UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

Avaliação comparativa do ciclo de vida de sistemas de aquecimento solar de água utilizados em habitações de interesse social

LARISSA OLIVEIRA ARANTES

FECIV

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

Programa de Pós–graduação em Engenharia Civil

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós–graduação em Engenharia Civil

Larissa Oliveira Arantes

Avaliação comparativa do ciclo de vida entre sistemas de aquecimento solar de água utilizados em habitações de interesse social

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos para a obtenção do título de **Mestre em Engenharia Civil.**

Área de concentração: Engenharia Urbana

Linha de pesquisa: Planejamento e Infra-estrutura Urbana

Orientador: Prof. Dr. Laerte Bernardes Arruda

Uberlândia, Agosto de 2008

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

A662 Arantes, Larissa Oliveira, 1982-
Avaliação comparativa do ciclo de vida entre sistemas de aquecimento solar de água utilizados em habitações de interesse social / Larissa Oliveira Arantes. - 2008.
162 f. : il.

Orientador: Laerte Bernardes Arruda.

Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Uberlândia, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.
Inclui bibliografia.

1. Aquecimento solar - Teses. 2. Aquecedores solares de água - Aspectos econômicos - Teses. 3. Impacto ambiental - Teses. I. Arruda, Laerte Bernardes. II. Universidade Federal de Uberlândia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU: 697.7

Elaborada pelo Sistema de Bibliotecas da UFU / Setor de Catalogação e Classificação

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil

ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA Nº: 053/2008

CANDIDATA: Larissa Oliveira Arantes

ORIENTADOR: Prof. Dr. Laerte Bernardes Arruda

TÍTULO: "Avaliação comparativa do ciclo de vida de sistemas de aquecimento solar de água utilizados em habitações de interesse social".

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana

LINHA DE PESQUISA: Planejamento e Infra-estrutura Urbana

DATA DA DEFESA: 25 de setembro de 2008

LOCAL: Sala de Reuniões da FECIV

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: 8:20h às 10:30h

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às argüições, os membros da Banca Examinadora decidem que a candidata foi:

(X) APROVADA

( ) REPROVADA

OBS: A aluna foi aprovada por unanimidade da banca, alguns pelos membros da banca.

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:

Professor Orientador: **Prof. Dr. Laerte Bernardes Arruda – FECIV/UFU**

Membro externo: **Prof. Dr. Simar Vieira de Amorim - UFSCar**

Membro: **Prof.ª Dr.ª Ana Luiza Ferreira Campos Maragno – FECIV/UFU**

Uberlândia, 25 de setembro de 2008.

À minha mãe, Maria Cecília Oliveira Arantes, uma pessoa muito especial a quem serei eternamente grata.

Agradecimentos

Agradeço primeiramente à Deus pela oportunidade de viver e aprender, buscando a evolução.

Agradeço enormemente ao meu pai, minha mãe e meu irmão pelo amor que me deram e por tudo o que me ensinaram e me proporcionaram na vida. Em especial ao meu pai e meu irmão, nos últimos anos, por terem acreditado em mim, me apoiado e tornado possível a realização deste trabalho.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Laerte Bernardes Arruda, pela compreensão, orientação e incentivo.

Ao Pedro Henrique Serralha, meu amigo e companheiro, pela compreensão e pelo amor incondicional que tem me permitido vivenciar.

À todos os amigos que estiveram ao meu lado durante esse tempo, me apoiando e incentivando.

Agradeço em especial, à minha querida amiga Ana Flávia Nogueira pelo conhecimento e amor compartilhado, e ao seu esposo Geraldo, por ter me emprestado sua confortável cadeira de rodinhas, peça fundamental na realização do trabalho.

À todos que contribuíram, direta ou indiretamente.

Hoje em dia, o ser humano apenas tem ante si grandes problemas que foram ironicamente provocados por ele próprio: a super povoação, o desaparecimento dos recursos naturais e a destruição do meio ambiente. Triunfar sobre estes problemas, vistos sermos nós a causa deveria ser a nossa mais profunda motivação.

Jacques Yves Cousteau (1910 – 1997)

Resumo

Os equipamentos solares para aquecimento de água, industrializados, são sistemas produzidos com materiais de custo elevado para a aquisição da população de baixa renda, dessa forma, vários sistemas alternativos, que buscam uma redução de custo do produto para o usuário, foram propostos. O presente trabalho compara os impactos ambientais causados por sistemas de aquecimento solar de água industrializados e sistemas alternativos, utilizados em habitações de interesse social, por meio da análise do ciclo de vida avaliada conforme a metodologia Eco-indicador 99. Foram estudados o aquecedor solar de baixo custo (ASBC) desenvolvido pela Sociedade do Sol, o aquecedor solar composto de embalagens descartáveis desenvolvido por José Alcino Alano e sua família e o aquecedor solar compacto produzido pela empresa Soletrol. Três hipóteses foram levantadas para o estudo variando as formas de disposição dos materiais que compõem estes sistemas no final de suas vidas úteis. Os Eco-indicadores foram determinados, para as três hipóteses, possibilitando o conhecimento e a comparação dos impactos ambientais dos três sistemas em cada hipótese. Foram feitas duas considerações para o sistema composto por embalagens descartáveis, onde uma delas não contabiliza no cálculo dos valores Eco-indicadores, os materiais que estão sendo reaproveitados. Os resultados revelaram que quando se contabiliza as embalagens recicláveis que estão sendo reaproveitadas na constituição do aquecedor solar, tal sistema contribui muito mais para a degradação do meio ambiente, devido ao impacto causado pelas embalagens PET. O estudo também mostrou que ao variar a forma de disposição final, os sistemas alternativos obtêm valores Eco-indicadores aproximados e até mesmo menores do que o do sistema industrializado, porém, dentre as hipóteses levantadas a que admitiu a reciclagem apenas dos materiais do sistema industrializado (mais provável de ocorrer) revelou tal sistema como o que possui menor impacto ambiental.

Palavras-chave: ACV; análise do ciclo de vida; sistemas de aquecimento solar de água; aquecedor solar de baixo custo; impacto ambiental.

Abstract

The industrialized solar hot water systems are produced with high cost materials for the acquisition of low income population, because of that, many alternative systems, that aims a reduction of cost of the product for the user, have been proposed. The present work compares the environmental impacts caused by industrialized and alternative solar hot water systems, used in social interest habitations, by means of life cycle assessment evaluated according to Eco-indicator 99 methodology. The low cost solar heater (ASBC) developed by Sociedade do Sol, the solar heater composed of dismissible packings developed by José Alcino Alano and his family and the compact solar heater produced by Soletrol company, have been studied. For the study, three hypotheses have been taken into account, varying the ways of disposition of the materials that compose the systems at the end of their useful lives. For the three systems, the Eco-indicators have been determinated for the three hypotheses, possibiliting the knowledge and comparison of the environmental impacts of the three systems on each hypothesis. Two considerations have been made for the solar heater composed of dismissible packings. One of them hasn't taken into account, in the calculation of the Eco-indicators values, the materials that are being reused. The results have revealed that when the dismissible packings are taken into account, this system contributes much more to the environment degradation due to the impact caused by PET packings. Furthermore, the study has shown that alternative systems reach Eco-indicators values approximate and even lower than those of the industrialized system, when the final disposal varies. However, amongst the considered hypotheses the one that supposes the recycling of only the materials of the industrialized systems (most likely to occur) revealed this system as the one with the least environmental impact.

Key-words: LCA; life cycle assessment; solar hot water systems; low cost solar heater; environmental impacts.

Abreviaturas, Símbolos e Siglas

Abreviaturas e Siglas

ABAL	Associação Brasileira do Alumínio
ABIPET	Associação Brasileira da Indústria do PET
ABIQUIM	Associação Brasileira da Indústria Química
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAPEX	Associação Brasileira do Poliestireno Expandido
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
ABRE	Associação Brasileira de Embalagens
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
ACE/EAE	*AtmospEhere, Climate e Environment/Encyclopedia of the Atmospheric Environment*
ACEPE	Associação Industrial do Poliestireno Expandido
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
Albras	Alumínio Brasileiro
ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
ASBC	Aquecedor Solar de Baixo Custo
BNDES	Banco Nacional do Desenvolvimento Econômico e Social
BUS	Ministério de Meio Ambiente da Suíça
CBA	Companhia Brasileira de Alumínio
CEMPRE	Compromisso Empresarial para Reciclagem
CERPCH	Centro Nacional de Referências em Pequenas Centrais Hidrelétricas
CETEA/ITAL	Centro de Tecnologia de Embalagem/Instituto Técnico de Alimentação
CIETEC	Centro Incubador de Empresas Tecnológicas
CNPq	Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
COPENE	Companhia Petrolífera do Nordeste
COPESUL	Companhia Petroquímica do Sul
CRESESB	Centro de Referência para Energia Solar e Eólica
CVRD	Companhia Vale do Rio Doce
DMT	Dimetiltereftalato
DNPM	Departamento Nacional de Produção Mineral
ECAL	Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos
EMPA	Laboratório Federal Suíço para Teste e Investigação de Materiais

EPA	*Environmental Protection Agency*
EPS	Poliestireno Expandido
EUA	Estados Unidos da América
FAPESP	Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo
FINEP	Financiadora de Estudos e Projetos
GPPS	Poliestireno Cristal
HIPS	Poliestireno de Alto Impacto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBICT	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
INPI	Instituto Nacional de Propriedade Industrial
ISO	*International Organization for Standardization*
LCA	*Life Cycle Assessment*
LPB	*Liquid Packaging Board*
MCT	Ministério de Ciência e Tecnologia
MEG	Monoetilenoglicol
M.P.	Matéria Prima
MRI	*Midwest Research Institute*
MRN	Mineração Rio do Norte
NBR	Norma Brasileira
ONG	Organização Não Governamental
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
PEBD	Polietileno de Baixa Densidade
PET	Polietileno Tereftalato
PP	Polipropileno
PQU	Petroquímica União
PS	Poliestireno
PU	Poliuretano
PVC	Policloreto de Vinila
REPA	*Resource and Environmental Profile Analysis*
SAGE	*Strategic Advisory Group on Environment*
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SETAC	*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*
SoSol	Sociedade do Sol
TPA	*Tetra Prisma Aseptic*
UNDP	*United Nations Development Programme*
UPGNs	Unidades de Processamento de Gás Natural
USP/IPEN	Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares da Universidade de São Paulo

SÍMBOLOS

%	Porcentagem
Al_2O_3	óxido de alumínio
°C	grau celsius
CaO	óxido de cálcio
cm	Centímetro
CO	monóxido de carbono
CO_2	dióxido de carbono
GWh	gigawatt-hora
HCFC	Hidroclorofluorcarbono
Hg	Mercúrio
H_2O	hidróxido de hidrogênio
K_2O	óxido de potássio
Kcal	Quilocaloria
kcal/dia	quilocalorias por dia
Kg	Quilograma
Km	Quilômetro
kW	Kilowatt
kWh/mês	kilowatt-hora por mês
L	Litro
m	Metro
m^2	metro quadrado
MgO	óxido de magnésio
ml	Mililitro
mm	Milímetro
mPt	*Millipoint*
MW	Megawatt
Na_2O	óxido de sódio
Na_2SO_4	sulfato de sódio
NH_3	Amônia
NOx	óxidos de nitrogênio
O_2	molécula de oxigênio
Pb	Chumbo
pH	potencial hidrogeniônico
Pt	*Point*
SiO_2	dióxido de silício
SOx	óxidos de enxofre

t/ano	tonelada por ano
VOC’s	compostos orgânicos voláteis

.

Listas

Lista de figuras

Figura 1 – Fontes de energia. 10
Figura 2 – Consumo mundial de energia primária, de acordo com a fonte, em 2004. 11
Figura 3 – Produção mundial de eletricidade de acordo com a fonte. 12
Figura 4 – Matriz da energia elétrica brasileira. 14
Figura 5 – Formas de utilização da energia solar. 16
Figura 6 – Coletores de foco concentrado: parabólico e Fresnel. 18
Figura 7 – Seção típica de um coletor de superfície plana. 19
Figura 8 – Esquema de instalação de um sistema direto passivo com fonte de energia auxiliar interna ao reservatório de armazenamento de água quente. 21
Figura 9 – Diagrama esquemático do coletor solar de superfície plana integrado ao tanque de armazenamento. 22
Figura 10 – Coletor que aproveita ondulação da telha de fibrocimento como parte integrante de uma caixa fechada com vidro. 23
Figura 11 – Etapas da ACV. 32
Figura 12 – Esquema da análise do inventário. 35
Figura 13 – Procedimento geral para o cálculo de Eco-indicadores. 42
Figura 14 – Representação do modelo de danos da metodologia Eco-indicador 99. 43
Figura 15 – Pólos petroquímicos. 47
Figura 16 – 1º geração petroquímica – petroquímicos básicos obtidos a partir da nafta. 47
Figura 17 – Diagrama do ciclo de vida dos polímeros. 49
Figura 18 – Diagrama do ciclo de vida do polímero PET. 51
Figura 19 – Diagrama do ciclo de vida do polímero PEAD. 52
Figura 20 – Diagrama do ciclo de vida do polímero PEBD. 53
Figura 21 – Diagrama do ciclo de vida do polímero polipropileno. 54
Figura 22 – Diagrama do ciclo de vida do polímero PVC. 56
Figura 23 – Diagrama do ciclo de vida do polímero poliestireno. 57
Figura 24 – Diagrama de produção do polímero EPS. 58
Figura 25 – Diagrama do ciclo de vida do poliuretano. 60
Figura 26 – Diagrama do ciclo de vida do alumínio. 63
Figura 27 – Diagrama do ciclo de vida do cobre no processo pirometalúrgico. 65
Figura 28 – Composição do vidro Float. 67

Figura 29 – Diagrama do ciclo de vida do vidro. 68
Figura 30 – Estrutura da embalagem de cartão para alimentos líquidos. 69
Figura 31 – Diagrama do ciclo de vida das embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL). 69
Figura 32 – Simbologia brasileira de identificação de materiais recicláveis. 71
Figura 33 – Processo de reciclagem dos polímeros plásticos. 73
Figura 34 – Processo de reciclagem dos metais. 75
Figura 35 – Processo de reciclagem dos vidros. 76
Figura 36 – Processo de reciclagem das embalagens de cartão para alimentos líquidos. 78
Figura 37 – Casas do residencial Campo Alegre em Uberlândia – Julho/2007. 83
Figura 38 – Coletor solar das casas do residencial Campo Alegre. 85
Figura 39 – Bombona utilizada como reservatório térmico. 86
Figuras 40 – Coletor Solar composto por embalagens descartáveis. 88
Figura 41 – Corte dos Tubos do Coletor para garrafas de Pepsi-Cola e Coca-Cola respectivamente. 88
Figura 42 – Configuração do barramento inferior e superior de um módulo de cinco colunas. 89
Figura 43 – Aquecedor solar compacto Solarmax 200 L. 90
Figura 44 – Dimensões do coletor solar. 91
Figura 45 – Fluxograma com as entradas e saídas do ciclo de vida, para os sistemas de aquecimento de água. 92
Figura 46 – Fluxograma materiais constituintes Sistema 1. 93
Figura 47 – Fluxograma materiais constituintes Sistema 2. 93
Figura 48 – Fluxograma materiais constituintes Sistema 3. 94
Figura 49 – Gráfico ilustrativo dos valores Eco-indicadores obtidos pelos sistemas 1, 2 e 3, **na consideração 1**, para as três hipóteses em estudo. 107
Figura 50 – Gráfico ilustrativo dos valores Eco-indicadores obtidos na **categoria de materiais** pelos Sistemas 1, 2 e 3, **na consideração 1**, e o valor Eco-indicador de cada material em mPt/kg. 108
Figura 51 – Gráfico ilustrativo dos valores Eco-indicadores obtidos na **categoria de processos** pelos Sistemas 1, 2 e 3, **na consideração 1**, e o valor Eco-indicador de cada processo em mPt/kg. ... 109
Figura 52 – Gráfico ilustrativo dos valores Eco-indicadores obtidos na **categoria de disposição final (reciclagem)** pelos Sistemas 1,2 e 3, **na consideração 1**, e o valor Eco-indicador de cada tipo de reciclagem em mPt/kg. 110
Figura 53 – Gráfico ilustrativo dos valores Eco-indicadores obtidos na **categoria de disposição final (aterramento)** pelos Sistemas 1, 2 e 3 **na consideração 1**, e o valor Eco-indicador de cada tipo de aterramento em mPt/kg. 111
Figura 54 – Gráfico ilustrativo de valores Eco-indicadores obtidos pelos sistemas 1, 2 e 3, **na consideração 2**, para as três hipóteses. 112

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Ponderações utilizadas nas três versões da metodologia Eco-indicador 99. 41
Tabela 2 – Capacidade instalada de produção de polietileno tereftalato (PET). 50
Tabela 3 – Capacidade instalada de produção de polietileno de alta densidade (PEAD). 52
Tabela 4 – Capacidade instalada de produção polietileno de baixa densidade (PEBD). 53
Tabela 5 – Capacidade instalada de produção de polipropileno (PP). 55
Tabela 6 – Capacidade instalada de produção de policloreto de vinila (PVC) no Brasil 56
Tabela 7 – Capacidade instalada de produção de poliestireno (PS) no Brasil 59
Tabela 8 – Principais empresas produtoras de concentrado de cobre. 66
Tabela 9 – Processos de reciclagem química. 72
Tabela 10 – Índice de reciclagem mecânica de plástico pós-consumo no Brasil em 2006. 74
Tabela 11 – Tipos de Domicílios, Número de Cômodos nos Domicílios, Número de Cômodos Servindo de Dormitório nos Domicílios e Número de Banheiros nos Domicílios. 82
Tabela 12 – Quantidade de coletores de acordo com a região. 85
Tabela 13 – Resumo dos materiais e processos selecionados na lista Eco-indicador 99. 95
Tabela 14 – Resumo das hipóteses e considerações para o estudo. 98
Tabela 15 – Aplicação da metodologia Eco-indicador 99 para o Sistema 1: Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC). 99
Tabela 16 – Aplicação da metodologia Eco-indicador 99 para o Sistema 2: Aquecedor Solar Composto de Embalagens Descartáveis – Considerações 1 e 2. 101
Tabela 17 – Aplicação da metodologia Eco-indicador 99 para o Sistema 3: Aquecedor Solar Compacto Solarmax 200 L. 103
Tabela 18 – Resumo dos resultados para os Sistemas 1, 2 e 3 para as três hipóteses e duas considerações em estudo. 105
Tabela 19 – Temperaturas em ºC obtidas ao longo do dia pelos coletores solares de água dos sistemas 1 e 2. 1133

Sumário

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO 1

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA 6

2.1 Questões Relacionadas ao Meio Ambiente 6

2.2 Panorama Energético 8

2.3 Energia Solar 15

2.3.1 Aquecimento Solar de Água 17

2.3.1.1 Tipos de Sistemas 20

2.3.2 Aquecedores Solares de Água para Habitações de Interesse Social 22

2.4 Avaliação do Ciclo de Vida 24

2.4.1 Definição 24

2.4.2 Histórico 25

2.4.3 ACV e a ISO 14000 27

2.4.4 Aplicações e Limitações 30

2.4.5 Etapas da ACV 31

2.4.5.1 Definição do Objetivo e Escopo 32

2.4.5.2 Análise do Inventário 34

2.4.5.3 Avaliação dos Impactos 36

2.4.5.4 Interpretação 38

2.4.6 Método Eco-indicador 38

2.5 Ciclo de Vida dos Materiais Constituintes dos Sistemas 45

2.5.1 Polímeros 45

2.5.1.1 Polietileno Tereftalato (PET) 50

2.5.1.2 Polietileno de Alta Densidade (PEAD) 51

2.5.1.3 Polietileno de Baixa Densidade (PEBD) 52

2.5.1.4 Polipropileno (PP) 54

2.5.1.5 Policloreto de Vinila (PVC) 55

2.5.1.6 Poliestireno Expandido (EPS) 57

2.5.1.7 Poliuretano (PU) 59

2.5.2 Metais 61

2.5.2.1 Alumínio 61

2.5.2.2 Cobre 64

2.5.3 Vidro 66

2.5.4 Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos – ECAL 68

2.5.2 Reciclagem 71

2.5.2.1 Reciclagem polímeros plásticos 72

2.5.2.2 Reciclagem metais 74

2.5.2.3 Reciclagem do Vidro 75

2.5.2.4 Reciclagem Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos (ECAL) 76

CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS 79

3.1 Definição dos sistemas a serem avaliados 80

3.1.1 Definição do tipo de edificação 81

3.1.2 Sistemas de Aquecimento de Água Estudados 83

3.1.2.1 Sistema 1: Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC) 84

3.1.2.2 Sistema 2: Aquecedor Solar Composto de Embalagens Descartáveis 86

3.1.2.3 Sistema 3: Aquecedor Solar Compacto Solarmax 200 L 89

A seguir são apresentados os fluxogramas dos sistemas de aquecimento solar de água em estudo. 91

3.2 Fluxograma dos Sistemas de Aquecimento Solar de Água 91

3.3 Quantificação dos materiais e processos 94

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO 99

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES 114

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS 117

ANEXO 1 129

LISTA DE ECO-INDICADORES PADRÃO DA METODOLOGIA ECO-INDICADOR 99 129

ANEXO 2 139

FORMULÁRIO PARA O CÁLCULO DOS ECO-INDICADORES DOS SISTEMAS EM ESTUDO 139

ANEXO 3 143

PROJETO ARQUITETÔNICO E CORTE AA DAS CASAS DO RESIDENCIAL CAMPO ALEGRE – UBERLÂNDIA, M.G. 143

ANEXO 4 147

PLANTAS DO RESIDENCIAL CAMPO ALEGRE CONTENDO: LOCAÇÃO DO COLETOR SOLAR, LIGAÇÃO ENTRE A PLACA COLETORA E O RESERVATÓRIO DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA QUENTE E PROJETOS HIDRÁULICOS 147

ANEXO 5 153

PROJETO COLETOR SOLAR DO SISTEMA ASBC UTILIZADO NO RESIDENCIAL CAMPO ALEGRE E ESPECIFICAÇÕES DA BOMBONA UTILIZADA COMO RESERVATÓRIO TÉRMICO NOS SISTEMAS 1 E 2 153

ANEXO 6 157

LISTA DE MATERIAIS CONSIDERADOS NO ESTUDO DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COM SUAS RESPECTIVAS MASSAS E QUANTIDADES 157

CAPÍTULO 1 - INTRODUÇÃO

Atualmente, a valorização do desenvolvimento sustentável, ou seja, desenvolver e continuar atendendo as necessidades do homem sem degradar o meio ambiente, é uma preocupação mundial. A energia elétrica, considerada como fonte convencional, requer em sua produção usinas hidrelétricas, termelétricas e/ou nucleares, o que implica em altos investimentos e grandes impactos ambientais. O sistema energético brasileiro, predominantemente hidrelétrico, está com seu potencial competitivo e ambientalmente viável se esgotando, isto é, os maiores potenciais remanescentes estão localizados em regiões com fortes restrições ambientais e distantes dos principais centros consumidores (Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas – CERPCH, 2008).

Por outro lado, é um desafio para o Brasil melhorar as taxas de crescimento para alcançar o desenvolvimento sócio-econômico, o que conduz à necessidade de aumentar a oferta de energia. Por sua vez, o aumento de oferta para o setor produtivo pode ser obtido também com práticas de conservação e uso racional da energia.

Habitações de interesse social são aquelas destinadas à população de baixa renda, isto é, aqueles que não possuem renda suficiente para suprir suas necessidades básicas. O aquecimento de água, segundo Prado; Gonçalves (1992), é responsável por um terço do consumo de energia elétrica em tais habitações, que se faz normalmente no país com o emprego de chuveiros elétricos.

Esta energia, quase toda gerada nas hidrelétricas, poderia ter outras finalidades que não o aquecimento. Além disso, é reconhecida, pelo setor elétrico, a urgente necessidade de motivar um novo padrão de aquecimento de água para banho devido ao acréscimo de consumo no horário de pico causado pelos aquecedores de passagem.

Sendo o Brasil um país atravessado pelo Trópico de Capricórnio e pela linha do Equador, com alta taxa de insolação anual, é totalmente justificado o uso da energia solar. O aproveitamento da mesma sob a forma de calor se apresenta como aplicação simples e imediata no fornecimento de água quente para uso doméstico.

Os sistemas comumente utilizados para esta finalidade são constituídos por coletores solares planos, reservatórios de armazenamento do fluído aquecido, fonte complementar de energia e subsistema de distribuição de água quente. Estes sistemas são classificados como passivos e diretos. Diretos porque a água utilizada no consumo é aquecida diretamente durante sua circulação entre reservatório e coletores. Passivos porque o movimento de circulação entre o reservatório e os coletores ocorre devido ao gradiente de densidade que surge com o aquecimento da água nos coletores. Este fenômeno é chamado de movimento por termossifonagem.

Os coletores planos produzem um aquecimento moderado da água resultando em temperaturas abaixo de 90ºC. Para garantir o aquecimento da água em dias com ausência de irradiação, os sistemas solares são complementados por uma fonte auxiliar de energia, que pode ser elétrica ou a gás (LIMA, 2003). Em se tratando de população de baixa renda o chuveiro elétrico é o sistema mais empregado como fonte auxiliar de energia, sendo que o ideal é a utilização de um chuveiro elétrico que funcione também a baixa potência.

Os equipamentos solares para aquecimento de água, convencionais, encontrados no mercado, são sistemas produzidos com materiais de custo elevado que oferecem bom desempenho, entretanto, seu custo é inviável para a população de baixa renda. Mesmo os sistemas mais baratos, ainda são muito mais caros do que o chuveiro elétrico.

Frente à esta realidade brasileira, com o mesmo princípio de funcionamento dos sistemas convencionais, estão sendo elaborados estudos de sistemas alternativos que buscam uma redução de custo do produto para o usuário. Estes sistemas se diferenciam dos convencionais pela configuração, tipo de material utilizado e alguns até pela possibilidade de auto-construção.

Ríspoli (2001) argumenta que o menor desempenho obtido em sistemas alternativos, devido ao uso de materiais de menor custo, é aceitável segundo alguns pesquisadores, pois, o aproveitamento da parcela de aquecimento devido à fonte solar representa importante contribuição no uso racional da eletricidade, ou de outra fonte energética associada à solar.

De acordo com o Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT,

(2007) o setor industrial depende largamente de matérias-primas não renováveis nos seus processos produtivos e, vários dos insumos atuais não estarão mais disponíveis futuramente, por isto, novos processos e tecnologias têm sido desenvolvidos em busca de uma produção mais limpa, do desenvolvimento de produtos ecologicamente corretos e da utilização racional de recursos de fontes renováveis. Além disto, o desenvolvimento tecnológico e a crescente sofisticação dos processos de produção possibilitam a existência de diversas alternativas para produtos com finalidades semelhantes. Contudo, um dos primeiros problemas que surgem é comparar produtos, do ponto de vista das suas conseqüências ambientais.

Isto suscitou a necessidade de desenvolvimento de abordagens e ferramentas de gestão que possibilitassem avaliar as conseqüências ambientais das decisões tomadas em relação aos produtos, sendo imperativo aplicar princípios de gerenciamento ambiental condizentes com o desenvolvimento sustentável (IBICT, 2007).

Percebe-se que as alternativas de sistemas de aquecimento solar que surgem no mercado, principalmente aquelas aplicadas às habitações de interesse social, focam apenas a redução do custo do equipamento sem levar em conta os seus impactos ambientais, tornando-se imperioso uma avaliação destes impactos.

Dentro deste contexto pode-se utilizar a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) como uma ferramenta de gestão ambiental de produtos e de apoio à tomada de decisões. O objetivo com sua aplicação não é solucionar problemas e sim gerar informações e permitir a avaliação dos impactos associados à função do produto. Trata-se de uma metodologia científica que pode ser repetida, confirmada e que possibilita a tomada de decisões por meio da avaliação dos impactos ambientais em todas as etapas da vida do produto.

A ACV consiste em balanços materiais e energéticos desde a extração da matéria prima até sua destinação final a fim de se conhecer melhor a influência de um produto sobre o meio ambiente. Assim, através de sua utilização pode-se avaliar a implementação de melhorias ou alternativas para produtos, processos ou serviços.

No Brasil, a ferramenta ainda não é muito difundida, mas, os estudos se expandiram

impulsionados pela normalização proporcionada pela série de normas International Organization for Standardization - ISO 14040, com conseqüente aumento de estudos, publicações, etc. (COLTRO, 2007). Entre eles pode-se citar como caso de sucesso o estudo de ACV de embalagens para refrigerantes, de Polietileno Tereftalato (PET), de alumínio e de vidro, publicado por Valt (2004) em sua dissertação de mestrado.

O presente trabalho tem como objetivo avaliar os impactos ambientais causados por sistemas de aquecimento solar de água industrializados e sistemas alternativos. A fim de se atingir tal objetivo, os ciclos de vida dos materiais constituintes de três sistemas são comparados através da metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida (ACV).

Os sistemas foram selecionados dentre os vários modelos existentes no mercado brasileiro. Um dos sistemas escolhidos é industrializado e trata-se de um sistema compacto, produzido pela empresa Soletrol, e destinado à residências com até 120 m². Os outros dois sistemas são sistemas alternativos de baixo custo, não comercializados, que desempenham a mesma função, propostos e em uso no país para habitações de interesse social.

Para a realização do estudo, o que determinou a escolha dos sistemas alternativos de baixo custo foi sua maior difusão e aceitação no mercado e a acessibilidade à grande quantidade de informações em páginas na internet, manuais técnicos e dados sobre casos de instalação em habitações de interesse social. Já o sistema industrializado foi selecionado devido à cooperação da empresa Soletrol no fornecimento de alguns dados.

A metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida de produtos é dividida em quatro etapas: definição do objetivo e escopo do estudo, análise do inventário, avaliação dos impactos e interpretação dos resultados. A etapa de avaliação dos impactos, por sua vez, é dividida nas etapas de classificação, caracterização, normalização e valoração dos dados coletados.

A etapa de avaliação dos impactos é complexa e trabalhosa e, por este motivo, o método europeu Eco-indicador 99 foi selecionado para auxiliar na obtenção dos resultados. O método trata-se de um sistema de pesos desenvolvido para a determinação de valores associados aos aspectos ambientais. O mesmo realiza uma distribuição de pesos que resulta em um número indicador do impacto ambiental de um material ou processo baseado em

dados da avaliação do ciclo de vida.

Pelo mesmo motivo relatado anteriormente, ao se justificar a escolha dos sistemas de aquecimento solar de água estudados, o método Eco-indicador 99 e seu sistema de pesos foi selecionado devido à maior difusão do mesmo possuindo grande quantidade de material bibliográfico e dados de trabalhos publicados, disponíveis para consulta.

CAPÍTULO 2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Questões Relacionadas ao Meio Ambiente

O tema em estudo é abrangente e demanda estudos e pesquisa em várias áreas do conhecimento como meio ambiente, população, recursos naturais, poluição e sustentabilidade.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT (2004-c) classifica meio ambiente como sendo a "circunvizinhança em que uma organização opera, incluindo ar, água, solo, recursos naturais, flora, fauna, seres humanos e suas inter-relações", ou seja, é o conjunto de elementos e fatores indispensáveis à vida.

Os ecossistemas são definidos por Capra (2004) como comunidades, ou organizações, sustentáveis de plantas, animais e microorganismos. Isto é, comunidades que vivem em equilíbrio e são auto sustentadas, onde, os elementos e a energia interagem entre os diversos ciclos naturais existentes.

Passa-se a fazer parte de um determinado ecossistema na medida em que se é capaz de fazer convergir para si as energias, ou parte das energias, que são canalizadas através desse sistema. As aptidões necessárias para que se possa utilizar a energia determinam o ecossistema da espécie. Por ser o homem capaz de utilizar em seu benefício várias fontes físicas ou químicas de energia, ele não se considera filiado a nenhum ecossistema e interfere diretamente em todos (BRANCO e ROCHA, 1980).

Segundo Taborianski (2002), o homem ao interferir sobre um ecossistema pode desestabilizá-lo. Ao se desestabilizar o ecossistema pode, na maioria das vezes, tentar equilibrar-se novamente, mas só até certo ponto. Esta perturbação provocada pela atividade humana em um ecossistema é chamada de impacto ambiental.

Segundo U.S. Census Bureau (apud BRAGA et al., 2005), a população mundial passou de 2,5 bilhões em 1950 para 6,2 bilhões em 2002 possuindo no ano de 2005 uma taxa de

crescimento anual de aproximadamente 1,13% onde, através de uma análise da mesma, surge a dúvida de até quando os recursos naturais serão suficientes para sustentar todos.

"Recurso natural é qualquer insumo que os organismos, as populações e os ecossistemas necessitam para sua manutenção". Nesta definição se encontram três tópicos relacionados: tecnologia, economia e meio ambiente, uma vez que, para utilização de um recurso há a necessidade da existência de processos tecnológicos, algo só é recurso quando sua exploração é viável economicamente e caso sua exploração, processamento e utilização não causem danos ao meio ambiente (BRAGA et al., 2005).

Braga et al. (2005) classificam os recursos naturais em dois grupos: renováveis e não renováveis onde, os renováveis são aqueles que após serem utilizados podem ser reaproveitados e os não renováveis se perdem para sempre.

A população processa os recursos naturais, gerando inevitavelmente como resultado poluição. De acordo com Braga et al. (2005), poluição trata-se de "uma alteração indesejável nas características físicas, químicas ou biológicas da atmosfera, litosfera ou hidrosfera que cause ou possa causar prejuízo à saúde, à sobrevivência ou às atividades dos seres humanos e outras espécies ou ainda deteriorar materiais", e também agregam que:

> A poluição está ligada à concentração de resíduos presentes no ar, na água ou no solo e para que se possa exercer um controle da mesma de acordo com a legislação ambiental, definem-se padrões e indicadores de qualidade do ar (concentrações de CO, NOx, SOx, Pb etc.), da água (concentração de O_2, fenóis e Hg, pH, temperatura etc.) e do solo (taxa de erosão etc.) que se deseja respeitar em um determinado ambiente.

Pode-se dizer que a qualidade de vida da população depende do equilíbrio entre a taxa de crescimento da população, a quantidade de recursos naturais que ela consome e a poluição que é gerada e, atualmente, o que se observa são os recursos naturais serem consumidos aceleradamente pela menor parte da população, uma má exploração destes recursos levando às vezes ao esgotamento das fontes, má distribuição de renda e má orientação da produção agrícola bem como o mau aproveitamento das fontes energéticas, países com taxa de ocupação do solo muito elevada, etc.

Com a Revolução Industrial (Século XIX) houve a introdução de novos padrões de geração de resíduos – quantidades maiores que a capacidade de absorção da natureza e de maneira tal que ela não é capaz de reciclar (materiais sintéticos não-biodegradáveis) dando início ao desequilíbrio atual.

A industrialização tem contribuído para intensificação dos problemas ambientais, Jorgensen; Johnsen (apud TABORIANSKI, 2002) dizem que o desenvolvimento tecnológico aumenta o impacto humano no meio ambiente, entretanto novas tecnologias são criadas para resolver os problemas de poluição.

Dentre as alternativas que procuram amenizar os problemas causados pela poluição está a avaliação do impacto de uma determinada atividade humana objetivando reduzi-lo ao máximo. É nesse contexto que entram as metodologias de estudo de impacto ambiental, desenvolvidas com o intuito de avaliar, anterior ou posteriormente, a interferência de uma determinada atividade humana sobre o meio ambiente (TABORIANSKI, 2002).

O conceito de sustentabilidade foi introduzido no início dos anos 80 por Lestern Brown, fundador do Worldwatch Institute, que definiu uma sociedade sustentável como aquela que seja capaz de satisfazer suas necessidades sem diminuir as chances das gerações futuras. Muitos anos depois, o relatório da Comissão Mundial Sobre o Desenvolvimento e o Meio Ambiente, conhecido como Brundtland Report, usou a mesma definição para apresentar a noção de desenvolvimento sustentável: “A humanidade tem a habilidade de atingir o desenvolvimento sustentável, de satisfazer suas necessidades presentes sem comprometer a habilidade das gerações futuras em satisfazer suas próprias necessidades” (Atmosphere, Climate e Environment – ACE, Encyclopedia of the Atmospheric Environment - EAE, 2007).

2.2 Panorama Energético

Segundo Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2005):

> A energia, em suas diversas formas, é indispensável à sobrevivência da espécie humana. E mais do que sobreviver, o homem procurou sempre evoluir,

> descobrindo fontes e maneiras alternativas de adaptação ao ambiente em que vive e de atendimento às suas necessidades. Dessa forma, a exaustão, a escassez ou a inconveniência de um dado recurso tendem a ser compensadas pelo surgimento de outro(s).

A energia é um dos principais constituintes da sociedade moderna sendo a mesma, necessária para se criar bens a partir dos recursos naturais e para fornecer muitos dos serviços dos quais nos beneficiamos.

De acordo com Miller (1985 apud BRAGA et. al. 2005) os humanos primitivos consumiam em média 2.000 kilocalorias por dia, através do alimento consumido, até que, os primeiros grupos humanos e os primeiros caçadores aumentaram a média para 5.000 kcal/dia. Em seguida, os primeiros agricultores elevaram essa média para 12.000 kcal/dia, usando fogo para cozimento e aquecimento, através da queima de madeira, e tração animal para o plantio. Assim, no século XIX, com a Revolução Industrial a média de consumo de energia alcançou valores próximos de 60.000 kcal/dia em nações desenvolvidas devido ao emprego da madeira para movimentar máquinas e locomotivas, para converter minério em metais e para fundir areia em vidro, fazendo com que florestas primárias sofressem grandes devastações. Foi quando se descobriu que o carvão podia ser obtido através da mineração e podia substituir a madeira que foi o que aconteceu por volta de 1900, quando o uso do carvão passou a substituí-la totalmente na maioria dos países europeus e nos Estados Unidos. Em 1869, o primeiro poço de petróleo foi perfurado "levando a humanidade a uma drástica mudança em termos de consumo de energia primária", que foi também quando se descobriu que junto aos depósitos de petróleo são encontrados também depósitos de gás natural e que os mesmos, podiam ser queimados como combustível. Assim, em 1983 estas duas fontes passam a ser responsáveis pela produção de 53% da energia primária mundial. À esta altura o consumo mundial já havia triplicado e atualmente o consumo per capita mundial diário é de aproximadamente 125.000 kcal/dia.

Existem várias formas de energia: química, nuclear, solar, térmica, mecânica, elétrica, etc. A Figura 1 mostra um diagrama com as possíveis fontes de energia, das quais as primárias são convertidas pelo homem em outras formas de energia, ou seja, energia elétrica, energia química, energia térmica e energia mecânica.

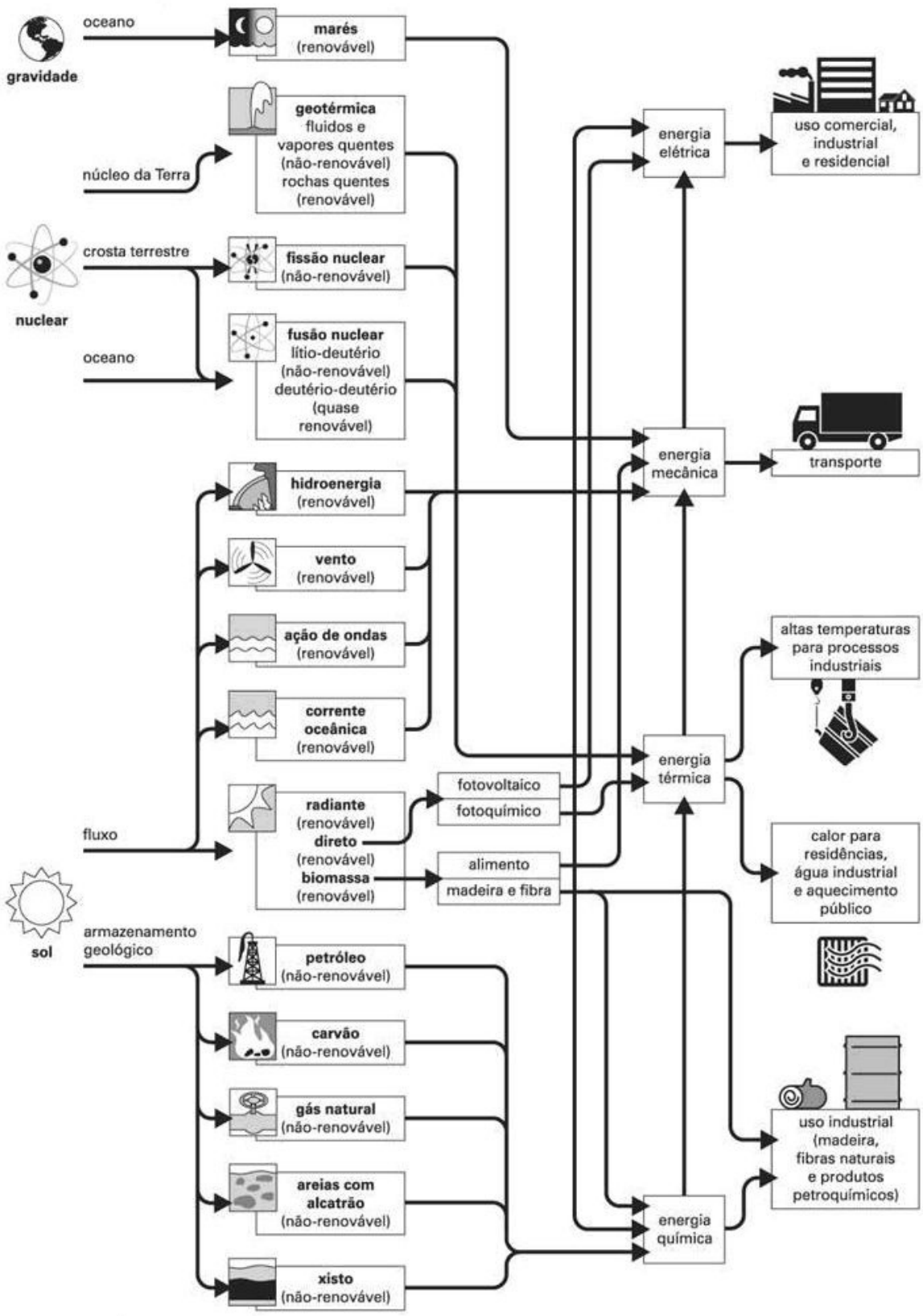


Figura 1 – Fontes de energia.

Fonte: Miller (apud BRAGA et. al. 2005).

Os recursos energéticos ditos primários são classificados em renováveis e não-renováveis. Dentre os renováveis podemos citar: biomassa, energia das marés, energia eólica, energia geotérmica, energia hidráulica e energia solar. Dentre os não-renováveis estão: combustíveis fósseis, derivados de combustíveis fósseis e combustíveis nucleares.

A Figura 2 apresenta dados, de 2004, do consumo mundial de energia primária de acordo com a fonte onde: o petróleo representa 35,1%, o carvão 22,6%, o gás natural 21,7%, a energia nuclear 6,9%, e as energias renováveis 13,8%.

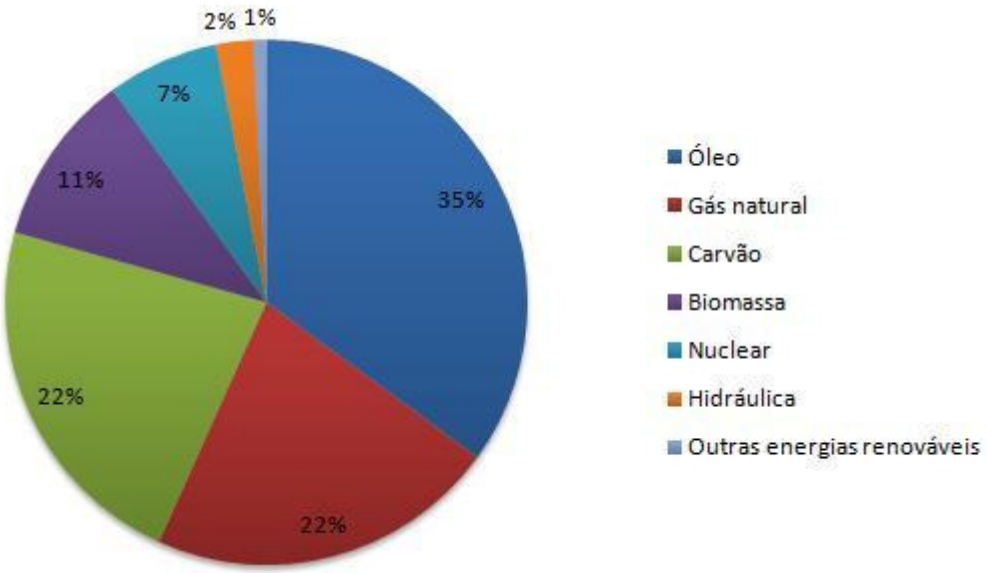


Figura 2 – Consumo mundial de energia primária, de acordo com a fonte, em 2004.
Fonte: United Nations Development Programme – UNDP (2004) – Modificado.

Juntamente com as crises energéticas da década de 70 houve a descoberta do quanto a energia é crucial para o funcionamento cotidiano de nossa sociedade trazendo ainda como resultado o aumento da preocupação com o meio ambiente. Juntamente com o crescimento pela demanda energética, observa-se o declínio da qualidade do ar urbano e a séria e intensa degradação do solo e das águas. Surgiram inquietações sobre temas como aquecimento global, chuva ácida, resíduos radioativos, dentre outros, todos relacionados com a forma como usamos nossa energia. Hinrichs; Kleinbach (2003) chamam atenção para o fato que entender a energia significa entender os recursos energéticos e suas limitações, bem como as conseqüências ambientais da sua utilização. “Energia, meio ambiente e desenvolvimento econômico estão forte e intimamente conectados”.

Em se tratando de suprimento energético, a eletricidade se tornou uma das formas mais versáteis e convenientes de energia. "Os avanços tecnológicos em geração, transmissão e uso final de energia elétrica permitem que ela chegue aos mais diversos lugares do planeta, transformando regiões desocupadas ou pouco desenvolvidas em pólos industriais e grandes centros urbanos" (Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, 2007). A Figura 3 apresenta os dados sobre a produção mundial de eletricidade de acordo com a fonte.

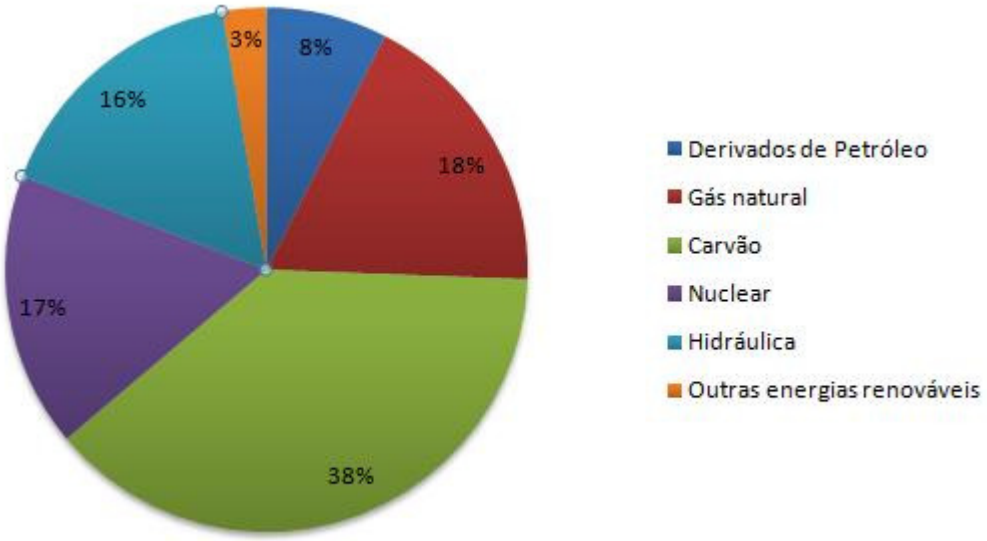


Figura 3 – Produção mundial de eletricidade de acordo com a fonte.
Fonte: United Nations Development Programme – UNDP (2004) - Modificado.

Segundo ELETROBRAS/PROCEL apud Salamoni, Knob e Ruther (2003):

> Através do acordo firmado entre diversos países, com o objetivo de promover o uso racional de energia com a utilização de fontes renováveis, centenas de milhões de dólares estão sendo gastos em programas de pesquisa e desenvolvimento. Embora as fontes renováveis ofereçam benefícios ambientais comparado a combustíveis fósseis, o custo de geração ainda permanece mais caro. Estes custos têm diminuído, e é provável que diminuam ainda mais; porém, a implementação destas fontes poderia ser mais acelerada se os governos de todos os países investissem mais nesses programas de pesquisa e desenvolvimento. Assim, gerações futuras poderiam obter benefícios através da utilização de uma energia limpa e sustentável, de forma a contribuir com a preservação do meio ambiente.

O sistema elétrico brasileiro apresenta como particularidade grandes extensões de linhas de transmissão e um parque produtor de geração predominantemente hidráulica. Apesar de ser uma fonte renovável de energia, a geração hidráulica se dá através de empreendimentos de alto custo de implantação e manutenção, e ainda enormes danos ambientais e sociais, portanto duvidoso do ponto de vista da sustentabilidade. Grande parte dos recursos energéticos do Brasil se localiza em regiões pouco desenvolvidas, distantes dos grandes centros consumidores e sujeitos a restrições ambientais. A maior capacidade de geração hidrelétrica brasileira se encontra na região amazônica onde, a inundação de enormes áreas poderia trazer como resultados grandes impactos ambientais (MOURA e SCHMID, 2005).

O mercado consumidor concentra-se nas regiões Sul e Sudeste, mais industrializadas. A região Norte é atendida de forma intensiva por pequenas centrais geradoras, a maioria termelétricas a óleo diesel. "Promover o desenvolvimento econômico-social, preservar a diversidade biológica e garantir o suprimento energético são alguns dos desafios da sociedade brasileira" (Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, 2007).

No Brasil a demanda de energia elétrica cresce na ordem de 4,5% ao ano, devendo ultrapassar 100 mil MW em 2008. Prevê-se que haja alterações na estrutura de investimentos futuros, para expansão da matriz energética brasileira, incluindo a instalação de centrais termelétricas a gás natural, que exigem prazos de implementação e investimentos menores que as hidrelétricas e deverão ser ampliadas as importações de energia e a interligação elétrica entre o Sul e o Norte do Brasil, o que significa maiores investimentos em rede de transmissão (Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL, 2007).

Salamoni, Marinoski e Ruther (2004) relatam dados da Eletrobrás que apontam as reservas de combustíveis fósseis de boa qualidade no Brasil como pequenas. A Figura 4, ilustra a matriz da energia elétrica brasileira. Pode-se observar que em relação às fontes alternativas de energia tais como biomassa, solar e eólica, a participação das mesmas ainda é quase inexpressiva, apesar da existência de um grande potencial. Fica clara a necessidade brasileira de investimento em fontes limpas de energia. As concessionárias se encontram diante da opção de aumentar sua oferta mediante a construção de novas fontes de geração e suas obras de transmissão e distribuição correspondentes, mas avaliam as restrições de

ordem financeiras, ambientais e sociais, pois as grandes obras de geração e transmissão resultam em utilização de grandes extensões territoriais (SALAMONI et al., 2004).

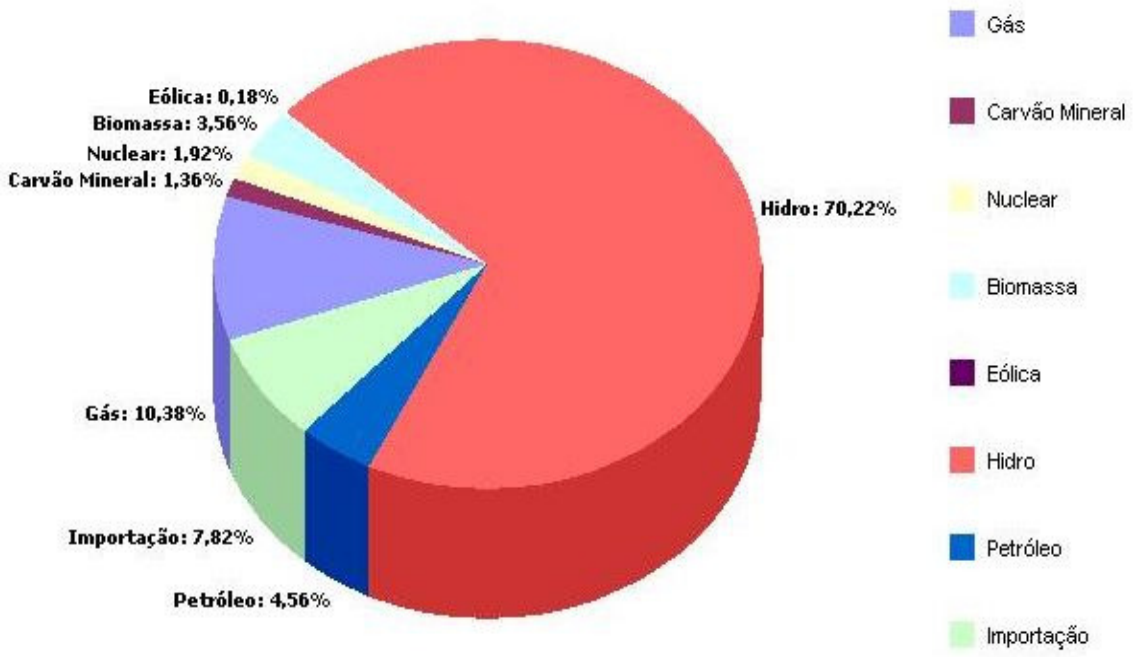


Figura 4 – Matriz da energia elétrica brasileira.
Fonte: Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2007).

Segundo Salamoni et al. (2004) as experiências internacionais têm demonstrado que, em longo prazo, a prevenção da poluição através da diminuição de resíduos e de uma produção com tecnologias mais limpas e eficientes, é mais sensata, tanto na relação custo/benefício, como também para o próprio meio ambiente, se comparado com tecnologias tradicionais.

No nosso país, segundo Geller (apud Salamoni; Ruther, 2003), mais de 40% da energia elétrica é consumida por edificações residenciais, comerciais e públicas, sendo responsáveis por 23%, 11% e 8% do total do consumo nacional respectivamente. Dentro deste setor residencial responsável por 23% do consumo nacional de energia, tem-se uma participação média de 26% do consumo total atribuído ao aquecimento de água. Portanto, conclui-se facilmente que apenas o aquecimento de água para banho em residências brasileiras é responsável por mais de 6,0% de todo o consumo nacional de energia elétrica.

Prado et al. (2007) citam dados da Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento - ABRAVA de que o mercado mundial de

aquecedores solares de água começou a crescer a partir da década de 70, mas expandiu significativamente durante a década de 90 e como resultado deste crescimento, houve um aumento substancial de aplicações, da qualidade e modelos disponíveis.

A área acumulada instalada de coletores solares no Brasil totalizou no ano de 2003 aproximadamente 2,5 milhões de metros quadrados, representando para o país um deslocamento de demanda de mais de 1200 MW no horário de ponta; economia equivalente à construção de 4 usinas de Três Marias; o equivalente a geração anual de energia de pelo menos 1700 GWh (PRADO et al., 2007).

De acordo com dados de Prado et al. (2007) estima-se que pelo menos 80% da área coletora solar instalada no Brasil seja destinada ao aquecimento de água para residências unifamiliares; 8% sejam destinadas para instalações residenciais multifamiliares (edifícios). Uma pequena e crescente parcela é destinada ao aquecimento de piscinas e para o setor terciário, principalmente hotéis, motéis, hospitais, creches e escolas. O setor industrial ainda é muito incipiente e participa com menos de 1% da área coletora instalada, mas com o desenvolvimento tecnológico crescente, o aquecimento solar para geração de calor de processos industriais tende a evoluir bastante nos próximos anos.

2.3 Energia Solar

Entre as várias alternativas, a energia solar se destaca por ser uma das mais importantes já que a Terra recebe em um ano 10 mil vezes seu consumo energético global atual e, o Brasil se posiciona em localização favorável em se tratando de radiação solar anual recebida (Centro de Referência para Energia Solar e Eólica – CRESESB, 2007).

A radiação solar é a fonte primária de todos os fenômenos atmosféricos e de processos físicos, químicos e biológicos observados em ecossistemas agrícolas, podendo ser aproveitada sob várias formas, como a captura pela biomassa, o aquecimento de ar e de água para fins domésticos e industriais, fotoeletricidade para pequenos potenciais e fontes para ciclos termodinâmicos variados (PEREIRA apud DIAS, 2005).

Quase todas as fontes de energia (hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos) são formas indiretas de energia solar. No ecossistema Terrestre, através dos ciclos naturais, a radiação solar é convertida em outras formas potenciais de geração de energia (DIAS, 2005).

A radiação solar pode ainda ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluídos e ambientes e para geração de potência mecânica ou elétrica além de poder também, ser convertida diretamente em energia elétrica conforme Figura 5.

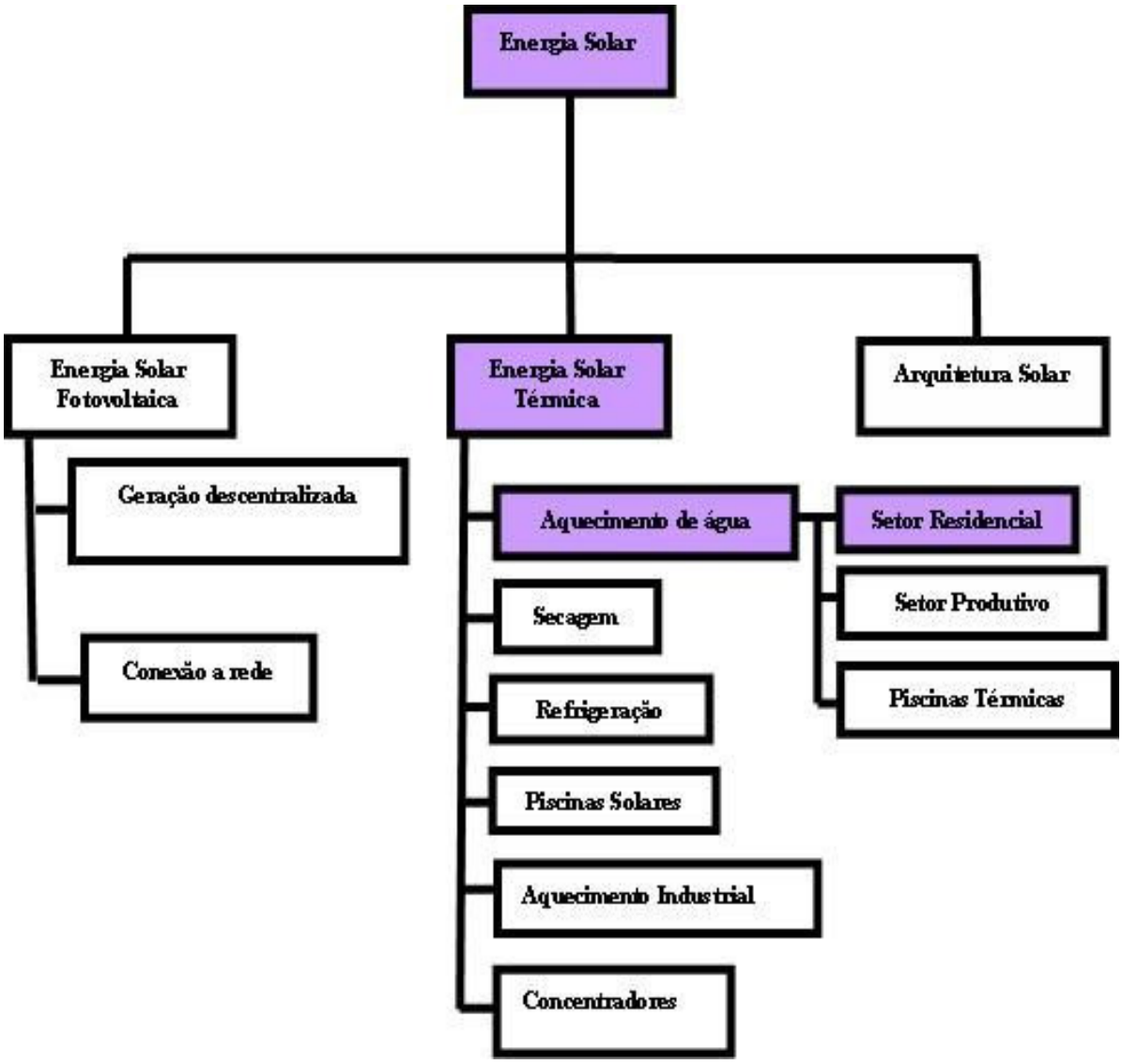


Figura 5 – Formas de utilização da energia solar.

Segundo a Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2007):

> Dentre os vários processos de aproveitamento da energia solar, os mais usados atualmente são o aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica. No Brasil, o primeiro é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste, devido a características climáticas, e o segundo, nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica.

2.3.1 Aquecimento Solar de Água

De acordo com Arruda (2004) "os sistemas de aquecimento de água consistem basicamente de: coletores de energia solar, trocadores de calor, reservatórios de água quente, equipamentos auxiliares de aquecimento e sistema de distribuição de água quente".

O coletor é o responsável pela captação da energia irradiada pelo sol e pela conversão da mesma em calor utilizável. De acordo com o uso, existem dois tipos fundamentais de coletores: coletores de concentração e coletores planos.

De acordo com Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL (2007) o aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito com o uso de coletores solares planos ou concentradores. Os coletores planos são mais usados em aplicações residenciais e comerciais (hotéis, restaurantes, clubes, hospitais etc.) para o aquecimento de água (higiene pessoal e lavagem de utensílios e ambientes). Os coletores concentradores destinam-se a aplicações que requerem temperaturas mais elevadas, como a secagem de grãos e a produção de vapor.

Segundo Lima (2003) os coletores de concentração (Figura 6) consistem em grandes refletores parabólicos ou, uma grande lente de Fresnel, que recebe os raios solares e os direciona para um absorvedor, relativamente pequeno, contendo água ou outro fluído de transferência alcançando níveis muito mais elevados de temperatura do que os coletores planos, sendo por isso, utilizados para fins industriais e de geração termelétrica. Estes coletores requerem mecanismos motorizados de rastreamento solar uma vez que, a radiação deve incidir no refletor, ou lente, com ângulo correto para que possa ser focalizado sobre o absorvedor. Boyle (1996) indica o uso deste tipo de coletor para

temperaturas da água entre 50 e 150 °C.

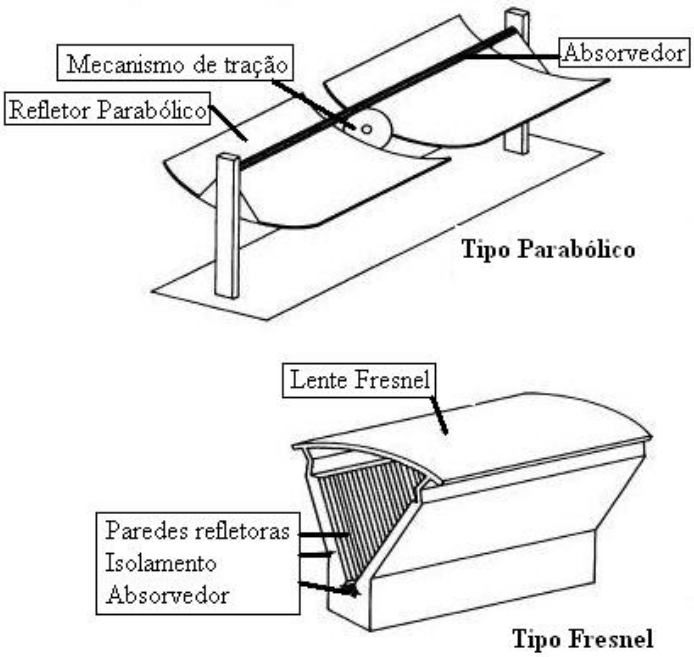


Figura 6 – Coletores de foco concentrado: parabólico e Fresnel.

Fonte: Hudson; Markell (apud LIMA, 2003).

Segundo Lima (2003) os coletores planos que são o alvo deste trabalho, recebem e utilizam a radiação solar na mesma superfície, tendo como vantagens em relação aos demais, a simplicidade de construção, o baixo custo, ausência de partes móveis, facilidade de manutenção e operação em dias nublados.

São formados por placa absorvedora de radiação, tubulações por onde escoa o líquido, cobertura transparente, na maioria das vezes, camada de material isolante térmico e caixa metálica, com fundo. Opera geralmente com temperaturas da água abaixo de 93 °C (HUDSON; MARKELL apud LIMA, 2003). Sua configuração é mostrada na Figura 7.

A placa absorvedora tem a função de converter a energia radiante em calor, transferi-la para as tubulações e, em seguida, para o fluido. Tanto as placas quanto as tubulações são construídas com metais de alta condutividade térmica, geralmente cobre, alumínio ou aço. A cobertura transparente, geralmente feita de vidro comum, reduz as perdas radiativas e convectivas da placa absorvedora, sendo responsável pelo efeito estufa ao refletir de volta a radiação infravermelha para a placa (DUFFIE E BECKMAN, 1991).

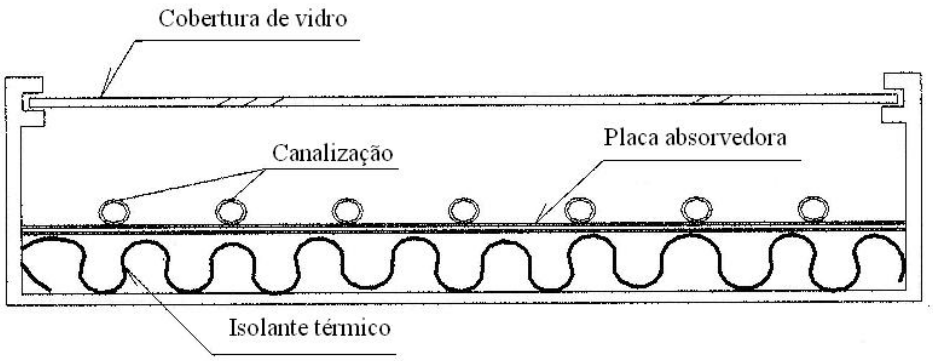


Figura 7 – Seção típica de um coletor de superfície plana.

Fonte: Lima (2003).

É recomendável que o material isolante do coletor seja capaz de resistir a temperaturas de até 204 °C sem produzir substâncias voláteis (ASHRAE apud LIMA, 2003). Os materiais mais utilizados nessa isolação são: fibra mineral, fibra cerâmica, espuma de vidro, espuma de plástico ou fibra de vidro.

A necessidade de um reservatório térmico se deve ao fato de a demanda por água quente não coincidir, na maioria das aplicações, com o período de insolação. No caso de habitações residenciais, o consumo de água quente ocorre principalmente das 18 às 20 horas, mas a geração de água quente ocorre durante o dia.

O Centre Scientifique et Technique de la Construction (1999), recomenda a utilização de um reservatório vertical de uma altura que equivale a 2 a 2,5 vezes o seu diâmetro, a fim de assegurar uma boa estratificação térmica da água pré-aquecida. Com a estratificação, a água mais quente se acumula na parte de cima do reservatório, enquanto que a água fria situa-se na parte inferior deste. Nos reservatórios horizontais, este efeito de estratificação é bem menor, de modo que o rendimento global do aquecedor pode ser prejudicado.

Segundo Duffie e Beckman (1991) para a fabricação dos reservatórios, utiliza-se, preferencialmente, aço inoxidável. No entanto, o cobre e o aço esmaltado com ânodo de proteção também podem ser utilizados. Os reservatórios de aço galvanizado são desaconselhados devido a oferecer resistência insuficiente à corrosão, enquanto que os de material sintético podem ser usados apenas quando água é armazenada sob baixa pressão. Outro importante ponto a ser observado é a qualidade do isolamento térmico que reveste o

reservatório. Ela deve ser projetada de modo que as perdas de calor para o meio sejam as menores possíveis.

O sistema de aquecimento de água com energia solar define-se como um sistema de acumulação, armazenando a água aquecida para os momentos com ausência de insolação, mas, ele não é projetado para fornecer 100% da demanda de água quente. Conforme observa Lima (2003), caso fosse adotado esse critério, o dimensionamento das placas e do tanque deveria ser feito para a pior situação possível, na qual ter-se-ia que levar em conta o período de tempo mais frio e nublado para uma dada região. Desse modo, este dimensionamento resultaria em um sistema superdimensionado para a maior parte do tempo de utilização.

Assim, em situação decorrente de vários dias sem insolação ou com insolação insuficiente, recorre-se a um aquecedor auxiliar que utiliza outra fonte de energia para suprir eventuais necessidades. Essa segunda fonte de calor normalmente é elétrica ou a gás (TABORIANSKI, 2002).

Taborianski (2002) observa que o aquecimento auxiliar pode ser localizado internamente ao reservatório ou externamente. Quando externo, pode ser de acumulação ou de passagem, sendo o de passagem o mais usual. O chuveiro elétrico é um exemplo de fonte externa de passagem que pode funcionar, na maioria das vezes, com potência muito abaixo da potência de operação normal.

A rede de distribuição de água quente do sistema de aquecimento solar deve ser projetada de acordo com os mesmo padrões utilizados nos sistemas de aquecimento por acumulação a gás ou elétrico, ou seja, de acordo com a norma brasileira da ABNT, NBR 7198: 1993 – Projeto e execução de instalações prediais de água quente.

2.3.1.1 Tipos de Sistemas

Conforme observa Lima (2003) os sistemas de aquecimento solar de água podem ter quatro configurações diferentes: sistema passivo direto, sistema passivo indireto, sistema ativo direto e sistema ativo indireto. Quando o fluido a ser aquecido é a própria água, o

sistema é definido como direto, enquanto que o indireto é aquele em que um fluido refrigerante recebe calor no coletor e o transfere à água em um trocador de calor. A circulação da água ou do fluido nos coletores pode ser feita por termossifão, configurando um sistema passivo, ou por um sistema de bombeamento, denominado sistema ativo.

O sistema indireto é utilizado quando se deseja uma proteção ao congelamento em regiões de clima muito severo, pois é mais dispendioso. Os fluidos refrigerantes etileno-glicol e propileno-glicol são os mais comuns embora existam diversos fluidos de transferência de calor como óleos siliconados, óleos hidrocarbonados e outros refrigerantes (LIMA, 2003).

No sistema ativo a circulação de água é feita por uma bomba assim, o reservatório pode estar situado em qualquer posição em relação aos coletores. A bomba é acionada quando a diferença de temperatura entre a parte superior do coletor e o reservatório atinge um valor preestabelecido e seu desligamento ocorre quando esta diferença de temperatura torna-se pequena ou quando a água do reservatório alcança um valor desejável (ARRUDA, 2004).

O sistema alvo do estudo é o sistema passivo direto, sistema em que a água é aquecida diretamente pelos coletores e sua circulação é realizada por termossifão. Devido ao seu simples funcionamento, é o sistema mais utilizado no aquecimento de água para fins domésticos. A Figura 8 ilustra um sistema passivo e direto com a fonte auxiliar de energia interna ao reservatório de água quente.

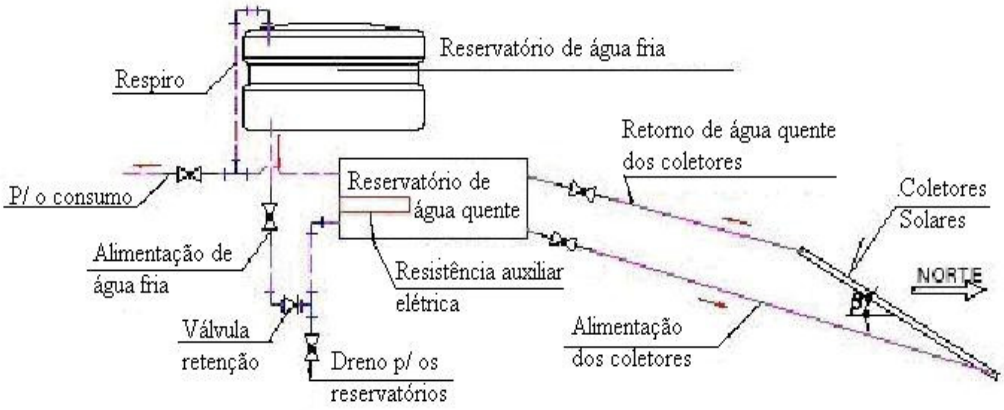


Figura 8 – Esquema de instalação de um sistema direto passivo com fonte de energia auxiliar interna ao reservatório de armazenamento de água quente.

Fonte: Lima (2003).

2.3.2 Aquecedores Solares de Água para Habitações de Interesse Social

O uso da energia solar para aquecimento de água nas habitações é uma alternativa bastante interessante para o Brasil, uma vez que o país apresenta grande potencial de utilização, além de ser uma fonte energética renovável, limpa, ilimitada e disponível em todo território nacional.

Entretanto, a maior dificuldade para a difusão do aproveitamento da energia solar consiste no investimento inicial relativamente elevado, em equipamentos e instalações, quando comparado com os sistemas convencionais. Em compensação, o custo de operação e manutenção é mínimo, contando-se praticamente com o custo da energia elétrica da resistência utilizada no aquecimento de água nos dias de pouca insolação.

A seguir são citadas algumas iniciativas de construir sistemas de baixo custo para o aquecimento de água para o banho.

Mohamad (apud LIMA, 2003) realizou, em 1997, um trabalho sobre um coletor integrado, onde o reservatório e o coletor formam um único conjunto, possuindo vantagens como, eliminação de isolação extra, eliminação de canalização e soldas e simplificação da construção como mostra a Figura 9.

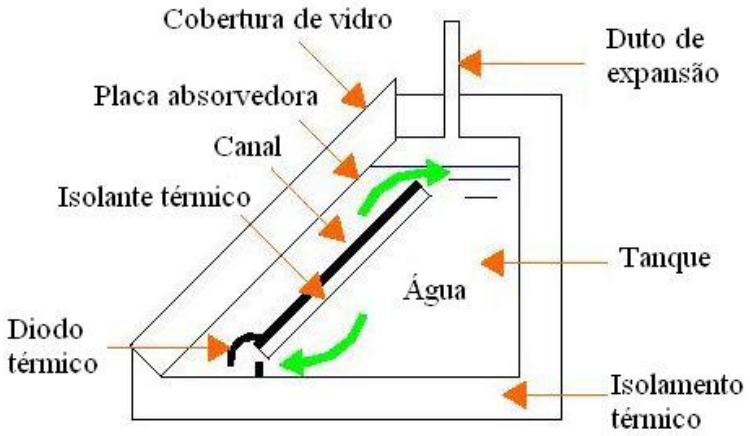


Figura 9 – Diagrama esquemático do coletor solar de superfície plana integrado ao tanque de armazenamento.

Fonte: Mohamad (apud LIMA, 2003).

Saglietti (apud RÍSPOLI, 2001) realizou, também em 1997, uma experiência com um protótipo que se tratava de um coletor composto por uma bateria de 6 sub-coletores feitos com tubos de polietileno arranjados em forma de um tronco helicoidal, sem invólucro, cada um com 50 metros, ligados entre si de duas formas: um em série e outro em paralelo.

Alencar (apud RÍSPOLI, 2001), em 1999, realizou um trabalho com um coletor que aproveita a ondulação de uma telha de fibrocimento, como parte integrante de uma caixa fechada com painel de vidro (Figura 10).

Desde Janeiro de 1999, está sendo desenvolvido pela ONG Sociedade do Sol (SoSol), sediada no Centro Incubador de Empresas Tecnológicas (Cietec), no campus da USP/IPEN, o Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC), cujas principais características são a possibilidade de manufatura em sistema de "bricolagem" e o uso de material de baixo custo encontrado em lojas de construção. O projeto conta com o apoio da FAPESP, MCT, CNPq, FINEP e de muitas empresas privadas. O responsável pelo conceito é o engenheiro Augustin T. Woelz, residente no Cietec através da Sunpower Engenharia (Sociedade do Sol - SoSol, 2007).

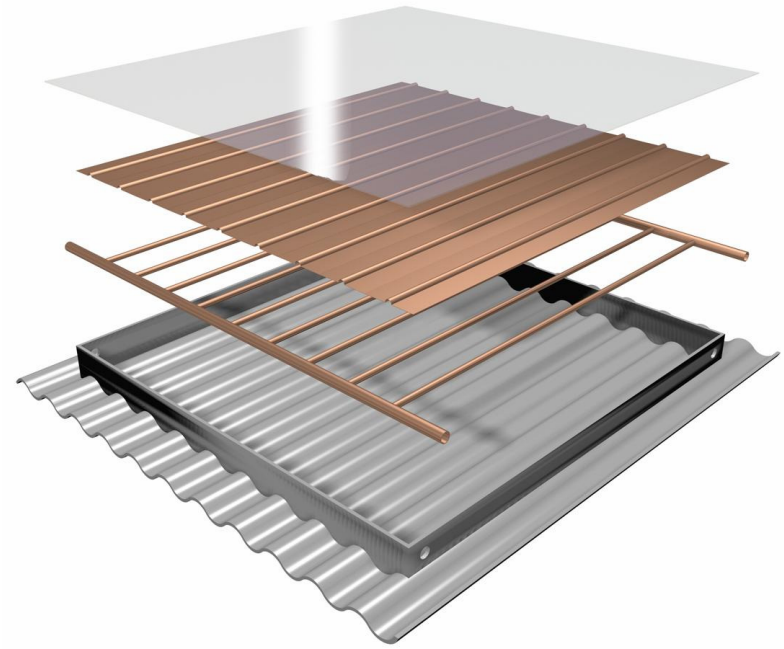


Figura 10 – Coletor que aproveita ondulação da telha de fibrocimento como parte integrante de uma caixa fechada com vidro.

Fonte: Alencar (apud RÍSPOLLI, 2001).

Ríspoli (2001) realizou experimentos objetivando a otimização experimental de um coletor solar de baixo custo associado ao chuveiro elétrico, com o propósito de pré – aquecer a água no interior do reservatório. Estudou diferentes materiais e configurações para a confecção do coletor solar;

José Alcino Alano e sua família desenvolveram, em 2002, um coletor solar de água composto de embalagens descartáveis com a finalidade de economizar energia elétrica, beneficiar o meio ambiente com uma reutilização direta dos descartáveis e conscientizar a todos de que essas embalagens (pós-consumo) podem ter aplicação útil sob o ponto de vista social. Registrou o mesmo junto ao INPI (Instituto Nacional de Propriedade Industrial) para garantir a finalidade social. Um manual deste projeto foi elaborado e está disponibilizado a todos na internet pela Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Estado do Paraná (ALANO, 2007).

O sistema ASBC e o aquecedor solar desenvolvido por Alano (2007) foram utilizados como objetos deste estudo sendo, portanto, detalhados mais a frente no Capítulo 3.

2.4 Avaliação do Ciclo de Vida

2.4.1 Definição

Todo produto causa de alguma forma um impacto ambiental e esse impacto pode ocorrer em qualquer uma das suas etapas de vida. As etapas de vida de um produto vão desde a retirada da natureza das matérias-primas elementares que entram no sistema produtivo até a disposição do produto final, denominadas do berço ao túmulo. Dentro deste contexto, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica para avaliação destes impactos ambientais associados a um produto, compreendendo todas estas etapas.

Segundo FAVA et al. (apud BORGES, 2004), a ACV é um método objetivo para avaliar impactos ambientais associados a produtos, processos ou atividades, através da identificação ou quantificação do consumo de energia, materiais e emissões. Método esse, que tem por finalidade identificar e implementar oportunidades de melhorias ambientais envolvendo todas as etapas do ciclo de vida de um produto, processo ou atividade, desde a

extração de recursos naturais, manufatura, transporte, distribuição, até o uso, manutenção, reuso, reciclagem e disposição final.

A norma ABNT/NBR ISO 14040 (ABNT, 2001) define a ACV como uma técnica para avaliar os aspectos ambientais e os impactos potenciais associados a um produto por todo seu ciclo de vida mediante a compilação das entradas (materiais, energia, etc.) e saídas (emissões) do sistema do produto em estudo, a avaliação dos impactos ambientais potenciais associados a esses fluxos, e por fim a interpretação dos resultados dessa análise e da avaliação de impactos de acordo com os objetivos do estudo.

Uma Avaliação de Ciclo de Vida deve possuir como conteúdo mínimo, extensão, largura e profundidade. A extensão indica onde iniciar e parar o estudo, a largura, quantos e quais subsistemas incluir e a profundidade, o nível de detalhes da análise (LIMA apud VALT, 2004).

2.4.2 Histórico

Nos Estados Unidos da América (EUA) em 1970 durante a primeira crise do petróleo surgiram estudos de ciclo de vida ambiental, designados “Resourse and Environmental Profile Analysis” (REPA). De acordo com Hunt e Franklin (apud FERREIRA, 2004) o termo ACV, ou em inglês, "Life Cycle Assessment" (LCA) foi utilizado primeiramente nos EUA em 1990.

Estudos foram realizados, por volta de 1990, buscando avaliar os processos produtivos e racionalizar o consumo de fontes energéticas esgotáveis. O principal enfoque desses estudos foi a questão energética, mas, alguns chegaram a considerar aspectos relacionados com a questão ambiental, incluindo estimativas de emissões sólidas, gasosas ou líquidas (CHEHEBE, 1997).

Um dos primeiros estudos que deu início aos métodos de execução para as análises de inventário de ciclo de vida nos Estados Unidos, foi conduzido pelo "Midwest Research Institute" (MRI) para a Companhia Coca Cola em 1969, quantificando o uso de matérias-primas e energia, e as emissões ambientais do processo de manufatura para diversas

embalagens de bebidas, para determinar qual delas teria menor nível de emissões de poluentes e qual afetaria menos a provisão de recursos naturais (CHEHEBE, 1997; FERREIRA, 2004; BORGES, 2004).

No final de 1972 o mesmo instituto (MRI) iniciou um estudo das embalagens de cervejas encomendado pela "Environmental Protection Agency" (EPA), muitas vezes referenciado como um marco para o início do desenvolvimento da ACV como se conhece hoje (GUINEE apud FERREIRA, 2004). Segundo o autor a intenção da EPA era examinar as implicações ambientais da utilização de embalagens de vidro reutilizáveis em vez de latas e garrafas não reutilizáveis, porque as garrafas reutilizáveis estavam, na ocasião, na eminência de serem substituídas por embalagens não-reutilizáveis. "Esta foi de longe a mais ambiciosa REPA até o momento, tendo envolvido a indústria do vidro, aço, alumínio, papel e plástico e todos os fornecedores daquelas indústrias, tendo-se caracterizado mais de 40 materiais" (HUNT e FRANKLIN apud FERREIRA, 2004).

Outras companhias nos Estados Unidos e na Europa realizaram estudos semelhantes, sendo que grande parte dos dados provinha de fontes públicas, quando os dados industriais não estavam disponíveis. Na Europa os primeiros estudos de comparação ecológica de produtos foram chamados de *eco-profiles* e foram realizados na Suíça em 1974 (VIGON et al. apud BORGES, 2004).

Após um longo período de baixo interesse público em ACV, em 1984 o Laboratório Federal Suíço para Teste e Investigação de Materiais (EMPA) publicou um importante relatório com base no estudo "Balanço Ecológico de Materiais de Embalagem" (OFEFP apud FERREIRA, 2004) iniciado pelo Ministério de Meio Ambiente da Suíça (BUS), que tinha como objetivo estabelecer uma base de dados para os materiais de embalagem mais importantes: alumínio, vidro, plásticos, papel, cartão e chapas de lata (FINK apud FERREIRA, 2004). O estudo despertou a atenção mundial por introduzir um método para normalizar e agregar emissões para o ar e para a água utilizando as normas (legislação) para aquelas emissões e introduzindo um sistema de ponderação conhecido como critério de volume crítico (CHEHEBE, 1997; FERREIRA, 2004).

De acordo com Chehebe, (1997) a SETAC, *Society of Environmental Toxicology and*

Chemistry, foi uma das fomentadoras da metodologia da ACV na América do Norte, seguida pela mesma organização em Leiden, Holanda. Muitos conceitos adotados pela SETAC foram adotados pela ISO, *International Organization for Standardization.*

Chehebe (1997) chama atenção para o fato que dentre os estudos realizados houve, em alguns casos, grandes discrepâncias de resultados. Exemplos clássicos são os estudos ocorridos na década de 80 e início da década de 90, que se concentraram em materiais para embalagens com atenção especial às embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL). Estudos aparentemente sobre o mesmo tipo de embalagem e utilizando os mesmos dados apresentavam consideráveis diferenças. As razões dessas discrepâncias foram identificadas nas formas distintas como foram tratadas algumas informações relevantes ilustrando assim, a importância da qualidade dos dados que entram no modelo e a fragilidade do método com relação à possíveis manipulações. Parafraseando o autor "quase todos os estudos de ACV que foram conduzidos sofreram no mínimo uma das seguintes restrições: ausência de dados importantes, séries que abrangem períodos diferentes (idade dos dados) e etapas importantes da ACV não consideradas".

Nos últimos anos, uma demanda crescente, tanto de consumidores como de outras partes interessadas, como governos, acionistas, indústrias, especialistas ambientais e concorrentes que querem conhecer a qualidade ambiental dos processos de produção e dos produtos, vem criando uma pressão para a redução dos impactos ambientais, não apenas na fase do uso do produto, mas onde eles são verdadeiramente significativos e, dessa forma, a ferramenta da Avaliação de Ciclo de Vida tornou-se fundamental.

2.4.3 ACV e a ISO 14000

De acordo com Chehebe, (1997) de 1991 a 1993 o SAGE, *Strategic Advisory Group on Environment*, trabalhou dentro da *International Organization for Standardization* - ISO (Organização Internacional para Padronização), a fim de identificar os principais elementos para a elaboração de normas internacionais sobre meio ambiente.

Segundo Moura (apud Borges 2004), em 1993, foi instalado pela ISO, um comitê técnico (TC 207), para a elaboração de uma série de normas sobre gestão ambiental e suas

ferramentas para as empresas. O comitê trabalhou na elaboração das normas da série ISO 14000, através de seis sub-comitês (SC-01 - Sistemas de Gestão Ambiental: Série ISO 14001; SC02 - Auditoria Ambiental: Série ISO 14010; SC03 - Rotulagem Ambiental: Série ISO 14020; SC04 - Avaliação de Desempenho Ambiental: Série ISO 14030; SC05 - Avaliação de Ciclo de Vida: Série ISO 14040; SC06 - Termos e Definições: Série ISO 14050) e um grupo de trabalho, responsável por elaborar termos e definições, do qual participam representantes de todos os subcomitês e grupos de trabalho, para evitar que sejam usados termos com interpretações diferentes.

A ISO, baseada inicialmente nos seminários e publicações da SETAC e de algumas outras entidades, iniciou o processo de elaboração das normas sobre ACV, através do sub-comitê número cinco, SC-05 (TC 207/SC05). As normas relacionadas com ACV que foram publicadas até o momento são citadas a seguir.

A ISO 14040*: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Principles and Framework,* estabelece os princípios básicos e os requisitos para a realização e divulgação dos resultados de estudos de ACV, apresentando a definição dos principais termos, descrevendo os objetivos e aplicações da técnica, identificando e caracterizando as fases da ACV.

A ISO 14041*: Environmental Management – Life Cycle Assessment – Goal and scope definition and inventory analisis,* descreve os requisitos para o estabelecimento do objetivo e escopo de um estudo de ACV, detalhando também as etapas de uma análise de inventário.

A ISO 14042*: Environmental Management – Life cycle assessment – life cycle impact assessment,* apresenta os princípios gerais para a realização de avaliações de impacto, os componentes obrigatórios nestas avaliações, a seleção das categorias de impacto a serem estudadas e descreve as etapas de classificação e de caracterização.

A ISO 14043*: Environmental Management – Life cycle assessment – life cycle interpretation,* apresenta os requisitos e recomendações para interpretação dos resultados

de uma análise de inventário ou avaliação de impacto. Descreve a identificação dos pontos relevantes do estudo, a avaliação da qualidade dos dados e a análise de sensibilidade.

De acordo com Mourad (apud VALT, 2004) a série de normas também contém três relatórios técnicos que exemplificam a aplicação das normas citadas:

O ISO TR 14047: *Environmental management – Life cycle impact assessment – Examples of application of ISO 14042*, apresenta exemplos de aplicações da ISO 14042.

O ISO TR 14048*: Life cycle assessment – Data documentation Format*, fornece exemplos sobre a documentação dos dados coletados na ACV.

O ISO TR 14049: *Environmental management – Life cycle assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis*, apresenta exemplos de aplicações da ISO 14041.
As seguintes normas foram publicadas pela ABNT até o momento:

NBR ISO 14040: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura, publicada em Novembro de 2001.

NBR ISO 14041: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Definição do objetivo e escopo e análise do inventário, publicada em julho de 2004.

NBR ISO 14042: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Avaliação do impacto do ciclo de vida, publicada em julho de 2004.

NBR ISO 14043: Gestão ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Interpretação do ciclo de vida, publicada em junho de 2005.

2.4.4 Aplicações e Limitações

De acordo com Ferreira (2004) os dados de um estudo de ACV em conjunto com outras informações, tais como, dados de custos e desempenho, podem ajudar os tomadores de decisões na seleção de produtos ou processos que resultem em menor impacto ambiental.

A norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2001) apresenta as seguintes aplicações da ACV de uma maneira geral: identificar oportunidades de melhoria dos aspectos ambientais de produtos em vários pontos de seu ciclo de vida; avaliar a tomada de decisão na indústria, assim como nas organizações governamentais e não governamentais (planejamento estratégico, projeto de produto ou processo); selecionar indicadores relevantes de desempenho ambiental, incluindo técnicas de medição; promover marketing institucional e de produto.

Segundo Chehebe (1997) a ACV encoraja as indústrias a considerar questões ambientais associadas ao sistema de produção. Além disso, o banco de dados formado pela ACV permite avaliar produtos feitos de diferentes materiais, auxiliando no desenvolvimento de novos processos que proporcionem redução no consumo de recursos naturais e na geração de resíduos.

A técnica da Avaliação do Ciclo de Vida tem limitações, que devem ser consideradas tanto na elaboração dos estudos quanto no uso dos seus resultados. A norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2001) chama atenção para o fato de que a ACV é uma das várias técnicas de gerenciamento ambiental (dentre elas, avaliação de risco, evolução do desempenho ambiental, auditorias ambientais e avaliação de impacto ambiental) e que toda técnica possui limitações.

Portanto, dentre as limitações presentes na ACV, a NBR ISO 14040 (ABNT, 2001) apresenta:

- a natureza das escolhas e suposições feitas na ACV pode ser subjetiva;
- resultados de estudos de ACV focados nas questões regionais ou globais podem não ser apropriado para aplicações locais;

- acessibilidade, disponibilidade ou qualidade dos dados;
- ausência de dimensões espaciais e temporais dos dados do inventário utilizados na avaliação do impacto causa incerteza nos resultados;
- modelos utilizados para análise de inventário ou para avaliação de impacto ambiental, são limitados por suas hipóteses e podem não ser disponíveis para todos os impactos e aplicações.

A elaboração de estudos que utilizam a metodologia da ACV quase sempre acarreta em grande consumo de tempo, recursos financeiros e humanos, além disso, dependendo da profundidade do estudo que se pretende conduzir, a coleta de dados pode ainda ser dificultada por várias outras razões e a não disponibilidade de dados importantes pode afetar o resultado final do estudo e, consequentemente, sua confiabilidade. Portanto, torna-se necessária uma avaliação da relação benefício-custo a fim de se atingir a qualidade desejada para o estudo, levando-se em consideração quais dados deverão ser pesquisados, o custo e o tempo para sua coleta e os recursos disponíveis para a condução do estudo (IBICT, 2007).

Conforme observa IBICT (2007), é importante ter consciência que a ACV não é uma ferramenta capaz de medir qual produto ou processo é o mais eficiente tanto em relação ao custo quanto em relação a outros fatores, uma vez que, não mede impactos reais ambientais, e sim potenciais. Assim, as informações resultantes podem e devem ser utilizadas como mais um componente de um amplo processo decisório que leve outros fatores em consideração.

2.4.5 Etapas da ACV

Em linhas gerais, uma Avaliação do Ciclo de Vida de um produto ou serviço consiste em definir o objetivo e o escopo, realizar um levantamento quantificado de dados (inventário) de todas as entradas (materiais, energia e recursos) e saídas (produtos, subprodutos, emissões, etc.) durante todo o ciclo de vida, realizar uma análise do inventário identificando os impactos ambientais potenciais ao longo do ciclo de vida e interpretar os resultados do estudo. Sendo, portanto, composto de quatro etapas como mostra a Figura 11.

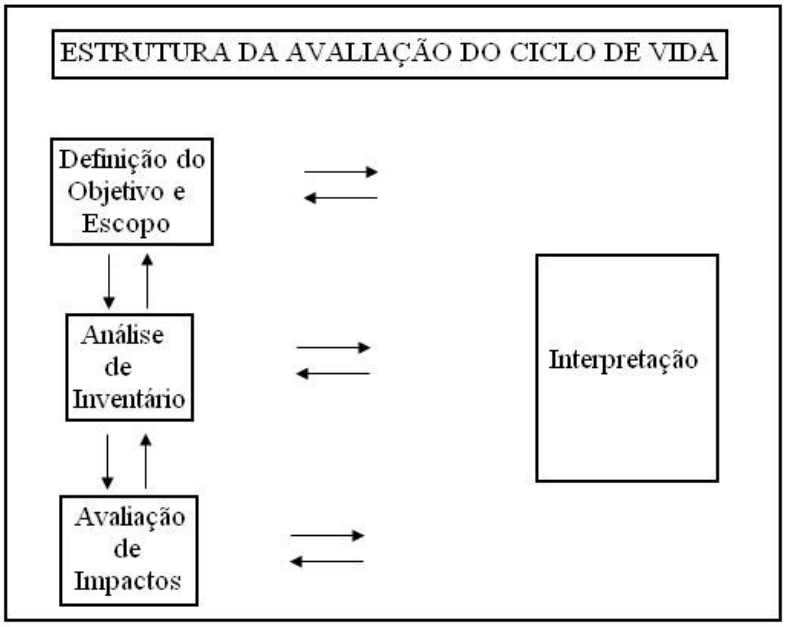


Figura 11 – Etapas da ACV.

Fonte: ABNT (2001).

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma técnica interativa. Durante o decorrer do estudo, à medida que informações adicionais forem sendo coletadas e quando o sistema estudado for mais bem conhecido, entre outros fatores, pode ser necessária a sua modificação.

As quatro etapas referentes à Avaliação do Ciclo de Vida serão mais bem detalhadas nos subitens a seguir.

2.4.5.1 Definição do Objetivo e Escopo

Uma clara e inequívoca definição do "Objetivo" e "Escopo" (NBR ISO 14041) é fundamental para a condução do estudo constituindo-se em fase crucial para o sucesso do mesmo, sua relevância e utilidade, podendo ser uma tarefa bastante complexa. Na etapa de definição de objetivo do trabalho são consideradas as principais razões para a realização do estudo, a aplicação pretendida e o seu público alvo.

De acordo com a NBR14041 (ABNT, 2004) na definição do escopo de um estudo da ACV deve-se considerar:

- a definição do sistema a ser estudado;
- a definição dos limites do sistema;
- a definição das unidades do sistema;
- o estabelecimento da função e da unidade funcional do sistema;
- os procedimentos de alocação;
- os requisitos dos dados;
- as hipóteses de limitações;
- a metodologia a ser adotada;
- o tipo e o formato do relatório, importantes para o estudo e a definição dos critérios para a revisão crítica, se necessário.

Valt (2004) observa que na definição do sistema a ser estudado, são relacionados: o tipo de produto, processo ou serviço; os materiais utilizados e as tecnologias de produção.

Segundo Borges (2004) a definição da função do sistema, e conseqüentemente, da unidade funcional constitui um dos elementos mais importantes do estudo de ACV. "A função é o desempenho do produto a ser modelado e a quantificação dessa função é chamada de unidade funcional".

De acordo com a NBR 14040 (ABNT, 2001) a unidade funcional é uma medida do desempenho das saídas funcionais, do sistema de produto, relacionadas com a sua função. Um dos principais objetivos em se determinar a unidade funcional é fornecer uma referência para que as entradas e saídas do sistema sejam inventariadas.

Conhecidos os objetivos, devem-se determinar os limites do sistema, ou seja, as etapas a serem incluídas ou não no estudo proposto. Segundo NBR 14040 (ABNT, 2001) são vários os fatores que determinam os limites dos sistemas, entre eles, a aplicação pretendida, as suposições feitas, as restrições de dados, etc. Os requisitos de qualidade de dados devem ser estabelecidos para que os objetivos e o escopo do estudo sejam alcançados.

Segundo Tillman e Baumann (apud BORGES, 2004), os limites do estudo podem considerar as diversas dimensões, como segue: limites em relação ao meio ambiente, indicando onde o ciclo de vida se inicia e termina, em relação ao meio natural; limites em

relação a outros sistemas; limites geográficos que definem onde cada processo será considerado como realizado; limite temporal que considera o momento para o qual os dados levantados terão validade; limites tecnológicos representando o nível tecnológico ao qual os dados do estudo correspondem, e limites de bens de capital que determinam se serão incluídos ou não no estudo as infra-estruturas necessárias para a realização dos processos.

A norma NBR 14040 (ABNT, 2001) chama atenção para o fato que no caso de estudos comparativos deve ser avaliada a equivalência dos sistemas que serão comparados antes da interpretação dos resultados isto é, os mesmos devem ser comparados utilizando-se da mesma unidade funcional e considerações metodológicas.

Na etapa final de definição de escopo são estabelecidos quais os aspectos ambientais e categorias de impacto adotadas no estudo.

2.4.5.2 Análise do Inventário

Segundo a NBR ISO 14041 (ABNT, 2004) uma vez estabelecidos o objeto e o escopo do estudo a próxima fase da ACV é a "Análise do Inventário" (Figura 12) que se refere à coleta de dados e ao estabelecimento dos procedimentos de cálculo para que se possa facilitar o agrupamento destes dados em categorias ambientais normalmente utilizáveis e comparáveis, de modo semelhante a um balanço contábil (CHEHEBE, 2004).

A análise do inventário é a fase de coleta e quantificação de todas as variáveis (matéria-prima, energia, transporte, emissões atmosféricas, efluentes líquidos, resíduos sólidos, etc), relacionadas com o ciclo de vida de um produto ou processo. Sua condução é um processo iterativo, uma vez que, na medida em que os dados são coletados e passa-se a conhecer melhor o sistema, podem-se identificar novos requisitos ou limitações para os dados que requeiram uma mudança nos procedimentos de coleta de dados a fim de se alcançar os objetivos do estudo (ABNT, 2001).

Esta fase da Avaliação do Ciclo de Vida pode se tornar uma das mais difíceis e trabalhosas em função da não-disponibilidade de dados, da qualidade dos dados disponíveis ou da

necessidade de estimá-los.

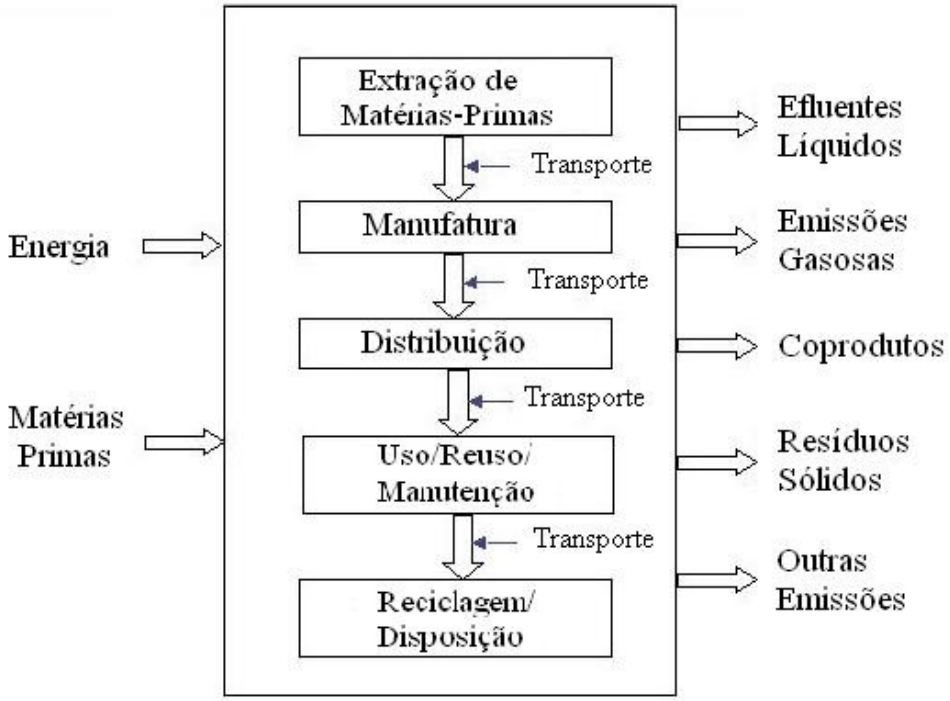


Figura 12 – Esquema da análise do inventário.

Fonte: Consoli et. al., (apud BORGES, 2004).

Krozer (apud VALT, 2004) observa que para realizar uma coleta adequada de dados, é necessário desenvolver fluxogramas representando todas as etapas de processo e suas inter-relações onde, cada etapa deve ser descrita listando-se os aspectos ambientais existentes e definindo as unidades de medidas.

Segundo Vigon (apud VALT, 2004) a qualidade e a confiança dos dados são fundamentais para a qualidade da ACV, agregando ainda que:

> Dados sobre consumo de energia, especialmente durante a manufatura, consumo de recursos naturais e consumo de água são os de mais fácil obtenção e os mais confiáveis. Os dados de resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas são normalmente mais difíceis de serem obtidos por causa principalmente da dificuldade de determinação de sua exata composição e da confiabilidade do resultado. Os dados de emissões atmosféricas são freqüentemente disponíveis apenas para os poluentes que são regulamentados,

> variando bastante de acordo com o tamanho de cada planta e tecnologia utilizada.

Segundo Wenzel, Hauschild e Alting (apud BORGES, 2004), existem dados primários, coletados por medições diretas e provenientes das empresas participantes do sistema de produto em estudo, e dados secundários, cujas fontes podem ser divididas em três categorias principais: banco de dados eletrônicos; dados da literatura (publicações e relatórios de ACV) e dados internos (laboratórios, órgãos do governo, entre outros). Acrescentam ainda que, a coleta de dados deve iniciar com uma pesquisa detalhada da literatura, a fim de se adquirir informações relevantes ao estudo. Em seguida, é sugerida a elaboração de um questionário para coleta de dados, que é quando são estabelecidos contatos com as empresas envolvidas no sistema de produto, e uma visita à empresa freqüentemente faz-se necessária. O Anexo A da NBR 14041 (ABNT, 2004) apresenta exemplos de formulários de coleta de dados.

2.4.5.3 Avaliação dos Impactos

Conforme a NBR 14040 (ABNT, 2001) a fase de Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) constitui-se em um processo qualitativo e quantitativo de avaliação da magnitude e significância de impactos ambientais potenciais através dos resultados da análise do inventário do ciclo de vida. Observa ainda que, na maioria das vezes esse processo envolve a associação de dados do inventário com impactos ambientais específicos e a tentativa de compreendê-los. Dependendo do objetivo e escopo do estudo, são escolhidos: os impactos avaliados, o nível de detalhe e as metodologias a serem utilizadas.

Segundo a NBR 14042 (ABNT, 2004a) a AICV modela as questões ambientais selecionadas (categorias de impacto) utilizando indicadores de categoria para condensar e explicar os resultados do inventário. Esses indicadores de categoria refletem as emissões ou o uso de recursos para cada categoria de impacto representando os impactos ambientais potenciais. Isto é, para cada categoria de impacto, um indicador de categoria é selecionado e o resultado do mesmo é calculado. O conjunto desses resultados dos indicadores fornece as informações a respeito das questões ambientais associadas às entradas e saídas do sistema.

Chehebe (1997) observa que a seleção e definição das categorias ambientais devem considerar as preocupações ambientais identificadas no objetivo e escopo do estudo sendo ainda, de grande importância definir quais níveis, nas diversas cadeias de impacto, serão considerados na avaliação. A NBR 14042 (ABNT, 2004a) apresenta os requisitos e as recomendações que se aplicam à seleção de categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização.

A correlação dos resultados do inventário, freqüentemente chamada de classificação, tem como objetivo atribuir, a cada uma das categorias selecionadas e identificadas, os dados correspondentes do inventário. "Todas as entradas e saídas do inventário que contribuem para causar impacto sobre o meio ambiente são classificados de acordo com o tipo de problema para o qual elas contribuem" (CHEHEBE, 1997).

O cálculo dos resultados dos indicadores de categoria, ou caracterização, quantifica as contribuições para cada problema ambiental. Trata-se, segundo a NBR 14042 (ABNT, 2004a), da conversão dos resultados do inventário para unidades comuns e da agregação dos mesmos dentro da categoria de impacto.

Como opcionais nessa etapa da ACV, a norma NBR ISO 14042 (ABNT, 2004a) propõe três elementos: normalização, ponderação e conversão. Onde, o primeiro tem como objetivo o melhor entendimento da magnitude de cada resultado dos indicadores, relacionando esses resultados com uma informação de referência. O segundo elemento consiste em correlacionar categorias de impacto em um ou mais conjuntos. O terceiro é o processo de conversão dos resultados dos indicadores de diferentes categorias de impacto usando fatores numéricos baseados em valores preestabelecidos.

De acordo com Valt (2004) com relação à essa etapa de valoração, não há ainda consenso internacional sobre a metodologia mais adequada para sua determinação. Entretanto, um dos primeiros sistemas de peso desenvolvido para a determinação de valores associados aos aspectos ambientais foi o método Eco-Indicador 95 que utiliza uma etapa de distribuição de pesos que resulta em um número indicador do impacto ambiental de um material ou processo baseado em dados de uma análise de ciclo de vida (PRE CONSULTANTS apud VALT, 2004).

2.4.5.4 Interpretação

Conforme a norma ISO 14043 (ABNT, 2005), a interpretação do ciclo de vida tem como objetivo analisar os resultados, apresentar as conclusões, limitações e recomendações baseadas nas fases anteriores do estudo. Pretendendo ainda, apresentar resultados das etapas anteriores de forma completa, compreensível e consistente, de acordo com o objetivo e o escopo, preestabelecidos no estudo. "A norma recomenda o uso de procedimentos sistemáticos para identificar, qualificar, checar, avaliar, e apresentar as conclusões, o uso de procedimentos interativos entre a fase de interpretação e as outras fases anteriores" (BORGES, 2004).

Na fase de interpretação, as questões ambientais mais significativas são identificadas e avaliadas trazendo como resultado conclusões, recomendação e relatórios sobre as mesmas. De acordo com Valt (2004) após serem analisados os resultados torna-se possível identificar pontos críticos do ciclo de vida do produto que necessitem de melhorias.

2.4.6 Método Eco-indicador

Apesar de que a ACV é uma boa ferramenta para avaliar o desempenho ambiental de um produto, ela consome muito tempo e recursos financeiros. Além disso, os resultados de uma ACV devem sempre ser interpretados ou pesados. A realização de um inventário de ciclo de vida traz como resultado uma tabela de impactos extensa e geralmente de difícil interpretação. A metodologia Eco-indicador é um método de pesos, para a ACV, especialmente elaborado para o desenvolvimento de produtos, e tem se mostrado como ferramenta adequada para que o projetista possa agregar os resultados da ACV em unidades de fácil entendimento, chamadas Eco-indicadores (GOEDKOOP; SPRIENSMA, 2000a).

O Eco-indicador é um número que expressa a carga ambiental total de um produto ou processo onde, quanto maior o seu valor maior o seu impacto. Para calcular os impactos ambientais de um produto ao longo de seu ciclo de vida devem-se identificar as quantidades de materiais, energias ou processos relacionados ao mesmo em cada uma de suas fases, e multiplicar essas quantidades pelos indicadores correspondentes. Os valores

obtidos permitem comparar os impactos do produto em cada uma das suas fases e identificar onde acontecem os impactos mais significativos (IBICT, 2007a).

Segundo Brentrup et al. (2001) um dos métodos mais empregados pela comunidade científica para a descrição dos resultados obtidos com a ACV é o método Eco-indicador 95, um método de pesos para efeitos ambientais que prejudicam ecossistemas ou a saúde humana na escala européia.

No método, a ACV foi expandida, incluindo-se à mesma, uma etapa de pesagem sendo possível obter um valor indicador tornando o resultado mais claro. O método adota como categorias de impacto ambiental o aquecimento global, a eutrofização, a acidificação da água da chuva e o efeito fotoquímico, entre outros. O sistema de pesos é baseado no princípio da distância ao alvo isto é, a distância entre o valor padrão e o encontrado para determinado efeito. Quanto maior a distância, mais sério o efeito. O valor padrão é baseado em uma análise do dano causado por um efeito na escala européia (GOEDKOOP; DEMMERS; COLLIGNON, 1996).

Conforme Goedkoop; Demmers; Collignon (1996) o método foi desenvolvido com o objetivo de se criar um instrumento fácil de usar com o qual aspectos ambientais podem ser integrados no processo de produção. Além disso, uma lista com 100 Eco-indicadores padrão foi criada através de ACVs realizadas com materiais e processos comuns. Assim, o projetista pode utilizar os Eco-indicadores padrão como parte da metodologia de desenvolvimento do produto, para analisar rapidamente a carga ambiental de um produto ou processo ao longo de seu ciclo de vida, possibilitando que alternativas sejam comparadas.

Goedkoop; Spriensma (2000a) observam que a versão posterior, método Eco-indicador 99, inclui mais aspectos ambientais do que a primeira, método Eco-indicador 95, sendo mais complexa e possuindo também uma lista de Eco-indicadores padrão mais extensa, porém, ainda com as mesmas unidades de fácil entendimento.

Os Eco-indicadores padrão podem ser considerados adimensionais, entretanto são expressos em Pontos Eco-indicadores (Pt). Na lista de valores dos Eco-indicadores padrão

os mesmos aparecem expressados em milli-point (mPt) a fim de se evitar trabalhar com números com grandes quantidades de casas decimais. Na metodologia Eco-indicador 99, 1 Pt = 1000 mPt. Os valores das diferentes versões não são compatíveis não sendo, portanto, possível misturar Eco-indicadores 95 e 99 não existindo também, nenhum fator de correção que torne a mistura possível. (Goedkoop; Spriensma, 2000a).

Para este trabalho optou-se por utilizar a lista de valores de Eco-indicadores padrão que é apresentada pela metodologia Eco-indicador 99, portanto, algumas considerações serão feitas a respeito da metodologia de cálculo dos mesmos.

Na etapa de elaboração da metodologia Eco-indicador 99 optou-se por modificar o sistema de pesos em relação à versão 95 que, expressava as emissões e extrações de recursos em dez ou mais categorias de impacto, tais como, acidificação, eutrofização, etc. Por considerar-se que adicionar fatores de pesos significativos para um grande número de categorias de impacto torna difícil a ponderação dos resultados, passou-se a adicionar os pesos aos danos que são causados pelas categorias de impacto (Goedkoop; Spriensma, 2000a).

Assim, conforme observa Xavier (2003), no método Eco-indicador 99 são consideradas três categorias de danos: saúde humana, qualidade do ecossistema e recursos naturais. As categorias de impacto são então relacionadas com suas respectivas categorias de danos. Por exemplo, a categoria de impacto de depleção da camada de ozônio está relacionada, fazendo parte, da categoria de dano à saúde humana.

Deve-se ter sempre em mente que o método refere-se às condições européias, assim, os danos causados por algumas categorias de impacto estão relacionados a essa condição, com exceção para aqueles que ocorrem em escala global como os efeitos causados pelos gases estufa, por exemplo (XAVIER, 2003).

No método Eco-indicador 99 o sistema de pesos não é mais baseado no princípio da distância ao alvo, devido à ausência de uma maneira clara e objetiva de se definir o alvo. Neste método foi introduzida uma função de aproximação de dano que apresenta a relação

entre o impacto e o dano, metodologia com base científica de maior confiabilidade (GOEDKOOP; SPRIENSMA, 2000a).

De acordo com Goedkoop; Spriensma (2000a) a fim de se calcular os valores Eco-indicadores padrão encontrados na lista, foram seguidos os três passos descritos a seguir (Figura 13).

- Inventário de todas as emissões relevantes, extrações de recursos e uso do solo em todos os processos que formam o ciclo de vida do produto.
- Cálculos dos danos que estes fluxos causam à saúde humana, à qualidade dos ecossistemas e aos recursos, através de modelos complexos de cálculo de danos que foram desenvolvidos. Na Figura 14 estes modelos são apresentados de forma esquemática.
- Ponderação das três categorias de danos.

Devido ao fato de que a escolha dos modelos de danos sofreu conflitos de diferentes perspectivas por parte dos autores da metodologia e de que não há caminho para se determinar qual perspectiva está correta, foram considerados três arquétipos de perspectivas gerando três versões para a metodologia Eco-indicador 99: individualista, hierárquica e igualitária (Tabela 1). Os valores padrão publicados na lista são baseados na versão hierárquica que considera apenas os fatos provados através de documentos científicos (Goedkoop; Spriensma, 2000).

Tabela 1 – Ponderações utilizadas nas três versões da metodologia Eco-indicador 99.

	Versões do Eco-indicador 99		
Categorias de danos	Hierárquica	Igualitária	Individualista
Saúde humana	300	300	550
Ecossistemas	400	500	250
Recursos	300	200	200
Total	1000	1000	1000

Fonte: Xavier (2003).

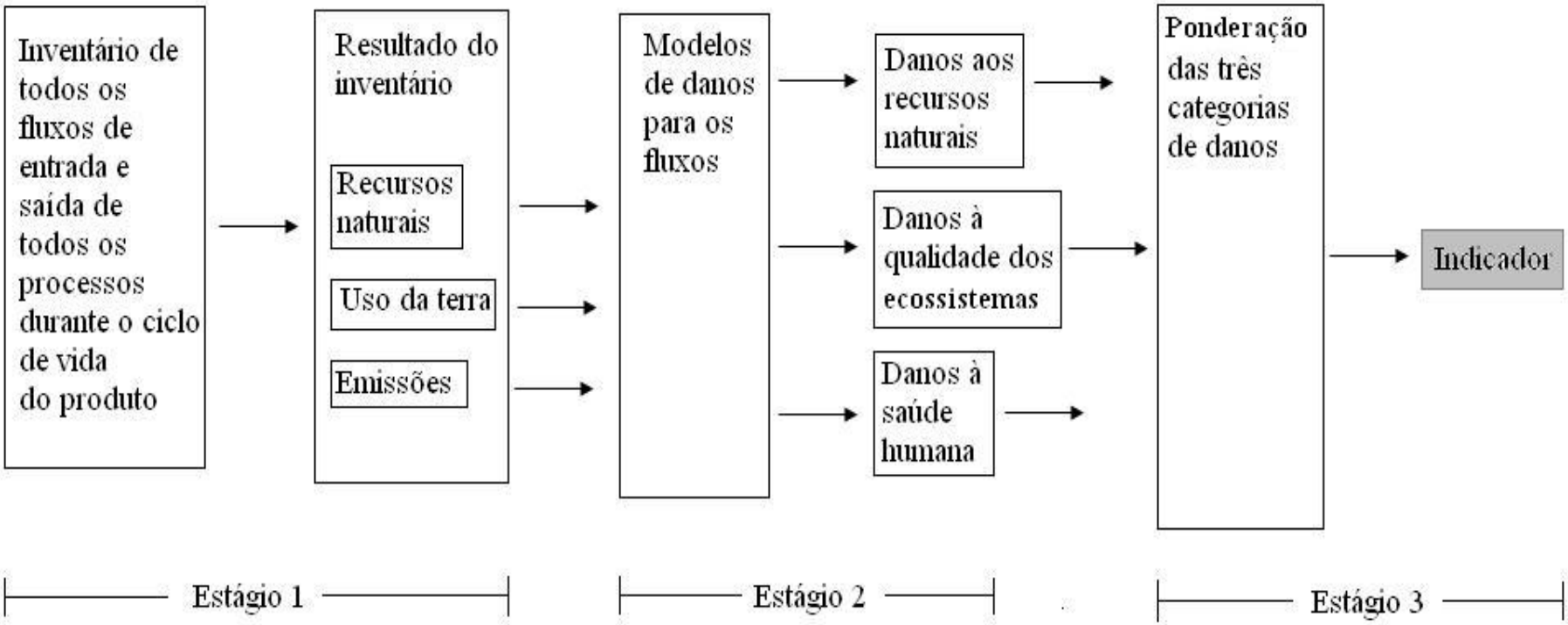


Figura 13 – Procedimento geral para o cálculo de Eco-indicadores.

Fonte: Goedkoop; Spriensma (2000) - Modificado.

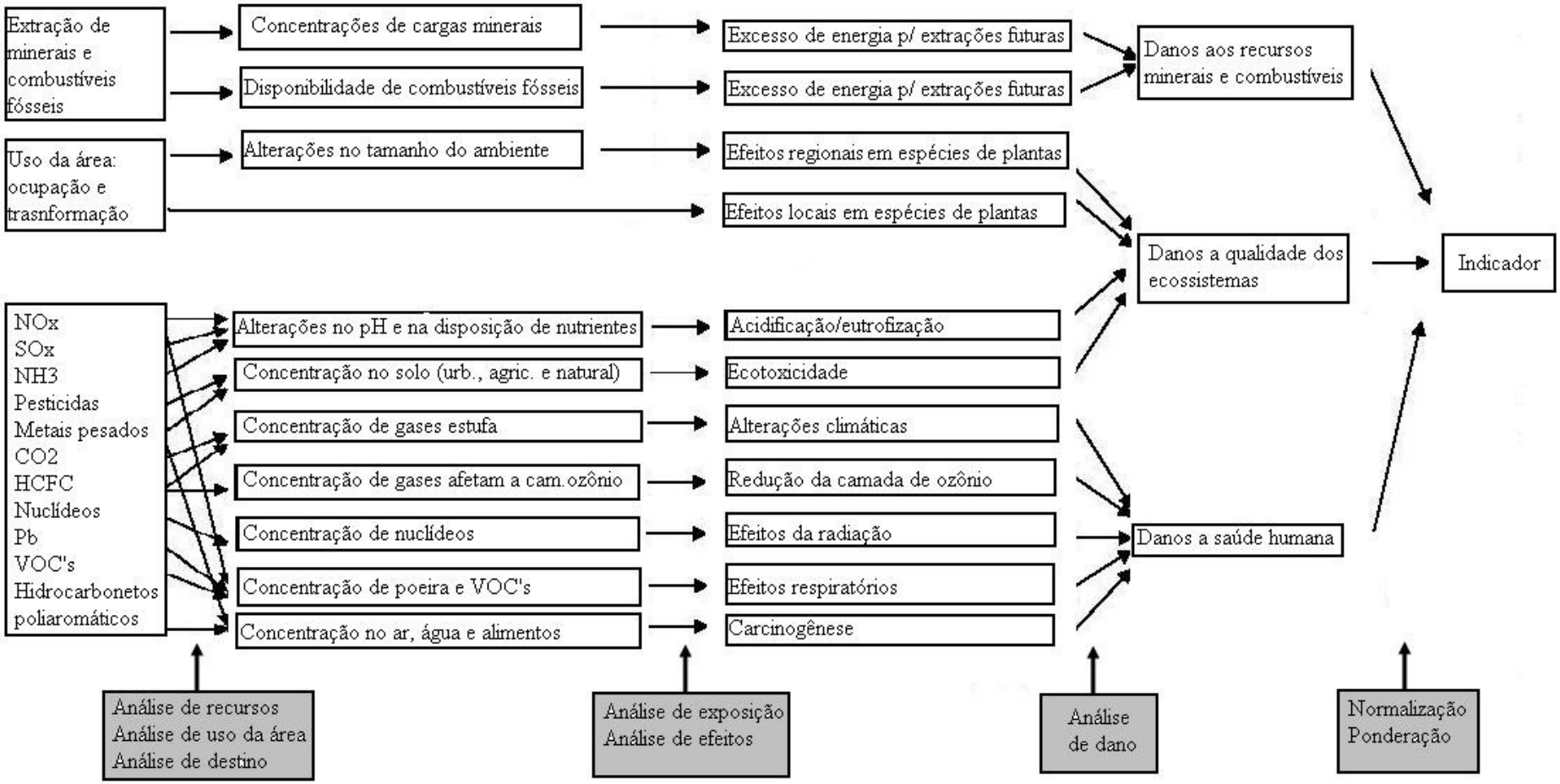


Figura 14 – Representação do modelo de danos da metodologia Eco-indicador 99.

Fonte: Goedkoop; Spriensma (2000) - Modificado.

Os valores padrão do método Eco-indicador 99 estão divididos nas seguintes categorias apresentadas a seguir.

- Materiais: Na determinação do indicador para a produção de materiais, todos os processos estão incluídos desde a extração das matérias-primas até o último estágio de produção. O transporte ao longo da rota de produção está incluído. Os indicadores para os processos de produção são baseados em 1 kg de material.
- Processos de produção: Os Eco-indicadores relativos à processos de produção estão relacionados às emissões do processo em questão e às emissões provenientes da geração de energia necessária no processo.
- Transporte: A determinação do indicador inclui as emissões desde a extração e produção do combustível até o uso do mesmo no veículo. Inclui ainda a viagem de retorno com o veículo vazio. A unidade é considerada para o transporte de 1000 kg de material por km.
- Geração de energia: A definição dos indicadores considera a extração e produção do combustível e a sua utilização na geração de energia.
- Disposição final: Os indicadores foram calculados de acordo com o material e sua disposição final (incineração, aterro sanitário e reciclagem).

Segundo Goedkoop; Spriensma (2000a) para garantir a correta aplicação dos valores Eco-indicadores padrão devem ser seguidos os passos seguintes.

- Descrever o produto a ser analisado ou a comparação a ser estabelecida, e definir o nível de precisão da análise.
- Montar o fluxograma do ciclo de vida do(s) produto(s).
- Determinar a unidade funcional e quantificar os processo relevantes. Relatar os dados omitidos e os motivos.
- Preencher o formulário com os materiais e processos e suas quantificações e em seguida encontrar seus respectivos valores na lista e preenche-los também. Em seguida, calcular os valores multiplicando a quantidade pelo valor encontrado.
- Combinar as conclusões com os resultados, checar se o objetivo foi alcançado, o efeito daquilo que foi suposto ou omitido e analisar quais os processos e fases são os mais importantes no ciclo de vida.

A lista de Eco-indicadores padrão da metodologia Eco-indicador 99 pode ser encontrada na íntegra no ANEXO 1. Um formulário simples foi desenvolvido para a realização dos cálculos dos Eco-indicadores dos sistemas em estudo, e está apresentado traduzido para o português no ANEXO 2.

2.5 Ciclo de Vida dos Materiais Constituintes dos Sistemas

Vários são os materiais que constituem os sistemas de aquecimento solar de água em estudo e, por sua vez, tais materiais são ainda formados pela combinação de vários outros. Portanto, para que se possa avaliar o ciclo de vida dos sistemas é necessária primeiramente uma breve revisão dos ciclos de vida dos materiais que os compõem apresentando os seus componentes e os processos necessários para sua formação.

Dentre os materiais que constituem os sistemas de aquecimento solar de água em estudo, foram selecionados aqueles que possuem maior representatividade e seus ciclos de vida estão apresentados nos subitens a seguir.

2.5.1 Polímeros

A matéria prima que dá origem ao polímero é chamada monômero. Gorni (2007) chama atenção para o fato de que a forma mais barata de se obter o monômero é a partir do petróleo ou gás natural, existindo outras formas de custo mais elevado e não competitivos tais como, a partir da madeira, álcool, carvão e até do CO_2, sendo todas essas matérias primas ricas em carbono, o átomo principal que constitui os materiais poliméricos.

Existem diversas formas de classificar os polímeros e dentre elas pode-se citar como a mais importante, a classificação conforme as características mecânicas, decorrente da configuração específica das moléculas dos polímeros, dividindo os mesmos em termoplásticos (plásticos), termorrígidos (termofixos) e elastômeros (borrachas) (GORNI, 2007).

Os plásticos constituem a maior parte dos polímeros comerciais e sua principal característica é poder ser fundido diversas vezes. Dependendo do tipo do plástico, podem

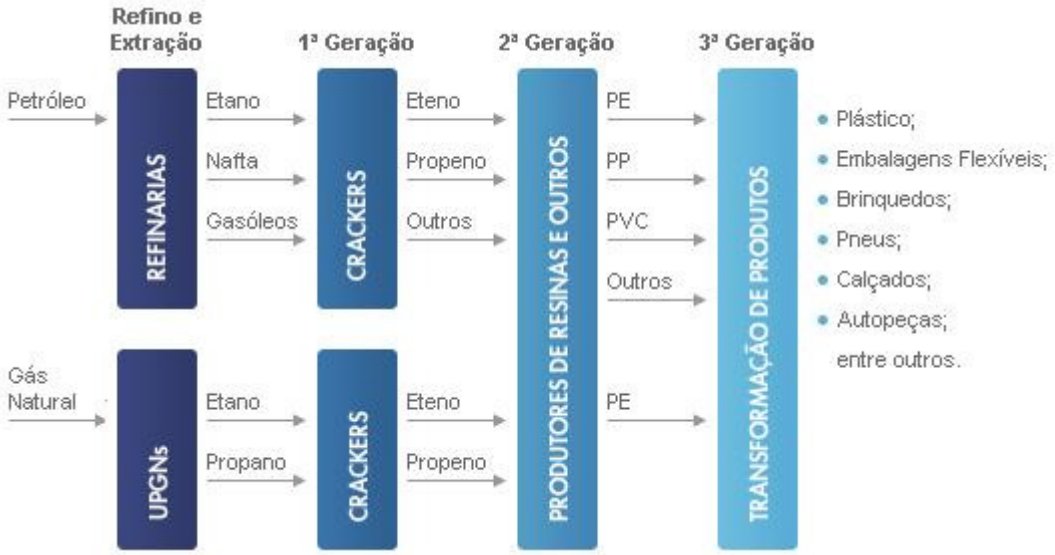
dissolver-se em vários solventes, ou seja, sua reciclagem é possível. Podemos citar como exemplos de termoplásticos: polietileno (PE), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET), policarbonato (PC), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC), dentre outros.

Os termorrígidos uma vez prontos, não mais se fundem. O aquecimento do polímero acabado a altas temperaturas promove decomposição do material antes de sua fusão. Logo, sua reciclagem é complicada. Podem ser citados como exemplos: baquelite, usada em tomadas; espumas rígidas de poliuretano (PU), poliéster, resinas fenólicas, epóxi e outras.

Os elastômeros não são fusíveis, mas apresentam alta elasticidade, não sendo rígidos como os termofixos. Porém, possuem reciclagem complicada pela incapacidade de fusão, de forma análoga. Exemplos: pneus, vedações, borrachas naturais, com base na extração do Látex, ou as borrachas de origem sintética do petróleo, como o neoprene, o silicone, etc.

As empresas produtoras de polímeros formam pólos petroquímicos (Figura 15) se dividindo em três gerações petroquímicas: indústrias de 1º geração petroquímica, que funcionam como centrais de matérias-primas produzindo os petroquímicos básicos (monômeros) tais como o eteno, benzeno e o propeno, as indústrias de 2º geração que processam os petroquímicos básicos fabricando produtos intermediários utilizados por outras empresas de segunda geração e finais (resinas termoplásticas, borrachas, fibras, detergentes, fertilizantes etc.) e as indústrias de 3º geração, conhecidas como indústrias de transformação, processam os produtos intermediários para manufaturar os bens de consumo que chegam até o consumidor como fibras têxteis, materiais para construção civil, autopeças, embalagens, brinquedos e utilidades domésticas, entre outras. (COPESUL, 2007 e ABIQUIM, 2007).

A maioria dos polímeros são oriundos do petróleo, a partir do qual se obtém a nafta por destilação, obtendo-se os petroquímicos básicos a partir da mesma (Figura 16). Segundo Tonicelo (2005), a única indústria brasileira de produção de nafta é a Petrolífera Petrobrás atuando como principal fornecedora aos três produtores de 1º geração instalados no país. Cerca de 30% do volume de nafta utilizado por esses produtores vêm sendo importadas junto a fornecedores internacionais (SUZANO, 2007).



Nota: UPGNs – Unidades de Processamento de Gás Natural.

Figura 15 – Pólos petroquímicos.

Fonte: SUZANO (2007).

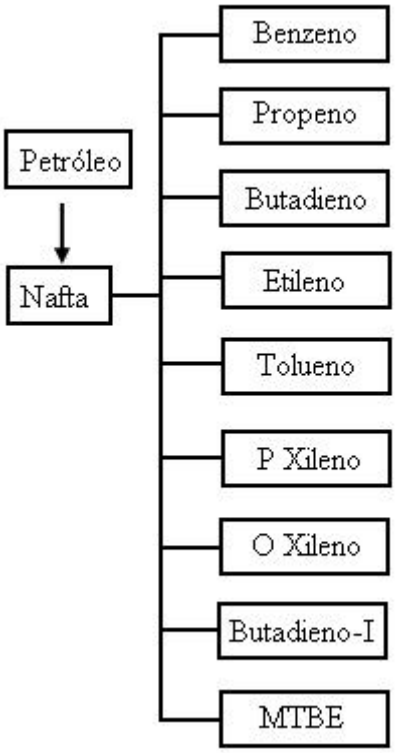


Figura 16 – 1º geração petroquímica – petroquímicos básicos obtidos a partir da nafta.

Fonte: VALT (2004) – Modificado.

Existem três pólos petroquímicos no Brasil, são eles:

- Pólo Petroquímico de São Paulo com a central de matérias-primas, Petroquímica União (PQU), localizada em Cubatão com capacidade instalada de 500 mil toneladas/ano de eteno;
- Pólo Petroquímico de Camaçari na Bahia com capacidade instalada de 1,3 milhão de toneladas/ano de eteno, com a antiga central de matérias-primas petroquímicas, Copene – Companhia Petrolífera do Nordeste, denominada Braskem a partir de 2002 devido à integração dos ativos petroquímicos dos grupos Odebrecht e Mariani à Copene, que era controlada pelos mesmos, criando a primeira petroquímica do país que combina operações da primeira e da segunda geração da cadeia produtiva do plástico, em uma única empresa;
- Pólo Petroquímico do Sul, com a central de matérias-primas, COPESUL – Companhia Petroquímica do Sul, localizada em Triunfo no Rio Grande do Sul com capacidade instalada de 1,2 milhão de toneladas/ano de eteno (COPESUL, 2007 e BRASKEM, 2007). De acordo com Suzano (2007), o Município de Duque de Caxias, no Estado do Rio de Janeiro, está definitivamente se consolidando como o quarto pólo petroquímico do País.

Cada um dos pólos petroquímicos tem um único produtor de primeira geração e vários produtores de segunda geração. Conforme dados de Suzano (2007), existem no País aproximadamente 50 produtores de segunda geração. “Em geral, os produtos da segunda geração apresentam-se na forma sólida e são produzidos em péletes de plástico ou em pó. O transporte rodoviário é o principal instrumento de direcionamento desses produtos aos produtores de terceira geração, os quais se encontram mais concentrados na região Sudeste e não necessariamente situam-se próximos aos pólos petroquímicos”.

Segundo Tonicelo (2005) o diagrama simplificado do ciclo de vida dos polímeros está apresentado na Figura 17.

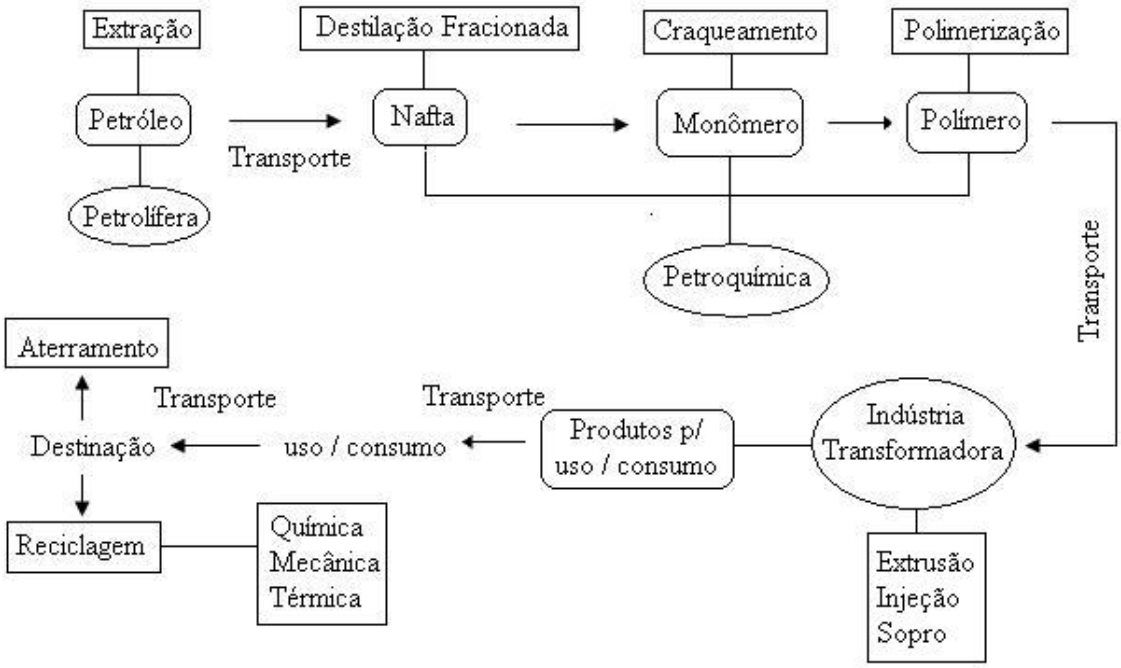


Figura 17 – Diagrama do ciclo de vida dos polímeros.

Fonte: Tonicelo (2005) – Modificado.

De acordo com Solvay Indupa (2008) o processo de extrusão é um processo de produção de componentes mecânicos onde o material é forçado através de uma matriz onde o produto é compactado, fundido e homogeneizado, adquirindo a forma pré-determinada após passar pelo cabeçote. O cabeçote é desenhado de maneira a dar a forma desejada do produto final.

O processo de extrusão pode-se dar a frio ou a quente. A extrusão a quente é semelhante ao processo de injeção, onde o produto é injetado a alta pressão e temperatura numa forma vazda ou passa através de um molde de injeção contínua. No caso da extrusão a frio o principal parâmetro na escolha do processo é a ductibilidade do material (SOLVAY INDUPA, 2008).

Conforme observa Solvay Indupa (2008) no processo de moldagem por sopro uma matriz fundida em forma de tubo vertical é extrudada entre duas metades de um molde e este tubo é inflado com ar para que adquira a forma do molde.

A seguir serão apresentadas informações a respeito do ciclo de vida dos polímeros utilizados nos sistemas de aquecimento solar de água em estudo.

2.5.1.1 Polietileno Tereftalato (PET)

O Polietileno Tereftalato, conhecido pela sigla em inglês PET, é classificado quimicamente como um polímero poliéster termoplástico e é o mais importante polímero da família dos poliésteres. É produzido através da polimerização que une monômeros para formar polímeros e sua maior aplicação está em garrafas e embalagens (VALT, 2004).

O PET tem sua origem na indústria petroquímica assim como os outros plásticos. O petróleo após sua extração é refinado gerando vários compostos, dentre eles a nafta que após ser destilada gera produtos como o etileno e o p-xileno que são matérias-primas para a produção de MEG (monoetilenoglicol) e DMT (dimetiltereftalato), a partir dos quais, se misturados e submetidos à temperaturas e pressões adequadas dentro de reatores, obtém-se o polímero PET para garrafas na forma de flocos, que são então transformados em preformas. Semelhante à um tubo de ensaio, ela é produzida por injeção de plástico, em máquinas extremamente rápidas, capazes de fabricar mais de 18.000 peças por hora. Em seguida, temos a fase do sopro. As preformas passam por um aquecimento e são extiradas e sopradas. O processo é um tanto rápido, as máquinas produzem milhares de garrafas por hora (Associação Brasileira da Indústria do PET – ABIPET, 2007 e VALT, 2004).

A Figura 18 apresenta o diagrama do ciclo de vida do polímero PET. De acordo com ABIQUIM (2007) a capacidade de produção nacional de PET é a que está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2 – Capacidade instalada de produção de polietileno tereftalato (PET).

Empresa	Localização	Capacidade Instalada (em t/ano)
Braskem	BA	78.000
M&G Fibras e Resinas	MG/PE	290.000
M&G Polímeros	PE	450.000
Total		818.000

Fonte: ABIQUIM (2007).

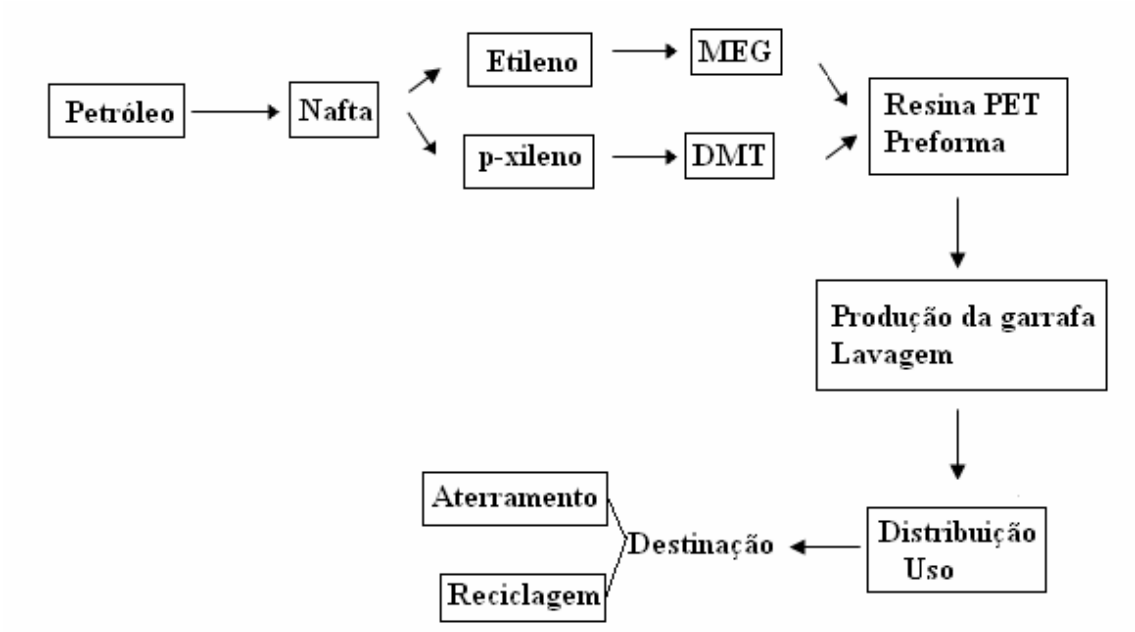


Figura 18 – Diagrama do ciclo de vida do polímero PET.

Fonte: Valt (2004) - Modificado.

2.5.1.2 Polietileno de Alta Densidade (PEAD)

Conforme observa BNDES (1997) o Polietileno de Alta Densidade (PEAD) é um polímero termoplástico linear produzido a partir do etileno em processo catalítico. É obtido através da polimerização do eteno pelos seguintes processos: suspensão em solvente (slurry); solução; e fase gasosa, sendo esta última a de tecnologia mais moderna.

Aproximadamente 30% do consumo mundial de PEAD é destinado a produtos oriundos da moldagem por sopro, sendo que a maior parte é representada em frascos para higiene/limpeza e embalagens de produtos alimentícios. As aplicações cujas origens são via moldagem por injeção representam 25% do consumo mundial de PEAD, representando usos diversos, tais como: baldes, bandejas, engradados e utensílios domésticos. A transformação do PEAD por extrusão gera produtos como filmes, laminados e tubos, e que representam 30% do consumo deste termoplástico. Outros mercados, como fios e cabos, por exemplo, representam os restantes 15%. Em relação aos grandes segmentos de uso final, o setor de embalagens representa 75 % do mercado mundial de PEAD, enquanto que o setor de construção civil gira em torno de 10% a 15% deste mercado (BNDES, 1997).

A Figura 19 apresenta o diagrama do ciclo de vida do polímero PEAD.

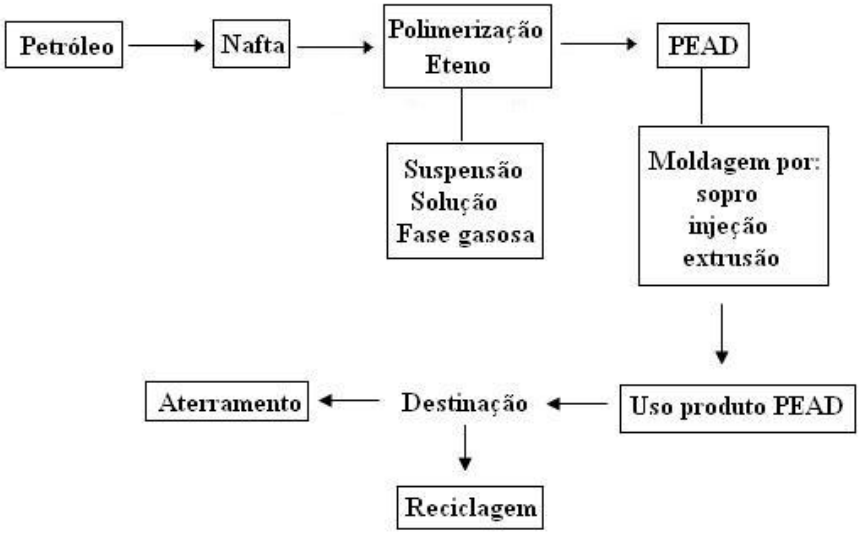


Figura 19 – Diagrama do ciclo de vida do polímero PEAD.

Fonte: BNDES (1997).

De acordo com ABIQUIM (2007) a capacidade de produção nacional de PEAD é a que está apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 – Capacidade instalada de produção de polietileno de alta densidade (PEAD).

Empresa	Localização	Capacidade Instalada (em t/ano)
Braskem	BA	600.000
IPQ	RS	550.000
Riopol	RJ	540.000
Solvay Indupa	SP	82.000
Total		1.772.000

Fonte: ABIQUIM (2007).

2.5.1.3 Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)

"Foi um dos primeiros polímeros termoplásticos preparados a partir da polimerização do etileno sob alta pressão. A menor densidade se deve à pouca ramificação da cadeia. O produto é largamente utilizado na produção de sacos, filmes, utensílios domésticos, tubos, brinquedos, isolação de cabos, etc" (MSPC – Artigos e Informações Técnicas, 2007).

Segundo a ABIQUIM (2007) a capacidade de produção nacional de PEBD é a que se encontra na tabela abaixo.

Tabela 4 – Capacidade instalada de produção polietileno de baixa densidade (PEBD).

Empresa	Localização	Capacidade Instalada (em t/ano)
Braskem	BA/RS	365.000
Polietileno União	SP	270.000
Triunfo	RS	160.000
Total		795.000

Fonte: ABIQUIM (2007).

A Figura 20 apresenta o diagrama do ciclo de vida do polímero PEBD.

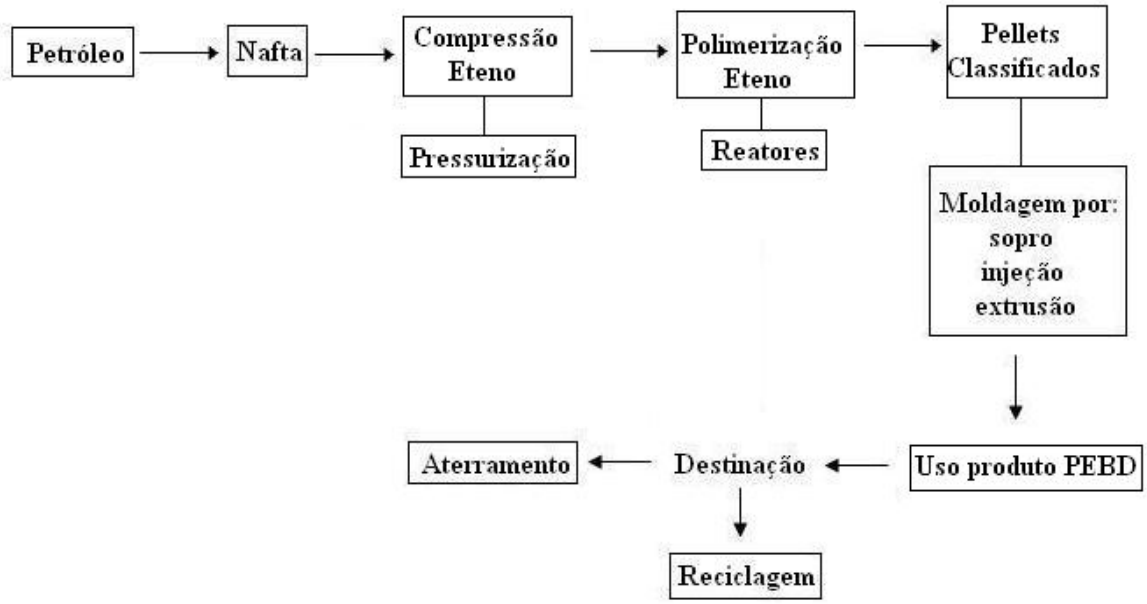


Figura 20 – Diagrama do ciclo de vida do polímero PEBD.

Fonte: Mucarzel; Fontes; Embiruçu (2006).

2.5.1.4 Polipropileno (PP)

Segundo informações obtidas de Suzano (2007) o polipropileno é um dos polímeros termoplásticos de maior venda e que mostra a maior taxa de crescimento anual no mundo, devido às suas excepcionais propriedades e versatilidade de aplicação e uso. É um termoplástico produzido através da polimerização do monômero propeno. O polipropileno sai do reator na forma de pequenas partículas ou esferas que vão para uma extrusora, onde são adicionados os aditivos. As partículas são então granuladas e entregues aos clientes desta forma para serem transformados em artigos finais que vão ao mercado.

De acordo com Suzano (2007), devido às suas características no estado fundido, o polipropileno pode ser moldado pelos mais diferentes processos de transformação de plásticos tais como, injeção, sopro ou extrusão. Têm propriedades semelhantes às do polietileno, mas com menor densidade, melhor resistência ao calor, rigidez e dureza.

A Figura 21 apresenta o diagrama do ciclo de vida do polímero polipropileno.

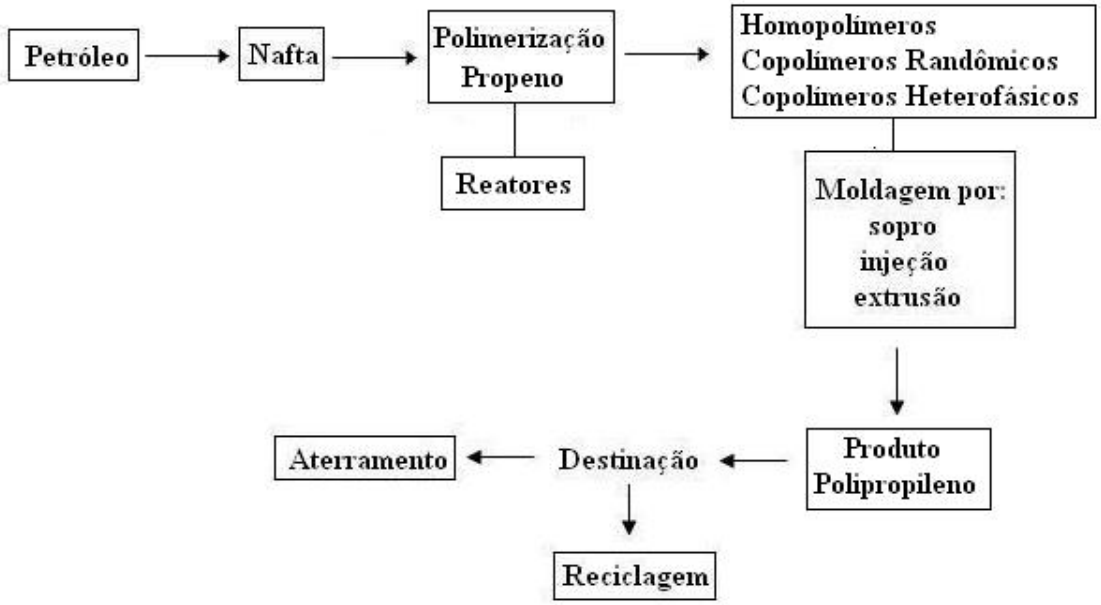


Figura 21 – Diagrama do ciclo de vida do polímero polipropileno.

Fonte: Suzano (2007).

A capacidade de produção nacional de Polipropileno, segundo a ABIQUIM (2007), é a que está apresentada na Tabela 5.

Tabela 5 – Capacidade instalada de produção de polipropileno (PP).

Empresa	Localização	Capacidade Instalada (em t/ano)
Braskem	RS	560.000
IPQ	RS	180.000
Suzano Petroquímica	BA/RJ/SP	685.000
Total		1.425.000

Fonte: ABIQUIM (2007).

2.5.1.5 Policloreto de Vinila (PVC)

O PVC é um polímero termoplástico e os recursos naturais necessários para sua fabricação são o petróleo e o sal comum – cloreto de sódio. Etileno, obtido no refino do petróleo, e cloro obtido através da eletrólise do cloreto de sódio, produzem o monômero cloreto de vinila, que é polimerizado a PVC. A resina PVC é amplamente aplicável devido à adição de aditivos capazes de modificar suas propriedades (BORGES, 2004).

Segundo Borges (2004), que inventariou o ciclo de vida do PVC produzido no Brasil, o esquema do ciclo de vida do PVC é o que segue abaixo na Figura 22.

De acordo com a ABIQUIM (2007), a capacidade instalada de produção do PVC no Brasil é de 796.000 t/ano como mostra a Tabela 6, distribuídas entre a Braskem e a Solvay Indupa do Brasil localizada em Santo André.

A Braskem produz produtos vinílicos tais como o PVC; a soda e o cloro e seus derivados; as Poliolefinas como PEAD e PP; os Poliésteres PET e DMT e todos os petroquímicos básicos necessários: benzeno, butadieno, butenol 1, eteno, isopreno, orto-xileno, para-xileno, propeno, tolueno e xileno misto. A Solvay produz PVC e produtos químicos tais como, soda caústica, cloro e hipoclorito de sódio.

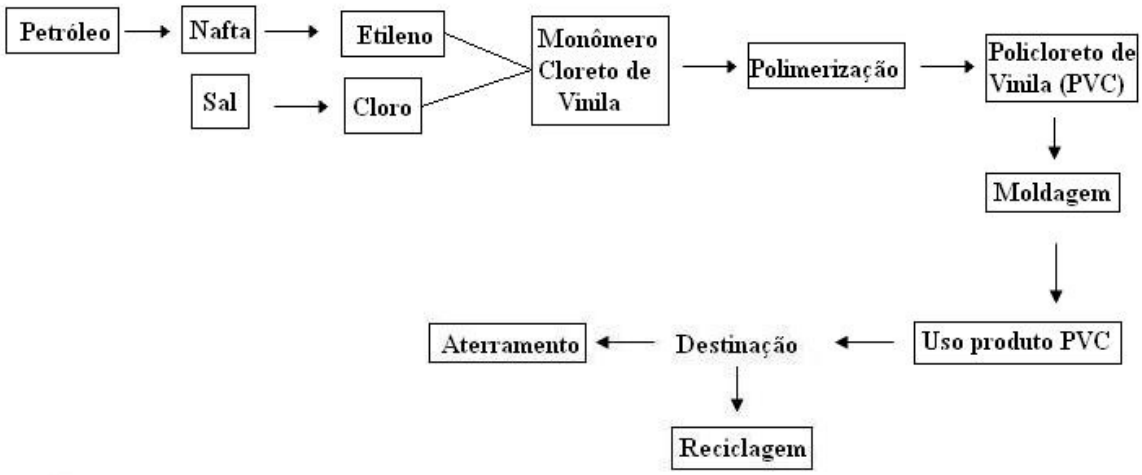


Figura 22 – Diagrama do ciclo de vida do polímero PVC.

Fonte: BORGES (2004).

Tabela 6 – Capacidade instalada de produção de policloreto de vinila (PVC) no Brasil

Empresa	Localização	Capacidade Instalada (em t/ano)
Braskem	AL/BA/SP	516.000
Solvay Indupa	SP	280.000
Total		796.000

Fonte: ABIQUIM (2007).

Para produção dos tubos rígidos a resina constitui-se de um homopolímero de PVC obtido pelo processo de polimerização em suspensão, de elevada densidade volumétrica, elevada capacidade de gelificação, elevada estabilidade térmica e elevada produtividade na extrusão de rígidos. A resina de PVC compõe 85% da constituição dos tubos e os 15% restantes são formados por aditivos.

Para produção das conexões a resina constitui-se de um homopolímero de PVC obtido também pelo processo de polimerização em suspensão, de rápida gelificação, elevada fluidez de fundido, alta transparência e brilho e excelente estabilidade térmica. Nas conexões a resina representa 90% sendo os 10% restantes compostos por aditivos.

2.5.1.6 Poliestireno Expandido (EPS)

De acordo com informações obtidas no Banco de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES, 1997a), o polímero termoplástico poliestireno (PS) é o pioneiro entre os termoplásticos, tendo iniciado sua produção comercial em 1930. Tal produto é resultante da polimerização do monômero de estireno que pode ser em massa ou em suspensão. O estireno, por sua vez, é obtido através do etilbenzeno, derivado do benzeno e do eteno (Figura 23).

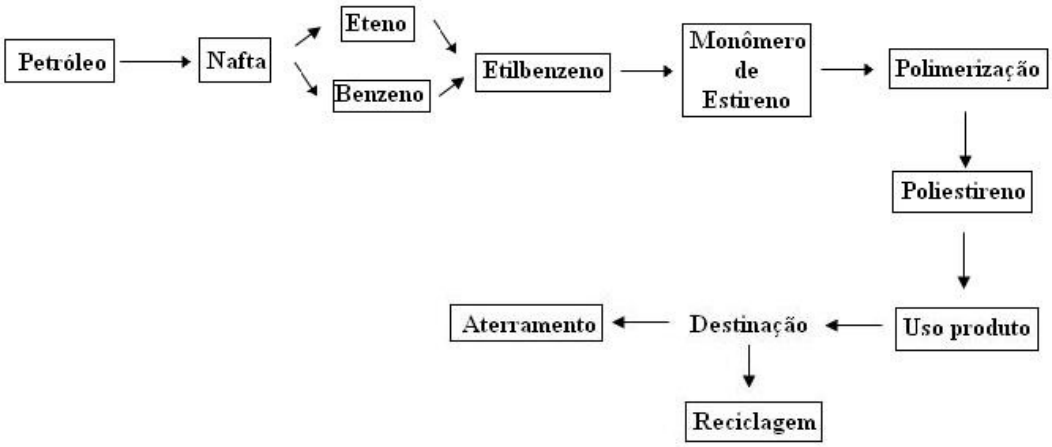


Figura 23 – Diagrama do ciclo de vida do polímero poliestireno.
Fonte: VIDEOLAR (2008).

O poliestireno apresenta-se sob várias formas, a saber: poliestireno cristal (GPPS); poliestireno expandido (EPS) (mais conhecido no Brasil pela marca comercial Isopor®) e o poliestireno de alto impacto (HIPS) (BNDES, 1997a).

Segundo a Associação Brasileira do Poliestireno Expandido - ABRAPEX, (2007) o EPS, sigla internacional do Poliestireno Expandido de acordo com a Norma DIN ISO-1043/78, foi descoberto em 1949 pelos químicos Fritz Stastny e Karl Buchholz, quando trabalhavam nos laboratórios da Basf, na Alemanha.

A matéria prima utilizada pelos produtores de EPS é o poliestireno expansível obtido através da expansão da resina de poliestireno durante a polimerização do monômero de estireno em água. Utiliza como agente expansor para a transformação do EPS, o pentano,

um hidrocarbureto derivado da nafta como mostra a Figura 24 (ABRAPEX, 2007 e ASSOCIAÇÃO INDUSTRIAL DO POLIESTIRENO EXPANSÍVEL - ACEPE, 2008).

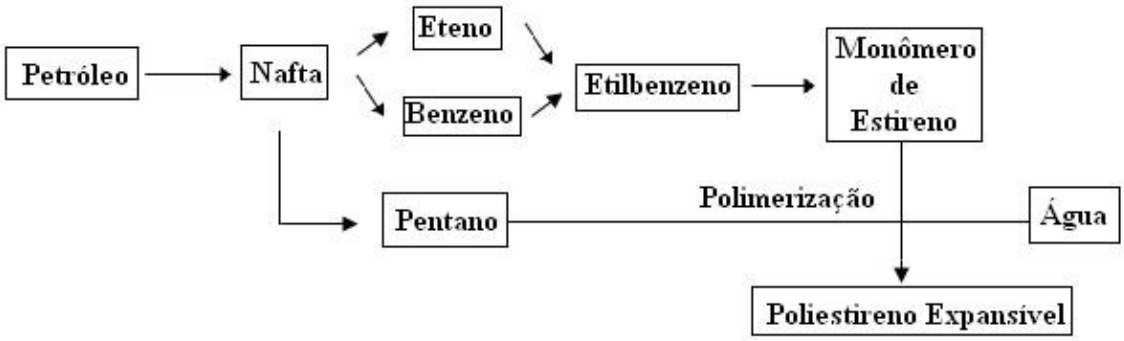


Figura 24 – Diagrama de produção do polímero EPS.
Fonte: ACEPE (2008).

Conforme dados obtidos de ABRAPEX, 2007 e ACEPE, 2008, nas instalações dos produtores de EPS a matéria prima é pré-expandida através de aquecimento em contato com o vapor d`água se expandindo em até 50 vezes o seu tamanho original sendo posteriormente armazenadas para estabilização. O granulado estabilizado é introduzido em moldes e novamente exposto a vapor de água, o que provoca a soldadura do mesmo; assim obtém-se um material expandido, que é rijo e contém uma grande quantidade de ar. Expandidas as pérolas consistem em até 98% de ar e apenas 2% de poliestireno.

Os produtos finais de EPS são inodoros, não contaminam o solo, água e ar, são 100% reaproveitáveis e recicláveis e podem voltar à condição de matéria-prima. É comprovadamente um material isolante térmico.

De acordo com a Abiquim (2007) a capacidade instalada de produção de poliestireno no Brasil é a encontrada na Tabela 7. Dentre as empresas listadas a única que produz o poliestireno expansível, que é a matéria prima para a produção do EPS, é a Basf com sua unidade de produção do mesmo em Guaratinguetá.

Tabela 7 – Capacidade instalada de produção de poliestireno (PS) no Brasil

Empresa	Localização	Capacidade Instalada (em t/ano)
Basf	SP	190.000
Dow Brasil Sudeste	SP	190.000
Innova	RS	135.000
Videolar	AM	120.000
Total		635.000

Fonte: ABIQUIM (2007).

2.5.1.7 Poliuretano (PU)

O poliuretano é um polímero originado em segundos pela reação química de poliadição entre um poliol e um isocianato basicamente, descoberta em 1937, por Otto Bayer. É possível obter vários tipos de poliuretanos, variando a combinação dos diferentes tipos de matérias primas e reagentes, desenvolvidos de acordo com a necessidade de aplicação. Sólidos ou expansíveis, flexíveis, elásticos, semi-rígidos ou rígidos, eles podem assumir a forma de artigos moldados, película ou fibras, com vantagens como resistência química e física, leveza e resiliência (SILAEX, 2008; VILAR, 2004).

As matérias primas comumente utilizadas para variar as características dos poliuretanos são catalisadores, aditivos, inibidores, extensores de cadeia, formadores de ligações cruzadas, agentes de expansão, surfactantes, retardantes de chama, corantes e pigmentos.

Os principais sistemas de obtenção de poliuretanos são:

- Sistema bicomponente de cura ao ar: poliol + poliisocianato = poliuretano
- Sistema monocomponente de cura ao ar: poliisocianato + H_20 = poliuretano + CO_2
- Sistema monocomponente de cura em estufa: poliisocianato bloqueado + poliol = poliuretano + agente bloqueante
- Sistema não reativo em secagem física: poliuretano em solução + ar ou calor = poliuretano + solvente

Alguns tipos básicos de aplicação dos poliuretanos são:

- Espumas rígidas: sistemas bi-componentes normalmente utilizados em sistemas de isolamento térmico e acústico, para modelação, ou para proteção de transportes de peças e equipamentos.
- Espumas flexíveis: utilizadas em colchões, abafadores, peças automotivas, isolamentos acústicos, proteção de equipamentos p/ transportes, almofadas, bonecos e esculturas, brinquedos, etc.
- Elastômeros: utilizados em amortecedores, sapatas de equipamentos, revestimentos antiderrapantes e resistentes a abrasão, tubos e dutos, etc..
- Tintas: Podem ser bi-componentes ou mono-componentes.

Um dos sistemas de aquecimento solar de água que fazem parte deste estudo possui isolamento térmico em espuma de poliuretano. Como se pôde observar, as espumas mais utilizadas para esta finalidade são as espumas rígidas. Conforme observa Vilar (2004) as espumas rígidas podem ser fabricadas por derramamento, injeção, "spray", sistemas pressurizados, ou outras técnicas. O autor cita dentre as principais empresas produtoras de espumas rígidas no Brasil: Basf, Bayer, Brazmo, Dow, Huntsman, Poly-urethane, Purcom e Utech.

A Figura 25 apresenta o diagrama do ciclo de vida do poliuretano.

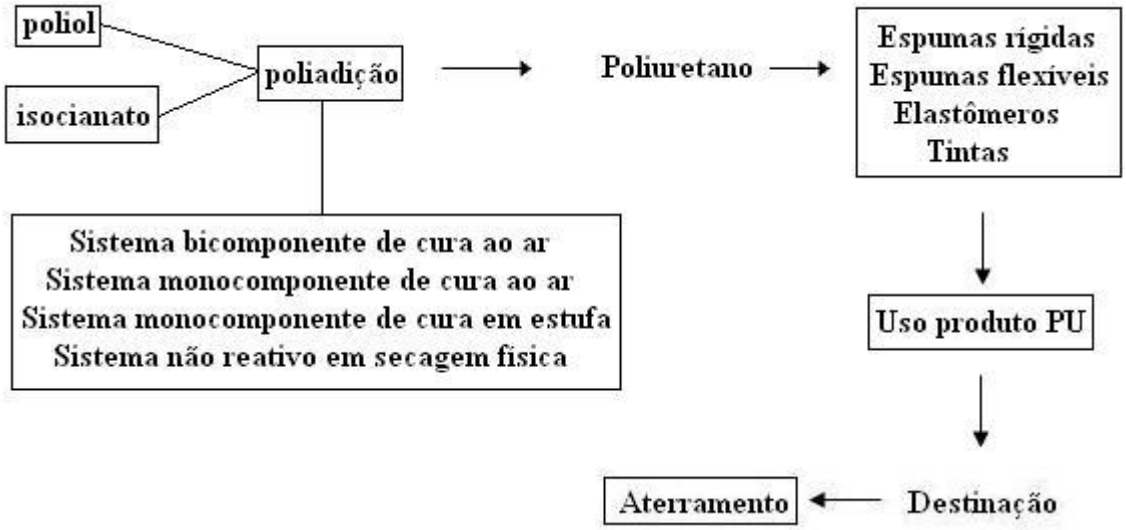


Figura 25 – Diagrama do ciclo de vida do poliuretano.

Fonte: Vilar, (2004).

2.5.2 Metais

Metal é genericamente toda substância mineral que se apresenta em estado sólido à temperatura ambiente — com a única exceção do mercúrio — e que se caracteriza por brilho característico, opacidade, dureza, ductibilidade. Dividem-se em metais ferrosos e não ferrosos.

Os metais ferrosos tratam-se dos aços e ferros fundidos, oriundos da mistura dos minérios de ferro, matéria-prima essencial; do calcário, que atua como fundente; e do carvão mineral que funciona como combustível, como redutor do minério e como fornecedor do carbono. O aço e o ferro fundido diferem pelo teor de carbono, tendo o aço 2% e o ferro fundido acima deste valor. Os ferros fundidos, além de ferro e carbono, contêm outros elementos, tais como: silício, manganês, enxofre e fósforo (TONICELO, 2005).

Os metais não ferrosos englobam os metais que não contém ferro tais como: cobre, alumínio, bronze, latão, chumbo, etc. Na sua maioria, são utilizados no estado puro, contudo, podem também ser utilizados em forma de ligas. O metal não ferroso mais utilizado é o alumínio seguido pelo cobre.

Dentre os materiais que compõem os sistemas de aquecimento solar de água em estudo, não há metais ferrosos. Sendo assim, nos subitens a seguir serão especificados os metais não ferrosos que fazem parte do estudo.

2.5.2.1 Alumínio

O alumínio não ocorre isolado na crosta terrestre e sua obtenção depende de etapas de processamento até chegar ao seu estado metálico. São duas as fases de produção industrial: obtenção de alumina pura onde, o minério de bauxita é atacado por soda, precipitado para a eliminação de impurezas, lavado e calcinado; e redução ou eletrólise da alumina, processo que ocorre em solução de fluoreto duplo de alumínio e sódio, sendo o material fundido em lingotes, tarugos, placas, rolos e vergalhões. O alumínio é então recolhido através de cátodo, com pureza de 99,8% e infinitamente reciclável (SIDRAK, 1998 apud PRADO,

2007). O ciclo de vida do alumínio se inicia na etapa de extração da bauxita e segue até à etapa de destinação final pós-consumo do produto (Figura 26).

A bauxita contém de 35% a 55% de óxido de alumínio (Associação Brasileira do Alumínio - ABAL, 2007), além de sílica, óxidos de ferro e titânio. Em média, são necessárias 4 toneladas de bauxita para se obter 1 tonelada de alumínio.

A bauxita encontra-se a uma profundidade média de 4,5 metros, o que possibilita a sua extração a céu aberto com a utilização de retroescavadeiras, entretanto, alguns cuidados precisam ser tomados para se proteger o meio ambiente. "A terra fértil acumulada sobre as jazidas é removida juntamente com a vegetação e reservada para um futuro trabalho de recomposição do terreno, após a extração do minério" (ALCOA, 2005 apud PRADO, 2007).

Segundo a ABAL (2007) o alumínio, terceiro elemento mais abundante na crosta terrestre, passou a ser produzido comercialmente a cerca de 150 anos. Sua produção atual supera a soma de todos os outros metais não ferrosos. O Brasil tem a terceira maior reserva do minério no mundo, localizada na região amazônica, perdendo apenas para Austrália e Guiné. Além da Amazônia, o alumínio pode ser encontrado no sudeste do Brasil, na região de Poços de Caldas (MG) e Cataguases (MG).

As empresas nacionais produtoras de bauxita metalúrgica são: Companhia Vale do Rio Doce (CVRD), principal produtora com aproximadamente 83% do mercado através da Alumina Mineração Rio do Norte S. A. (MRN) e Paragominas; em seguida a Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) com 12%, e o restante distribuído entre a Alcoa Alumínio S.A. e a Novelis do Brasil Ltda (Associação Brasileira do Alumínio - ABAL, 2007).

A produção nacional de alumina está distribuída da seguinte forma: CVRD com aproximadamente 50% da produção, através da Alumina do Norte do Brasil S. A. – Alunorte; Alcoa Alumínio S. A. com aproximadamente 20%; CBA com 12%; BHP Biliton com 12%; Alcan Alumina Ltda com 5% e Novelis do Brasil Ltda com a produção restante.

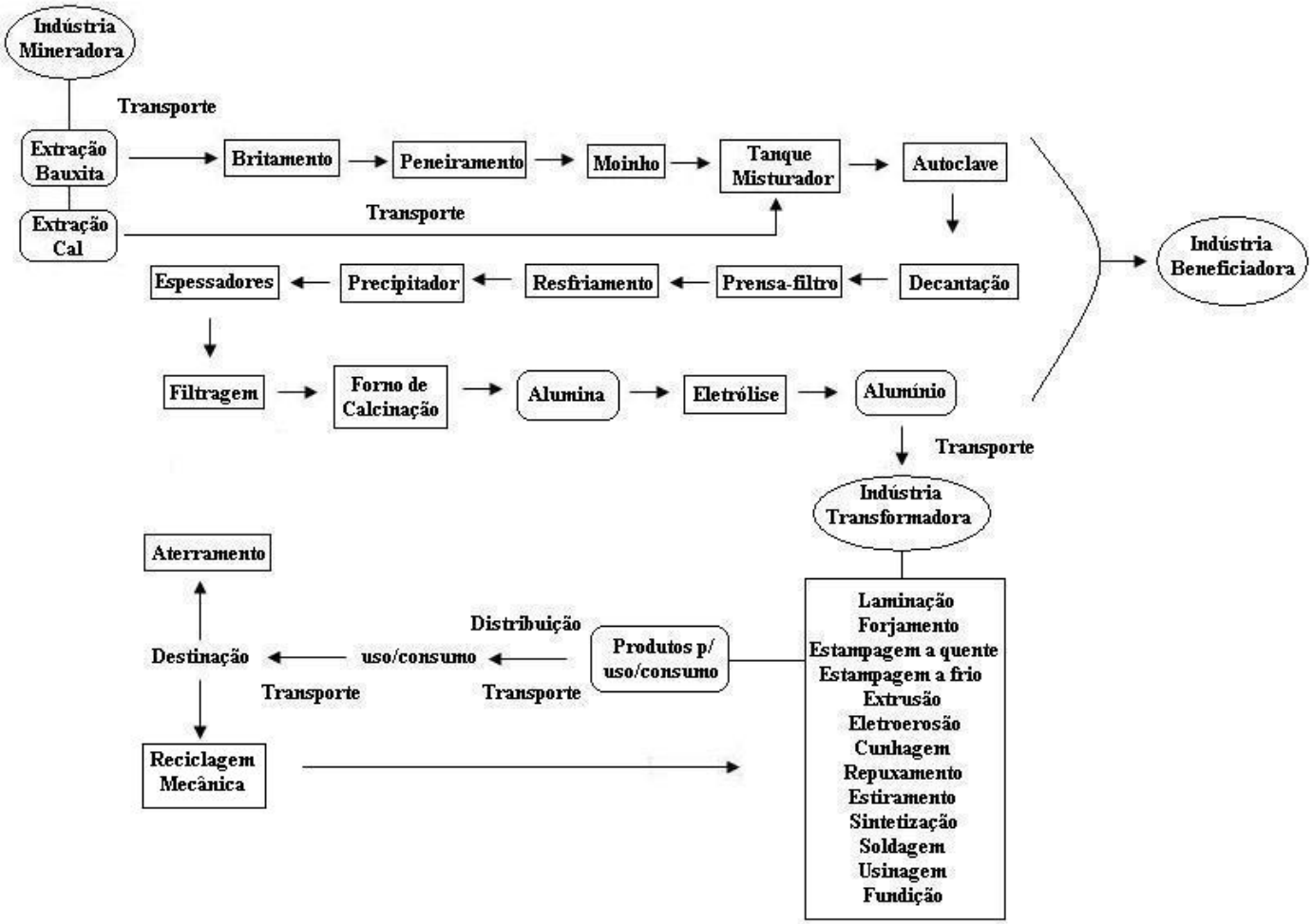


Figura 26 – Diagrama do ciclo de vida do alumínio.

Fonte: Tonicelo (2005) – Modificado.

Por fim a produção brasileira de alumínio primário e ligas primárias por empresa é: CVRD com aproximadamente 40% da produção, produzindo alumínio primário através da Alumínio Brasileiro S. A. (Albras) e Valesul Alumínio S. A.; Alcoa (20%); BHP Biliton (12%); CBA (23%) e Novelis do Brasil Ltda.

2.5.2.2 Cobre

De acordo com BNDES (1997b) o cobre é o metal não ferroso mais utilizado, depois do alumínio, pois é excelente condutor de eletricidade e calor. Somente a prata conduz eletricidade melhor do que o cobre. É um dos poucos metais que ocorrem na natureza em estado puro, mas sua ocorrência é rara. A simplicidade de seu tratamento metalúrgico permitiu uma produção elevada já antes do quarto milênio anterior à era cristã (TABELA PERIÓDICA ONLINE, 2008).

Observando dados da mesma fonte, o minério de cobre é comumente encontrado em minerais oxidados ou sulfurados, porém, os sulfetos são os minerais mais usados, uma vez que, 80% das reservas mundiais são de minério sulfetado.

O cobre possui uma cor marrom avermelhada, e torna-se brilhante quando lustrado, além disso, é maleável, dúctil e resistente à corrosão de muitos meios (algumas atmosferas industriais, água do mar, soluções salinas em geral, solos, ácidos orgânicos, etc). É atacado por ácido nítrico, halogênios, amônia com água, sulfitos. A facilidade de soldagem e/ou a resistência à corrosão de alguns meios fazem do cobre o metal apropriado para certos tipos de tubulações, trocadores de calor, etc (MSPC – Artigos e Informações Técnicas, 2007).

De acordo com BNDES (1997b) a indústria de cobre primário se organiza em torno de quatro tipos de produtos, originados em etapas distintas dos processos de extração, fundição e refino: minério de cobre, concentrado de cobre, cobre fundido e cobre refinado. O processo básico de produção de cobre primário mais utilizado para os minérios sulfetados é o processo pirometalúrgico como mostra a Figura 27.

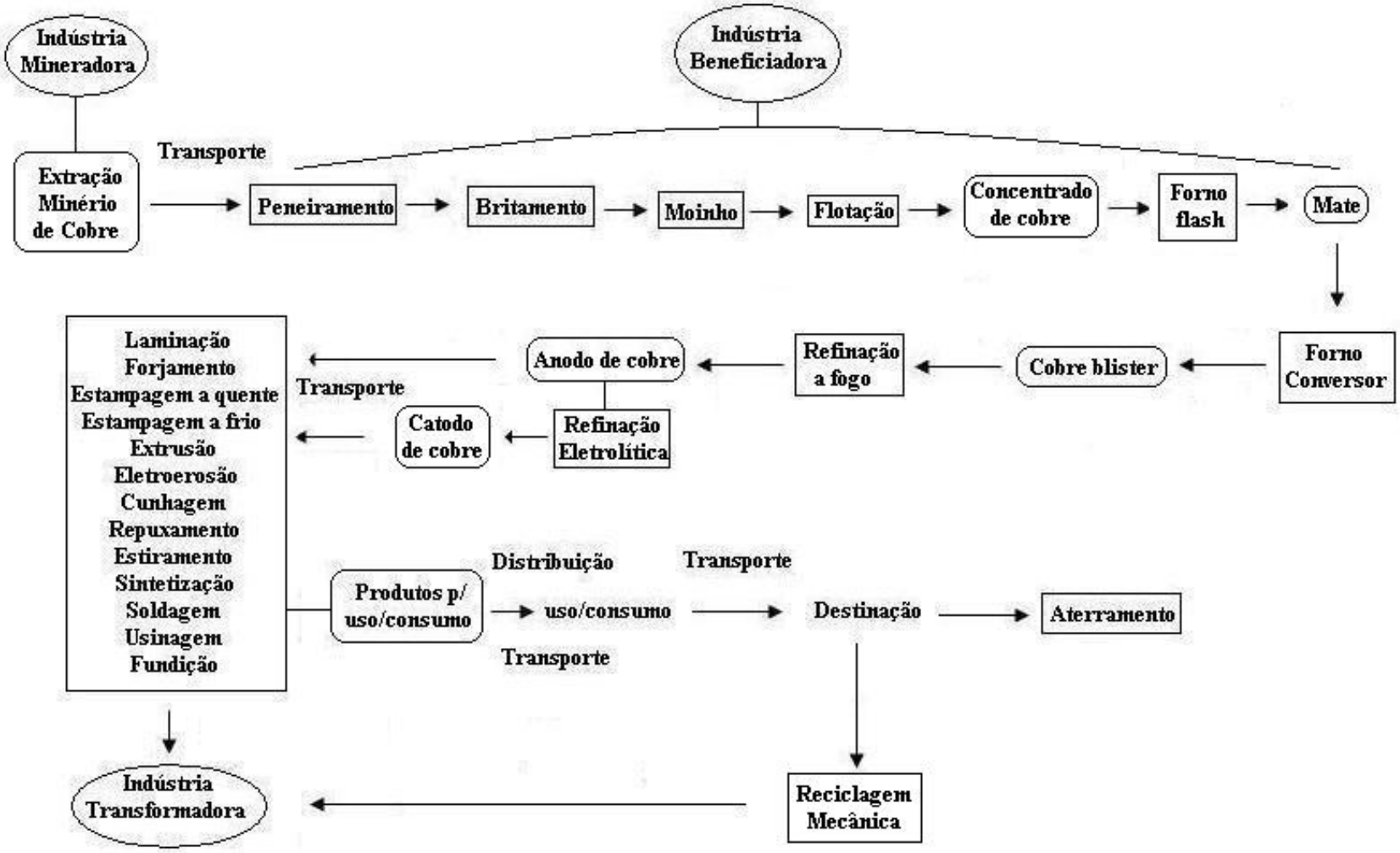


Figura 27 – Diagrama do ciclo de vida do cobre no processo pirometalúrgico.

Fonte: Tonicelo (2005) - Modificado.

De acordo com o Departamento Nacional de Produção Mineral - DNPM (2003) as maiores reservas de minério de cobre se encontram no Chile seguido dos Estados Unidos, com a participação brasileira atingindo um nível de 1,5% neste ano, onde, o Estado do Pará representou cerca de 87% das reservas medidas contidas de cobre. A participação brasileira de concentrado de cobre, em metal contido, permaneceu em 0,2%. Quanto ao metal, a produção brasileira atingiu o patamar de 1,1% do total mundial de refinado.

Segundo dados do DNPM (2006) as principais empresas brasileiras produtoras de concentrado de cobre no ano de 2005 possuíam a participação mostrada na tabela apresentada a seguir.

Tabela 8 – Principais empresas produtoras de concentrado de cobre.

Empresas	**UF**	**Participação (%)**
Companhia Vale do Rio Doce	PA	75,47
Mineração Caraíba S/A	BA	24,38
Companhia Níquel Tocantins	GO	0,11
Serabi Mineração LTDA.	PA	0,03
Mineração Santa Blandina	SP	0,01

Fonte: Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (2006).

2.5.3 Vidro

Conforme observa Coltro (2007), o vidro é resultado da fusão de diversas matérias-primas inorgânicas minerais, as quais depois de submetidas a um processo de resfriamento controlado, transformam-se em material rígido, homogêneo, estável, inerte, amorfo e isótropo, sendo sua principal característica, ser moldável a uma determinada temperatura sem qualquer tipo de degradação.

A principal fonte de matéria-prima para a produção do vidro é o óxido de silício ou a sílica, obtida geralmente por extração convencional, tanto de origem marinha como fluvial, ou de jazidas naturais. Um vidro produzido à base de sílica pura apresentaria um ponto de fusão muito elevado (1800 ºC), o que exigiria fornos especiais tornando-o inviável economicamente; e alta solubilidade, causando baixa resistência química.

Assim, adiciona-se à sílica elementos químicos, tais como, o óxido de sódio (Na_2O) e/ou de potássio (K_2O) para reduzir a temperatura de fusão da sílica, óxido de cálcio (CaO), óxido de magnésio (MgO) ou óxido de alumínio ou alumina (Al_2O_3) afim de aumentar a resistência química e mecânica do vidro. Os materiais são extraídos de jazidas naturais (COLTRO, 2007).

Um dos sistemas de aquecimento solar de água em estudo possui vidro do tipo Cristal Float. O Cristal Float é um vidro plano transparente, sem distorções ópticas, com espessura uniforme e massa homogênea. A qualidade obtida pelo processo float é responsável por mais de 90% de toda a produção de vidros planos do mundo. O vidro Float é ideal para aplicações que exijam perfeita visibilidade e alta transmissão de luz. A Figura 28 apresenta a composição do vidro float (CEBRACE, 2007).

A Figura 29 apresenta um esquema básico do ciclo de vida do vidro.

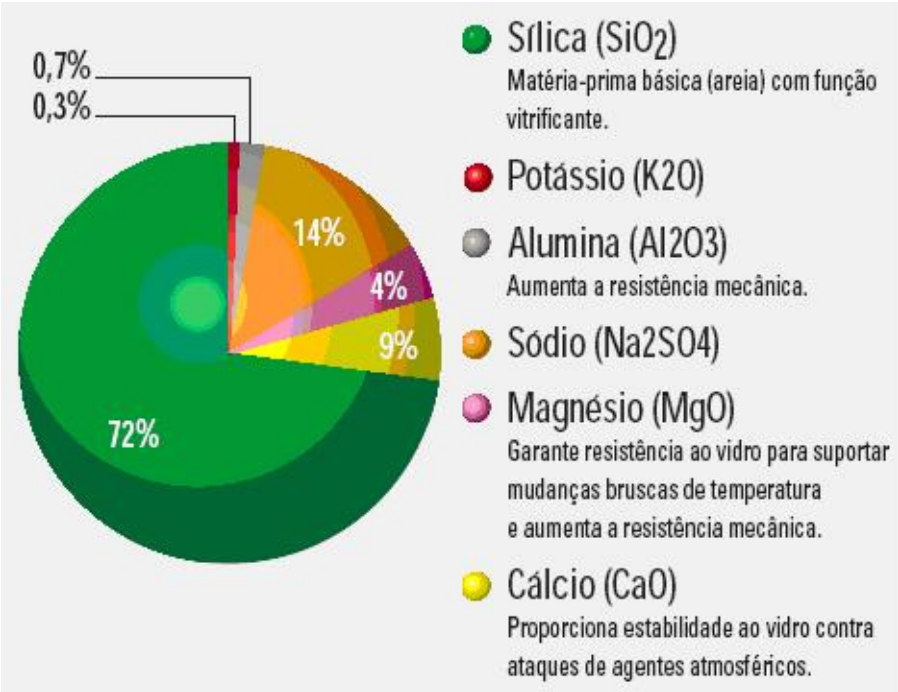


Figura 28 – Composição do vidro Float.

Fonte: CEBRACE (2007).

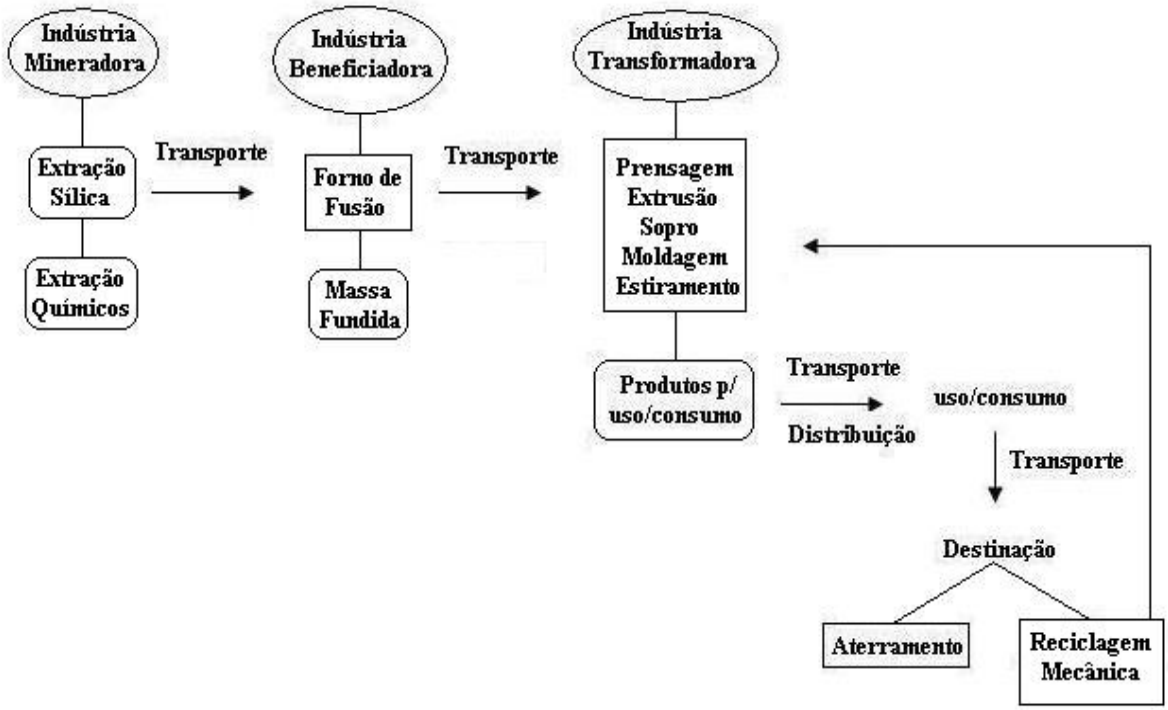


Figura 29 – Diagrama do ciclo de vida do vidro.

Fonte: Tonicelo, (2005).

2.5.4 Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos – ECAL

Conforme observa Vale; Paiva (2003) as Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos (*ECAL*) têm em sua composição três materiais diferentes, o Liquid Packaging Board (LPB), isto é, Papel Cartão para Envase de Produtos Líquidos, o polietileno de baixa densidade (PEBD) e o alumínio, de forma a assegurar a proteção e conservação dos alimentos. No caso da embalagem considerada neste estudo, a embalagem Tetra Prisma Aseptic (TPA), 75% do peso da embalagem é papel cartão, o PEBD constitui 20% da embalagem e os restantes 5% são alumínio. A embalagem é composta por 6 camadas, sendo 4 delas de PEBD e as restantes de cartão e alumínio, como se pode observar na Figura 30. A Figura 31 representa um ciclo de vida básico das embalagens ECAL.

A camada externa de polietileno impermeabiliza a embalagem enquanto que as duas camadas internas têm a função de selar a embalagem. Entre estas duas camadas encontra-se uma camada de folha de alumínio que serve de barreira à entrada de ar e luz, permitindo aumentar o período de conservação do líquido. O papel cartão é usado com a função de dar

resistência estrutural à embalagem e ao mesmo tempo permitir a impressão e identificação do produto e das suas características (VALE; PAIVA, 2003).

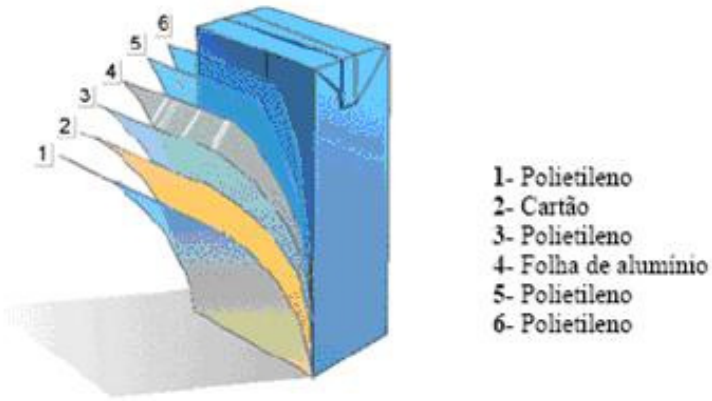


Figura 30 – Estrutura da Embalagem de Cartão para Alimentos Líquidos (ECAL).

Fonte: VALE; PAIVA (2003).

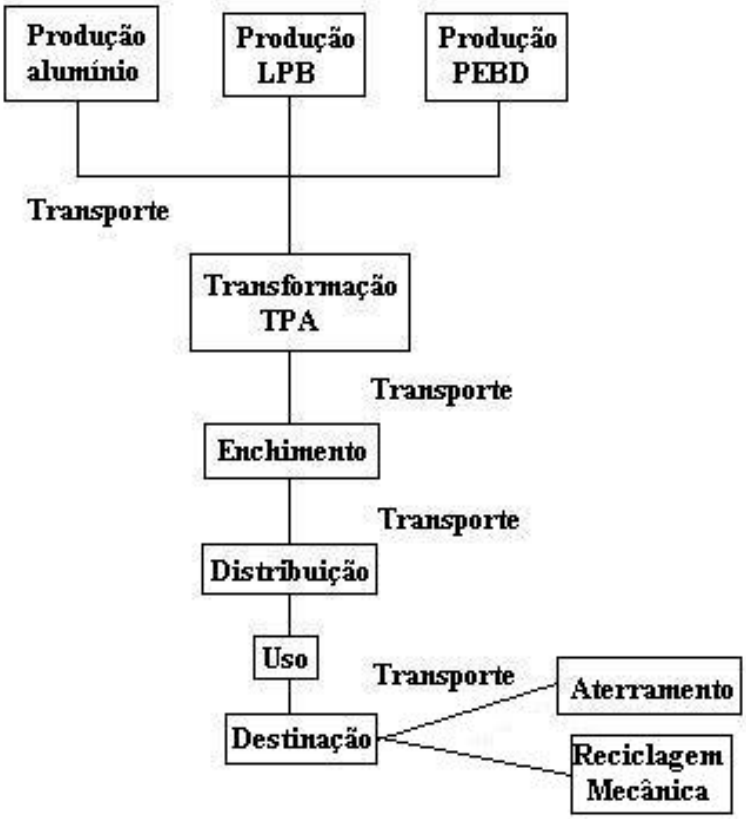


Figura 31 – Diagrama do ciclo de vida das Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos (ECAL).

Fonte: Vale; Paiva (2003).

A principal empresa produtora das embalagens TPA no Brasil é a Tetra Pak, detentora de aproximadamente 99% do mercado, segundo informações obtidas através de contato telefônico com a própria empresa. No que diz respeito ao papel cartão, que corresponde a maior porcentagem do produto, a empresa Klabin é a sua fornecedora.

O alumínio fundido em barras é laminado em folhas e transportado para a fábrica de transformação da embalagem TPA, já o PEBD é transportado em forma de material granulado e o papel cartão é fornecido em rolos. Informações a respeito dos processos produtivos do alumínio e do polietileno já foram fornecidas, portanto, será abordado o ciclo produtivo do papel cartão.

Segundo informações obtidas via e-mail pela Klabin, empresa produtora do Liquid Packaging Board (LPB), isto é, Papel Cartão para Envase de Produtos Líquidos, a produção do mesmo se dá através do processamento de madeiras de florestas de pínus e eucaliptos, que a própria empresa cultiva.

As madeiras passam por um processo de picagem reduzindo a mesma a cavacos com granulometria definida. Em seguida ocorre o processo de polpação a fim de individualizar as fibras do cavaco, solubilizando, através de um processo químico, a lignina na madeira. A lignina é o elemento cimentante que une as fibras tornando a madeira rígida. Assim, quanto mais se cozinha o cavaco mais se retira a lignina, obtendo-se fibras menos rígidas. Através desse processo se obtém a celulose, estocando-se essa polpa e enviando-a em seguida para o processo de fabricação do papel cartão.

Na fábrica de transformação as matérias-primas são utilizadas na produção das Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos (ECAL). O processo consiste basicamente na colocação das camadas de polietileno à quente sobre o cartão impresso por litografia. Não é necessária a utilização de colas, pois devido ao calor o polietileno adere ao cartão. A camada de alumínio é colocada entre as duas camadas de polietileno através de laminação. No final é obtido um rolo compacto com milhares de embalagens vazias, com o *layout* final da embalagem que deve seguir para suas respectivas empresas de enchimento (VALE; PAIVA, 2003).

2.5.2 Reciclagem

Plastivida (2008) observa que a reciclagem de materiais descartados compreende basicamente as seguintes etapas:

- Coleta e Separação: triagem por tipo de material.
- Revalorização: preparação dos materiais separados para se tornarem novos produtos.
- Transformação: processamento dos materiais revalorizados para a geração de novos produtos.

De acordo com Valt (2004), simbologias para identificação dos diversos tipos de materiais foram criadas a fim de facilitar a coleta e a separação (Figura 32).

Figura 32 – Simbologia brasileira de identificação de materiais recicláveis.
Fonte: ABRE (apud VALT, 2004).

Em relação aos tipos de reciclagem, os principais são as reciclagens química, energética e mecânica (PLASTIVIDA, 2008). De acordo com essa fonte a reciclagem química reprocessa polímeros plásticos transformando-os em petroquímicos básicos que servem como matéria-prima, em refinarias ou centrais petroquímicas, para a obtenção de produtos nobres de elevada qualidade. Em materiais com estruturas químicas diferentes das dos polímeros, a reciclagem química não é realizada. Os principais processos de reciclagem química estão apresentados na (Tabela 9).

Tabela 9 – Processos de reciclagem química.

Hidrogenação	As cadeias são quebradas mediante o tratamento com hidrogênio e calor, gerando produtos capazes de serem processados em refinarias.
Gaseificação	Os plásticos são aquecidos com ar ou oxigênio, gerando-se gás de síntese contendo monóxido de carbono e hidrogênio.
Quimólise	Consiste na quebra parcial ou total dos plásticos em monômeros na presença de glicol/metanol e água.
Pirólise	É a quebra das moléculas pela ação do calor na ausência de oxigênio. Este processo gera frações de hidrocarbonetos capazes de serem processados em refinarias.

Fonte: Plastivida (2008).

Na reciclagem energética a energia contida nos materiais é recuperada através de processos térmicos. A reciclagem energética distingue-se da incineração por utilizar os resíduos como combustível na geração de energia elétrica. Já a simples incineração não aproveita a energia dos materiais (PLASTIVIDA, 2008).

De acordo com Valt (2004) materiais que se fundem à altas temperaturas não possuem capacidade de liberação de energia. Já nos polímeros plásticos a energia contida em 1 kg é equivalente à contida em 1 kg de óleo combustível, que é da ordem de 10.000 kcal.

Na reciclagem mecânica, mediante um processo físico, os resíduos plásticos ou industriais são recuperados, permitindo sua posterior utilização. Os materiais em estudo sofrem reciclagem mecânica e serão comentados nos itens a seguir.

2.5.2.1 Reciclagem polímeros plásticos

Em relação aos polímeros plásticos, sua reciclagem mecânica consiste na transformação dos materiais descartados após o consumo em partículas, chamadas de flocos, que podem ser reutilizados na produção de outros produtos como sacos de lixo, solados, pisos, filmes plásticos, mangueiras, varais, cordas, fibras, outras embalagens (PLASTIVIDA, 2008).

O diagrama a seguir (Figura 33) ilustra o processo de reciclagem dos polímeros plásticos. Após ser coletado o material é separado de acordo com o tipo de plástico para ser então moído e fragmentado em pequenas partes. Após triturado, o plástico passa por uma etapa de lavagem com água para a retirada dos contaminantes. Muitas vezes, a contaminação ou a mistura com outras resinas podem prejudicar o processo de reciclagem. Assim, os flocos lavados são secados e seguem para a fase de aglutinação que, além de completar a secagem, ajuda a compactar o material reduzindo o volume que será enviado à extrusora. A extrusora funde e torna a massa plástica homogênea. Na saída da extrusora, encontra-se o cabeçote, de onde sai o material com forma contínua, que é resfriado com água. Em seguida, o material é picotado em um granulador e transformado em pellet (grãos plásticos) (PLASTIVIDA, 2008).

A Tabela 10 apresenta o índice de reciclagem mecânica de plástico pós-consumo no Brasil.

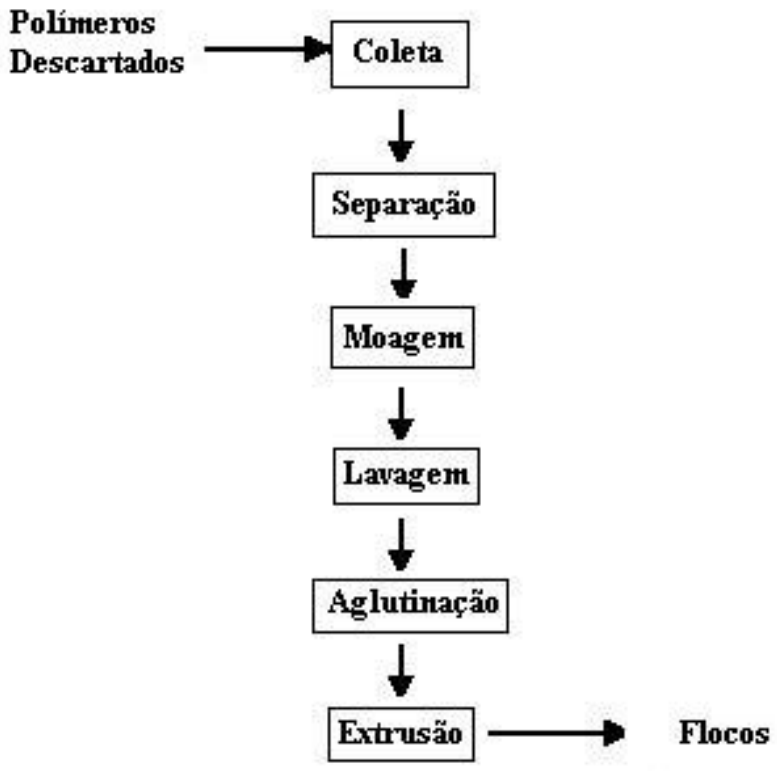


Figura 33 – Processo de reciclagem dos polímeros plásticos.

Fonte: Plastivida (2008).

Tabela 10 – Índice de reciclagem mecânica de plástico pós-consumo no Brasil em 2006.

Tipo de resíduo plástico	**%**
PET	53,2
PEAD	15,8
PVC	5,4
PEBD	9,8
PP	9,4
PS	12,9
Outros	13,8

Fonte: Plastivida (2008)

2.5.2.2 Reciclagem metais

Segundo Ambiente Brasil (2008), no processo da reciclagem dos metais, ocorre inicialmente uma separação dos diferentes tipos de metais. Em seguida, nas estações de triagem, utiliza-se o eletromagnetismo para separá-los. Os resíduos são depois prensados nas diferentes categorias e são enviados para as unidades de reciclagem respectivas. Finalmente, em fornos, são fundidos, dando origem a lingotes, que serão integrados no setor metalúrgico para serem transformados em objetos variados (Figura 34).

A grande vantagem da reciclagem de metais é evitar as despesas da fase de redução do minério a metal. Essa fase envolve um alto consumo de energia, e requer transporte de grandes volumes de minério e instalações caras, destinadas à produção em grande escala. Devido às propriedades dos metais, estes podem ser reciclados com sucesso inúmeras vezes, uma vez que a estrutura da rede cristalina do metal não se degrada com as transformações que ocorrem no processo de reciclagem (AMBIENTE BRASIL, 2008).

A reciclabilidade é um dos atributos mais importantes do alumínio. Em 2002, o Brasil reciclou 253.500 toneladas de alumínio, equivalente a 35% do consumo doméstico, ficando acima da média mundial de 33%. (ABAL, 2007).

A reciclagem é um segmento vital e crescente da oferta total de cobre. De fato, estima-se que até 40% da demanda mundial anual de cobre é satisfeita com cobre reciclado e que 80% de todo o cobre extraído durante os últimos 10 mil anos ainda está em uso na atualidade (PROCOBRE, 2008).

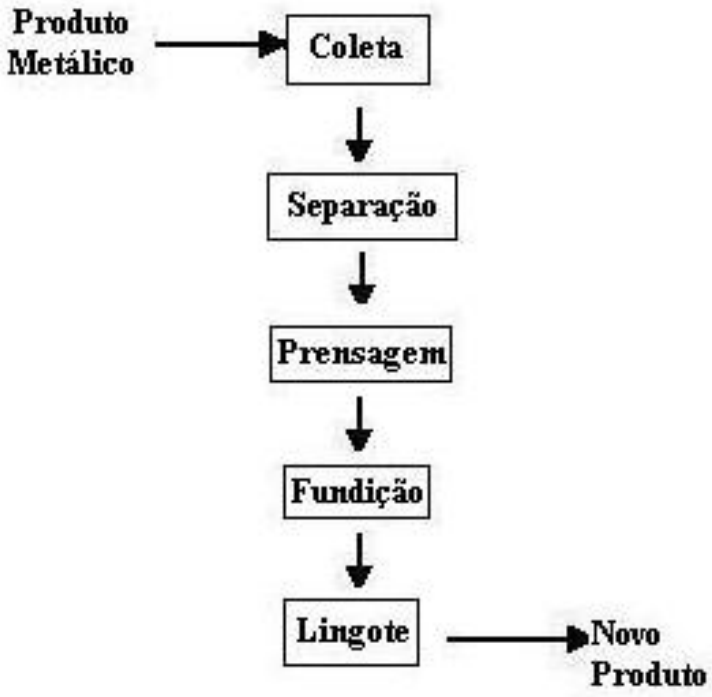


Figura 34 – Processo de reciclagem dos metais.
Fonte: Ambiente Brasil (2008).

2.5.2.3 Reciclagem do Vidro

Na reciclagem do vidro (Figura 35), o material coletado deve ser separado por tipo e cor e submetido a um eletroímã para a separação dos metais contaminantes. Após a etapa inicial de retirada de impurezas, o material é lavado em tanques com água e encaminhado para um triturador, que transforma em pedaços de vidro de tamanho homogêneo. Os pedaços de vidro classificados são então armazenado em silos ou tambores para posterior utilização (RECICLOTECA, 2008).

Portanto, a reciclagem de vidro significa enviar ao produtor o vidro usado para que este seja reutilizado como matéria-prima para a produção de um novo produto. O vidro é 100%

reciclável, não ocorrendo perda de material durante o processo de fusão. Para cada tonelada de caco de vidro limpo, obtém-se uma tonelada de vidro novo. Além disso, cerca de 1,2 tonelada de matéria-prima deixa de ser consumida. De acordo com Recicloteca (2008) a taxa de reciclagem do vidro no Brasil no ano de 2003 foi de 45%.

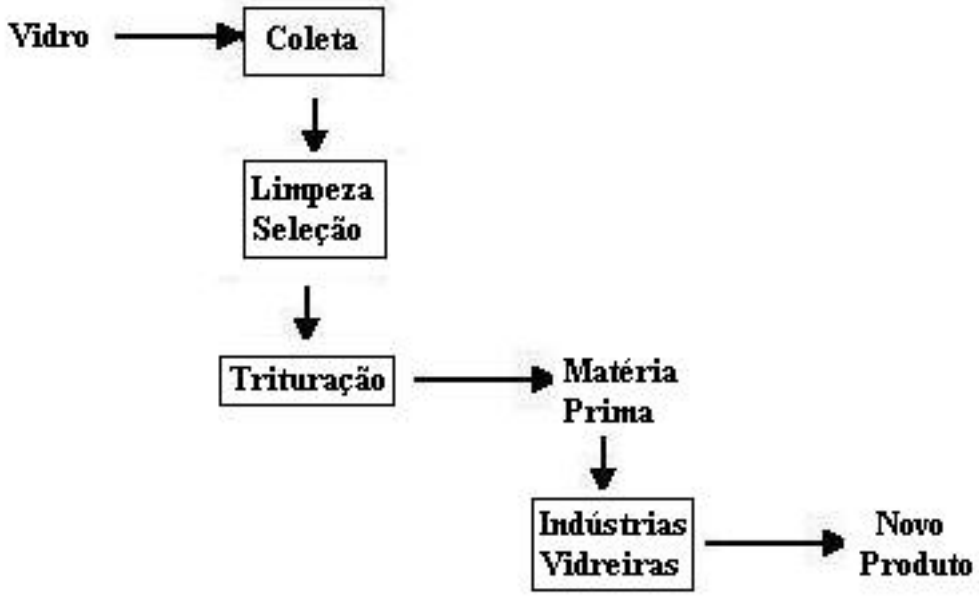


Figura 35 – Processo de reciclagem dos vidros.

Fonte: Recicloteca (2008).

2.5.2.4 Reciclagem Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos (ECAL)

Conforme Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE (2008) o processo de reciclagem das Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos inicia-se nas fábricas de papel, onde as embalagens são alimentadas a um equipamento semelhante a um liquidificador gigante. As fibras são agitadas com água e sem produtos químicos, hidratando-se e separando-se das camadas de plástico e alumínio. Após a separação, estas fibras celulósicas seguem para a máquina produtora de papel. O produto final é o papel reciclado que pode ser usado para confecção de caixas de papelão.

Após o reaproveitamento do papel, o polietileno e o alumínio podem seguir para os processos produtivos descritos abaixo (CEMPRE, 2008).

- Reciclagem via Plasma: O sistema usa energia elétrica para produzir um jato de plasma a 15 mil graus Celsius para aquecer a mistura de plástico e alumínio. Com o processo, o plástico é transformado em parafina e o alumínio, totalmente recuperado em forma de lingotes de alta pureza. Esses lingotes são transformados em novas folhas de alumínio usadas na fabricação das embalagens e, assim, fecham o ciclo de reciclagem do material. A parafina é vendida para a indústria petroquímica nacional.

- Fabricação de placas e telhas: Outra possibilidade é a trituração das camadas de polietileno e alumínio, que são depois prensadas a altas temperaturas, produzindo chapas semelhantes à madeira, ideais para a produção de móveis e divisórias. Essas chapas podem ser transformadas também em telhas utilizadas na construção civil.

- Produção de "Pellets": O composto de plástico com alumínio pode ser encaminhado para as indústrias de plástico, onde são reciclados por meio de um processo de extrusão para produção de "pellets". Esses "pellets" são pequenos grãos de plástico e alumínio que podem ser utilizados como matéria-prima nos processos de fabricação de peças por injeção, rotomoldagem ou sopro. Os produtos finais são canetas, paletes, banquetas, vassouras, etc.

A taxa de reciclagem de Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos no Brasil em 2006 foi de 24% totalizando cerca de 46 mil toneladas. Cada tonelada de embalagem cartonada reciclada gera, aproximadamente, 680 quilos de papel kraft (CEMPRE, 2008). A Figura 36 apresenta o processo de reciclagem das Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos.

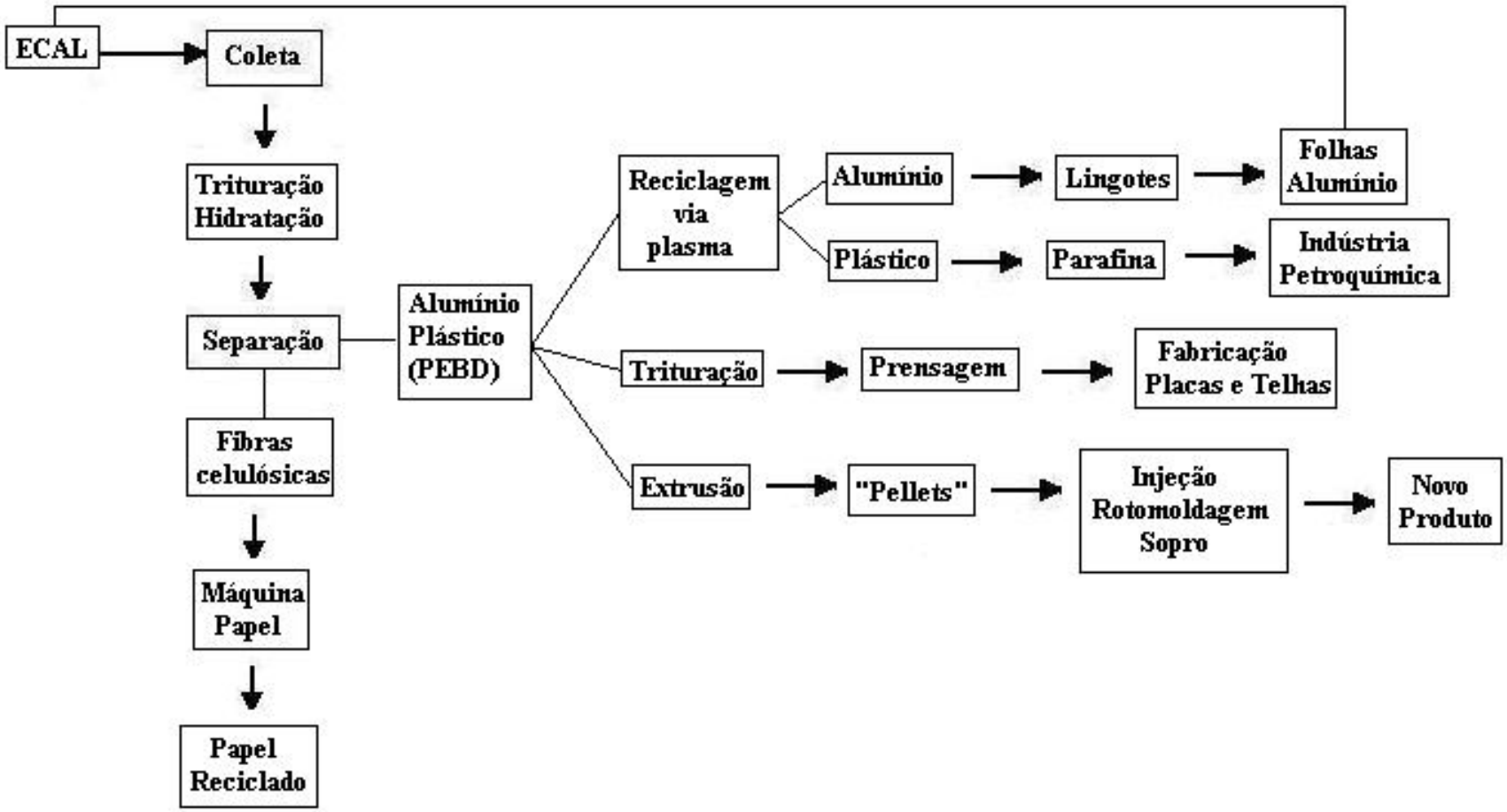


Figura 36 – Processo de reciclagem das Embalagens de Cartão para Alimentos Líquidos (ECAL).

Fonte: Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE, (2008).

CAPÍTULO 3 - MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho consiste em comparar, através da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), um sistema de aquecimento solar compacto industrializado, disponível no mercado brasileiro, e outros dois sistemas alternativos de baixo custo que desempenham a mesma função, em uso no país e propostos para habitações de interesse social. O estudo objetiva detectar e gerar informações que possam auxiliar na escolha de materiais para compor os sistemas de aquecimento solar de água que promovam o desenvolvimento sustentável, criando assim, uma metodologia de análise que poderia ser utilizada internamente toda vez que surgir uma nova alternativa tecnológica.

A ACV para tais sistemas é complexa, pois envolve vários tipos de materiais, gerando subsistemas, e vários são os dados necessários para que se possa inventariar o ciclo de vida de um sistema de aquecimento solar de água necessitando da colaboração de várias empresas fornecendo dados confiáveis à respeito do processo produtivo.

A coleta de dados quantifica o uso de recursos naturais, energia e as emissões ambientais associadas ao sistema que está sendo analisado. Esta etapa envolve preliminarmente o contato com as indústrias e sua disposição no fornecimento dos dados. Os dados coletados diretamente das empresas produtoras são chamados de dados primários, e possuem maior representatividade no estudo e, portanto, são preferencialmente utilizados. Os dados não fornecidos pelas indústrias são obtidos a partir de fontes secundárias como: bases de dados internacionais, literatura, entre outras; e analisados para agregação criteriosa ao estudo (BORGES, 2004).

Ao se iniciar a pesquisa, a intenção era trabalhar com dados primários, adquiridos através de formulários preenchidos pelas empresas participantes dos processos de produção dos materiais que compõem os sistemas. Entretanto, não houve receptividade por parte das indústrias contatadas e não há ainda no país banco de dados disponível. Portanto, levando – se em consideração a disponibilidade de tempo para realização do estudo, e a limitação de acesso aos dados, percebeu-se que não seria possível a realização do inventário e decidiu – se por realizar uma ACV simplificada utilizando a metodologia Eco-indicador 99 lançando

mão de sua extensa lista de Eco-indicadores padrão (ANEXO 1) como fonte de dados secundários.

As recomendações de Goedkoop; Spriensma (2000a) para elaboração de avaliações do ciclo de vida de produtos foram seguidas. Assim, em primeiro lugar foram definidos os sistemas a serem avaliados e elaborado um fluxograma apresentando as fronteiras do estudo. A unidade funcional foi determinada, bem como os materiais constituintes dos mesmos e sua quantificação. Os dados omitidos foram relatados com seus motivos especificados. Em seguida, os formulários do ANEXO 2 foram preenchidos, os valores na lista Eco-indicador 99 (ANEXO 1) encontrados e relacionados com suas respectivas quantificações. Dessa forma, após terem sido feitas as combinações tornou-se possível checar se o objetivo foi alcançado e quais foram as conclusões chegadas.

Os aspectos e impactos ambientais considerados no estudo foram os adotados no Método Eco-indicador 99. Conduzindo o estudo dessa forma foi possível obter apenas uma impressão rápida e superficial dos materiais que causam maior impacto ambiental gerando consecutivamente o sistema mais impactante (com valor Eco-indicador maior).

3.1 Definição dos sistemas a serem avaliados

O tipo de sistema de aquecimento de água, bem como a quantidade de material empregado no mesmo, varia conforme o tipo de habitação adotado. Conforme a distribuição arquitetônica, variam as configurações das instalações hidráulicas e elétricas, a localização do reservatório e o emprego de certos acessórios hidráulicos. Fatores sociais, econômicos ou mesmo climáticos, tem papel fundamental na escolha do sistema de aquecimento de água a ser empregado. “Um estudo comparativo entre diferentes tipologias de aquecimento de água só se justifica com a adoção de um mesmo modelo arquitetônico para os diversos sistemas” (TABORIANSKI, 2002).

Portanto, antes de se definir os sistemas de aquecimento solar de água a serem estudados, o tipo de edificação adotada para o estudo será especificada a seguir.

3.1.1 Definição do tipo de edificação

Existe uma variada gama de tipologias de edificação no país. O presente estudo trata de sistemas de aquecimento solar de água para habitações residenciais de interesse social, portanto, buscou-se um tipo de moradia que representasse bem a realidade brasileira.

O Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE (1996) define o edifício residencial como domicílio e classifica ainda os domicílios, quanto ao tipo, em: casa não-rústica, apartamento, casa rústica e cômodo.

Segundo a mesma fonte, o tipo de residência brasileira que mais ocorre é a casa não-rústica com cinco cômodos (Tabela 11). De acordo com Taborianski (2002) casa não rústica trata-se de "um domicílio que ocupa totalmente um prédio, em cuja construção haja predominância de parede de tijolo, adobe, pedra, concreto pré-moldado, concreto aparente, taipa revestida ou madeira aparelhada; piso de taco, tábua ou madeira aparelhada, carpete, ladrilho, mosaico, lajota, mármore, plástico ou cimento; e cobertura de laje de concreto, telha de barro cozido, cimento-amianto, alumínio, madeira, zinco, chapa de ferro galvanizada e madeira aparelhada".

De acordo com os dados do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE (1996), apresentados na Tabela 11, os domicílios com 2 dormitórios e 1 banheiro são os tipos mais construídos no país, portanto, os 5 cômodos considerados são: 2 dormitórios, 1 banheiro, 1 cozinha e 1 sala.

Diante dos dados apresentados definiu-se como tipo de edificação para o estudo em questão, a tipologia de edificação do Residencial Campo Alegre de Uberlândia. A Organização Não Governamental Ação Moradia trabalha nas obras com o intuito de concluir a execução de 50 casas de 47,27 m² cada, distribuídos em sala, cozinha, dois quartos e banheiro, todas dotadas de sistema de aquecimento solar de baixo custo para aquecer a água do chuveiro. Na Figura 37 ilustra-se a tipologia das casas. Os imóveis são construídos em regime de mutirão, com tijolos de solo-cimento fabricados pelas próprias famílias na fábrica montada e administrada pela ONG Ação Moradia (AÇÃO MORADIA,

2007). O projeto arquitetônico das casas e o corte AA, mostrando a localização do sistema de aquecimento solar são apresentados no ANEXO 3.

Tabela 11 – Tipos de Domicílios, Número de Cômodos nos Domicílios, Número de Cômodos Servindo de Dormitório nos Domicílios e Número de Banheiros nos Domicílios.

Tipo de Domicílio	**Unidades**
Casa não rústica	***9.183.100***
Apartamento	2.667.346
Casa rústica	489.600
Quarto ou cômodo	171.260
Número de Cômodos	
1 Cômodo	219.957
2 Cômodos	515.383
3 Cômodos	1.311.837
4 Cômodos	2.153.778
5 Cômodos	***3.272.202***
6 Cômodos	1.904.657
7 Cômodos	1.203.018
8 Cômodos ou mais	1.930.474
Número de cômodos servindo de dormitório	
1 dormitório	11.755.090
2 dormitórios	***14.445.711***
3 dormitórios	7.088.699
4 dormitórios	1.229.139
5 dormitórios	175.794
6 dormitórios	32.006
7 dormitórios	5.828
8 dormitórios	1.735
9 dormitórios ou mais	713
Número de banheiros	
1 banheiro	**21.663.243**
2 banheiros	3.498.726
3 banheiros	1.121.837
4 banheiros	330.422
5 banheiros ou mais	169.437
Não tinham	7.951.050

Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, (1996).

Figura 37 – Casas do residencial Campo Alegre em Uberlândia – Julho/2007.

3.1.2 Sistemas de Aquecimento de Água Estudados

Neste item e seus respectivos subitens os três sistemas de aquecimento solar, que foram utilizados no estudo de avaliação do ciclo de vida são apresentados detalhadamente, bem como, os materiais constituintes dos mesmos com suas respectivas quantidades.

O sistema de aquecimento solar de água que foi instalado nas casas do Residencial Campo Alegre foi o Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC), desenvolvido pela ONG Sociedade do Sol, e possui como características, a possibilidade de manufatura em sistema de "bricolagem" e o uso de material de baixo custo (Sociedade do Sol - SoSol, 2007).

O sistema composto por 3 coletores tem capacidade para aquecimento de 200 litros de água atendendo a uma família de 4 a 6 pessoas (Sociedade do Sol – SoSol, 2007a). As plantas de locação da placa coletora, de ligação entre a mesma e o reservatório de armazenamento da água aquecida e o projeto hidráulico, contendo o diagrama unifilar, estão apresentadas no ANEXO 4.

Os outros dois sistemas que fizeram parte do estudo foram admitidos como se estivessem instalados na mesma casa, dimensionados para aquecer o mesmo volume de água.

O projeto das instalações hidráulicas é praticamente o mesmo para os três sistemas analisados. O sistema industrializado necessita de tubulação de cobre, pois atinge temperaturas mais altas, que a tubulação de PVC não pode suportar. Além disso, considerou-se que os três sistemas possuem o chuveiro elétrico como fonte auxiliar de energia, podendo ter assim as mesmas instalações elétricas. O chuveiro e suas instalações não foram levados em consideração no estudo.

3.1.2.1 Sistema 1: Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC)

Esse sistema elaborado pela Sociedade do Sol é um projeto para livre utilização da população com objetivos de melhoria social, preservação ambiental e conservação de energia, entre outros. Tem o mesmo princípio de funcionamento do sistema de aquecimento solar de água tradicional, diferenciando-se apenas na possibilidade de autoconstrução e nos materiais utilizados em sua confecção. O primeiro modelo foi apresentado publicamente em 2001 e atualmente já existem centenas instalados em diversas cidades brasileiras (Sociedade do Sol – SoSol, 2007a).

Um sistema ASBC pode ser projetado para aquecer diferentes volumes de água, porém, o Manual de Instrução de Manufatura e Instalação Experimental do ASBC, disponibilizado no site da Sociedade do Sol – (SoSol), demonstra a montagem de um sistema dimensionado para atender um consumo diário de 200 litros de água quente que é o dimensionamento que será adotado no presente estudo.

Os coletores ASBC são produzidos com placas de forro de PVC alveolar modular de 1,25 x 0,62 m, pintadas com esmalte sintético preto fosco. A quantidade de coletores a serem instalados depende do clima de cada região. São utilizados 40 ml de tinta por coletor. A Tabela 12 abaixo retirada do Manual da Sociedade do Sol fornece a quantidade de coletores de acordo com a região onde será instalado o ASBC.

Tabela 12 – Quantidade de coletores de acordo com a região.

Região	**Quantidade de Coletores (p/200L)**
Sul / SP capital	3
Interior de São Paulo	2
Outras regiões	2

Fonte: Sociedade do Sol – SolSol (2007a).

No Residencial Campo Alegre foram instalados 3 coletores para aquecer 200 litros de água (Figura 38). A interligação entre coletores é feita por meio de tubulação e luvas soldáveis de PVC marrom de 32 mm. A planta do coletor solar com a especificação dos materiais utilizados na sua execução se encontra no ANEXO 5, na Figura 7, onde os itens 7 e 9 não foram levados em consideração no estudo.

Figura 38 – Coletor solar das casas do residencial Campo Alegre.

A ponta superior esquerda do coletor, mostrado na Figura 38, é fechada definitivamente com “Cap” soldável de PVC marrom de 32 mm. Na ponta inferior direita é colocado um adaptador de PVC marrom de 32 mm a fim de escoar a água dos coletores, para efeito de manutenção. O mesmo é fechado com “Cap” de PVC branco com rosca de 32 mm. As duas pontas restantes, inferior esquerda e superior direita, servem para a circulação da água, a primeira para entrada de água fria e a outra para o retorno de água aquecida. Nestas duas pontas devem ser soldados joelhos de 90º.

Na superfície inferior do coletor foi colocada uma placa de Poliestireno Expandido (EPS) uma vez que, de acordo com Sociedade do Sol – SoSol (2007a), esse procedimento pode

elevar a temperatura da água do reservatório de 3 a 4ºC.

A durabilidade prevista ultrapassa os 10 anos, desde que haja uma repintura dos coletores de PVC a cada 4 anos (SOCIEDADE DO SOL – SoSol, 2006).

Como reservatório térmico foi utilizada um bombona plástica de 200 L, produzida em polietileno de alta densidade (PEAD) como mostra a Figura 39. A equipe da Sociedade do Sol – SoSol considera que a mesma pode ser utilizada devido a natural limitação térmica do coletor solar ASBC. O reservatório é isolado termicamente com placas de EPS revestidas com plástico bolha (PEBD). No ANEXO 5 a Figura 8 apresenta o projeto do reservatório térmico com suas especificações bem como, a relação de materiais necessários.

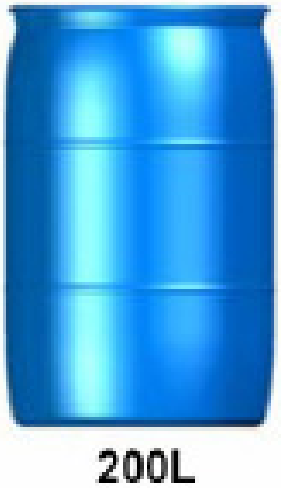


Figura 39 – Bombona utilizada como reservatório térmico.

3.1.2.2 Sistema 2: Aquecedor Solar Composto de Embalagens Descartáveis

Com o propósito de dar um destino útil às embalagens PET, embalagens de cartão para alimentos líquidos (ECAL), bandejas de isopor, sacolas plásticas, etc., José Alcino e sua família resolveram aplicá-las num aquecedor solar alternativo. O projeto vem sendo implantado por ONGs, universidades, empresas, clubes de serviços, em várias instituições e habitações de famílias com baixa renda (ALANO & FAMÍLIA, 2007).

O coletor solar é formado por colunas de absorção térmica de tubos e conexões de PVC pintados em preto fosco, com embalagens de cartão para alimentos líquidos também pintadas em preto fosco e garrafas PET, substituindo a caixa metálica, o painel de absorção térmica e o vidro utilizado nos coletores convencionais. O calor absorvido pelas embalagens de cartão pintadas, é retido no interior das garrafas e transferido para a água através das colunas de PVC. As garrafas PET, têm ainda como função proteger o interior do coletor das interferências externas, principalmente dos ventos. A Figura 40 ilustra a forma de execução do mesmo.

Os autores do projeto aconselham que sejam aplicadas no máximo 5 garrafas por coluna, afim de não dificultar a instalação do coletor solar em relação à altura do reservatório. Chamam ainda atenção para o fato de que deve-se optar por módulos de 5 colunas, em prol de facilitar o seu manejo, tornando-o extremamente fácil de carregar até o local de instalação.

Os tipos de garrafas utilizadas na construção do coletor são as garrafas transparentes (cristal) lisas (retas) ou cinturadas de Coca - Cola e de Pepsi - Cola. As garrafas lisas (retas) tipo cristal, apresentam dilatações entre as garrafas, prejudicando a vedação entre elas, o que não ocorre com garrafas cinturadas (ALANO e FAMÍLIA, 2007).

Os tubos das colunas do coletor solar possuem diâmetro externo de 20 mm e devem ser cortados de acordo com os tipos de garrafas. Segundo os autores, a medida que melhor se enquadra é de 100 cm para colunas com 5 garrafas cinturadas de Pepsi - Cola e 105 cm para colunas com 5 garrafas de Coca - Cola como mostra a Figura 41.

É sugerido no Manual de Alano e Família (2007), para simplificar o dimensionamento, instalar uma garrafa para cada litro de água a ser aquecida. Portanto, no sistema a ser estudado, dimensionado para aquecer 200 litros de água, são utilizadas 200 garrafas de Coca - Cola e 200 embalagens de cartão. Isto é, são oito módulo com cinco colunas, cada coluna com cinco garrafas, totalizando assim, 40 colunas ocupando uma área de aproximadamente 4 m². Os autores consideram esse dimensionamento suficiente para uma família de 4 pessoas e com banhos que não ultrapassem 8 minutos.

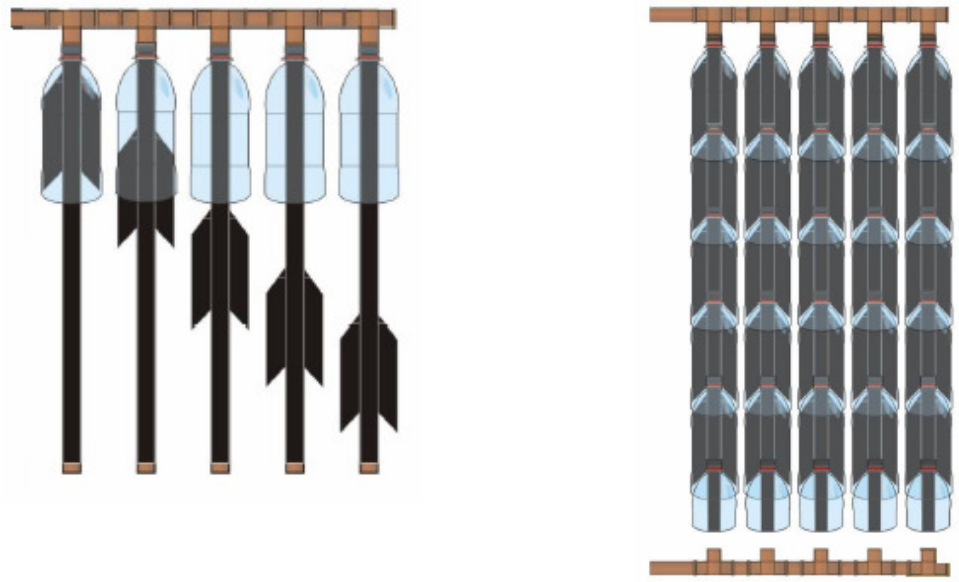


Figura 40 – Coletor Solar composto por embalagens descartáveis.
Fonte: Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA (2006).

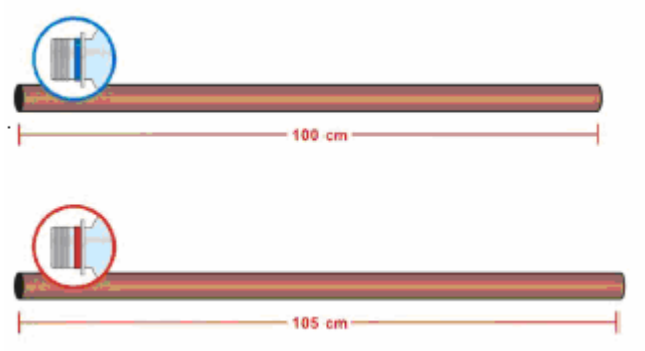


Figura 41 – Corte dos Tubos do Coletor para garrafas de Pepsi-Cola e Coca-Cola respectivamente.
Fonte: Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA (2006).

Para cada módulo de cinco colunas são utilizados cinco conexões T e cinco tubos de 8,5 cm, também com diâmetro externo de 20 mm, a fim de formar o barramento superior que promove a ligação entre uma coluna e outra. Mesma coisa para o barramento inferior. Os tubos de distanciamento entre colunas (8,5 cm), não são pintados e sua medida é padrão a todos coletores, não importando os tipos de garrafas (Figura 42).

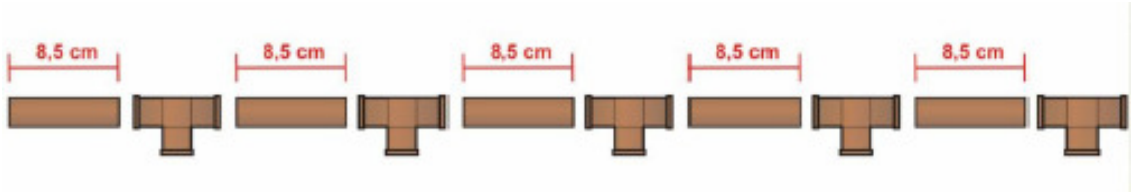


Figura 42 – Configuração do barramento inferior e superior de um módulo de cinco colunas.
Fonte: Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA (2006).

A dúvida que fica é a da durabilidade da garrafa PET quando exposta à irradiação solar permanente. Segundo os fabricantes da matéria prima das garrafas, ela poderá se degradar num prazo de 4 a 6 anos, valor considerado muito bom quando comparados a materiais como o polipropileno e polietileno, que, sem aditivos, não duram mais do que poucos meses ao sol. Após o prazo de vida do material, as garrafas deverão ser substituídas bem como, as embalagens ECAL, segundo informações recebidas do senhor José Alcino via e-mail.

O reservatório utilizado neste sistema é o mesmo do sistema anterior, ou seja, a bombona de polietileno de alta densidade (PEAD) de 200 litros com o mesmo sistema de isolamento térmico, e suas especificações podem ser encontradas no ANEXO 5.

3.1.2.3 Sistema 3: Aquecedor Solar Compacto Solarmax 200 L

O Aquecedor Solar Compacto Solarmax (Figura 43) é fabricado pela empresa Soletrol localizada em São Manuel (SP). O sistema vem pronto para ser instalado sobre o telhado. Foi projetado apropriadamente para combinar, principalmente, com telhas cerâmicas. É fabricado em capacidade única de 200 litros e possui um coletor solar de 1,6 m^2 como se pode observar na Figura 44 contendo as dimensões do coletor. O coletor é etiquetado pelo INMETRO com classificação "A", eficiência energética média de 58,4 % e produção média mensal de energia de 127,4 kWh/mês (SOLETROL, 2007).

De acordo com a Soletrol (2007) o sistema é composto de 3 módulos acopláveis, sendo:

- Reservatório térmico com corpo interno em polipropileno com capacidade de armazenamento de 200 litros de água, isolamento térmico em poliuretano, capa externa

em chapa de alumínio corrugada e suportes com pintura eletrostática para evitar a corrosão.

- Reservatório para abastecimento de água fria em polipropileno, que possibilita a ligação diretamente à rede hidráulica pública de água fria, onde não ocorra faltas de água constantes nos horários de banho.

- Placa coletora solar com caixa externa em perfil de alumínio, aletas de alumínio, tubos de cobre, isolamento em poliuretano, vidros lisos e vedação em borracha de silicone. Possui ainda cantos em material termoplástico resistente aos raios ultra-violeta, sendo fabricado de forma automatizada e sem rebites, o que garante perfeita vedação e maior durabilidade. Fazem parte ainda do sistema, suportes metálicos pintados com tinta epóxi para fixação do aquecedor solar sobre o telhado e conexões hidráulicas flexíveis e válvula anti-congelamento.

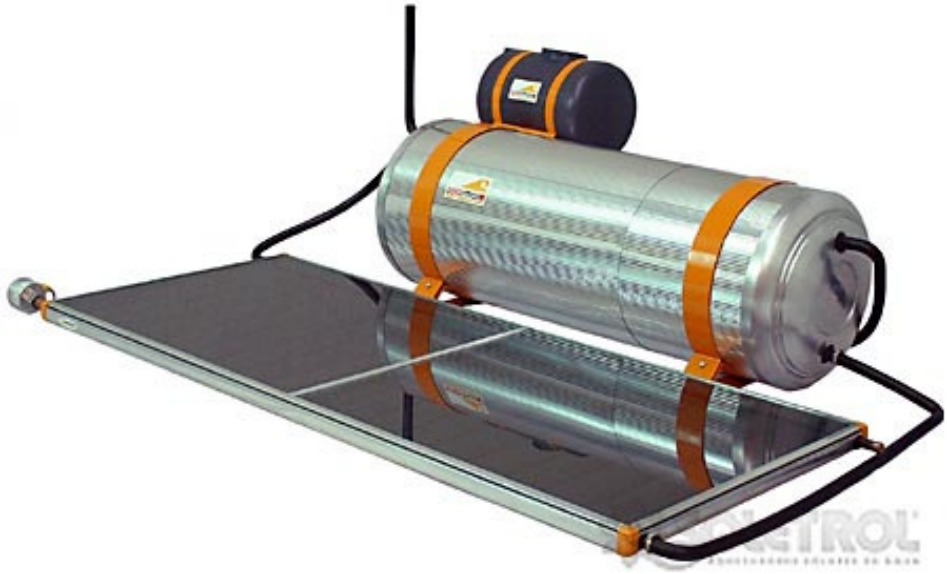


Figura 43 – Aquecedor solar compacto Solarmax 200 L.
Fonte: Soletrol (2007).

Os diâmetros do tubo de entrada de água fria da rede, proveniente do reservatório de abastecimento, e do tubo de saída (consumo) de água quente são de 19 mm (3/4").

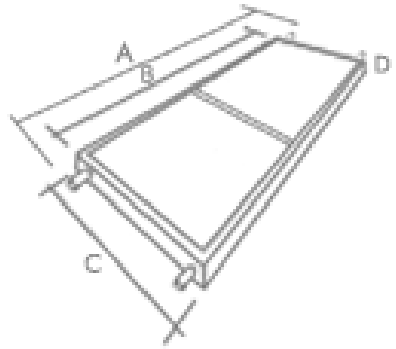
	A - Largura (incluindo tubos): 2070 mm B - Largura: 1990 mm C - Comprimento: 790 mm D - Altura: 55 mm Área Coletora Nominal: 1,60 m² Área Coletora Real: 1,58 m²

Figura 44 – Dimensões do coletor solar.

Fonte: SOLETROL (2007).

A seguir são apresentados os fluxogramas dos sistemas de aquecimento solar de água em estudo.

3.2 Fluxograma dos Sistemas de Aquecimento Solar de Água

Segue abaixo um fluxograma ilustrativo com as entradas e saídas do ciclo de vida, para os sistemas de aquecimento de água (Figura 45). As etapas de manufatura dos sistemas, instalação e uso não foram consideradas na avaliação.

De acordo com Martins (1999 apud TABORIANSKI, 2002), após serem identificadas as fronteiras das etapas que englobam os sistemas, é possível eliminar algumas etapas, dependendo do objetivo do estudo.

Os valores de Eco-indicadores padrão, que são apresentados na lista da metodologia Eco-indicador 99 para os materiais (ANEXO 1), consideram desde a extração da matéria prima até os seus processos produtivos, estando incluso no valor do Eco-indicador a porcentagem referente aos transportes que ocorrem durante o ciclo de vida do produto.

Os Sistemas de aquecimento solar de água 1 e 2 são montados pelos próprios usuários e portanto, essa montagem não gera entradas e saídas. O Sistema 3 é industrializado e é possível que gere algum tipo de entrada ou de saída durante a sua manufatura, mas, não foi possível obter tais dados, pois, a empresa não tinha no momento pessoal disponibilizado para levantá-los. Dessa forma, essa etapa não foi levada em consideração no estudo. As

etapas de instalação dos equipamentos e de uso também não foram consideradas por causar pequena interferência no resultado final do trabalho.

Valores de Eco-indicadores para diferentes tipos de disposição final de produtos também podem ser encontrados na lista da metodologia Eco-indicador 99.

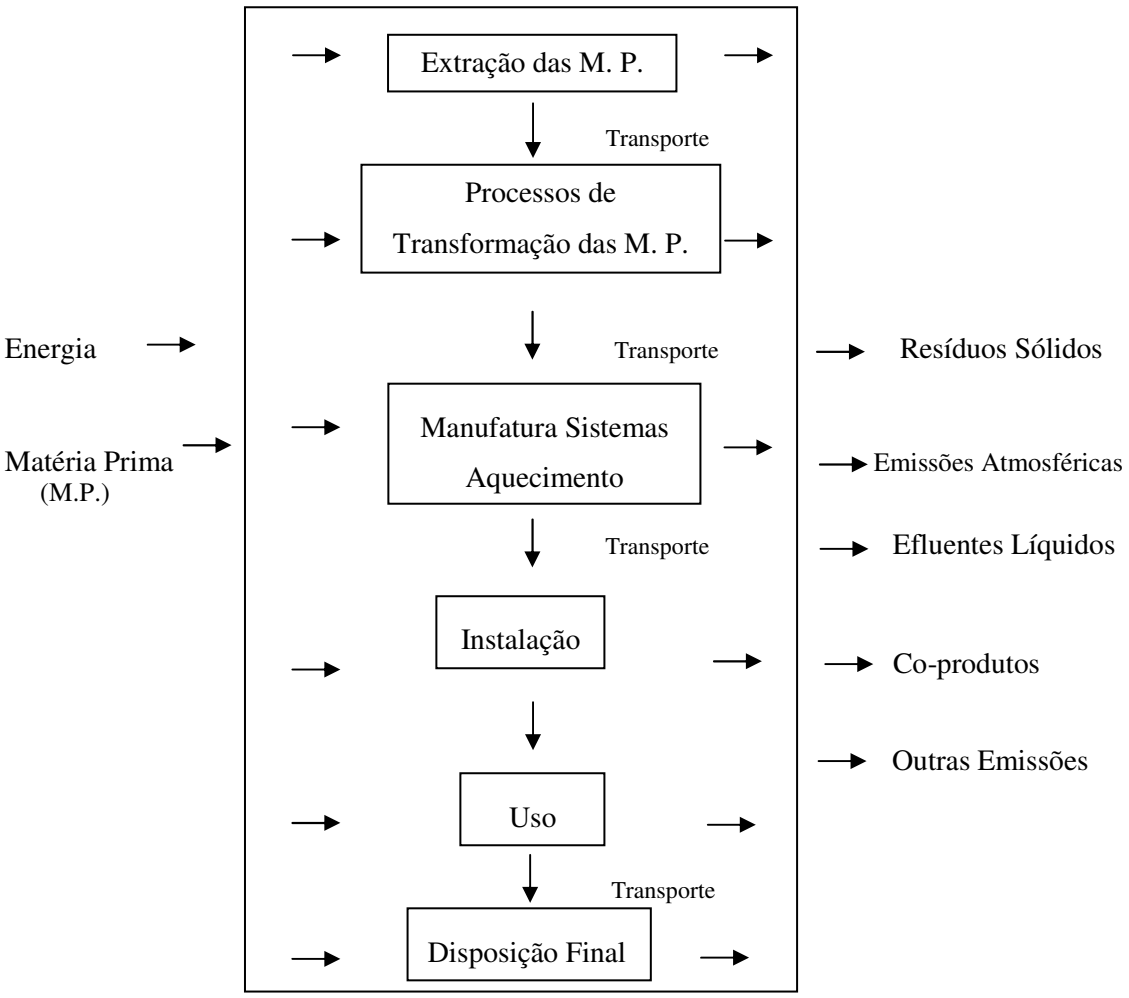


Figura 45 – Fluxograma com as entradas e saídas do ciclo de vida, para os sistemas de aquecimento de água.

Para que fosse possível visualizar melhor os materiais considerados no estudo a fim de encontrar seus respectivos valores na lista da metodologia Eco-indicador 99, foram elaborados fluxogramas representativos dos materiais constituintes dos três sistemas em estudo. Nesses fluxogramas (Figura 46, Figura 47 e Figura 48) aparecem em cor cinza os itens que não foram considerados no estudo.

Os produtos adesivo bi-componente, silicone, esmalte sintético, tintas eletrostática e epóxi e o plástico bolha utilizado no revestimento do reservatório térmico, não foram levados em consideração no estudo devido à sua pouca representatividade, uma vez que, não aparecem em quantidades significativas em termos de massa.

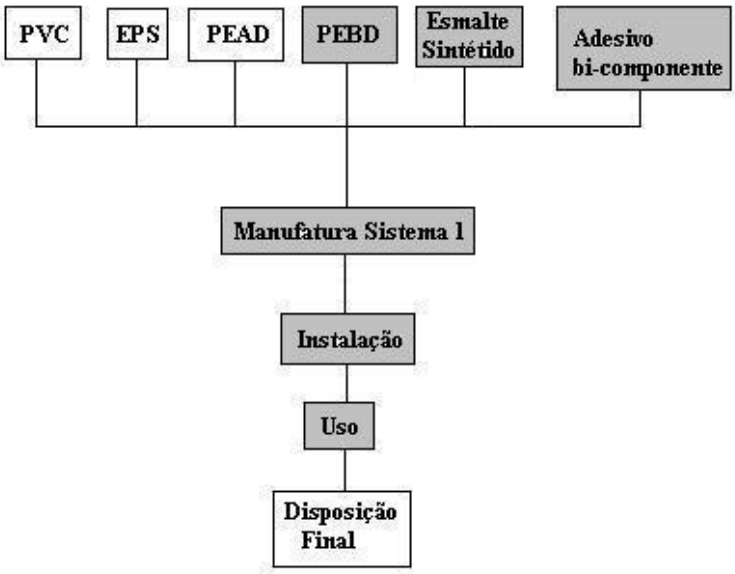


Figura 46 – Fluxograma materiais constituintes Sistema 1.

Nota: Itens que não foram considerados no estudo estão em cor cinza.

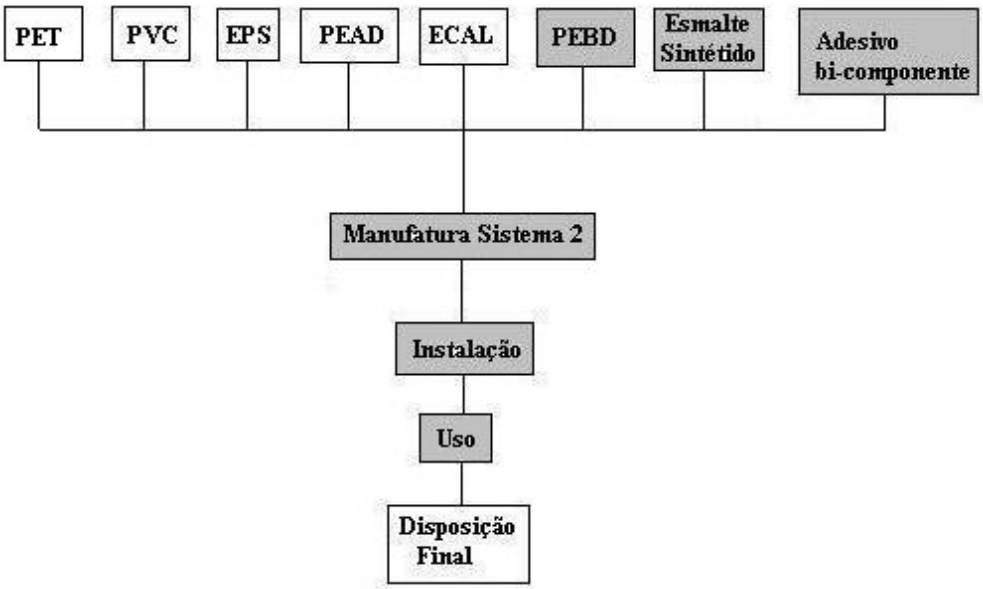


Figura 47 – Fluxograma materiais constituintes Sistema 2.

Nota: Itens que não foram considerados no estudo estão em cor cinza.

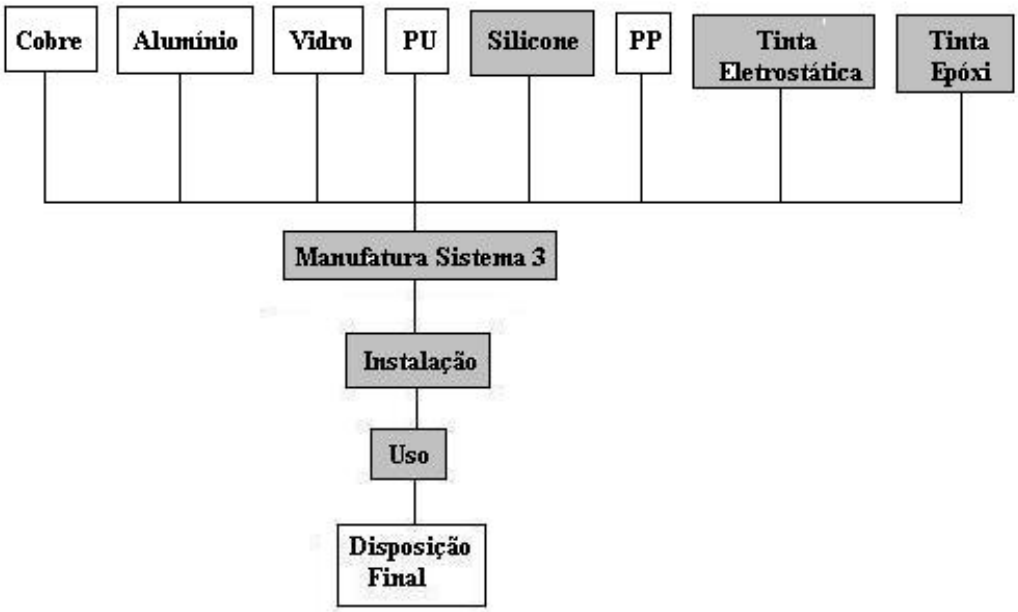


Figura 48 – Fluxograma materiais constituintes Sistema 3.

Nota: Itens que não foram considerados no estudo estão em cor cinza.

3.3 Quantificação dos materiais e processos

Como pôde-se observar a unidade funcional do estudo é de 200 L de capacidade de aquecimento de água para todos os sistemas utilizados. O tempo de estudo foi definido como 20 anos, pois se considerou que o aquecedor solar industrializado tem este tempo de vida útil.

Desta forma, o coletor solar do Sistema 2 com durabilidade prevista para aproximadamente 10 anos deve ser trocado apenas uma vez desde que, sua pintura seja renovada a cada 4 anos. Portanto, supôs-se que após 10 anos seria colocado um coletor com placas de EPS para isolamento térmico novos. As garrafas PET e as embalagens ECAL do Sistema 2 devem ser trocadas a cada 5 anos ou seja, seriam trocadas 3 vezes. As tubulações e conexões em PVC seriam trocadas com 10 anos, como no Sistema 1.

O ANEXO 6 apresenta as tabelas com o resumo de todos os materiais levados em consideração no estudo e suas respectivas massas levando em conta as quantidades, trocas e reparos necessários durante o tempo adotado para o estudo. Os materiais dos Sistemas 1 e 2 foram pesados no laboratório da Universidade Federal de Uberlândia e multiplicados

pelas quantidades necessárias durante o tempo determinado para o estudo.

Após o levantamento dos materiais e processos mais relevantes consultou-se a lista da metodologia Eco-indicador 99 a fim de se observar quais dentre os dados necessários estavam disponíveis. Os materiais e processos que foram selecionados para a realização do estudo estão marcados em verde no ANEXO 1 e se encontram resumidos na Tabela 13.

Tabela 13 – Resumo dos materiais e processos selecionados na lista Eco-indicador 99.

Materiais	**Processos**	**Disposição Final**
Alumínio[1]	Extrusão	Reciclagem alumínio
		Aterramento alumínio
Cobre	Prensagem	Reciclagem Alumínio[2]
		Aterramento Alumínio
PEAD	Moldagem por sopro	Aterramento PE
		Reciclagem PE
PEBD	Prensagem	Aterramento PE
PET garrafa		Aterramento PET
		Reciclagem PE[2]
PP	Moldagem por Injeção	Reciclagem PP
		Aterramento PP
PS (EPS)	Moldagem por Injeção	Aterramento espuma EPS
		Reciclagem PS[2]
PUR espuma rígida	Moldagem por injeção	Aterramento espuma 20 kg/m³
PVC (rígido)	Moldagem por injeção	Aterramento PVC
Papel Cartão		Aterramento papel cartão
		Reciclagem papel cartão
Vidro Float sem cobertura		Reciclagem vidro
		Aterramento vidro

Notas:

[1] - A porcentagem de alumínio referente às embalagens de cartão para alimentos líquidos é encaminhada para o aterramento em uma primeira hipótese e reciclada em uma segunda hipótese.

[2] - Para materiais que não constam na lista da metodologia Eco-indicador 99 foram escolhidos os valores Eco-indicadores que mais se aproximam.

Os processos encontrados na lista da metodologia Eco-indicador 99 não foram exatamente aqueles que foram buscados, mas, uma vez que o estudo objetivava obter uma visão geral, lançou-se mão dos processos disponíveis utilizando aqueles que mais se aproximavam do ideal.

Em relação à escolha dos processos de disposição final dos materiais em estudo, 3 hipóteses foram consideradas. Por entender-se que o Sistema 3 industrializado, possui maior probabilidade de reciclagem dos materiais que o constituem devido ao alto valor agregado na reciclagem de produtos como o cobre e o alumínio, na 1º hipótese supôs-se que, após os 20 anos adotados para o estudo, o cobre, o alumínio, o vidro e o polipropileno do Sistema 3 seriam reciclados e o poliuretano aterrado, em um aterro sanitário, por se tratar de um polímero termofixo, e os materiais dos Sistemas 1 e 2 seriam todos aterrados ao final de suas vidas úteis.

Na 2º hipótese, considerou-se que alguns dos materiais dos Sistemas 1 e 2 também seriam reciclados, pois, após uma pesquisa dentre as empresas que reciclam tais materiais, constatou-se que nada impede que eles sejam reciclados após serem utilizados como sistemas de aquecimento solar de água.

Entretanto, as empresas contatadas informaram que as condições de obtenção do material, que se pretende moer e lavar, influenciam na qualidade final do produto, e embalagens contaminadas, por óleos, resinas, etc., necessitam um processo de limpeza mais caro, podendo desvalorizar o produto. Desta forma, um resíduo contaminado tem menor valor agregado, pois, para as recicladoras a utilização do resíduo sem contaminação tem como vantagens a constância na formulação e a possibilidade de eliminar a etapa de lavagem que gera gastos e efluentes poluentes. Nos Sistema 1 e 2, as embalagens de cartão para alimentos líquidos e os tubos de PVC estão contaminados com o esmalte sintético preto fosco com o qual foram revestidos.

A reciclagem do PVC rígido é bastante simples, desde que esteja limpo (descontaminado), pois, desta forma as etapas de lavagem e secagem são suprimidas. No caso da reciclagem do PVC, para compensar a baixa qualidade do material reciclado são acrescentados aditivos que encarecem o produto final, inviabilizando este procedimento (PIVA; NETO; WIEBECK, 1999). Assim, na segunda hipótese, o PVC ainda foi considerado como sendo aterrado, pois, além do que foi exposto acima, como se pode observar no capítulo anterior, dentre os plásticos, o PVC é o que possui a taxa de reciclagem mais baixa (5,4%) de acordo com dados de Plastivida (2008) para o ano de 2006.

Através de contato com a empresa Klabin que realiza a reciclagem das embalagens de cartão para alimentos líquidos constatou-se que tal contaminação não impede a reciclagem das embalagens, pois, os materiais que a compõem são separados e o único que fica contaminado é o polietileno. Portanto, considerou-se na 2º hipótese, que o alumínio e o papel cartão das embalagens foram reciclados e o polietileno aterrado.

Os demais materiais, PET, PEAD e EPS foram supostos como sendo reciclados na 2º hipótese uma vez que nada impede que tal fato ocorra. Como na lista de valores Eco-indicadores de reciclagem não existem valores específicos para tais materiais, foram utilizados os valores para a reciclagem do PE para o PEAD e para o PET e o valor para a reciclagem do PS para o EPS.

Na 3º hipótese, considerou-se que todos os materiais dos três sistemas foram aterrados. Tal hipótese foi considerada a fim de se observar quais seriam os resultados obtidos caso tal fato viesse a ocorrer, reiterando que as possibilidades de aterramento de alguns materiais do Sistema 3 são remotas.

Como pode-se observar nos resultados obtidos apresentados no Capítulo 4, as embalagens para alimentos líquidos que são reaproveitadas no Sistema 2, PET e ECAL, têm grande representatividade no resultado final do seu valor Eco-indicador. Desta forma, por se tratarem de materiais que estão sendo reutilizados, uma segunda consideração para o Sistema 2, onde não se contabiliza no total de seu valor Eco-indicador tais materiais, foi levantada. Os motivos para esta consideração serão ainda melhor esclarecidos no próximo capítulo através da análise dos resultados obtidos. A Tabela 14 apresenta um resumo com as hipóteses e considerações levantadas para o estudo.

Uma vez selecionados os materiais e processos necessários para o estudo de Avaliação do Ciclo de Vida dos sistemas de aquecimento solar de água, os formulários do ANEXO 2 foram preenchidos com os materiais e suas respectivas massas, constantes do ANEXO 6, e com os processos que foram selecionados para cada tipo de material nas três hipóteses. Na lista de Eco-indicadores padrão os valores referentes aos materiais e processos foram localizados, preenchidos nos formulários e multiplicados pelas massas. Os resultados obtidos e as discussões acerca dos mesmos se encontram no próximo capítulo.

Tabela 14 – Resumo das hipóteses e considerações para o estudo.

	Sistema 1	**Sistema 2**		**Sistema 3**
		Consideração 1 Todos os materiais	**Consideração 2 Sem PET e ECAL**	
1º Hipótese	Aterramento	Aterramento	Aterramento	Reciclagem (PU aterrado)
2º Hipótese	Reciclagem (PVC aterrado)	Reciclagem (PVC e PEBD aterrado)	Reciclagem (PVC aterrado)	Reciclagem (PU aterrado)
3º Hipótese	Aterramento	Aterramento	Aterramento	Aterramento

CAPÍTULO 4 - RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo estão apresentados e discutidos os resultados obtidos na ACV dos sistemas de aquecimento solar de água estudados. As influências das escolhas do tipo de disposição final para os materiais constituintes dos sistemas nas 3 hipóteses também estão apresentadas, bem como, os resultados que foram obtidos ao não se levar em conta, na segunda consideração, os materiais que estão sendo reaproveitados.

Inicialmente são apresentados, nas Tabelas 15, 16 e 17, os formulários preenchidos com os resultados quantitativos para os Sistemas 1, 2 e 3 nas 1º, 2º e 3º hipóteses. Na Tabela 16 são apresentados também os resultados quantitativos obtidos na segunda consideração.

Tabela 15 – Aplicação da metodologia Eco-indicador 99 para o Sistema 1: Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC).

Produto ou componente: Sistema 1 – ASBC: Aquecedor Solar de Baixo Custo		**Projeto:** Avaliação do Ciclo de Vida Sistemas Aquecimento Solar de Água	
Data: Agosto 2008		**Autor:** Larissa Oliveira Arantes	
Notas: Materiais: Inclui matéria-prima, processos de produção e transporte entre extração de matérias primas e processo de produção. Polietileno de Alta Densidade (PEAD): Referente ao reservatório térmico. Policloreto de Vinila (PVC): Total incluindo forro alveolar modular, tubos e conexões para coletor e reservatório térmico. Poliestireno Expandido (EPS): Isolamento placas coletoras e reservatório térmico.			
Materiais	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	11,0	330,0	3.630,0
Policloreto de Vinila (PVC)	15,1	270,0	4.077,0
Poliestireno Expandido (EPS)	1,2	360,0	432,0
Total Materiais			**8.139,0**
Processos	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Moldagem por sopro PEAD	11,0	2,1	23,1
Moldagem por injeção PVC	15,1	44,0	664,4
Moldagem por injeção EPS	1,2	21,0	25,2
Total Processos			**712,7**

Continuação da Tabela 15 – Aplicação da metodologia Eco-indicador 99 para o Sistema 1: Aquecedor Solar de Baixo Custo (ASBC).

Disposições Finais 1º e 3º hipóteses	**Quantidade (kg)**	**Indicador (mPt/kg)**	**Resultado mPt**
Aterramento PEAD	11,0	3,9	42,9
Aterramento PVC	15,1	2,8	42,3
Aterramento espuma EPS	1,2	7,4	8,9
Total Disposições Finais			**94,1**
Total Sistema 1 – 1º e 3º hipóteses			**8.945,8**
Disposições Finais 2º hipótese	**Quantidade (kg)**	**Indicador (mPt/kg)**	**Resultado mPt**
Reciclagem PEAD	11,0	-240,0	-2.640,0
Aterramento PVC	15,1	2,8	42,3
Reciclagem espuma EPS	1,2	-240,0	-288,0
Total Disposições Finais			**-2.885,7**
Total Sistema 1 – 2º hipótese			**5.966,0**

Observa-se através das tabelas que os valores Eco-indicadores para a reciclagem aparecem com valores negativos, pois, levam em consideração o produto novo que é evitado. Desta forma, verifica-se que ao se considerar que os materiais dos sistemas seriam reciclados há uma redução significativa de seus valores Eco-indicadores o que indica que os mesmos passam a causar menor impacto ao meio ambiente.

A fim de que se pudesse visualizar melhor os resultados e observar as influências para as três hipóteses consideradas, um resumo foi elaborado e pode ser encontrado na Tabela 18 .

De acordo com as tabelas apresentadas, na 1º hipótese, onde os materiais do Sistema 3 foram considerados reciclados, com exceção do poliuretano, e os materiais dos Sistemas 1 e 2 foram considerados aterrados, o Sistema 3 obteve o menor valor Eco-indicador (6.485,3), causando menor impacto ao meio ambiente enquanto o Sistema 2 causou o maior impacto com valor Eco-indicador (30.677,1) muito maior do que os outros sistemas.

Tabela 16 – Aplicação da metodologia Eco-indicador 99 para o Sistema 2: Aquecedor Solar Composto de Embalagens Descartáveis – Considerações 1 e 2.

Produto ou componente: Sistema 2 – Aquecedor Solar Composto de Embalagens Descartáveis		**Projeto:** Avaliação do Ciclo de Vida Sistemas Aquecimento Solar de Água	
Data: Agosto 2008		**Autor:** Larissa Oliveira Arantes	
Notas: Materiais: Inclui matéria-prima, processos de produção e transporte entre extração de matérias primas e processo de produção. Polietileno de Alta Densidade (PEAD): Referente ao reservatório térmico. Polietileno de Baixa Densidade (PEBD), Alumínio e Papel Cartão: Embalagens de cartão para alimentos líquidos. Policloreto de Vinila (PVC): Referente ao coletor e ao reservatório térmico. Poliestireno Expandido (EPS): Isolamento placas coletoras e reservatório térmico.			
Materiais – Consideração 1	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Polietileno Tereftalato (PET)	40,0	390,0	15.600,0
Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	11,0	330,0	3.630,0
Polietileno de Baixa Densidade (PEBD)	6,4	360,0	2.304,0
Policloreto de Vinila (PVC)	17,7	270,0	4.779,0
Poliestireno Expandido (EPS)	0,4	360,0	144,0
Alumínio	1,6	780,0	1.248,0
Papel Cartão	24,0	69,0	1.656,0
Total Materiais – Consideração 1			**29.361,0**
Materiais – Consideração 2	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Polietileno de Alta Densidade (PEAD)	11,0	330,0	3.630,0
Policloreto de Vinila (PVC)	17,7	270,0	4.779,0
Poliestireno Expandido (EPS)	0,4	360,0	144,0
Total Materiais – Consideração 2			**8.553,0**
Processos – Consideração 1	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Moldagem por sopro PEAD	11,0	2,1	23,1
Prensagem PEBD	6,4	6,4	40,9
Moldagem por injeção PVC	17,7	44,0	778,8
Moldagem por injeção EPS	0,4	21,0	8,4

Continuação da Tabela 16 – Aplicação da metodologia Eco-indicador 99 para o Sistema 2: Aquecedor Solar Composto de Embalagens Descartáveis.

Processos – Consideração 1	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Extrusão Alumínio	1,6	72,0	115,2
Total Processos – Consideração 1			**966,4**
Processos – Consideração 2	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Moldagem por sopro PEAD	11,0	2,1	23,1
Moldagem por injeção PVC	17,7	44,0	778,8
Moldagem por injeção EPS	0,4	21,0	8,4
Total Processos - Consideração 2			**810,3**
Disposições Finais 1º e 3º hipóteses Consideração 1	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Aterramento PET	40,0	3,1	124,0
Aterramento PEAD	11,0	3,9	42,9
Aterramento PEBD	6,4	3,9	25,0
Aterramento PVC	17,7	2,8	49,5
Aterramento espuma EPS	0,4	7,4	2,9
Aterramento Alumínio	1,6	1,4	2,2
Aterramento Papel Cartão	24,0	4,3	103,2
Total Disposições Finais – Consideração 1			**349,7**
Total Sistema 2 – 1º e 3º hipóteses – Consideração 1			**30.677,1**
Disposições Finais 1º e 3º hipóteses Consideração 2	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Aterramento PEAD	11,0	3,9	42,9
Aterramento PVC	17,7	2,8	49,5
Aterramento espuma EPS	0,4	7,4	2,9
Total Disposições Finais – Consideração 2			**95,3**
Total Sistema 2 – 1º e 3º hipóteses – Consideração 2			**9.458,6**

Continuação da Tabela 16 – Aplicação da metodologia Eco-indicador 99 para o Sistema 2: Aquecedor Solar Composto de Embalagens Descartáveis.

Disposições Finais 2º hipótese Consideração 1	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Reciclagem PET	40,0	-240,0	-9.600,0
Reciclagem PEAD	11,0	-240,0	-2.640,0
Aterramento PEBD	6,4	3,9	25,0
Aterramento PVC	17,7	2,8	49,5
Reciclagem espuma EPS	0,4	-240,0	-96,0
Reciclagem Alumínio	1,6	-720,0	-1.152,0
Reciclagem Papel Cartão	24,0	-8,3	-199,2
Total Disposições Finais – Consideração 1			**-13.612,7**
Total Sistema 2 – 2º hipótese – Consideração 1			**16.714,7**
Disposições Finais 2º hipótese Consideração 2	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Reciclagem PEAD	11,0	-240,0	-2.640,0
Aterramento PVC	17,7	2,8	49,5
Reciclagem espuma EPS	0,4	-240,0	-96,0
Total Disposições Finais – Consideração 2			**-2.686,5**
Total Sistema 2 – 2º hipótese – Consideração 2			**6.676,8**

Tabela 17 – Aplicação da metodologia Eco-indicador 99 para o Sistema 3: Aquecedor Solar Compacto Solarmax 200 L.

Produto ou componente: Sistema 3 – Aquecedor Solar Compacto Solarmax 200 L	**Projeto:** Avaliação do Ciclo de Vida Sistemas Aquecimento Solar de Água		
Data: Agosto 2008	**Autor:** Larissa Oliveira Arantes		
Notas: Materiais: Inclui matéria-prima, processos de produção e transporte entre extração de matérias primas e processo de produção.			
Materiais	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Cobre	3,0	1.400,0	4.200,0
Vidro	11,5	49,0	563,5
Alumínio	5,0	780,0	3.900,0

Continuação da Tabela 17 – Aplicação da metodologia Eco-indicador 99 para o Sistema 3: Aquecedor Solar Compacto Solarmax 200 L.

Materiais	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Polipropileno	11,0	330,0	3.630,0
Poliuretano	4,0	420,0	1.680,0
Total Materiais			**13.973,5**
Processos	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Prensagem cobre	3,0	23,0	69,0
Extrusão alumínio	5,0	72,0	360,0
Moldagem por injeção polipropileno	11,0	21,0	231,0
Moldagem por injeção PUR	4,0	12,0	48,0
Total Processos			**708,0**
Disposições Finais 1º e 2º hipóteses	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Reciclagem Alumínio (somado ao cobre)	3,0 + 5,0 = 8,0	-720,0	-5.760,0
Reciclagem Vidro	11,0	-15,0	-165,0
Reciclagem PP	11,0	-210,0	-2.310,0
Aterramento espuma PU 20kg/m³	4,0	9,7	38,8
Total Disposições Finais			**-8.196,2**
Total Sistema 3 – 1º e 2º hipóteses			**6.485,3**
Disposições Finais 3º hipótese	**Quantidade (Kg)**	**Indicador (mPt/Kg)**	**Resultado (mPt)**
Aterramento Alumínio (somado ao cobre)	3 + 5 = 8,0	1,4	11,2
Aterramento Vidro	11,0	1,4	15,4
Aterramento PP	11,0	3,5	38,5
Aterramento espuma PU 20kg/m³	4,0	9,7	38,8
Total Disposições Finais			**103,9**
Total Sistema 3 – 3º hipótese			**14.785,4**

Tabela 18 – Resumo dos resultados para os Sistemas 1, 2 e 3 para as três hipóteses e duas considerações em estudo.

	Sistema 1	**Sistema 2**		**Sistema 3**
		Consideração 1	**Consideração 2**	
Materiais	8.139,0	29.361,0	8.553,0	13.973,5
Processos	712,7	966,4	810,3	708,0
Disposição Final 1º Hipótese	94,1	349,7	95,3	-8.196,2
Disposição Final 2º Hipótese	-2885,7	-13.612,7	-2.686,5	-8.196,2
Disposição Final 3º Hipótese	94,1	349,7	95,3	103,9
Total 1º Hipótese	8.946,0	**30.677,0**	**9.458,6**	**6.485,3**
Total 2º Hipótese	**5.966,0**	**16.715,0**	**6.676,8**	6.485,3
Total 3º Hipótese	**8.946,0**	**30.677,0**	9.458,6	**14.785,4**

Como pode ser observado na Tabela 18 na 1º hipótese apesar de o Sistema 1 possuir maior valor Eco-indicador (8.946) do que o Sistema 3 (6.485,3), seu valor é muito mais próximo dele do que o do Sistema 2 (30.677).

Na 2º hipótese, onde alguns materiais dos Sistemas 1 e 2 também foram considerados reciclados, o Sistema 3 passa a não ser mais o sistema de menor impacto. Neste caso, o Sistema 1 passa a ter o menor valor Eco-indicador (5.966) seguido dos Sistemas 3 (6.485,3) e 2 (1.671,5). Porém os valores para os Sistemas 1 e 3 se aproximam indicando impacto semelhante ao meio ambiente.

Na 3º hipótese, onde os materiais dos três sistemas foram considerados todos aterrados, o Sistema 1 continua possuindo o menor valor Eco-indicador (8.946) seguido dos Sistemas 3 (14.785,4) e 2 (30.677), reiterando que são pequenas as chances de aterramento dos materiais do Sistema 3.

A Figura 49 apresenta um gráfico ilustrativo dos valores Eco-indicadores obtidos pelos Sistemas 1, 2 e 3 nas três hipóteses na consideração 1 para o Sistema 2. Pode-se observar

que a categoria que mais contribui para aumentar o valor Eco-indicador dos sistemas é a de materiais seguida da categoria de processos e disposição final. Lembrando que a categoria de materiais engloba a extração das matérias-primas, processamentos e transportes para a obtenção do produto bruto (necessitando outros processos) ou acabado. As Figuras 50, 51, 52 e 53 ilustram os materiais, processos e disposições finais que mais contribuem para o valor Eco-indicador dos sistemas em estudo na consideração 1 para o Sistema 2.

O Sistema 2 apresenta valor Eco-indicador para a etapa de materiais muito maior do que os outros sistemas devido às embalagens de cartão para alimentos líquidos e às garrafas PET, porém, deve-se levar em consideração que estes materiais foram fabricados com o propósito de embalar alimentos líquidos e estão sendo reutilizados como aquecedor solar de água gerando energia térmica para que ao final de suas vidas úteis sejam destinados à algum tipo de disposição final. Reiterando que, as condições que o material se encontrará ao final de seu uso como aquecedor interfere na sua reciclagem podendo passar a ter menor valor agregado.

Caso tais materiais não fossem considerados no estudo por se tratarem de materiais que estão sendo reaproveitados, os valores Eco- indicadores do Sistema 2 se aproximaria muito dos valores Eco-indicadores do Sistema 1, para todas as etapas nas três hipóteses em estudo, como pode-se observar na Tabela 18 e Figura 54. Nesta situação o Sistema 2 continua sendo o sistema de maior impacto nas 1º e 2º hipóteses, ficando em segundo lugar na 3º hipótese.

Uma vez que o Sistema 3 certamente é o mais eficiente em termos de ganho de energia devido aos materiais que o constituem e pelo fato de ser industrializado, na consideração 2, onde os valores Eco-indicadores dos Sistemas 1 e 2 se aproximam, a fim de compará-los melhor, torna-se necessário saber qual dos dois é o mais eficiente. Dentro deste contexto, SoSol (2006) realizou um teste comparativo da eficiência de tais sistemas. O teste foi apenas indicativo, pois, não contavam com dispositivos de medições adequados. O teste foi realizado com os dois tipos de coletores de mesmo tamanho, instalados sob a mesma configuração e sem nenhum tipo de isolamento térmico. De forma manual a água no reservatório foi misturada e sua temperatura medida em várias horas do dia. Os valores estão apresentados na Tabela 19.

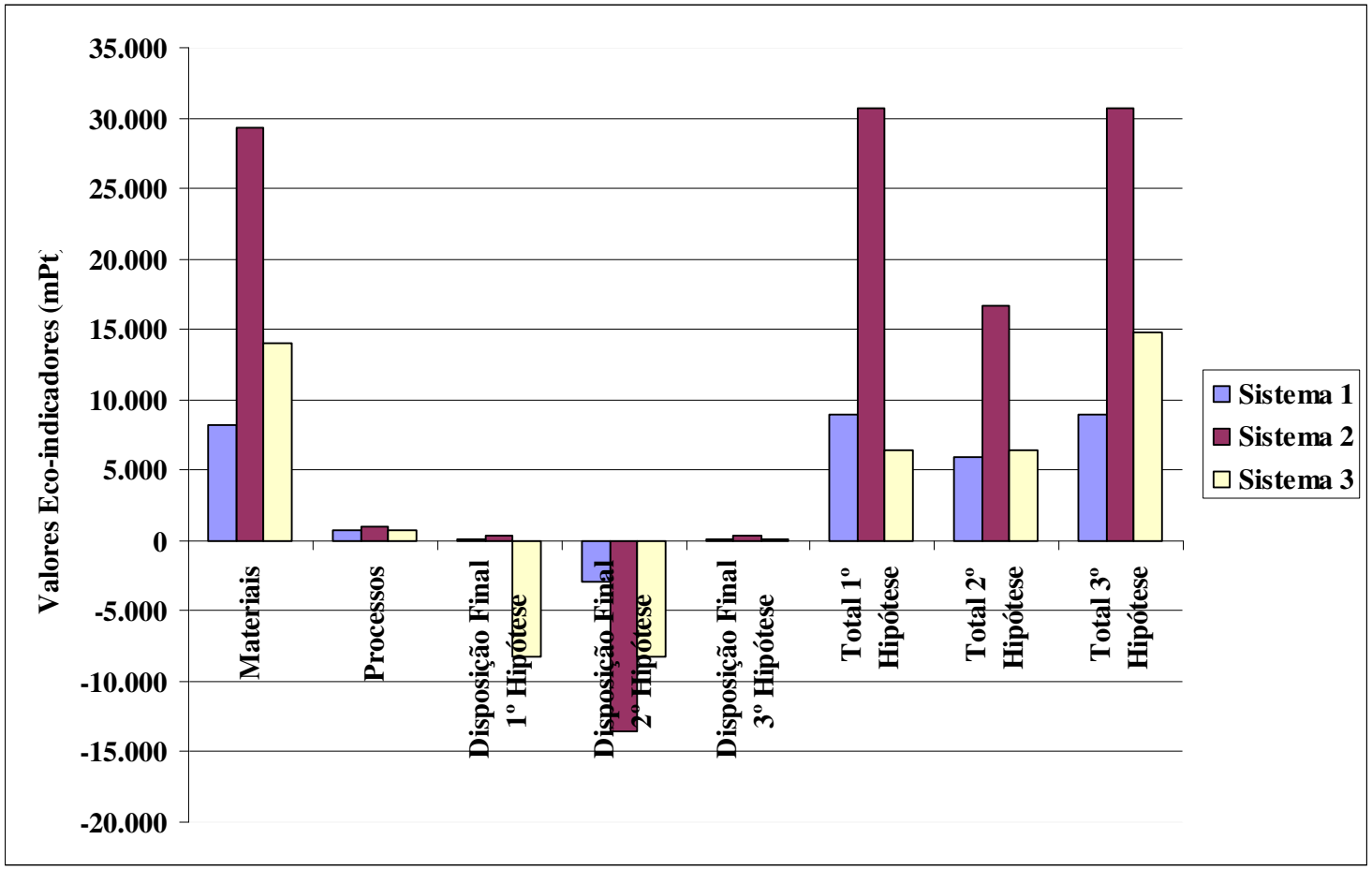


Figura 49 – Gráfico ilustrativo dos valores Eco-indicadores obtidos pelos sistemas 1, 2 e 3, **na consideração 1** para o Sistema 2, para as três hipóteses em estudo.

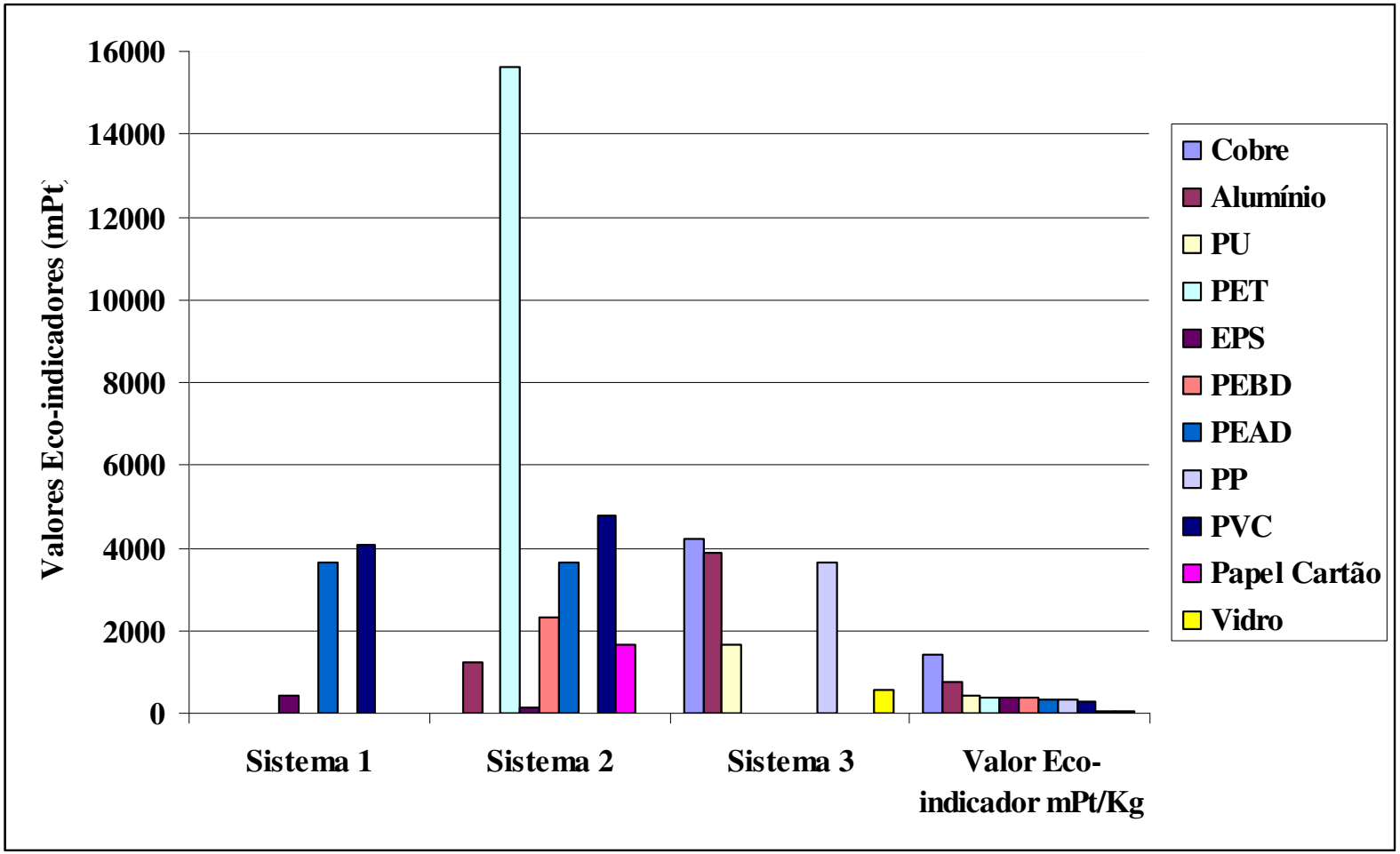


Figura 50 – Gráfico ilustrativo dos valores Eco-indicadores obtidos na **categoria de materiais** pelos Sistemas 1, 2 e 3, **na consideração 1** para o Sistema 2, e o valor Eco-indicador de cada material em mPt/kg.

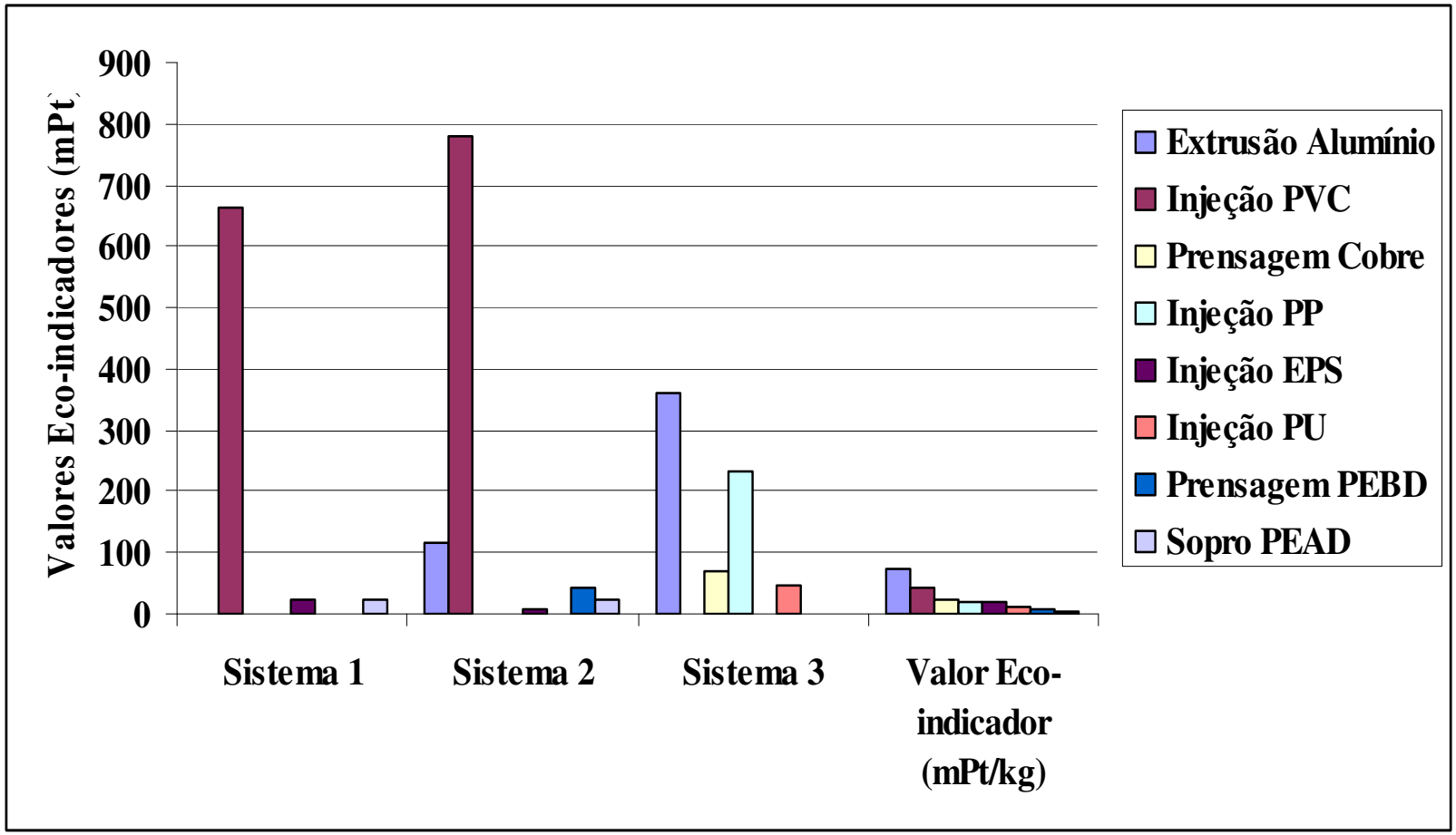


Figura 51 – Gráfico ilustrativo dos valores Eco-indicadores obtidos na **categoria de processos** pelos Sistemas 1, 2 e 3, **na consideração 1** para o Sistema 2, e o valor Eco-indicador de cada processo em mPt/kg.

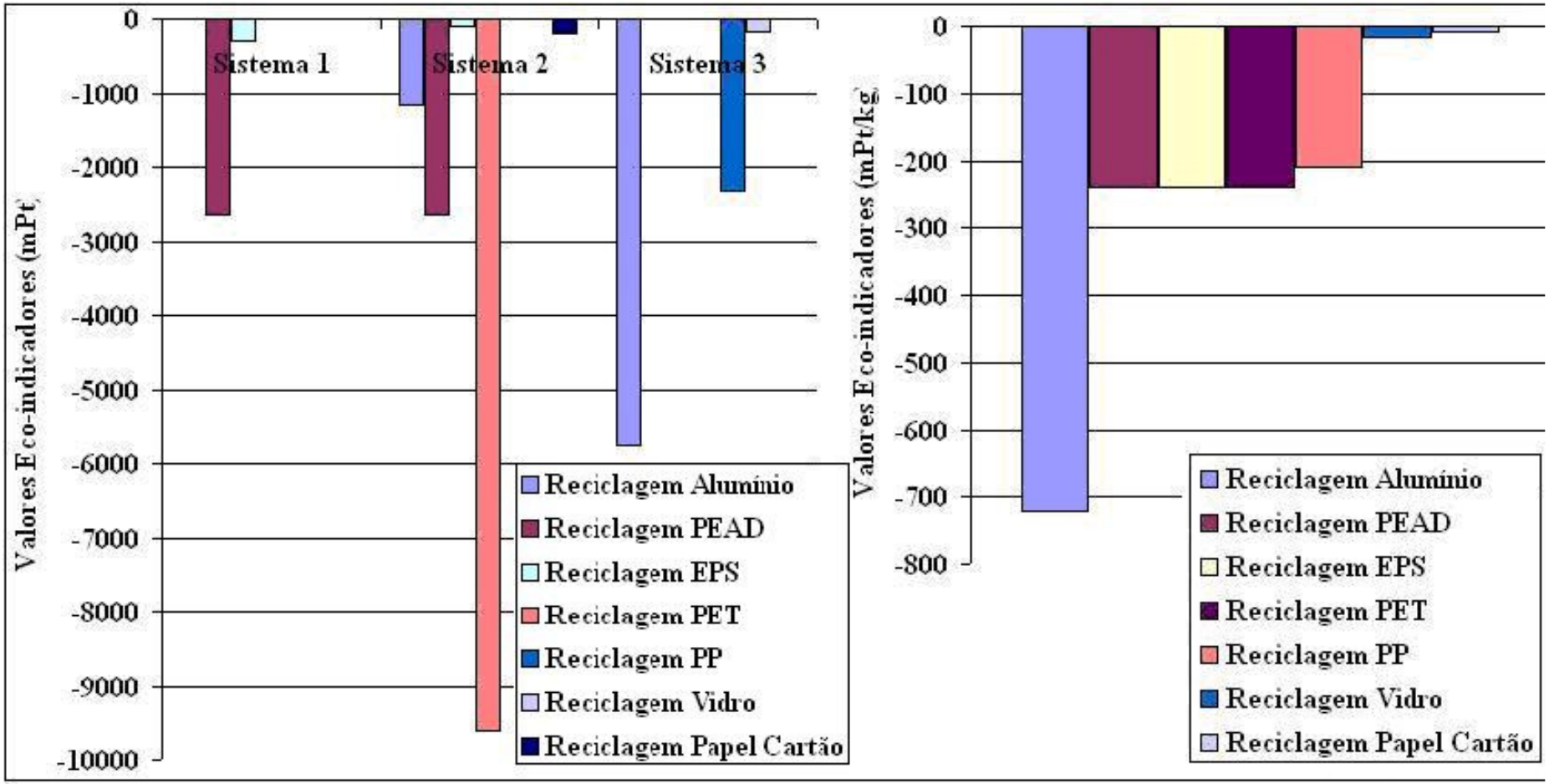


Figura 52 – Gráfico ilustrativo dos valores Eco-indicadores obtidos na **categoria de disposição final (reciclagem)** pelos Sistemas 1,2 e 3, **na consideração 1** para o Sistema 2, e o valor Eco-indicador de cada tipo de reciclagem em mPt/kg.

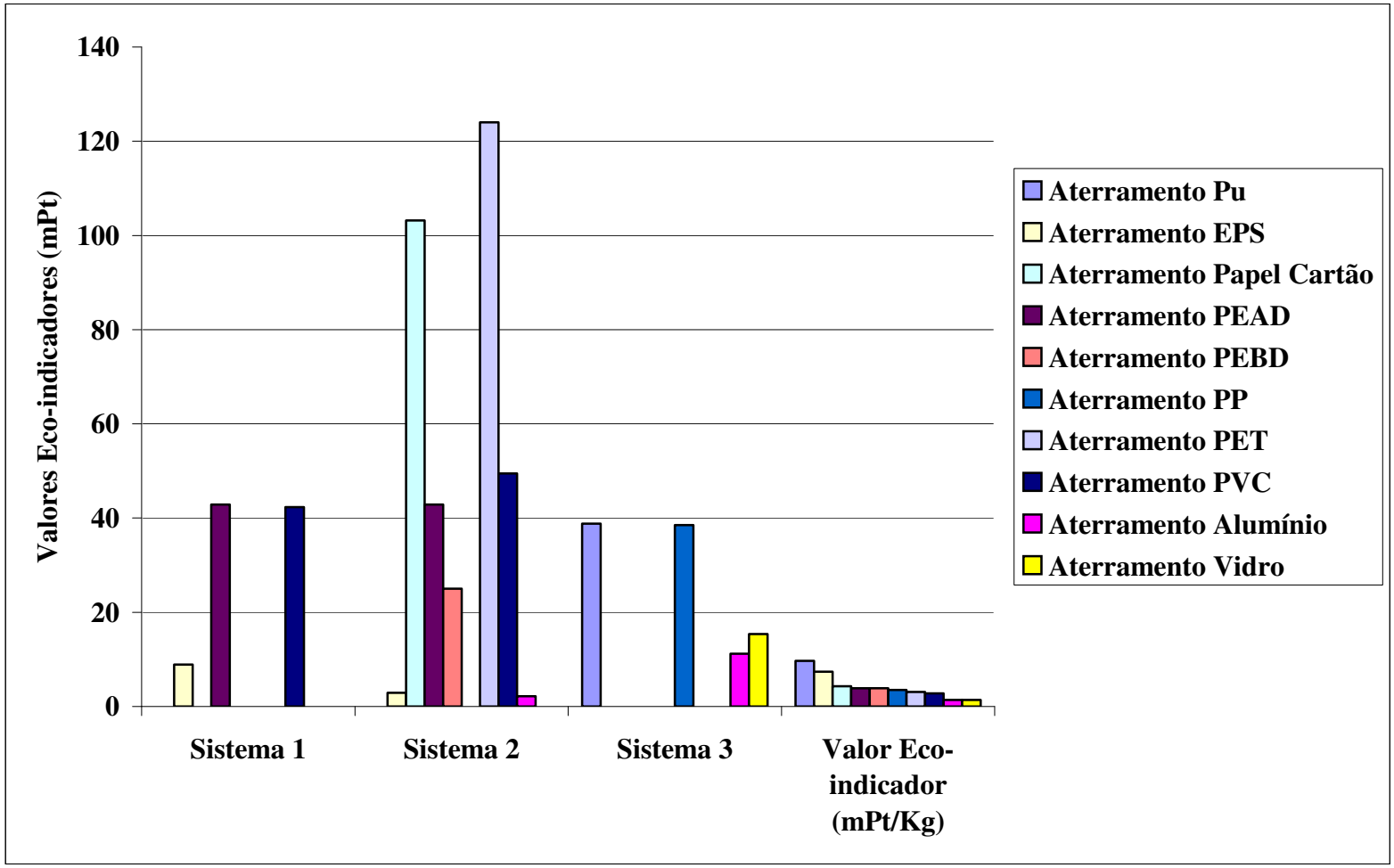


Figura 53 – Gráfico ilustrativo dos valores Eco-indicadores obtidos na **categoria de disposição final (aterramento)** pelos Sistemas 1, 2 e 3 **na consideração 1** para o Sistema 2, e o valor Eco-indicador de cada tipo de aterramento em mPt/kg.

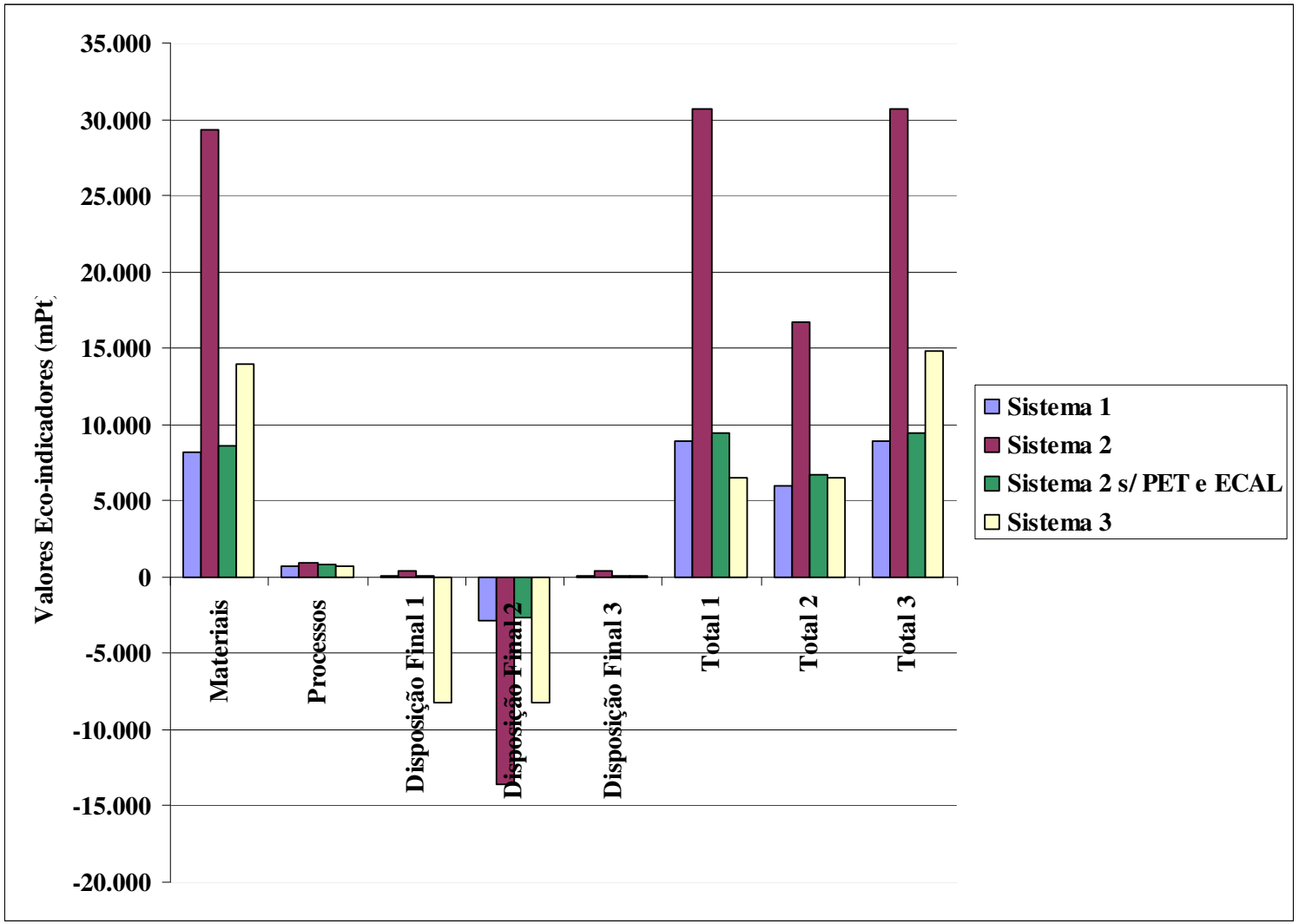


Figura 54 – Gráfico ilustrativo de valores Eco-indicadores obtidos pelos sistemas 1, 2 e 3, **na consideração 2** para o Sistema 2, para as três hipóteses.

Tabela 19 – Temperaturas em ºC obtidas ao longo do dia pelos coletores solares de água dos sistemas 1 e 2.

Horários	**Temperaturas em ºC**		
	Aquecedor solar de baixo custo (ASBC)	**Aquecedor solar composto de embalagens descartáveis**	**Ambiente**
10:30	23,0	23,0	26,0
11:00	25,0	23,5	26,5
11:30	29,0	26,5	28,0
12:00	31,5	28,0	29,0
12:30	33,0	30,0	29,0
13:00	35,5	32,0	30,0
13:30	37,0	33,0	30,0
14:00	38,0	34,0	31,0
14:30	39,5	35,5	31,0
15:00	40,5	37,5	31,0
15:30	40,0	37,0	31,0
16:00	40,0	37,5	30,0
16:30	40,0	37,5	30,0

Fonte: SoSol (2006).

Parafraseando SoSol, (2006):

> A tabela mostra um diferencial de temperatura crescente entre os sistemas chegando a 4ºC entre 13:30 e 14:30 horas. Porém, no final do dia útil, este diferencial se reduz a 2,5ºC, muito provavelmente devido ao efeito estufa oferecido pelas garrafas PET.Comparando o ganho térmico entre sistemas no final do dia, o do ASBC é 17,2% maior. É um valor considerável, mas, que não reflete a realidade diante da falta do obrigatório isolamento nos dutos de retorno e nas bombonas usadas como reservatório. Admitindo a existência do isolamento e a (muito provável) temperatura final de 50ºC, o ganho a favor do coletor ASBC cai para 10,2% permitindo afirmar que os dois sistemas são praticamente equivalentes.

CAPÍTULO 5 – CONCLUSÕES

Os valores Eco-indicadores obtidos através da Avaliação do Ciclo de Vida dos sistemas de aquecimento solar de água estudados revelam que, para as categorias de impacto adotadas pela metodologia Eco-indicador 99, o Sistema 2 é o sistema que mais afeta negativamente o meio ambiente em todas as três hipóteses quando são contabilizados os seus materiais reaproveitados. Porém, quando não são considerados os materiais reaproveitados PET e ECAL, fica em segundo lugar apenas quando os materiais do Sistema 3 são considerados aterrados (3º hipótese da Tabela 18), o que é muito difícil de ocorrer devido ao valor agregado à reciclagem de seus produtos.

Na 1º hipótese onde os materiais dos Sistemas 1 e 2 foram aterrados e os materiais do Sistema 3 foram reciclados, o Sistema 3 é o que menos afeta negativamente o meio ambiente e nas 2º e 3º hipóteses onde os sistemas foram considerados todos reciclados e aterrados respectivamente, o que menos afeta é o Sistema 1, nas duas considerações, isto é, contabilizando ou não os materiais reaproveitados do Sistema 2.

Os resultados obtidos para a categoria de materiais informam que o material que possui maior valor Eco-indicador é o cobre (1400mPt/kg), porém, dentre os sistemas estudados o PET foi o material que mais contribuiu para o valor Eco-indicador total seguido do PVC.

Com relação à categoria de processos, dentre os processos selecionados na lista de valores Eco-indicadores padrão da metodologia Eco-indicador 99, a extrusão do alumínio (72 mPt/kg) é o processo de maior impacto ambiental seguido da injeção do PVC (44 mPt/kg), porém , dentre os sistemas estudados a injeção do PVC (Sistemas 1 e 2) foi quem mais contribuiu para o valor Eco-indicador seguido da extrusão do alumínio.

Verifica-se que ao serem considerados aterrados os materiais do Sistema 3, seu valor Eco-indicador sobe de 6.485,3 para 14.785,4 passando de menos impactante na 1º hipótese na consideração 1 para mais impactante na 3º hipótese da consideração 2 quando não são contabilizados os materiais reaproveitados do Sistema 2. Entretanto, na 2º hipótese ao serem considerados reciclados os materiais passíveis de reciclagem dos Sistemas 1 e 2 seus valores caem de 8.946 para 5.966 para o Sistema 1 passando a ser o sistema de menor

contribuição negativa ao meio ambiente e de 30.677 para 16.715 para o Sistema 2 que continua a ser o sistema de maior impacto ambiental e de 9.458,6 para 6.676,8 para o Sistema 2 na consideração 2.

O Sistema 2 se aproxima muito do Sistema 1 quando não são consideradas as embalagens que estão sendo reaproveitadas (PET e ECAL), pois, ambos possuem o mesmo reservatório térmico e placas coletoras formadas por materiais semelhantes.

Na consideração 1, a reciclagem reduz os valores Eco-indicadores em 2.980 mPt para o Sistema 1, em 13.962 mPt para o Sistema 2 e em 8.300 mPt para o Sistema 3. Na consideração 2, a reciclagem reduz em 2.781,8 mPt para o Sistema 2. Desta forma, a avaliação do efeito da reciclagem na metodologia adotada para o estudo permite concluir que a reciclagem traz vários benefícios ao meio ambiente, reduzindo o consumo de recursos naturais e a emissão de resíduos.

Cabe ressaltar que em relação ao consumo de recursos naturais o PET e o PVC apresentam o pior cenário entre os materiais estudados, pois, ao comparar o PVC com o cobre, que executam a mesma função nos sistemas, o PVC obtém valor Eco-indicador igual a 4.783,7 mPt para o Sistema 1 considerando todas categorias (materiais, processo e disposição final e igual a 5.607,3 mPt para o Sistema 2 enquanto que o cobre obtém valor Eco-indicador igual a 2.109 mPt ao ser considerado reciclado e 4.273,2 mPt caso fosse aterrado, situação muito difícil de ocorrer, reiterando que, no caso do PVC contaminado pelo esmalte sintético preto fosco seu destino será o aterramento.

Ao serem considerados reciclados os materiais dos Sistemas 1 e 2, seus valores Eco-indicadores caem mas não se destacam em relação ao valor Eco-indicador do Sistema 3. Desta forma, por ser o Sistema 3 um sistema constituído por materiais de melhor qualidade, durabilidade, eficiência e com maiores probabilidades de ter seus materiais reciclados ao final de sua vida útil deve se dar preferência ao mesmo, pois, além do que foi dito acima o mesmo foi produzido com esta finalidade.

Os sistemas de baixo custo necessitam ter seus materiais renovados após determinado período de tempo, por possuírem baixa durabilidade e, além disso, possuem eficiência

menor e grande possibilidade de aterramento.

Portanto, uma vez que, a única vantagem dos sistemas alternativos é o seu baixo custo inicial, o que deveria ocorrer no Brasil é um incentivo por parte do governo para que fossem instalados sistemas industrializados compactos em habitações de baixa renda, pois, apesar das iniciativas dos aquecedores solares de baixo custo serem boas e muitas vezes atenderem as necessidades, não ocorre um uso e uma destinação adequada dos materiais que os constituem.

No que se refere à metodologia de Avaliação do Ciclo de Vida, verificou-se que a coleta de dados para a realização do inventário é dificultada pelas empresas, sendo imprescindível a elaboração de um banco de dados brasileiro para contribuir para o desenvolvimento de novos estudos de ACV de produtos.

Em relação à metodologia Eco-indicador 99 e sua lista de valores padrão cabe salientar que se trata de uma fonte de dados européia que reflete a realidade local onde os dados foram coletados, porém, contribuiu enormemente para que fosse possível obter uma visão geral dos sistemas em estudo.

Por fim, conclui-se que a Avaliação do Ciclo de Vida é um assunto que deve ser cada vez mais estudado e discutido por desempenhar papel fundamental no conhecimento dos materiais e processos a fim de reduzir os seus impactos ambientais melhorando os processos industriais, visando proteger o meio ambiente e melhorar a qualidade de vida da população. Além disso, avaliza a questão da sustentabilidade de uma forma mais ampla e não apenas imediatista como crer que qualquer que seja a forma de aproveitamento da energia solar é ecologicamente viável.

Como sugestão de continuidade deste estudo pode-se citar a avaliação do ciclo de vida dos sistemas levando-se em conta a eficiência energética de cada um ao longo do tempo em estudo (vinte anos). Desta forma, seria contabilizada a quantidade de energia que cada sistema gera e a necessidade de acionamento da fonte auxiliar de energia durante este período de tempo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Ação Moradia. Projetos. Disponível em: http://www.acaomoradia.org.br/. Acesso em: Maio 2007.

Agência Nacional de Energia Elétrica – ANEEL. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil.** 2º ed. Brasília, 2005. Disponível em: http://www3.aneel.gov.br/atlas/atlas_2edicao/download.htm. Acesso em: Abril de 2007.

_____ (2007). *Informações Técnicas. Banco de informações de geração.* Disponível em: http://aneel.gov.br. Acesso em: Abril 2007.

ALANO, J. A. e Família. **Manual Sobre a Construção e Instalação do Aquecedor Solar Composto de Embalagens Descartáveis.** Disponível em: http://josealcinoalano.vilabol.uol.com.br/manual.htm. Acesso em: Maio 2007.

Ambiente Brasil. Resíduos. **Análise do Ciclo de Vida (ACV) e a Reciclagem.** Disponível em: http://www.ambientebrasil.com.br/composer.php3?base=residuos/index.php3&conteudo=./residuos/acv.html. Acesso em: Fevereiro 2008.

ARRUDA, L. B. **Operação de sistemas de aquecimento solar de água com controle de vazões em coletores planos.** São Paulo, 2004. 230p. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, EPUSP.

Associação Brasileira do Alumínio – ABAL. **O Alumínio.** Disponível em: http://www.abal.org.br/aluminio/introducao.asp. Acesso em: Setembro de 2007.

Associação Brasileira da Indústria do PET – ABIPET. **O que é PET.** Disponível em: http://www.abipet.org.br/oqepet.php. Acesso em: Dezembro 2007.

Associação Brasileira da Indústria Química – ABIQUIM. **Resinas Termoplásticas.** Disponível em: http://www.abiquim.org.br/resinastermoplasticas/default.asp. Acesso em: Setembro 2007.

_____ (2007a). **Produtos Químicos Brasileiros.** Disponível em: http://www.brazilianchemicals.com.br/produtosquimicos/. Acesso em Junho 2008.

Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT**. Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Princípios e Estrutura.** NBR ISO 14040. Rio de Janeiro: ABNT, 2001.

_____ (2004). **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Definição do Objetivo e Escopo e Análise do Inventário.** NBR ISO 14041. Rio de janeiro: ABNT, 2004.

_____ (2004a). **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Avaliação do Impacto do ciclo de Vida.** NBR ISO 14042. Rio de janeiro: ABNT, 2004.

_____ (2004c). **Sistemas da gestão ambiental – Requisitos com Orientações para uso:** NBR ISO 14001. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

_____ (2005). **Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Interpretação do ciclo de Vida.** NBR ISO 14043. Rio de Janeiro: ABNT 2005.

Associação Brasileira do Poliestireno Expandido – ABRAPEX. **O que é EPS.** Disponível em: http://www.abrapex.com.br/. Acesso em: Dezembro 2007.

Associação Industrial do Poliestireno Expansível – ACEPE. **Fabrico do EPS.** Disponível em: http://www.acepe.pt/eps/eps_fab.asp. Acesso em: Fevereiro 2008.

Atmosphere, Climate e Environment (ACE). Encyclopedia of the Atmospheric Environment (EAE). Sustainability. Brundtland Report. Disponível em: http://www.ace.mmu.ac.uk/eae/Sustainability/Older/Brundtland_Report.html. Acesso em: Julho 2007.

Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico – BNDES (1997). **Polietileno de Alta Densidade (PEAD).** Disponível em: http://www.bndes.gov.br/conhecimento/relato/peadx.pdf. Acesso em: Maio 2008.

_____ (1997a). **Poliestireno.** Disponível em: http://www.bndes.gov.br/conhecimento/relato/poliesti.pdf. Acesso em: Abril 2008.

_____ (1997b). Gerência Setorial de Mineração e Metalúrgica. **Indústria do Cobre.** Disponível em: http://www.bndes.gov.br/conhecimento/relato/cobre.pdf. Acesso em: Setembro 2007.

BORGES, F. J. **Inventário do Ciclo de Vida do PVC Produzido no Brasil.** 174 p. (Dissertação) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

BOYLE, G. (ed.) **Renewable Energy: Power a Sustainable Future.** Open University, Oxford, 1996.

BRAGA, B.; et al. **Introdução à engenharia ambiental – o desafio do desenvolvimento sustentável.** 2º ed. 316 p. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2005.

BRANCO, S. M. & ROCHA, A. A. **Ecologia: Educação Ambiental - Ciências do Ambiente para Universitários.** São Paulo, CETESB, 1980.

BRASKEM Petroquímica Brasileira. **Conheça a Braskem**. Disponível em: http://www.braskem.com.br/site/portal_braskem/pt/conheca_braskem/a_empresa/conheca.aspx. Acesso em: Setembro 2007.

BRENTRUP,F; KUSTEUS,J; KUHLMANN,H; LAMMIL,J; **Aplication of the life cycle assessment methodology to agricultural production:an example of sugar beet production with different forms of nitrogen fertilizer.** European Journal of Agronomy, Duelmen, v. 14, p. 221-233, 2001.

CAPRA, F. **Palestra: Humanização, Desenvolvimento e o Modelo Econômico Mundial e a Energia e a Transgenia como Elementos para a Humanização do Desenvolvimento.** Seminário Humanização do Desenvolvimento Mundial. Curitiba - 21 de outubro de 2004.

CEBRACE. **Produtos. Float. Folheto.** Disponível em: http://www.cebrace.com.br/UpLoad/Conteudo/Float.pdf. Acesso em: Setembro 2007.

CENTRE SCIENTIFIQUE ET TECHNIQUE DE LA CONSTRUCTION (CSTC). **Code de bonne pratique pour l'installation des chauffe-eau solaires**. Bruxelas, 1999.

Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito – CRESESB. Centro de Pesquisas de Energia Elétrica – CEPEL. ELETROBRÁS. **Tutorial. Energia Solar: Princípios e Aplicações.** Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/tutorial/tutorial_solar.htm. Acesso em: Maio 2007.

Centro Nacional de Referência em Pequenas Centrais Hidrelétricas – CERPCH. **Fontes Renováveis. Hidráulica.** Disponível em: http://www.cerpch.unifei.edu.br/fontes_renovaveis/hidraulica.htm. Acesso em: Fevereiro 2008.

CHEHEBE, J. R. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos:** Ferramenta Gerencial da ISO 14000. 1º Reimpressão. Ed. Qualitymark. 120 pg. CNI, Rio de Janeiro, 1997.

COLTRO, L. **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão.** Centro de Tecnologia de Embalagens. Instituto Técnico de Alimentação. CETEA/ITAL. 75 p. Campinas, 2007. Disponível em: http://www.cetea.ital.org.br/figs/ACV_como_Instrumento_de_Gestao-CETEA.pdf. Acesso em: Setembro, 2007.

Companhia Petroquímica do Sul – COPESUL. **Cadeia Produtiva.** Disponível em: http://www.copesul.com.br/site/petroquimica/cadeia/index.htm. Acesso em: Setembro 2007.

Compromisso Empresarial para Reciclagem – CEMPRE. Fichas Técnicas. Embalagem Cartonada Longa Vida. Disponível em: http://www.cempre.org.br/fichas_tecnicas.php?lnk=ft_emp_longa_vida.php. Acesso em: Fevereiro 2008.

Departamento Nacional de Produção Mineral – DNPM (2003). **Cobre.** Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriadocumento/sumariomineral2004/COBRE%202004.pdf. Acesso em: Setembro 2007.

_____ (2006). **Anuário Mineral Brasileiro 2006. Ano-base 2005.** Disponível em: http://www.dnpm.gov.br/conteudo.asp?IDSecao=68&IDPagina=66. Acesso em: Setembro 2007.

DIAS, L. S. **Estudo prospectivo e econômico da substituição do chuveiro elétrico pelo aquecedor solar na cidade de Uberlândia – MG.** 110 p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Elétrica, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

DUFFIE, J. A.; BECKMAN, J. **Solar Engineering of Thermal Processes.** 2º ed. John Wiley & Sons, 1991.

FERREIRA, J. V. R. **Análise de ciclo de vida de produtos**. Instituto Politécnico de Viseu, 2004. Disponível em: http://www.estv.ipv.pt/PaginasPessoais/jvf/Gest%C3%A3o%20Ambiental%20-%20An%C3%A1lise%20de%20Ciclo%20de%20Vida.pdf . Acesso em: 23 Abril 2007.

Goedkoop, M.; Demmers, M.; Collignon, M. **The Eco-indicator 95: weightimg method for environmental effects that damage ecosystems or human health on a European scale - Manual for Designers.** Netherlands: Pré Consultants, Novembro, 1996. 36 p. Disponível em: http://www.pre.nl/download/EI95ManualForDesigners.pdf. Acesso em: Dezembro 2007.

Goedkoop, M.; Spriensma, R. **The Eco-indicator 99: a damage oriented method for life cycle impact assessment – Methodology Report.** Netherlands: Pré Consultants, Junho, 2000. 3º edição. 132 p. Disponível em: http://www.pre.nl/download/EI99_methodology_v3.pdf. Acesso em: Janeiro 2008.

_____ (2000a). **The Eco-indicator 99: a damage oriented method for life cycle impact assessment – Manual for Designers.** Netherlands: Pré Consultants, Outubro, 2000. 49 p. Disponível em: http://www.pre.nl/download/EI99_Manual.pdf. Acesso em: Fevereiro 2008.

Gorni, A. A. **Introdução aos Plásticos.** Disponível em: http://www.gorni.eng.br/intropol.html. Acesso em: Maio 2007.

HINRICHS, R.A.; KLEINBACH, M. **Energia e Meio Ambiente.** Tradução da 3º edição norte-americana. Ed. Thomson, São Paulo, 2003.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. **Banco de Dados Agregados. Pesquisa de orçamentos familiares.** 1996. Disponível em: http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo1.asp?ti=1&tf=99999&e=c&t=8&p=OF&v=162&z=t&o=3. Acesso em: Maio 2007.

Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia - IBICT. **Avaliação do ciclo de vida de produtos.** Disponível em: www.acv.ibict.br. Acesso em: Maio 2007.

_____ (2007a). Serviço Brasileiro de Respostas Técnicas – SBRT. **Ecoindicadores.** Disponível em: www.sbrt.ibict.br/upload/sbrt3574.pdf. Acesso em: Novembro de 2007.

LIMA, J. B. A. **Otimização de sistemas solares de água em edificações residenciais unifamiliares utilizando o programa TRNSYS.** 123 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

MOURA, V.; SCHMID, L. **A Integração de Sistemas Fotovoltaicos na Arquitetura Brasileira Contemporânea: Potencial Enquanto Conceito Arquitetônico em Shopping Centers.** In: VIII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC), IV Encontro Latino-Americano sobre Conforto no Ambiente Construído (ELACAC). Maceió, 2005.

MSPC - Artigos e Informações Técnicas. **Ciência dos Materiais. Propriedades de Materiais: Alguns Plásticos.** Disponível em: http://www.mspc.eng.br/ciemat/cmat310.shtml. Acesso em: Dezembro 2007.

MUCARZEL, M.; FONTE, C.; EMBIRUÇU M. **Análise e controle Fuzzy de um reator autoclave para a produção de PEBD.** In: XVI Congresso Brasileiro de Engenharia Química (COBEC), III Congresso Brasileiro de Termodinâmica Aplicada (CBTERMO). Salvador, 2006.

PIVA, A. M.; NETO, M. B.; WIEBECK, H. **A Reciclagem de PVC no Brasil.** In: Polímero: Ciência e Tecnologia, p. 195-200 – Out/Dez 99. Disponível em: www.scielo.br/pdf/polv9n4/6204.pdf. Acesso em: Abril 2008.

Plastivida. Instituto Sócio-Ambiental dos Plásticos. **Reciclagem. Reciclagem Mecânica.** Disponível em: http://www.plastivida.org.br/reciclagem/rec_mecanica.htm. Acesso em: Fevereiro 2008.

PRADO, M. R. **Análise do inventário do ciclo de vida de embalagens de vidro, alumínio e PET utilizadas em uma indústria de refrigerantes no Brasil.** Curitiba, 2007. 161 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Alimentos) - Universidade Federal do Paraná.

PRADO, R. T. A.; GONÇALVES, O. M. **Gerenciamento de demanda e consumo de energia para aquecimento de água em habitações de interesse social:** resumo. São Paulo, PCC/EPUSP, 1992. (Boletim Técnico da Escola Politécnica da USP, BT/PCC/59).

PRADO, R. T. A.; ARRUDA, L. B.; de BARROS FILHO, A. M.; TABORIANSKI, V. M.; KAWAKITA, C. Y.; ARANTES, L. O. **PCC 2540 – O Edifício e o Ambiente.**

Material. Energia Solar. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP. Departamento de Engenharia de Construção Civil – PCC. Disponível em: http://pcc2540.pcc.usp.br/material.htm. Acesso em: Dezembro 2007.

PROCOBRE. **Sobre o cobre. Principais usos. Meio Ambiente.** Disponível em: http://www.procobre.org/pr/sobre_o_cobre/pu_meio_detalle.html. Acesso em Fevereiro 2008.

Recicloteca – Centro de Informações sobre Reciclagem e Meio Ambiente. **Reciclagem de Vidro.** Disponível em: http://www.recicloteca.org.br/Default.asp?ID=54&Editoria=5&SubEditoria=18&Ver=1. Acesso em: Fevereiro 2008.

RÍSPOLI, Í. A. G. **Estudo do aproveitamento da energia solar para aquecimento de água em edificações unifamiliares de baixa renda.** Campinas, 2001. 234p. Dissertação (Mestrado) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas.

SALAMONI, I.; RUTHER, R. **Sistema Fotovoltaico Integrado à Edificação e Interligado à Rede Elétrica: eficiência energética e sustentabilidade.** In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). Curitiba, 2003.

SALAMONI, I.; KNOB, P.; RUTHER, R. **Metodologia para Cálculo do Potencial de Geração de Energia Fotovoltaica em Áreas Urbanas.** In: VII Encontro Nacional sobre Conforto no Ambiente Construído (ENCAC). Curitiba, 2003.

SALAMONI, I.; MARINOSKI, D.; RUTHER, R. **Pré-dimensionamento de Sistema Solar Fotovoltaico: Estudo de Caso do Edifício Sede do CREA-SC.** In: 10º Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC). São Paulo, 2004.

SALAMONI, I.; RUTHER, R.; KNOB, P.; ZOMER, C.; DINIZ, C. S. A. **O Potencial dos Sistemas Fotovoltaicos Integrados à Edificação e Interligados à Rede Elétrica:** Dois estudos de caso. In: 10º Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído (ENTAC). São Paulo, 2004.

Secretária do Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Paraná – SEMA. **Aquecedor Solar Produzido com Materiais Recicláveis.** Manual José Alcino Alano e Família. 41 p. Paraná, 2006. Disponível em: http://www.pr.gov.br/meioambiente/pdf/solar.pdf. Acesso em: Agosto 2007.

Silaex. **Conteúdo Técnico. Resinas de Poliuretano.** Disponível em: http://www.silaex.com.br/conteúdo.htm. Acesso em: Fevereiro 2008.

Sociedade do Sol - SoSol. Disponível em: http://www.sociedadedosol.org.br/home.htm. Acesso em: Maio 2007.

_____ (2007a). **Manual de Instrução de Manufatura e Instalação Experimental do Aquecedor Solar de Baixo Custo – ASBC.** Manual do Usuário. Versão 2.8, Abril 2007. Disponível em: http://www.sociedadedosol.org.br/arquivos/asbc-br-abr07v2-8.pdf. Acesso em: Maio 2007.

_____ (2006). **Comparação de eficiência entre modelos diferentes de Coletores Solares de Baixo Custo. Disponível em:** http://www.sociedadedosol.org.br/novidades/novidades_2006_05.htm. Acesso em: Maio 2007.

Soletrol Aquecedores Solares de Água. **Aquecedor Solar Compacto Solarmax Ecológico 200 L.** Disponível em: http://www.soletrol.com.br/produtos/compactos/solarmax_ecologico.php. Acesso em Agosto 2007.

Solvay Indupa. **Processos de transformação.** Disponível em: http://www.solvayindupa.com/processosdetransformacao/processingmethod/0,,12555-5-0,00.htm. Acesso em: Junho 2008.

SUZANO Petroquímica. **O Setor Petroquímico.** Disponível em: http://www.suzanopetroquimica.com.br/website/home/SobreaEmpresa/osetorpetroquimico.cfm. Acesso em: Setembro 2007.

Tabela Periódica OnLine. **Cobre.** Disponível em: http://www.tabela.oxigenio.com/index.htm. Acesso em: Janeiro 2008.

TABORIANSKI, V. M. **Avaliação da contribuição das tipologias de aquecimento de água residencial para a variação do estoque de gases de efeito estufa na atmosfera**. 2002. 117 p. (Mestrado) - ESCOLA POLITÉCNICA, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

TONICELO, R. H. S. **Estudo dos materiais apartir de seus ciclos de vida: um olhar sobre as conseqüências ambientais de seus empregos no design.** Florianópolis: UDESC, 2005.

United Nations Development Programme – UNDP. **World Energy Assessment: Overview 2004 Update.** Disponível em: http://www.undp.org/energy/weaover2004.htm. Acesso em: Abril 2007.

VALE, A. R.; PAIVA, V. M. **Avaliação do Ciclo de Vida de Embalagens de 33 cl para Néctares.** 2003. 51 p. Projeto de Investigação. Departamento de Engenharia Química. Faculdade de Engenharia – FEUP. Universidade do Porto. Porto. Portugal, 2003.

VALT, R. B. G. **Análise do Ciclo de Vida de Embalagens de PET, de Alumínio e de Vidro para Refrigerantes no Brasil Variando a Taxa de Reciclagem dos Materiais.** 2004. 193 p. (Mestrado) – Setor de Tecnologia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

VIDEOLAR. **Resinas Plásticas. Poliestireno.** Disponível em: http://www.videolar.com.br/paginas/resinas.asp. Acesso em Abril 2008.

VILAR, W. **Química e Tecnologia de Poliuretanos**. 3ª Ed., Vilar Consultoria, Rio de Janeiro, Dez/2004. Disponível em: http://www.poliuretanos.com.br/. Acesso em: Março 2008.

XAVIER, J. H. V. **Análise do Ciclo de Vida (ACV) da Produção Agrícola Familiar em Unaí – MG: Resultados Econômicos e Impactos Ambientais.** 2003. 149 p. (Mestrado) – Centro de Desenvolvimentos Sustentável. Universidade de Brasília. Brasília, 2003.

ANEXO 1

LISTA DE ECO-INDICADORES PADRÃO DA METODOLOGIA ECO-INDICADOR 99

Fonte: Goedkoop; Spriensma (2000a)

Tabela 1 - Lista de Eco-indicadores padrão da metodologia Eco-indicador 99.

Productin of ferro metals (in millipoints per kg)		
	Indicator	**Description**
Cast iron	240	Casting iron with > 2% carbon compound
Converter steel	94	Block material containing only primary steel
Electro steel	24	Block material containing only secondary scrap
Steel	86	Block material containing 80% primary iron, 20% scrap
Steel high alloy	910	Block material containing 71% primary iron, 16% Cr, 13% Ni
Steel low alloy	110	Block material containing 93% primary iron, 5% scrap, 1% alloy metals
Production of non ferro metals (in millipoints per kg)		
	Indicator	Description
Aluminium 100% Rec.	60	Block containing only secondary material
Aluminium 0% Rec.	780	Block containing only primary material
Chromium	970	Block containing only primary material
Copper	1400	Block containing only primary material
Lead	640	Block containing 50% secondary lead
Nickel enriched	5200	Block containing only primary material
Palladium enriched	4600000	Block containing only primary material
Platinum	7000000	Block containing only primary material
Rhodium enriched	12000000	Block containing only primary material
Zinc	3200	Block containing only primary material
Processing of metals (in millipoints)		
	Indicator	**Description**
Bending – aluminium	0.000047	One sheet of 1 mm over width of 1 metre; bending 900
Bending – steel	0.00008	One sheet of 1 mm over width of 1 metre; bending 900
Bending – RVS	0.00011	One sheet of 1 mm over width of 1 metre; bending 900
Brazing	4000	Per kg brazing, including brazing material (45% silver, 27% copper, 25% tin)
Cold roll into sheet	18	Per thickness reduction of 1 mm of 1 m² plate
Eletrolytic Chromium plating	1100	Per m², 1 _m thick, double sided; data fairly unreliable
Eletrolytic galvanising	130	Per m², 2.5 _m thick, double sided; data fairly unreliable
Extrusion aluminium	72	Per kg
Milling, turning, drilling	800	Per dm³ removed material, without production of lost material
Pressing	23	Per kg deformed metal
Spot welding - aluminium	2.7	Per weld of 7 mm diameter

Continuação Tabela 1 - Lista de Eco-indicadores padrão da metodologia Eco-indicador 99.

Processing of metals (in millipoints)		
	Indicator	**Description**
Shearing/stamping - aluminium	0.000036	Per mm² cutting surface
Shearing/stamping – steel	0.00006	Per mm² cutting surface
Shearing/stamping - RVS	0.000086	Per mm² cutting surface
Sheet production	30	Per kg production of sheet out of block material
Band zinc coating	4300	Per m², 20-45 _m thick, including zinc
Hot galvanising	3300	Per m², 100 _m thick, including zinc
Zinc cozting	49	Per m², 1 extra _m thickness, including zinc
Production of plastic granulate (in millipoints per kg)		
	Indicator	**Description**
ABS	400	
HDPE	330	
LDPE	360	
PA 6.6	630	
PC	510	
PET	380	
PET bottle grade	390	Used for bottles
PP	330	
PS (GPPS)	370	General purposes
PS (HIPS)	360	High impact
PS (EPS)	360	Expandable
PUR energy absorbing	490	
PUR flexible block foam	480	For furniture, bedding, clothing
PUR hardfoam	420	Used in white goods, insulation, construction material
PUR semi rigid foam	480	
PVC high impact	280	Without metal stabilizer (Pb or Ba) and without plasticizer
PVC (rigid)	270	Rigid PVC with 10% plasticizers
PVC (flexible)	240	Flexible PVC with 50% plasticizers
PVDC	440	For thin coatings
Processing of plastics (in millipoints)		
	Indicator	**Description**
Blow foil extrusion PE	2.1	Per kg PE granulate
Calandering PVC foil	3.7	Per kg PVC granulate
Injection moulding - 1	21	Per kg PE, PP, PS, ABS granulate
Injection moulding - 2	44	Per kg PVC, PC granulate
Milling, turning, drilling	6.4	Per dm³ machined material
Pressure forming	6.4	Per kg
React. Inj. Moulding-PUR	12	Per kg
Ultrasonic welding	0.098	Per m welded length
Vacuum-forming	9.1	Per kg material

Continuação Tabela 1 - Lista de Eco-indicadores padrão da metodologia Eco-indicador 99.

Production of rubbers (in millipoints per kg)		
	Indicator	**Description**
EPDM rubber	360	Vulcanized with 44% carbon, including moulding
Production of packaging materials (in millipoints per kg)		
	Indicator	**Description**
Packaging carton	69	CO2 absorption in growth stage disregarded
Paper	96	Containing 65% waste paper, CO2 absorption in growth stage disregarded
Glass (brown)	50	Packaging glass containing 61% recycled glass
Glass (green)	51	Packaging glass containing 99% recycled glass
Glass (white)	58	Packaging glass containing 55% recycled glass
Production of chemicals and others (in millipoints per kg)		
	Indicator	**Description**
Ammonia	160	NH3
Argon	7.8	Inert gas, used in lights bulbs, welding of reactive metals like aluminium
Bentonite	13	Used in cat litter, porcelain etc.
Carbon Black	180	Used for colouring and as filler
Chemicals inorganic	53	Average value for production of inorganic chemicals
Chemicals organic	99	Average value for production of organic chemicals
Chlorine	38	Cl2. Produced with diaphragm production process
Dimethyl p-phthalate	190	Used as plasticizes for softening PVC
Ethylene oxide/glycol	330	Used as industrial solvent and cleaning agent
Fuel oil	180	Production of fuel only. Combustion excluded!
Fuel petrol unleaded	210	Production of fuel only. Combustion excluded!
Fuel diesel	180	Production of fuel only. Combustion excluded!
H2	830	Hydrogem gas. Used for reduction processes
H2SO4	22	Sulphuric acid. Used for cleaning and staining
HCl	39	Hydrochloric acid, used for processing of metals and cleaning
HF	140	Fluoric acid
N2	12	Nitrogen gas. Used as an inert atmosphere
NaCl	6.6	Sodium Chloride
NaOH	38	Caustic soda
Nitric acid	55	HNO3. Used for staining metals
O2	12	Oxygen gas
Phosphoric acid	99	H3PO4. Used in preparation of fertilizer
Propylene glycol	200	Used as an anti-freeze and as solvent
R134 (coolant)	150	Production of R134 only!
R22 (coolant)	240	Production of R22 only!
Silicate (waterglass)	60	Used in the manufacture of silica gel, detergent manufacture and metal cleaning

Continuação Tabela 1 - Lista de Eco-indicadores padrão da metodologia Eco-indicador 99.

Production of chemicals and others (in millipoints per kg)		
	Indicator	**Description**
Soda	45	Na2CO3. Used in detergents
Ureum	130	Used in fertilizers
Water decarbonized	0.0026	Processing only
Water demineralized	0.026	Processing only
Zeolite	160	Used for absorption processes and in detergents
Production of building materials (in millipoints per kg)		
	Indicator	**Description**
Alkyd vanish	520	Production + emission during use of varnish, containing 55% solvents
Cement	20	Portland cement
Ceramics	28	Bricks etc.
Concrete not reinforced	3.8	Concrete with a density of 2200 kg/m³
Float glass coated	51	Used for windows, tin, silver and nickel coating (77 g/m²)
Float glass uncoated	49	Used for windows
Gypsum	9.9	Selenite. Used as filler.
Gravel	0.84	Extraction and transport
Lime (burnt)	28	CaO. Used for production of cement and concrete.
Lime (hydrated)	21	Ca(OH)2. Used for production of mortar
Mineral wool	61	Used for insulation
Massive building	1500	Rough estimate of a (concrete) building per m³ volume (capital goods)
Metal construction building	4300	Rough estimate of a building per m³ volume (capital goods)
Sand	0.82	Extraction and transport
Wood board	39	European wood
Wood massive	6.6	European wood
Land-use	45	Occupation as urban land per ² yr
Heat (in millipoints per MJ)		
	Indicator	**Description (Including fuel production)**
Heat coal briquette (stove)	4.6	Combustion of coal in a 5-15 kW furnace
Heat coal (industrial furnace)	4.2	Combustion of coal in a industrial furnace (1-10 MW)
Heat lignite briquette	3.2	Combustion of lignite in a 5-15 kW furnace
Heat gas (boiler)	5.4	Combustion of gas in an atmospheric boiler (<100kW) with low NOx
Heat gas (industrial furnace)	5.3	Combustion of gas in an industrial furnace (>100kW) with low NOx
Heat oil (boiler)	5.6	Combustion of oil in a 10 kW furnace
Heat oil (industrial furnace)	11	Combustion of oil in an industrial furnace
Heat wood	1.6	Combustion of wood

Continuação Tabela 1 - Lista de Eco-indicadores padrão da metodologia Eco-indicador 99.

Solar energy (in millipoints per kWh)		
	Indicator	**Description**
Electricity facade m-Si	9.7	Small installation (3kWp) with monocrystaline cells
Electricity facade p-Si	14	Small installation (3kWp) with polycrystaline cells
Electricity roof m-Si	7.2	Small installation (3kWp) with monocrystaline cells
Electricity roof p-Si	10	Small installation (3kWp) with polycrystaline cells
Electricity (in millipoints per kWh)		
	Indicator	**Description (Including fuel production)**
Electr. HV Europe (UCPTE)	23	High voltage (>24 kVolt)
Electr. MV Europe (UCPTE)	23	Medium voltage (1kV – 24 kVolt)
Electr. LV Europe (UCPTE)	27	Low voltage (<1000 Volt)
Electr. LV Austria	18	Low voltage (<1000 Volt)
Electr. LV Belgium	24	Low voltage (<1000 Volt)
Electr. LV Switzerland	10	Low voltage (<1000 Volt)
Electr. LV France	12	Low voltage (<1000 Volt)
Electr. LV Greece	62	Low voltage (<1000 Volt)
Electr. LV Italy	48	Low voltage (<1000 Volt)
Electr. LV the Netherlands	37	Low voltage (<1000 Volt)
Electr. LV Portugal	47	Low voltage (<1000 Volt)
Transport (in millipoints per tkm)		
	Indicator	**Description (Including fuel production)**
Delivery van <3.5t	140	Road transport with 30% load, 33% petrol unleaded, 38% petrol leaded, 29% diesel (European average including return)
Truck 16t	34	Road transport with 40% load (European average including return)
Truck 28t	22	Road transport with 40% load (European average including return)
Truck 40t	15	Road transport with 50% load (European average including return)
Passenger car W-Europe	29	Road transport per km
Rail transport	3.9	Rail transport, 20% diesel and 80% electric trains
Freighter oceanic	1.1	Water transport with 70% load (European average including return)
Freighter inland	5.1	Water transport with 70% load (European average including return)
Tanker inland	5	Water transport with 65% load (European average including return)
Tanker oceanic	0.8	Water transport with 54% load (European average including return)
Average air transport	78	Air transport with 78% load

Continuação Tabela 1 - Lista de Eco-indicadores padrão da metodologia Eco-indicador 99.

Transport (in millipoints per tkm)		
	Indicator	**Description (Including fuel production)**
Continental air transport	120	Air transport in a Boeing 737 with 62% load
Intercontinental air transport	80	Air transport in a Boeing 747 with 78% load
Intercontinental air transport	72	Air transport in a Boeing 767 with 71% load

Recycling of waste (in millipoints per kg)				
	Indicator			**Description**
	Total	**Process**	**Avoided Product**	
Recycling PE	-240	86	-330	If not mixed with other plastics
Recycling PP	-210	86	-300	If not mixed with other plastics
Recycling PS	-240	86	-330	If not mixed with other plastics
Recycling PVC	-170	86	-250	If not mixed with other plastics
Recycling Paper	-1.2	32	-33	Recycling avoids virgin paper production
Recycling Cardboard	-8.3	41	-50	Recycling avoids virgin cardboard production
Recycling Glass	-15	51	-66	Recycling avoids virgin glass production
Recycling Alum.	-720	60	-780	Recycling avoids primary Aluminium
Recycling Ferro metals	-70	24	-94	Recycling avoids primary steel production

Waste treatment (in millipoints per kg)		
	Indicator	**Description**
Incineration		Incineration in a waste incineration plant in Europe
Incineration PE	-19	Indicator can be used for both HDPE and LDPE
Incineration PP	-13	
Incineration PUR	2.8	Indicator can be used for all types of PUR
Incineration PET	-6.3	
Incineration PS	-5.3	Relatively low energy yield, can also be used for ABS, HIPS, GPPS, EPS
Incineration Nylon	1.1	Relatively low energy yield
Incineration PVDC	66	Relatively low energy yield
Incineration Paper	-12	High energy yield CO2 emission disregarded
Incineration Cardboard	-12	High energy yield CO2 emission disregarded
Incineration Aluminium	-110	155 magnetic separation for recycling, avoiding primary aluminium
Incineration Glass	5.1	Almost inert material
Incineration Steel	-32	40% magnetic separation for recycling, avoiding crude iron
Incineration PVC	37	Relatively low energy yield

Continuação Tabela 1 - Lista de Eco-indicadores padrão da metodologia Eco-indicador 99.

Waste treatment (in millipoints per kg)		
	Indicator	**Description**
Landfill		Controlled landfill site
Landfill PE	3.9	
Landfill PP	3.5	
Landfill PET	3.1	
Landfill PS	4.1	Indicator can also be used for landfill of ABS
Landfill EPS foam	7.4	PS foam, 40kg/m³, large volume
Landfill foam 20kg/m³	9.7	Landfill of foam like PUR with 20kg/m³
Landfill foam 100kg/m³	4.3	Landfill of foam like PUR with 100kg/m³
Landfill Nylon	3.6	
Landfill PVC	2.8	Excluding leaching of metal stabilizer
Landfill PVDC	2.2	
Landfill Paper	4.3	CO2 and methane emission disregarded
Landfill Cardboard	4.2	CO2 and methane emission disregarded
Landfill Glass	1.4	Almost inert material, indicator can be used for other inert materials
Landfill Steel	1.4	Almost inert material on landfill, indicator can be used for ferro metals
Landfill Aluminium	1.4	Almost inert material on landfill, valid for primary and recycled aluminium
Landfill of 1 m³ volume	140	Landfill of volume per m³, use for voluminous waste, like foam and products

ANEXO 2

FORMULÁRIO PARA O CÁLCULO DOS ECO-INDICADORES DOS SISTEMAS EM ESTUDO

Fonte: Goedkoop; Spriensma (2000a)

(Traduzido para o português)

Tabela 2 – Formulários para o cálculo dos valores Eco-indicadores.

Produto ou componente	Projeto		
Data	Autor		
Notas e conclusões			
Produção Materiais, processos, transporte e energia extra			
Material ou processo	Quantidade	Indicador	Resultado
Total			
Uso Transporte, energia e qualquer material auxiliar			
Processo	Quantidade	Indicador	Resultado
Total			
Disposição Final Processos de Disposição por tipo de material			
Material e tipo de processo	Quantidade	Indicador	Resultado
Total			
Total (todas as fases)			

ANEXO 3

PROJETO ARQUITETÔNICO E CORTE AA DAS CASAS DO RESIDENCIAL CAMPO ALEGRE – UBERLÂNDIA, M.G.

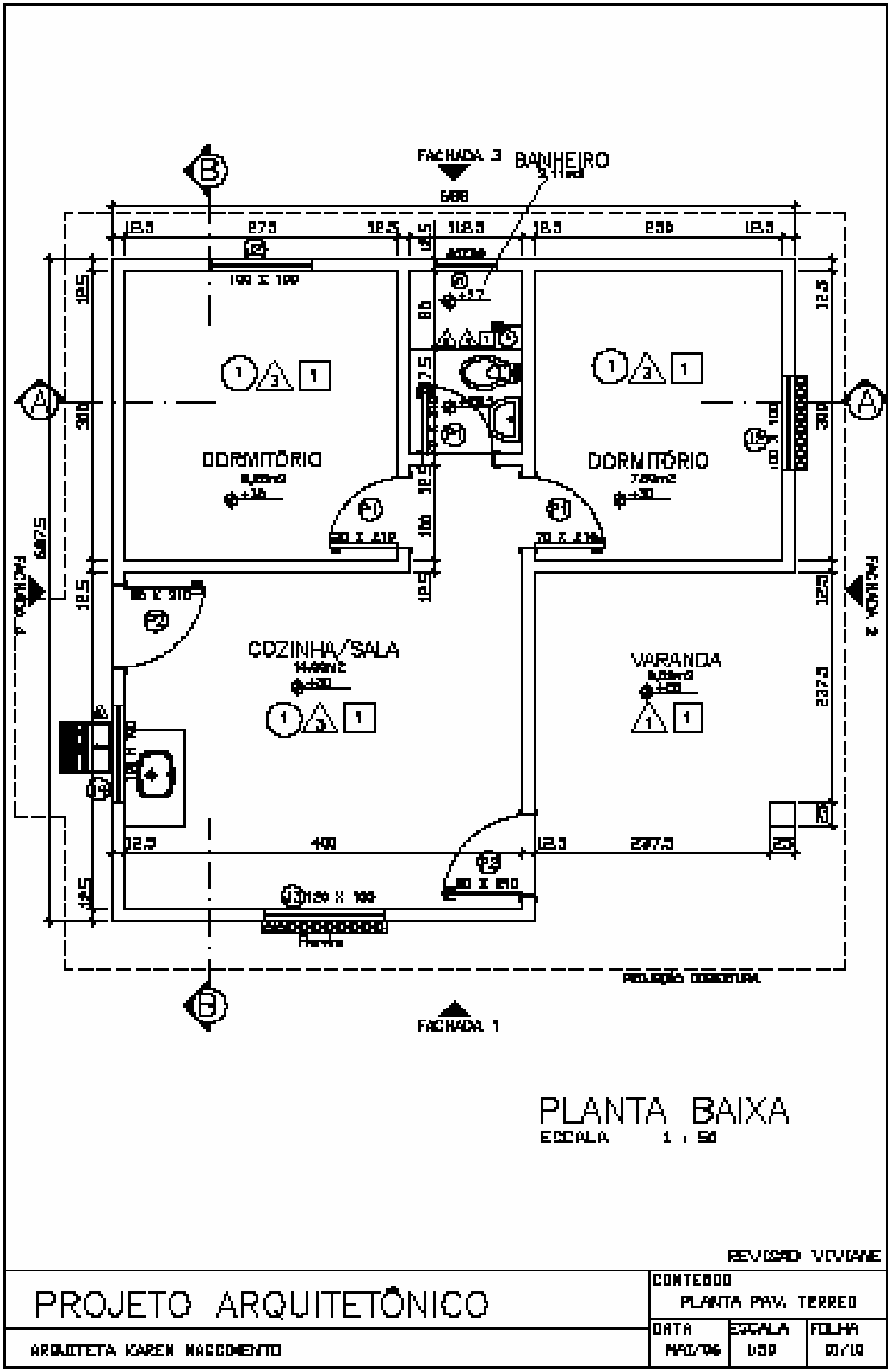


Figura 1 – Projeto arquitetônico das casas do Residencial Campo Alegre.

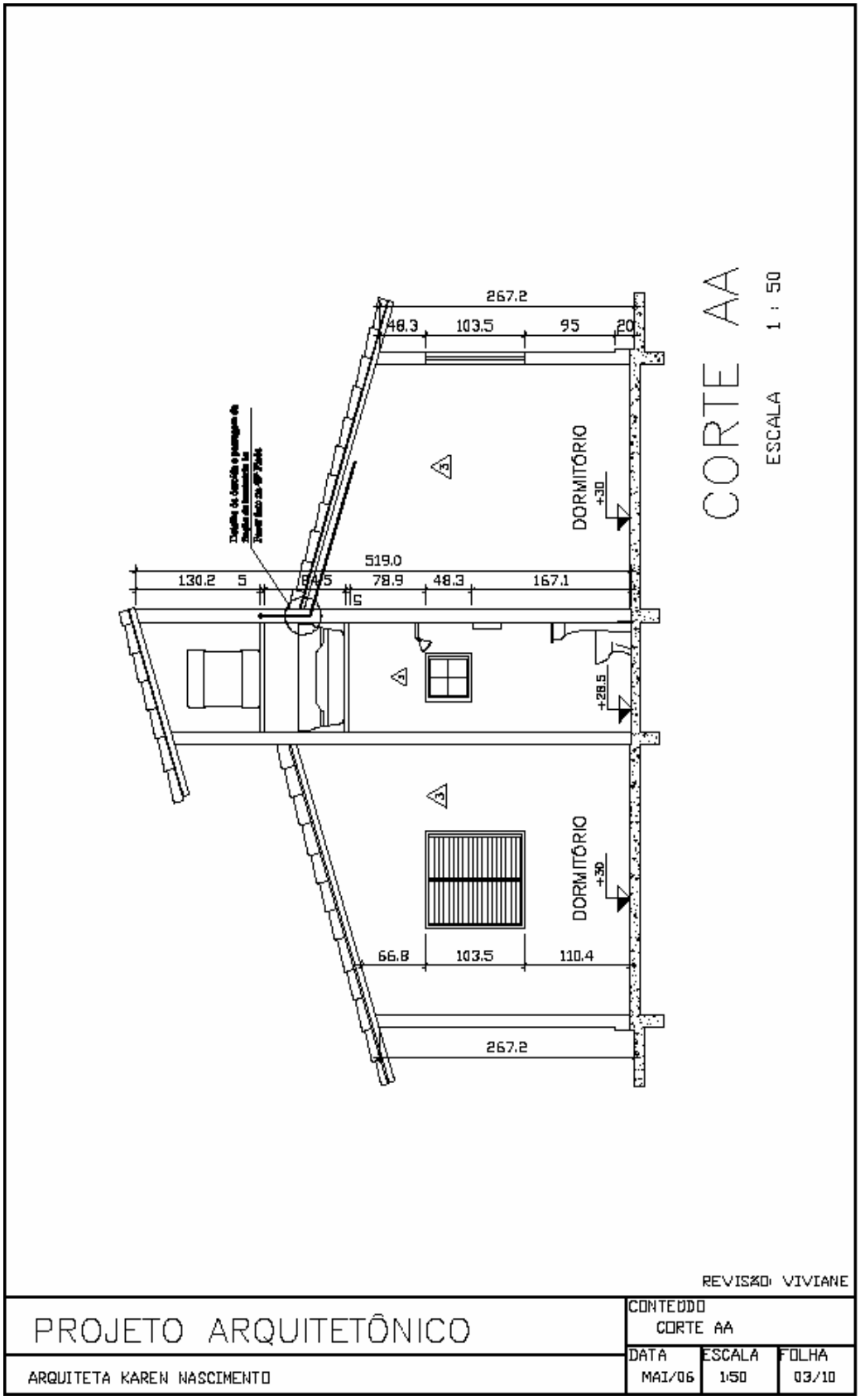


Figura 2 – Corte AA das casas do Residencial Campo Alegre

ANEXO 4

PLANTAS DO RESIDENCIAL CAMPO ALEGRE CONTENDO: LOCAÇÃO DO COLETOR SOLAR, LIGAÇÃO ENTRE A PLACA COLETORA E O RESERVATÓRIO DE ARMAZENAMENTO DE ÁGUA QUENTE E PROJETOS HIDRÁULICOS

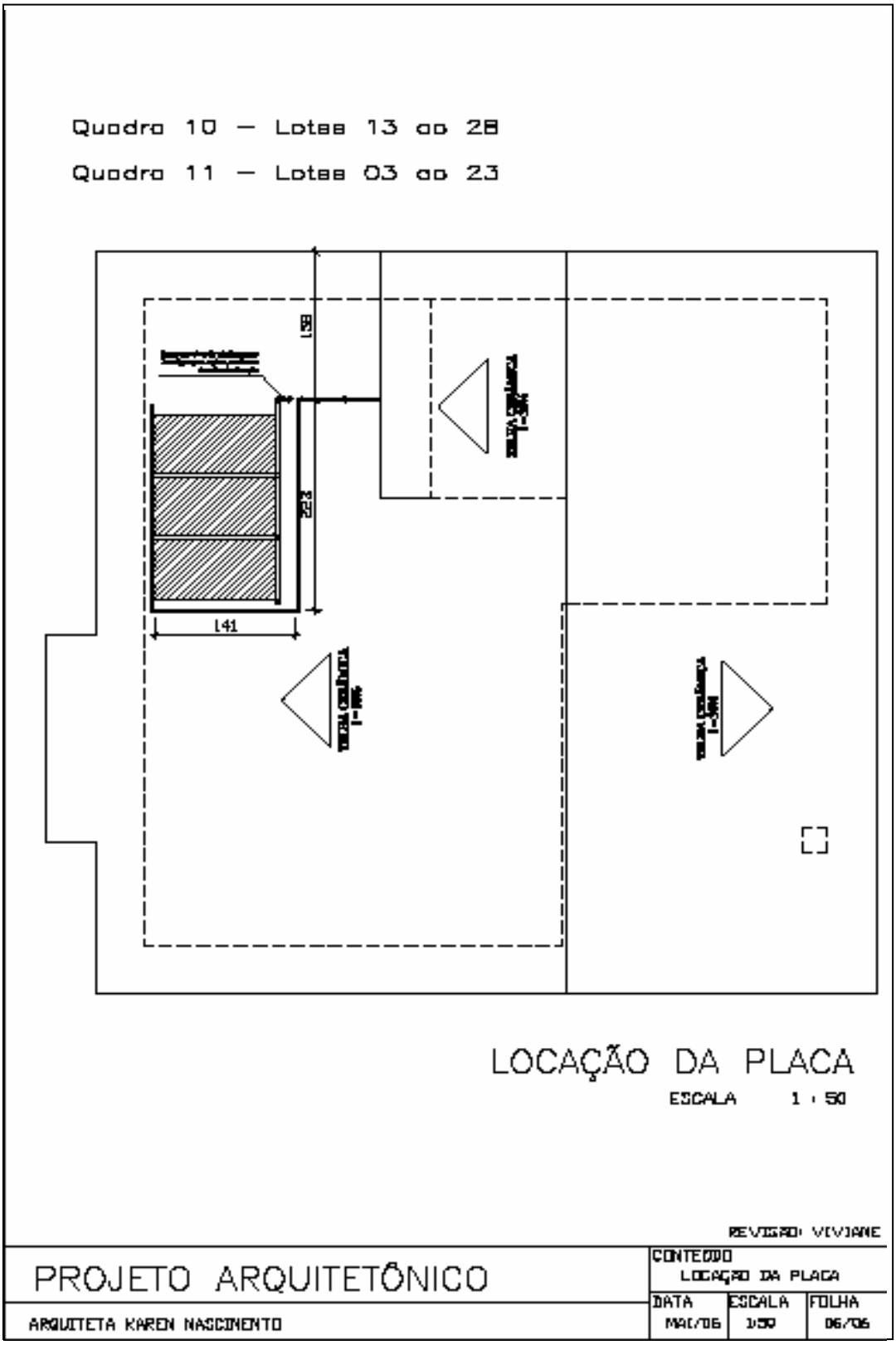


Figura 3 – Projeto de Locação do Coletor Solar.

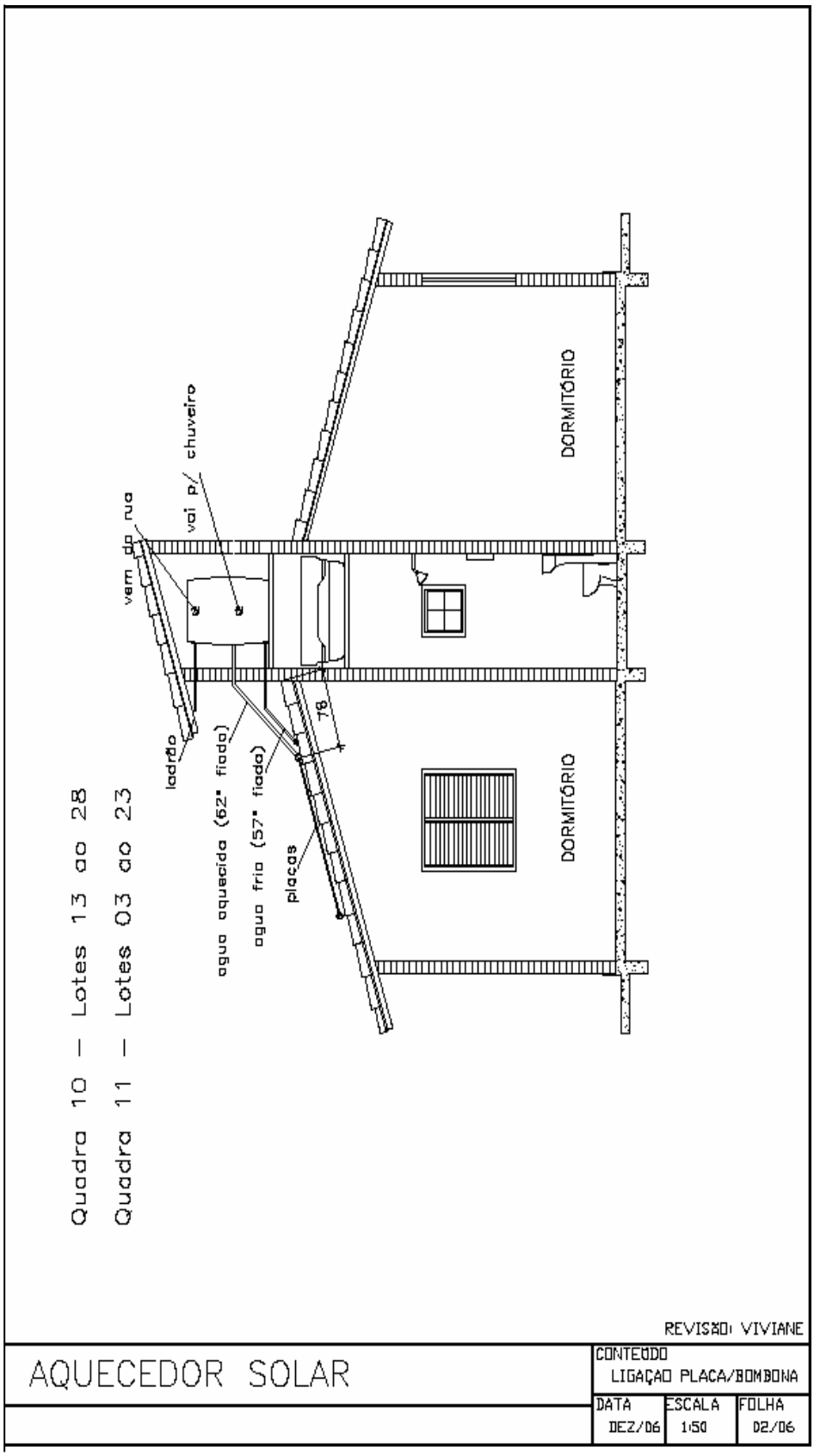


Figura 4 – Ligação entre coletor e o reservatório de armazenamento de água quente.

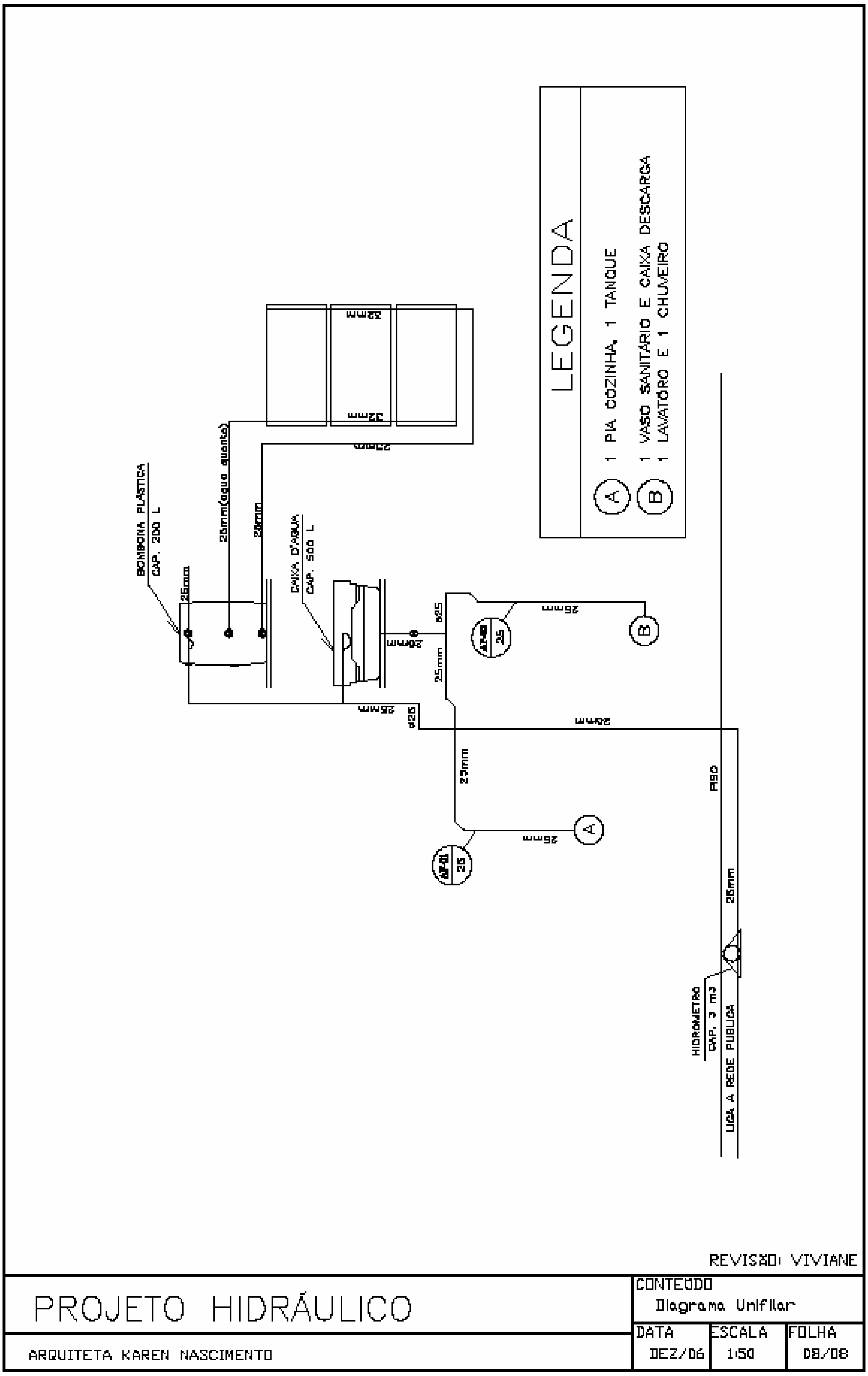


Figura 5 – Projeto Hidráulico.

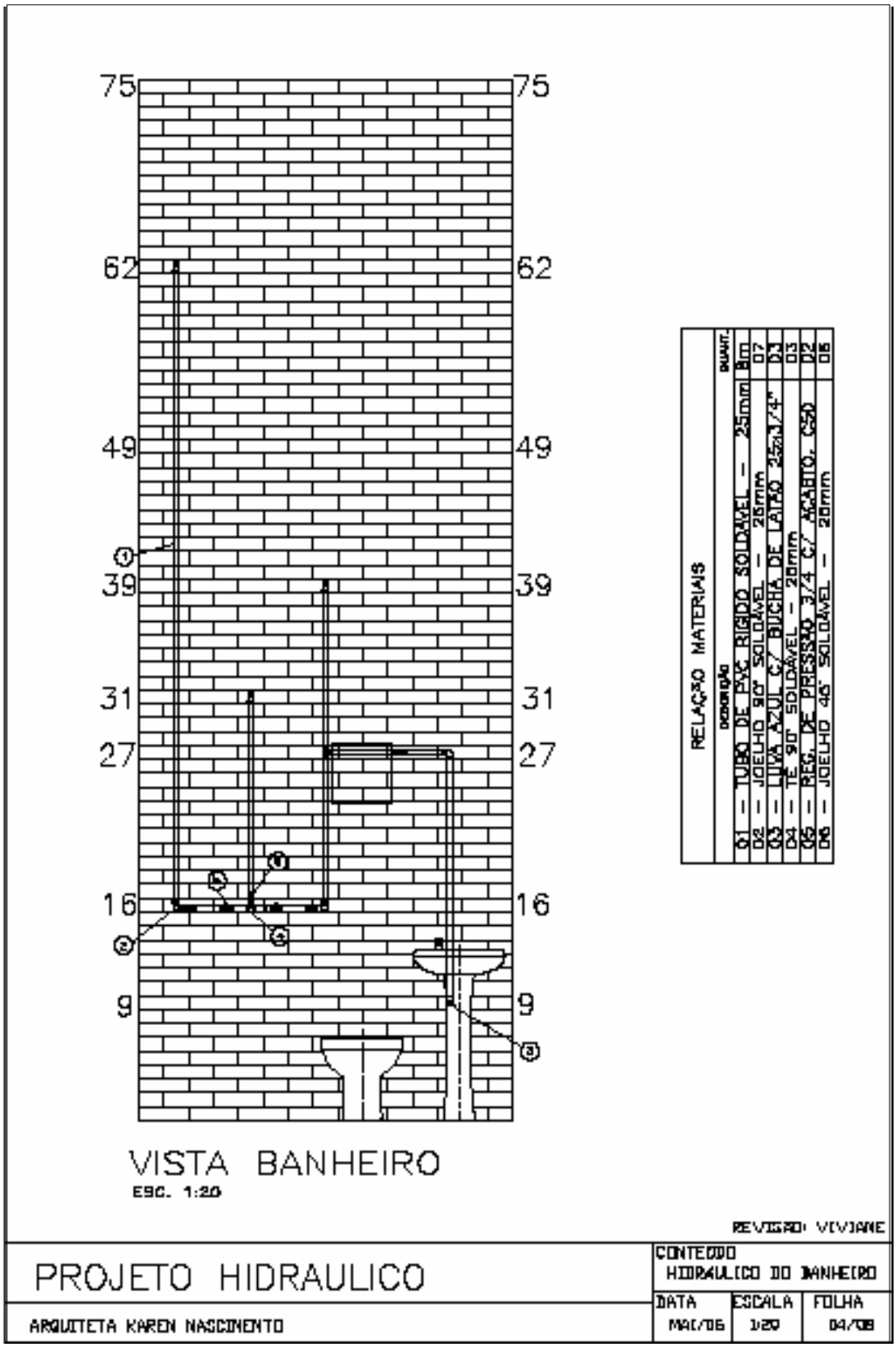


Figura 6 – Projeto Hidráulico (Vista Banheiro).

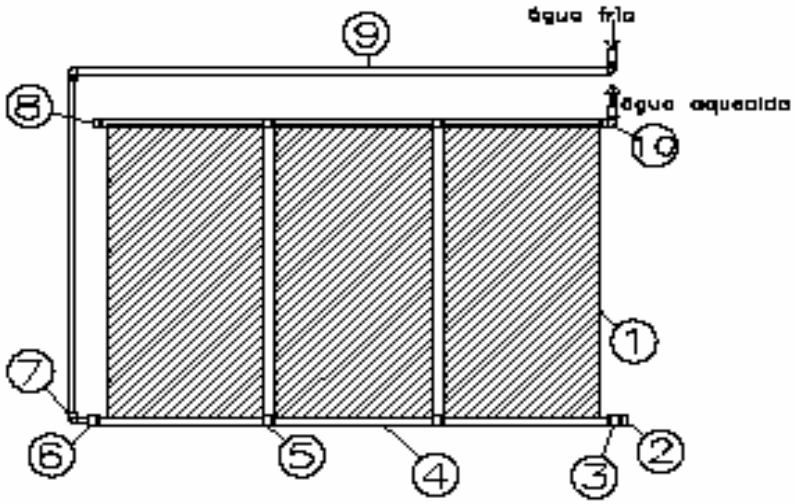
ANEXO 5

PROJETO COLETOR SOLAR DO SISTEMA ASBC UTILIZADO NO RESIDENCIAL CAMPO ALEGRE E ESPECIFICAÇÕES DA BOMBONA UTILIZADA COMO RESERVATÓRIO TÉRMICO NOS SISTEMAS 1 E 2

RELAÇÃO MATERIAIS	
	QUANT.
01 — Forro Alveolar 1250x820x10mm	03
02 — Cap Roscável 32mm	01
03 — Adaptador LR 32mm	01
04 — Tubo PVC 32mm	4m
05 — Luva Soldável 32mm	04
06 — Bucha de Redução Sold 32x25	02
07 — Joelho Soldável 20mm	03
08 — Cap Soldável 32mm	01
09 — Tubo PVC 25mm*	10m
10 — Joelho Soldável 32mm	01
11 — Joelho Soldável 45° 25mm**	02

* Qtde de tubo para ligar a placa à bombona
** Usado para descer o tubo da bombona até a placa

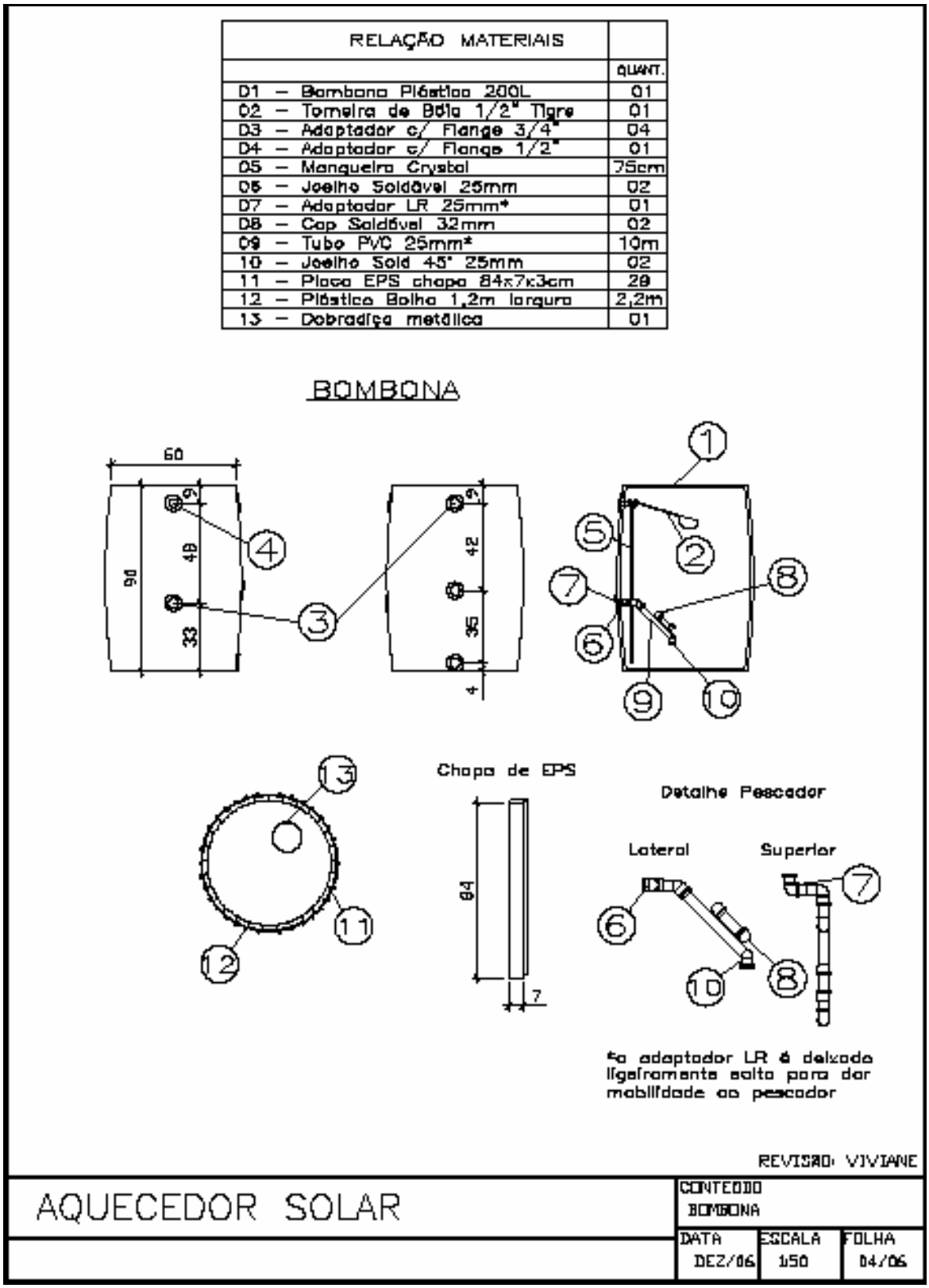
PLACA AQUECEDOR SOLAR



REVISAO: VIVIANE

AQUECEDOR SOLAR	CONTEÚDO PLACA AQUECEDOR		
	DATA DEZ/06	ESCALA 1:50	FOLHA 01/06

Figura 7 – Projeto do coletor solar do sistema 1 - ASBC.



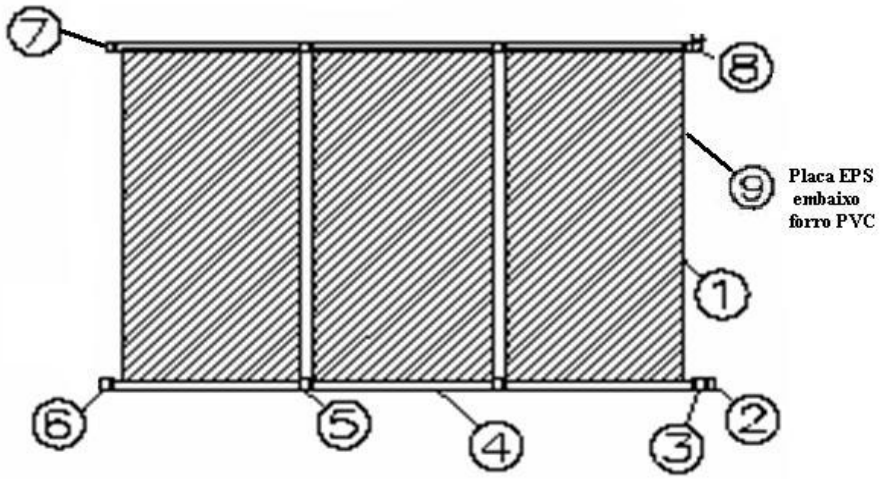
RELAÇÃO MATERIAIS	
	QUANT.
D1 – Bombona Plástico 200L	01
D2 – Torneira de Bóia 1/2" Tigre	01
D3 – Adaptador c/ Flange 3/4"	04
D4 – Adaptador c/ Flange 1/2"	01
D5 – Mangueira Crystal	75cm
D6 – Joelho Soldável 25mm	02
D7 – Adaptador LR 25mm*	01
D8 – Cap Soldável 32mm	02
D9 – Tubo PVC 25mm*	10m
10 – Joelho Sold 45° 25mm	02
11 – Placa EPS chapa 84x7x3cm	29
12 – Plástico Bolha 1,2m largura	2,2m
13 – Dobradiça metálica	01

Figura 8 – Projeto da bombona utilizada como reservatório térmico nos sistemas 1 e 2.

ANEXO 6

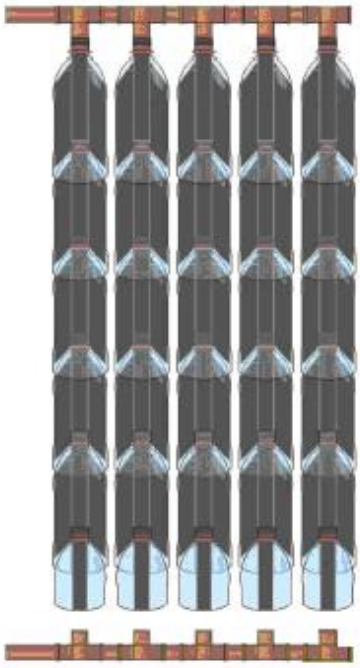
LISTA DE MATERIAIS CONSIDERADOS NO ESTUDO DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA COM SUAS RESPECTIVAS MASSAS E QUANTIDADES

Tabela 3 - Massas e quantidades dos materiais utilizados no coletor solar do Sistema 1: ASBC - Aquecedor Solar de Baixo Custo.



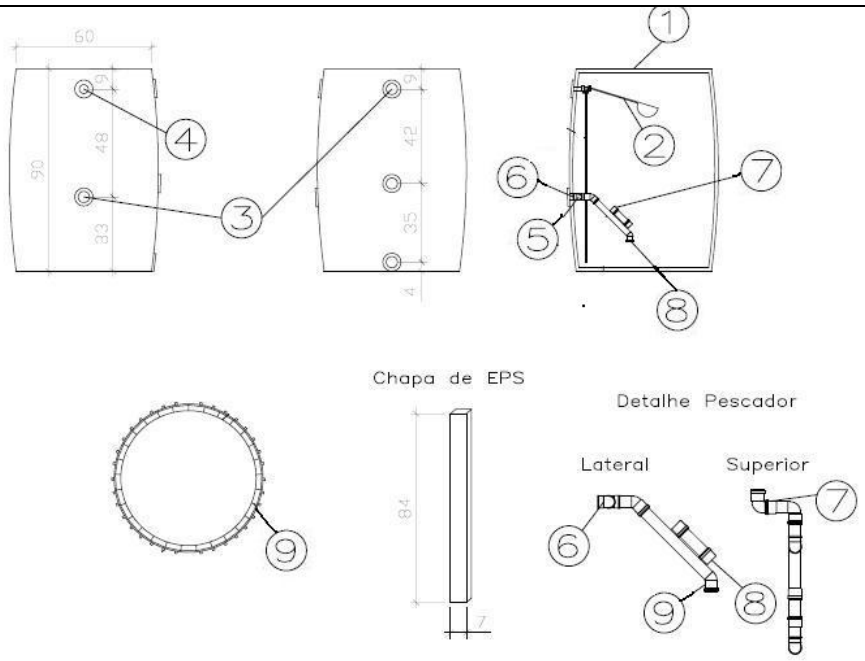
Materiais	**Massa (Kg)**	**Quantidade**	**Massa Total (Kg)**
1- Forro de PVC alveolar modular de 125 x 62 cm (durabilidade prevista para 10 anos)	1,9	3 x 2 (uma troca) = 6	11,4
2 - Cap Roscável 32mm (PVC)	0,033	1 x 2 (uma troca)	0,066
3 - Adaptador LR 32mm (PVC)	0,027	1 x 2 (uma troca)	0,054
4 - Tubo PVC 32mm	0,324/m	4 m x 2 (uma troca)	2,592
5 - Luva soldável 32mm (PVC)	0,028	4 x 2 (uma troca)	0,224
6 - Bucha de Redução Soldável 32 x 25 (PVC)	0,01	2 x 2 (uma troca)	0,040
7 - Cap Soldável 32mm (PVC)	0,021	1 x 2 (uma troca)	0,042
8 - Joelho Soldável 32mm (PVC)	0,043	1 x 2 (uma troca)	0,086
9 - EPS para isolamento térmico de 125 x 62 X 3 cm	0,128	3 x 2 (uma troca)	0,768
Massa total por tipo de material			
PVC			**14,5**
EPS			**0,768**

Tabela 4 - Massas e quantidades dos materiais utilizados no coletor solar do Sistema 2: Aquecedor Solar Composto de Embalagens Descartáveis.



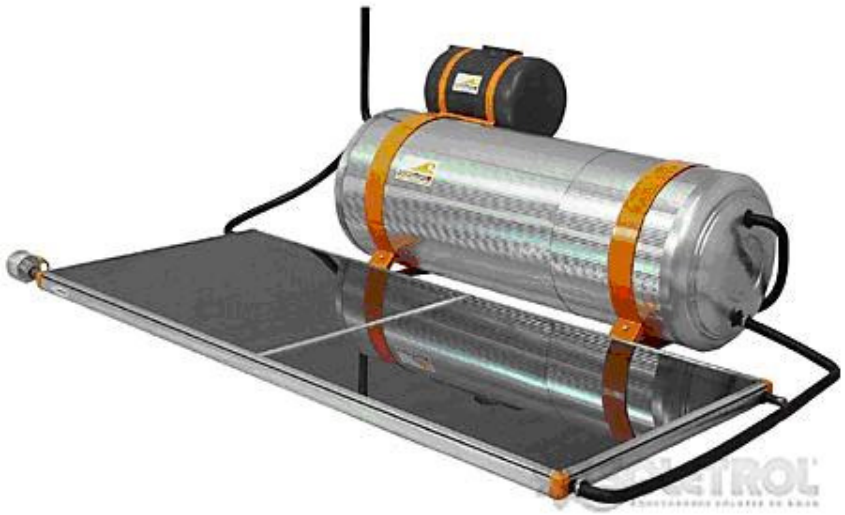
Materiais	Massa (Kg)	Quantidade	Massa Total (Kg)
Garrafas (PET) COCA 2 L (durabilidade de cinco anos)	0,025g resina/ml de líquido envasado = 50g = 0,05Kg	200 x 4 (três trocas) = 800	40
Caixas Tetra Pak (ECAL) 1 L (durabilidade de cinco anos)	40g = 0,04kg	200 x 4 (três trocas) = 800	32
Alumínio	2g=0,002Kg		1,6
Cartão	30g=0,03Kg		24
Polietileno	8g=0,008Kg		6,4
Tubos 20 mm ½" 105 cm (PVC) (durabilidade de dez anos)	0,141/m	40 x 2 (uma troca) = 80	11,844
Conexão T 20 mm ½" (PVC)	0,021	80 x 2 = 160	3,360
Tubos 20 mm ½" 8,5 cm (PVC)	0,141/m	80 x 2 = 160	1,917
Massa total por tipo de material			
PET			**40**
PVC			**17,121**
Alumínio			**1,6**
Cartão			**24**
Polietileno			**6,4**

Tabela 5 - Massas e quantidades dos materiais utilizados no reservatório térmico dos Sistemas 1 e 2.



Materiais (durabilidade conjunto prevista > vinte anos)	**Massa (Kg)**	**Quantidade**	**Massa Total (Kg)**
1 - Bombona Plástica (PEAD) – 200 L	11	1	11
2 - Torneira de Bóia ½" (PVC)	0,070	1	0,070
3 - Adaptador com flange ¾" (PVC)	0,084	4	0,336
4 - Adaptador com flange ½" (PVC)	0,066	1	0,066
5 - Joelho Soldável 25 mm (PVC)	0,023	2	0,046
6 - Adaptador LR 25 mm (PVC)	O,015	1	0,015
7 - Cap Soldável 32 mm (PVC)	0,021	2	0,042
8 - Joelho Soldável 45° 25 mm (PVC)	0,019	2	0,038
9 – Placa (EPS) chapa 84 x 7 x 3 cm	0,015	29	0,435
Massa total por tipo de material			
PEAD			**11**
PVC			**0,613**
EPS			**0,435**

Tabela 6 - Massas e quantidades dos materiais utilizados no coletor solar do Sistema 3: Aquecedor Solar Compacto Solarmax 200 L.



Materiais (durabilidade do conjunto prevista para 20 anos)	**Massa (Kg)**
Vidro	**11,5**
Alumínio	**5**
Cobre	**3**
Poliuretano	**4**
Polipropileno	**11**