliense, 1988.

ROSS, S.; EVANS, D. The environmental effect of reusing and recycling a plastic-based packaging system. *Journal of Cleaner Production*, Graz, v. 11, n. 5, p. 561-571, 2003.

ROUSSEAU, P. *Evaluation comparative de l'impact environnemental global du cycle de vie des produits*. Tese (Doutorado) - Institut National des Sciences Appliquées de Lyon, Lyon, 1993.

SACHS, I. *Estratégia de transição para o século XXI: Desenvolvimento e meio ambiente*. Tradução Magda Lopes. São Paulo: Studio Nobel, 1993.

SAGAN, C. *Pálido ponto azul*. Uma visão do futuro da humanidade no espaço. Tradução Rosaura Eichenberg. São Paulo: Companhia das Letras, 1996.

SAIZ, S.; KENNEDY, C.; BASS, B.; PRESSNAIL, K. Comparative life cycle assessment of standard and green roofs. *Environmental Science e Technology*, Iowa, v. 40, n. 13, p. 4312-4316, 2006.

SANTOS, C. V. J. *Tecnologias de Produção Mais Limpas e Análise do Ciclo de Vida na indústria da construção civil* – Estudos de caso. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2000.

SATTLER, M. A.; PEREIRA, F. O. R. *Construção e meio ambiente*. Porto Alegre: ANTAC, 2006.

SCHEUER, C.; KEOLEIAN, G. A.; REPPE, P. Life cycle energy and environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. *Energy and Buildings*, Lausanne, v. 35, n. 10, p. 1049–1064, 2003.

SCHLEISNER L. Life cycle assessment of a wind farm and related externalities. *Renewable Energy*, Oxford, v. 20, n. 3, p. 279-288, 2000.

SCHMIDT, C. A. J.; LIMA, M. A. M. A demanda por energia elétrica no Brasil. *Revista Brasileira de Economia*, Rio de Janeiro, v. 58, n. 1, p. 67-98, 2004.

SEPPALA, J.; KOSKELA, S.; MELANEN, M.; PALPERI, M. The Finnish metals industry and the environment. *Resources, Conservation and Recycling*, Amsterdam, v. 35, n. 1-2, p. 61-76, 2002.

SEYE, O. *Análise de Ciclo de Vida aplicada ao processo produtivo de cerâmica estrutural tendo como insumo energético Capim Elefante (Pennisetum Purpureum Schaum)*. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SILVA, A. C. F. C. *Aplicação de Ferramentas de Análise do Ciclo de Vida na Sustentabilidade da Construção* – Estudo de Caso. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2008.

SILVA, F. M. G. *Análise da sustentabilidade no processo de produção de moradias utilizando adobe e bloco cerâmico*. Caso: Assentamento Rural Pirituba II – Itapeva-SP. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

SILVA, J. G. *Análise do Ciclo de Vida de tijolos prensados de escória de alto-forno*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.

SILVA, V. G. Avaliação do desempenho ambiental de edifícios. *Revista Qualidade na Construção*, Sinduscon, São Paulo, ano III, n. 25, p. 14-22, 2000.

SILVA, V. G. S. *Avaliação da sustentabilidade de edifícios de escritórios brasileiros: diretrizes e base metodológica*. Tese (Doutorado em Engenharia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SJÖSTRÖM, C. Service life of the building. In: APPLICATIONS OF THE PERFORMANCE CONCEPT IN BUILDING, 3, Tel Aviv, *Anais... CIB*: Tel Aviv, v. 2, p. 6-11, 1996.

SOARES, S. R.; SOUZA, D. M.; PEREIRA, S. W. A Avaliação do Ciclo de Vida no contexto da construção civil. In: SATTLER, M. A.; PEREIRA, F. O. R. (Org.). *Construção e meio ambiente*. Porto Alegre: ANTAC, 2006. cap. 4.

SONNEMANN, G.; CASTELLS, F.; SCHUHMACHER, M. *Integrated life-cycle and risk assessment for Industrial processes*. Tarragona: CRC Press, 2004.

SOUZA, U. E. L.; PALIARI, J. C.; ANDRADE, A. C.; AGOPYAN, V. Perdas de materiais nos canteiros de obras: a quebra do mito. *Revista Qualidade na Construção*, Sinduscon, São Paulo, ano I, n. 13, p. 10-15, 1998.

TAVARES, S. F. *Metodologia de Análise do Ciclo de Vida energético de edificações residenciais brasileiras*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TESSMER, H. Uma síntese histórica da evolução do consumo de energia pelo homem. *Revista Liberato*, Novo Hamburgo, v. 3, n. 3, 7 p. nov. 2002.

UEMOTO, K. L.; IKEMATSU, P.; AGOPYAN, V. Impacto ambiental das tintas imobiliárias. In: SATTLER, M. A.; PEREIRA, F. O. R. (Org.). *Construção e meio ambiente*. Porto Alegre: ANTAC, 2006. cap. 3.

UNEP United Nations Environment Programme. Sustainable building and construction. *Industry and Environment*, Paris, v. 26, n. 2-3, abr./set., p. 5-9, 2003.

UTAMA, A.; GHEEWALA, S. H. Indonesian residential high rise buildings: A life cycle energy assessment. *Energy and Buildings*, Lausanne, v. 41, n. 11, p. 1263-1268, 2009.

VAN DER LUGT, P.; VAN DEN DOBBELSTEEN, A. A. J. F.; JANSSEN, J. J. A. An environmental, economic and practical assessment of bamboo as a building material for supporting structures. *Construction and Building Materials*, v. 20, n. 9, p. 648-656, 2006.

WENZEL, H.; HAUSCHILD, M.; ALTING, L. *Environmental assessment of products*. London: Chapman & Hall, 1997. v. 1 e 2.

WU, X.; ZHANG, Z.H.; CHEN, Y. M. Study of the environmental impacts based on the “green tax” – applied to several types of building materials. *Building and Environment*, New York, v. 40, n. 2, p. 227-237, 2005.

YAMAMOTO, J. K.; YUSHIRO, K.; COIMBRA, A. M.; MONTANHEIRO, T. J. Environmental impact reduction on the production of blended Portland cement in Brazil. *Environmental Geosciences*, v. 4, n. 4, p. 192-206, 1997.

YOUNG, C. E. F.; LUSTOSA, M. C. Poluição do ar, emprego e produção: a indústria de transformação brasileira. In: CONGRESSO DE ECONOMISTAS DA AMÉRICA E CARIBE, 7, CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMISTAS, 12, Rio de Janeiro, *Anais...* Rio de Janeiro, 1999.

ZOLDAN, M. A. *Análise dos requisitos organizacionais para a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) de produtos madeireiros*. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2008.