UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL UTILIZANDO ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Alfredo Boggi Duarte

Orientador: Alberto Hernandez Neto

São Paulo

2011

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO ESCOLA POLITÉCNICA

DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE SISTEMAS DE AQUECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL UTILIZANDO ANÁLISE DO CICLO DE VIDA

Trabalho de formatura apresentado à Escola

Politécnica da Universidade de São Paulo para

Obtenção do título de Graduação em Engenharia

Alfredo Boggi Duarte

Orientador: Alberto Hernandez Neto

Área de Concentração:

Engenharia Mecânica

São Paulo

2011

FICHA CATALOGRÁFICA

Duarte, Alfredo Boggi
Avaliação do desempenho de sistemas de aquecimento de água residencial utilizando análise do ciclo de vida/ A.B. Duarte. – São Paulo, 2011.
65p.

Trabalho de Formatura - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Mecânica.

1. Sistemas de aquecimento de água 2. Energia solar 3. Ciclo de vida (Análise) I. Universidade de São Paulo. Escola Politécnica. Departamento de Engenharia Mecânica II. t.

RESUMO

Os aquecedores de água são equipamentos presentes nas residências de praticamente todos atualmente, pois permitem o conforto no banho das pessoas. Existem diversos sistemas para o aquecimento de água, como os chuveiros elétricos, aquecedores a gás, coletores solares e bombas de aquecimento.

Este trabalho tem como escopo realizar um estudo de caso utilizando uma metodologia amplamente conhecida no meio acadêmico denominada Análise do Ciclo de Vida (ACV). Aplicando a ACV, serão comparadas a solução mais comum no Brasil, os chuveiros elétricos e a opção teoricamente mais ecológica, os coletores solares.

Neste estudo, foram verificados os impactos ambientais relativos a dois dos mais importantes gases associados à chuva ácida, o NO e o NO_2. O estudo é realizado verificando as emissões durante todo o ciclo de vida do produto (da produção dos equipamentos até o término da vida útil dos mesmos).

Os resultados obtidos mostram que se considerado estes escopo, o chuveiro elétrico é a solução que emite menos impactos durante a sua vida. Esta conclusão é interessante porque TABORIANSKI (2002), que estudou o mesmo caso (com ênfase no CO_2 e no CH_4) concluiu que o coleto solar era a melhor opção.

ABSTRACT

The water heaters are equipments that are presented practically in the house of everybody nowadays, because they permitted a gain of comfort in people's bath. There are different kinds of water heaters, for example electric shower, gas water heaters, solar collector and heat pumps.

This work will develop a case study within a methodology widely known as Life Cycle Assessment (LCI). Based on this methodology, the most common solution for water heating in Brazil will be analyzed, the electric shower and the option that is theoretically the most ecological, the solar collector.

In this paper, the environmental effects will be analyzed that are bonded with the two of the most important gases of acid rain, the NO and NO_2. The study is realized from cradle to grave.

The results show that for the adopted scope, the electric shower is the solution that emits less pollution during your life. This conclusion is very interesting because TABORIANSKI (2002), who studied the same case (with emphasis in the CO_2 and CH_4), concluded that the solar collector was the best solution.

SUMÁRIO

Lista de Tabelas

Lista de Figuras

Lista de Abreviaturas e siglas

1. INTRODUÇÃO

1.1 Introdução e motivação para a realização do trabalho.....1

1.2 Estrutura do trabalho.....1

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução e histórico.....3

2.2 Estruturação teórica do ACV.....4

2.2.1 Definição do objetivo e do escopo.....6

2.2.2 Análise do Inventário.....7

2.2.2.1 Escopo e condições de contorno.....7

2.2.2.2 Obtenção de dados.....8

2.2.2.3 Criação de modelos computacionais.....8

2.2.2.4 Análise, divulgação e interpretação dos resultados obtidos.....9

2.2.3 **Avaliação do Impacto**.....9

2.2.4 Interpretação.....10

2.3 Desenvolvimento da ACV.....10

3. AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE SISTEMAS EXISTENTES NO MERCADO BRASILEIRO PARA O AQUECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL

3.1 Chuveiro elétrico.....11
3.2 Coletores Solares.....13
3.2.1 **Determinação do tipo de coletor a ser estudado**.....14
3.3 O sistema brasileiro de geração de energia elétrica.....17

4. METODOLOGIA APLICADA

4.1 Introdução.....21
4.2 Hipóteses adotadas.....22
4.3 Unidade funcional.....23
4.4 Fluxograma do estudo.....24
4.5 Definição do modelo residencial.....26
4.6 SimaPro.....26
4.7 Determinação dos materiais utilizados.....27
4.8 Determinação dos processos de transformação.....28
4.9 Transporte.....30
4.10 Estágio de uso.....32

5. RESULTADOS

5.1 Resultados obtidos com a Análise do Ciclo de Vida.....33
5.2 Análise comparativa das duas soluções.....39

6. CONCLUSÕES FINAIS.....40

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....43

ANEXOS

ANEXO A- Principais usinas hidrelétricas brasileiras e respectivas capacidades de geração.....45

ANEXO B- Componentes constituintes dos sistemas de aquecimento analisados

B1- Chuveiro elétrico.....47

B2- Aquecedor solar.....50

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1- Vazão nos pontos de utilização em função do aparelho sanitário e da peça de utilização. 23

Tabela 4.2- Transportes do material que compões os sistemas de aquecimento das indústrias até o consumidor final.....31

Tabela 5.1- Montagem do sistema do chuveiro elétrico.....33

Tabela 5.2- Montagem do sistema do aquecedor solar.....34

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1- Modelo da ACV.....5

Figura 3.1- Princípio de funcionamento de um chuveiro elétrico.....12

Figura 3.2- Esquema de um coletor solar.....13

Figura 3.3- Principais tipos de coletores.....15

Figura 3.4- Mercado nacional de coletores solares em 2008.....16

Figura 3.5- Área dos coletores solares disponíveis no mercado.....17

Figura 3.6- Matriz energética nacional de gerado de energia em %.....18

Figura 3.7- Mapa da rede de distribuição de energia elétrica brasileira.....19

Figura 4.1- Fluxograma a ser utilizado na ACV.....25

Figura 4.2- Interface do SimaPro para um processo de transformação.....28

Figura 5.1- Rede da Análise do Ciclo de Vida do chuveiro elétrico.....35

Figura 5.2- Rede da Análise do Ciclo de Vida do aquecedor solar.....36

Figura 5.3- Impactos ambientais no ciclo de vida de um chuveiro elétrico.....37

Figura 5.4 Impactos ambientais no ciclo de vida de um aquecedor solar.....38

Figura 5.5- Comparação dos danos ambientais gerados pelo aquecedor solar e pelo chuveiro elétrico.....39

Figura 5.6- Emissão de CO_2 no ciclo de vida de diferentes sistemas de aquecimento de água.....40

Figura 5.7- Emissão de CH_4 no ciclo de vida de diferentes sistemas de aquecimento de água.....41

Figura 5.7- Emissão de CO_2 não capturado no ciclo de vida de diferentes sistemas de aquecimento de água.....41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABRAVA	Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento
isso	International Organization for Standarlization
SETAC	Society of Environmental Toxicology and Chemistry

1. INTRODUÇÃO

1.1 Introdução e motivação para a realização do trabalho

Atualmente, existem diversas opções para sistemas de aquecimento de água em residências. Entre os mais conhecidos, destacam-se: aquecimento elétrico (chuveiros elétricos), aquecedores a gás e elétrico, coletores solares, bombas de aquecimento, etc.

Este trabalho tem como objetivo realizar um estudo de caso utilizando uma metodologia amplamente conhecida no meio acadêmico denominada Análise do Ciclo de Vida (ACV). Aplicando a ACV, serão comparadas a solução mais comum no Brasil, os chuveiros elétricos e a opção teoricamente mais ecológica, os coletores solares.

Com este estudo, quer-se determinas também qual das soluções comparadas é melhor do ponto de vista ecológico.

1.2 Estrutura do trabalho

Neste primeiro capítulo é feita uma introdução deste estudo de caso, destacando a motivação para a sua realização e as limitações do trabalho. No capítulo 2 uma revisão bibliográfica da metodologia da Análise do Ciclo de Vida é realizada, desde o histórico da metodologia, como os estudos nesta área foram iniciados, quais as vantagens e desvantagens de utilizá-la.

O capítulo 3 apresenta as alternativas existentes para o aquecimento de água residencial no Brasil, apresentando o chuveiro elétrico e o coletor solar, que são os objetos deste estudo. No final do capítulo, uma análise sobre o sistema de geração de energia elétrica no Brasil é feita.

O capítulo 4 apresenta a metodologia aplicada neste estudo de caso, quais as hipóteses foram utilizadas e a unidade funcional adotada no trabalho, enquanto que o capítulo 5 apresenta os resultados obtidos no estudo.

O último capítulo é destinado para as considerações finais do projeto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Introdução e histórico

A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma metodologia que permite a quantificação dos impactos ambientais ou possíveis impactos ambientais gerados por produtos, atividades ou sistemas. De acordo com CURRAN (1996), esta metodologia tem sua importância na comparação de produtos que realizam funções semelhantes, ou ainda, verificação do desempenho da produção de um produto, a fim de que etapas que geram grandes emissões ambientais possam ser substituídas ou desenvolvidas.

As primeiras análises e estudos utilizando o ACV datam da década de 1960. Com a crise mundial do petróleo, começaram a ser realizados estudos sobre o balanço energético dos processos industriais. Estes trabalhos, conhecidos como "análise de energia", geravam a necessidade da criação de um fluxograma do processo produtivo e foram amplamente realizados durante toda a década seguinte.

Na década de 1980, houve um aumento na preocupação e conscientização mundial com os impactos ambientais, como o efeito estufa ou o buraco da camada de ozônio. Porém, o fluxograma para análise dos impactos ambientais é o mesmo do balanço energético, o que levou os pesquisadores a estenderem os estudos, até então limitados ao âmbito energético, à integração com os impactos ambientais. Esta análise mais ampla vem sendo utilizada e explorada desde então em diversos setores.

Diferentes terminologias são utilizadas para referir-se ao ACV, entre elas:

- Análise do Ciclo de Vida (em inglês *Life Cycle Analysis*)
- Avaliação do Ciclo de Vida (em inglês *Product Life Cycle Assessment*)
- Ecobalanço (em inglês *Ecobalance*)
- Ecoperfil (em inglês *Ecoprofile*)
- Análise de berço ao túmulo (em ingês *Cradle to Grave*)
- Análise da linha do produto (em inglês *Product Line Analysis*)
- Gestão da linha de cadeia (em inglês *Management Chain Line*)

Deve-se ressaltar que as duas primeiras são as mais utilizadas e encontradas em trabalhos e na literatura.

2.2 Estruturação teórica do ACV

Conforme MOURAD, GARCIA e VILHENA (2002), com o aumento do número de trabalhos sobre o assunto no início da década de 90, gerou-se a necessidade de padronização da metodologia. Os principais esforços foram realizados pela SETAC – Society of Environmental Toxicology and Chemistry, que organizou e publicou o primeiro artigo sobre a normatização da ACV. De acordo com os autores, a International Organization for Standardization- ISO publicou uma série de artigos na série 14000, que parametriza os estudos sobre a ACV.

O estudo da Análise do Ciclo de Vida é dividido em 4 (quatro) etapas segundo a ISO 14040 (2004):

- Definição do objetivo e escopo
- Análise do Inventário
- Avaliação do Impacto
- Interpretação

A figura 2.1 apresenta o esquema da metodologia apresentado por CURRAN (1996)

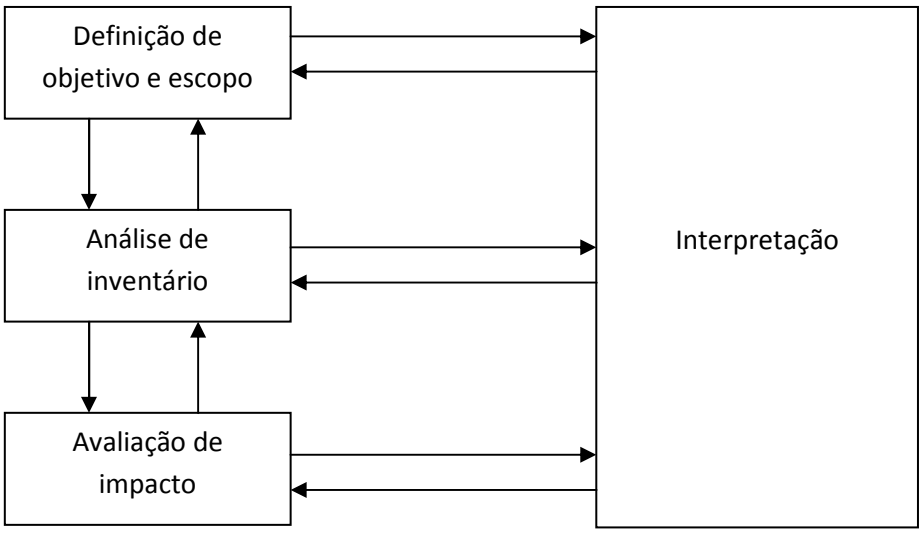


Figura 2.1- Modelo da ACV. (CURRAN,1996)

2.2.1 Definição do objetivo e do escopo

Nesta etapa inicial, deve-se definir o motivo da pesquisa, explicando qual é o objetivo a ser alcançado utilizando a metodologia, bem como o escopo do estudo.

CURRAN (1996) afirma que esta metodologia é por natureza comparativa, e, usualmente, utilizada para fundamentar a decisão de uma empresa na escolha de um produto, ou na realização de um desenvolvimento de uma tecnologia em relação a outra. Sendo assim, uma decisão importante gera a necessidade de realizar-se um estudo amplo e abrangente, enquanto que um estudo mais simples pode ser feito em outras situações.

É de extrema importância para a metodologia as hipóteses que devem ser adotadas, bem como quais são as condições de contorno adotadas. De acordo com CURRAN (1996), entre os quesitos a serem definidos estão:

- Abrangência geográfica: uma análise feita utilizando como parâmetro o país deve ser muito mais detalhada que uma análise local.
- Temporabilidade: análises devem ser feitas preferencialmente utilizando dados atuais, uma vez que podem haver distorções dependendo do tempo.
- Confiabilidade dos dados
- Combinação do ACV com outros instrumentos

Hipóteses simplificadoras devem ser adotadas com extrema cautela, visto que a simples eliminação de uma etapa do processo ou da interligação entre processos pode gerar resultados e interpretações errôneas.

2.2.2 Análise do Inventário

A análise do inventário, também chamada no meio acadêmico pela sigla em inglês LCI- *Life-Cycle Inventory* é a etapa na qual se obtêm os dados que serão utilizados para a realização da ACV. Esta etapa, em função da sua grande importância, pode ser dividida em 5 (cinco) etapas (CURRAN,1996).

- Escopo e condições de contorno
- Obtenção de dados
- Criação de modelos computacionais
- Análise e divulgação dos resultados do estudo
- Interpretação dos resultados

2.2.2.1 Escopo e condições de Contorno

Esta etapa é semelhante à etapa inicial da ACV, na qual são fixadas as variáveis (geográficas, temporais, etc.), onde é feito um detalhamento dos processos e produtos a serem estudados (normalmente, utilizando-se fluxogramas).

A comparação dos produtos deve ser feita de modo que estes realizem a mesma função, ou seja, se um 1 quilo de um produto A faça a mesma atividade que 2 quilos de um outro produto B, a base de alocação dos dados é de 1:2. Nos estudos utilizando LCI ou LCA é utilizada normalmente a base mássica, porém esta pode ser alterada de acordo com a necessidade. Por exemplo, a indústria agrícola utilizada em seus estudos a massa seca dos sólidos, enquanto que a indústria química utiliza bases relacionadas com a energia gerada em reações.

2.2.2.2 Obtenção de dados

Tanto o LCI como o LCA exigem uma grande obtenção de dados. Uma das preocupações é que estes sejam confiáveis e que sigam o que é proposto pelo escopo. Um desvio pode gerar conclusões errôneas e precipitadas sobre um determinado produto.

As etapas listadas a seguir são etapas que a NBR ISO 14040 (2004a) recomenda em todos os estudos do ACV:

- Seqüência principal do processo
- Transporte e distribuição
- Energia utilizada
- Combustíveis utilizados para a geração de energia
- Subprodutos do processo
- Disposição dos resíduos

2.2.2.3 Criação de modelos computacionais

Existem diversas ferramentas computacionais que permitem organizar os dados obtidos, desde os mais simples, que são compostos por planilhas básicas de aplicativos como o Excel, até programas específicos para a geração de um inventário. O desenvolvimento destas ferramentas já se encontra em estágio bem avançado, o que permite que o tempo gasto para desenvolver o inventário seja bastante reduzido.

Neste trabalho de formatura, será utilizado o aplicativo SimaPro como software de apoio, que é um dos mais conhecidos programas para ACV existentes no mercado.

2.2.2.4 Análise, divulgação e interpretação dos resultados obtidos

Neste estágio, devem ser estudados todos os resultados, sempre se baseando no escopo e no objetivo definido. Isto é de extrema importância, pois a generalização de um resultado pode gerar conclusões incorretas.

Deve-se lembrar que o resultado do estudo não pode ser considerado como único fator para tomar uma decisão, conforme cita CURRAN (1996).

2.2.3 Avaliação do impacto

Segundo CURRAN (1996), a maior dificuldade existente na ACV é fazer a conexão entre os resultados obtidos no inventário com os impactos ambientais causados pelo produto, processo ou sistema. Existem diversas classes e tipos de impactos ambientais existentes, além do fato que um mesmo processo industrial pode produzir mais que uma conseqüência.

Segundo a NBR ISO 14040 (2004), a SETAC organizou então esta fase do estudo em três etapas: a classificação, que corresponde a separação de cada efeito em uma determinada classe, a caracterização, que é a etapa na qual caracteriza-se a magnitude do impacto na classe escolhida. Já na valorização, última etapa, faz-se a ponderação dos efeitos.

A avaliação do impacto está em um estágio de desenvolvimento bem inferior à análise do inventário, sem que estejam disponíveis ferramentas computacionais e metodologias gerais para sua realização. De acordo com CURRAN (1996), esta avaliação está sendo estudo de muitas pesquisas, porém não se pode afirmar quando estará plenamente desenvolvida.

2.2.4 Interpretação

Neste momento final da metodologia, os objetivos e o escopo devem ser analisados, verificando se estes foram alcançados.

Como já foi dito, a metodologia tem natureza comparativa. Sendo assim, é nesta etapa que se pode definir se um produto é "melhor que outro do ponto de vista ecológico", se um processo é mais vantajoso que outro.

Existem diversas situações em que uma etapa da produção de um produto tem grande importância nos resultados finais obtidos pela ACV. Nestes casos, a metodologia permite identificá-las, a fim de que estas etapas "críticas" sejam melhor estudadas e seu impacto nos resultados seja reduzido.

2.3 Desenvolvimento da ACV

Atualmente, sabe-se da importância desta metodologia, assim como as vantagens em utilizá-la. Porém, a grande dificuldade na sua aplicação está na obtenção dos dados, no tempo necessário para realizar o seu processamento, a obtenção dos resultados finais e nos gastos necessários para que um estudo seja realizado.

Por estes motivos, esforços têm sendo realizados para reduzir, principalmente, o tempo necessário e os custos envolvidos na aplicação da metodologia. Como já foi dito no item 2.2.3, a etapa da avaliação do impacto é a que se encontra em estágio de desenvolvimento mais primitivo e, portanto, é a etapa na qual se concentram as diversas pesquisas aqui analisadas.

FRANKL&RUBIK (2000) inferem que existe atualmente um interesse por parte das empresas de serem associadas pelo consumidor como empresas preocupadas com as questões ambientais. Segundo FRANKL&RUBIK (2000), o consumidor prefere comprar produtos de empresas "verdes" a empresas "não verdes".

3. AVALIAÇÃO DAS ALTERNATIVAS DE SISTEMAS EXISTENTES NO MERCADO BRASILEIRO PARA O AQUECIMENTO DE ÁGUA RESIDENCIAL

3.1 Chuveiros elétricos

O chuveiro elétrico é uma das alternativas mais utilizadas no mercado brasileiro. Existem diversos fatores que podem explicar esta escolha dos brasileiros, porém não há estudos que apresentem a razão para esta escolha.

Os chuveiros elétricos têm no seu interior dois resistores, que são fios espiralados que transformam a energia elétrica em energia térmica. Os fios têm comprimentos diferentes, sendo o menor o responsável pelo aquecimento da água a uma temperatura maior (função inverno), enquanto que a resistência maior é responsável pelo aquecimento a uma temperatura menor (função verão). Esta energia é utilizada para aquecer rapidamente a água que está em contato com os resistores, sendo que a figura 3.1 permite a visualização do equipamento.

Figura 3.1- Princípio de funcionamento de um chuveiro elétrico. (SERGIPEC, 2011).

Para a realização do trabalho, foi escolhido o chuveiro elétrico Maxi Ducha da empresa Lorenzetti, por ser um dos chuveiros de maior venda segundo a TELHANORTE, por meio de comunicação verbal com gerente da mesma Mauro Machado em Março de 2010. As características elétricas do equipamento, extraídas do site do fabricante, são as seguintes:

- Potência média: 5500W
- Tensão de alimentação: 220V
- Fios: 4mm²
- Disjuntor: 30A
- Tempo de vida médio do aparelho: 10 anos (não considerando trocas do filamento)

3.2 Coletores solares

Os coletores solares são utilizados normalmente para aquecer a água da rede para tarefas do dia-a-dia, como tomar banho, cozinhar, etc.

O coletor solar é apenas um dos dois componentes dos sistemas de aquecimento de água solar, sendo o outro o reservatório térmico (conhecido como “boiler”). Normalmente, encontra-se acoplado um sistema auxiliar de aquecimento, que é utilizado para manter o fornecimento de água quente em dias de chuva, nublados ou no caso de uma demanda por água quente superior à planejada para ser fornecida pelo sistema solar.

A figura 3.2 apresenta o esquema de um sistema de aquecimento de água utilizando coletor solar.

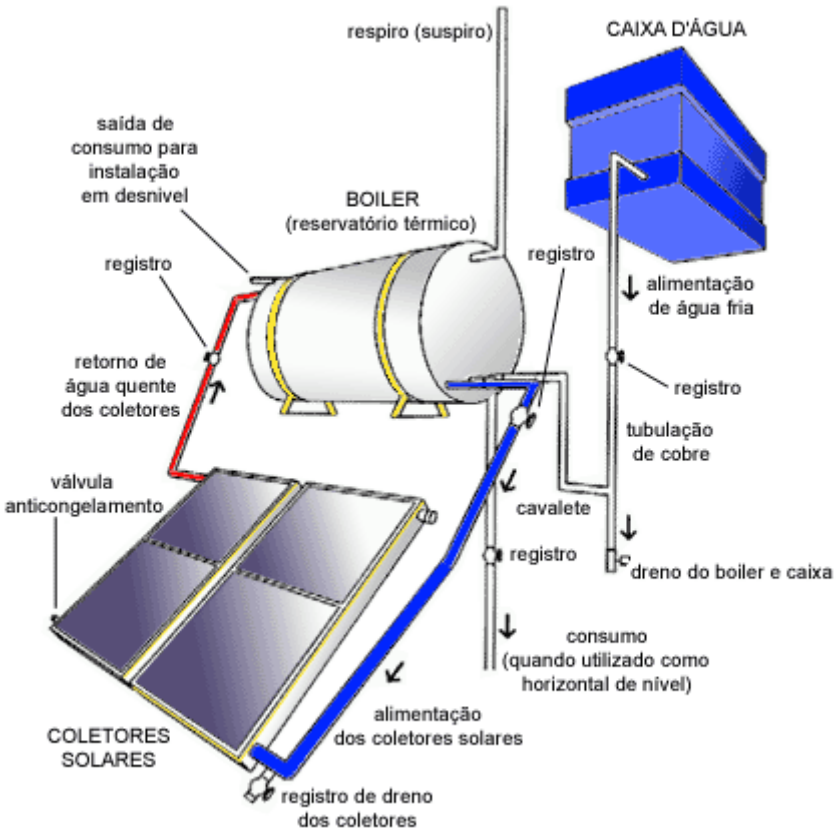


Figura 3.2- Esquema de um coletor solar. (SOLETROL, 2011).

O funcionamento deste sistema é bem simples: a cobertura do coletor solar é usualmente feita de vidro, que é transparente à radiação visível. Esta radiação aquece o seu interior e, por conseguinte, a placa coletora que se encontra no interior do equipamento. Os coletores são feitos de um isolante térmico, que não permite a saída do calor do seu interior, fazendo então que haja um aumento de temperatura da superfície coletora.

Pelo interior do coletor encontram-se uma série de tubos (em geral, de cobre) com água no seu interior, formando uma serpentina. A água é então aquecida, indo em seguida para o reservatório térmico.

O reservatório térmico é alimentado pela caixa d'água, conectada com o tubo de alimentação (água fria) e saída do coletor (água quente), além do sistema de consumo, que no caso deste estudo, é uma residência. Os reservatórios térmicos devem ser sempre instalados em uma posição superior a dos coletores, para que não ocorram problemas no funcionamento do equipamento.

3.2.1 Determinação do tipo de coletor a ser estudado

Segundo a Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento (ABRAVA, 2010), existem 4 tipos principais de coletores solares quem podem ser utilizados para aquecerem água e ar, que são apresentados na figura 3.3.

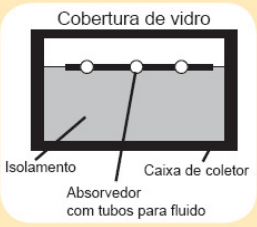
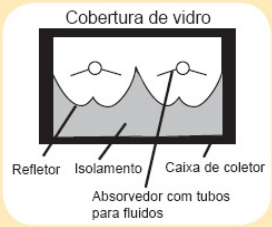
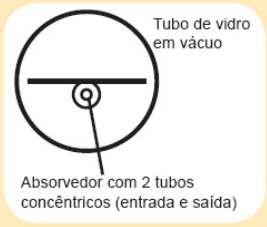
TIPO DE COLETOR	COLETOR A AR	COLETOR PLANO	COLETOR PLANO COM CONCENTRADOR PARABÓLICO	TUBO À VACUO
Abreviatura	CA	CP	CPC	CTV
				

Figura 3.3- Principais tipos de coletores. (ABRAVA, 2010).

Ainda segundo dados estatísticos fornecidos pela ABRAVA (2010), no mercado Brasileiro, 62% dos sistemas de aquecimentos utilizados no Brasil têm coletores do tipo plano, seguidos pelos coletores abertos (a ar) (34%).

Figura 3.4- Mercado nacional de coletores solares em 2008. (ABRAVA, 2010).

Em face dos dados expostos anteriormente e procurando-se aproximar as análises a serem feitas neste trabalho à realidade brasileira, definiu- se como objeto de estudo um coletor solar do tipo plano.

Ainda segundo a Abrava, os modelos de coletores solares planos apresentam medidas padrões entre 1,6 e 2,4 m² de área, podendo serem construídos modelos extremos entre 0,8 e 6,8 m², conforme a figura 3.5.

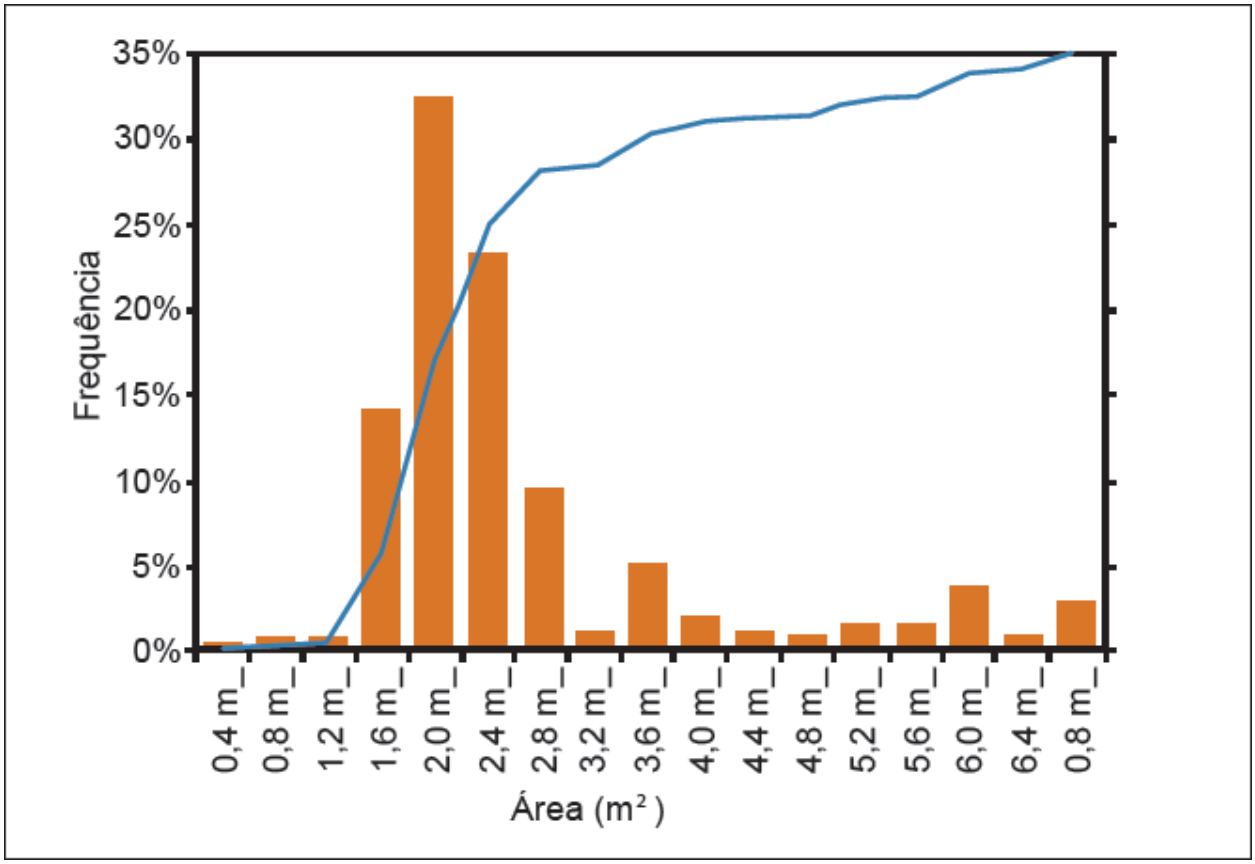


Figura 3.5- Frequência de distribuição da área dos coletores solares disponíveis no mercado brasileiro. (ABRAVA, 2010).

Neste estudo, em que será utilizado apenas um chuveiro, será utilizado um coletor com 2,0 m² e reservatório térmico de 200 litros, que é o que está mais sendo utilizados para residências de baixa renda, que pressupõem a existência de apenas um chuveiro (ABRAVA, 2010).

3.3 O sistema brasileiro de geração de energia elétrica

A geração de energia no Brasil é predominantemente de origem hídrica (74,9%). Pode-se dizer ainda que as usinas termelétricas são a segunda forma mais importante para geração de energia, sejam os derivados de petróleo, o gás natural ou outro componente queimado no seu interior.

Energia eólica, nuclear e biomassa compõem a matriz energética brasileira, conforme mostra a figura 3.6, extraída dos Resultados Preliminares do Balanço Energético Nacional do Ministério de Minas e Energia (Ministério de Minas e Energia, 2011).

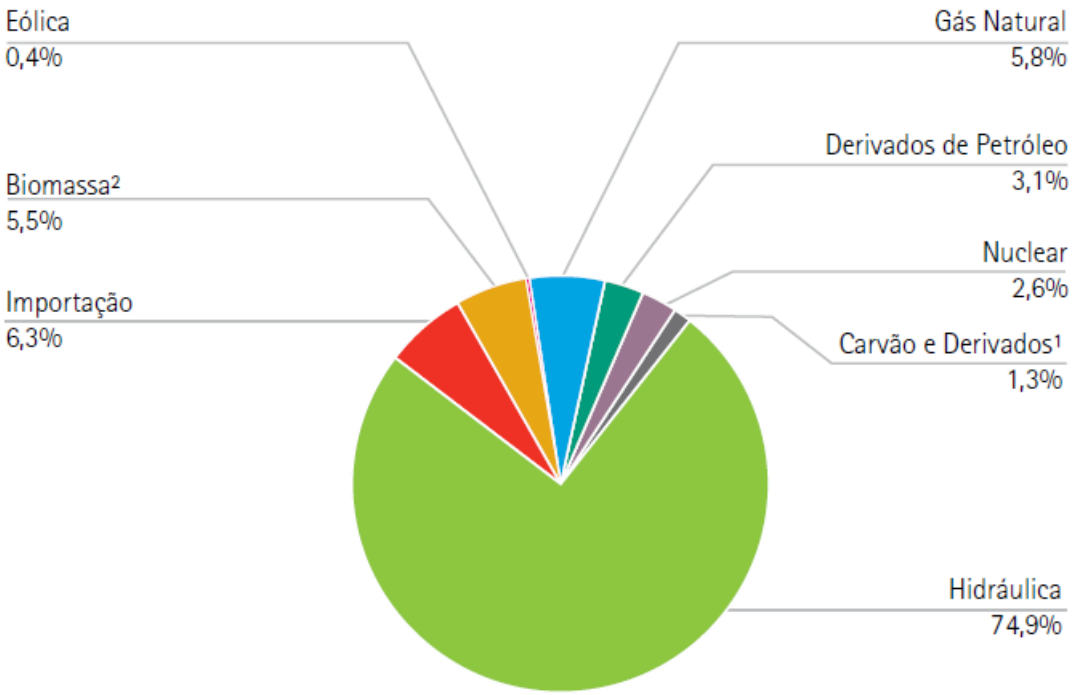


Figura 3.6- Matriz energética nacional de gerado de energia em %. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA,2011).

A figura 3.7 apresenta o mapa da rede de transmissão brasileira segundo o Operador Nacional do Sistema Elétrico (ONS).

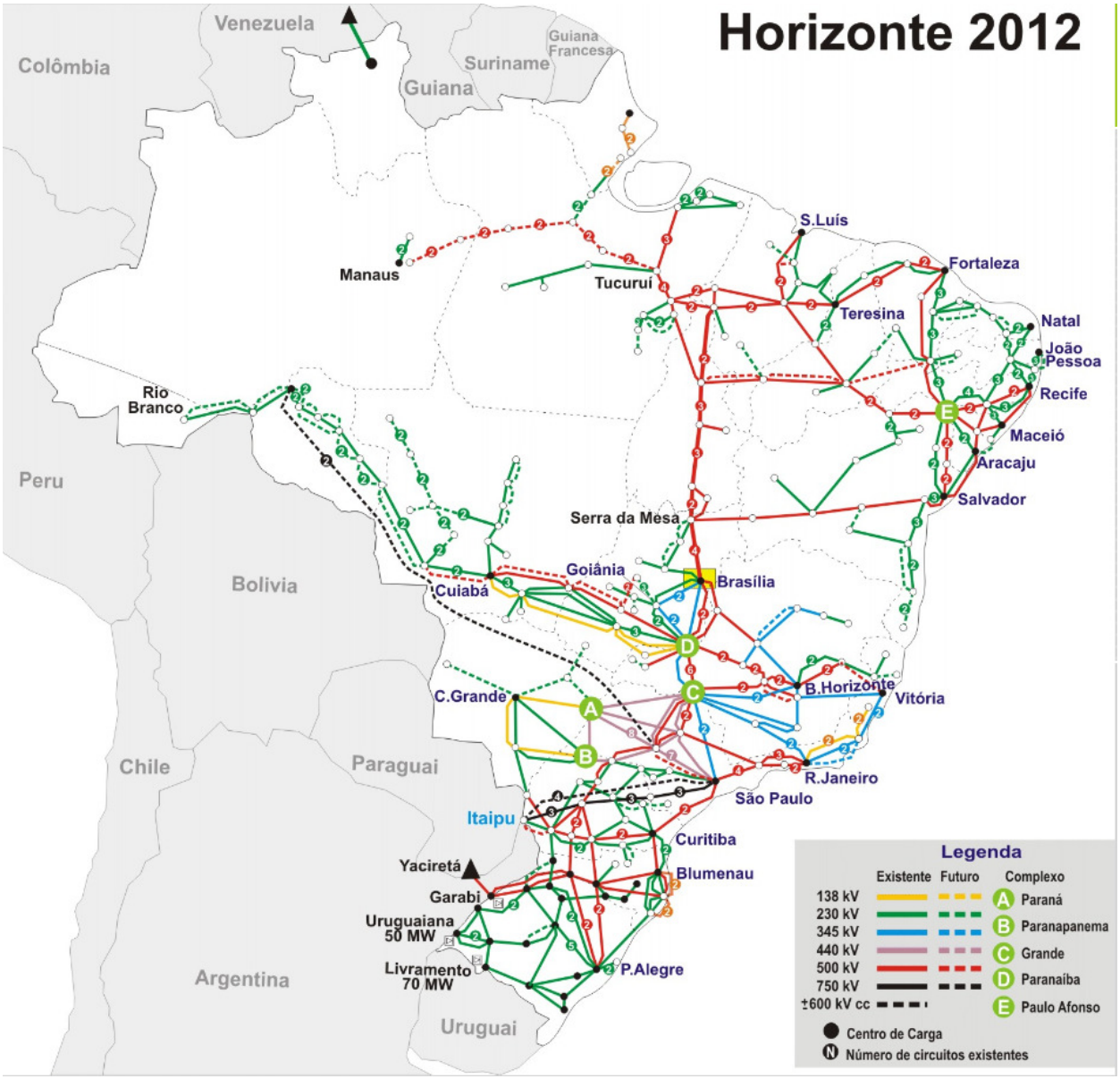


Figura 3.7- Mapa da rede de distribuição de energia elétrica brasileira (ONS, 2011)

O sistema energético brasileiro é muito complexo, sendo composto pelos sistemas isolados, interligado sul/sudeste/centro-oeste e interligado norte/nordeste.

O sistema isolado é composto por pequenas usinas, em sua maioria na região norte do país e responsáveis por pequenas gerações de energia. Já os dois últimos sistemas se caracterizam pela

geração de energia em uma região e consumo em uma região diferente, podendo esta ser distante ou não. Estes sistemas podem ser claramente verificados na figura 3.7, na qual pode se verificar que existem linhas de transmissão que ligam o sul ao sudeste e ao centro-oeste.

O ANEXO A apresenta uma lista das principais usinas hidrelétricas brasileiras e suas respectivas capacidades de geração de energia, segundo TABORIANSKI (2002). Deve-se ressaltar que este levantamento foi feito pela autora para sua tese de mestrado. No presente trabalho, por não fazer parte do escopo um detalhamento completo da matriz energética, serão utilizados os mesmos dados que TABORIANSKI (2002) levantou.

4. METODOLOGIA APLICADA

4.1 Introdução

Este análise do ciclo de vida tem, como já foi dito anteriormente, aplicar a Análise do Ciclo de Vida em dois sistemas de aquecimento de água, sendo considerados como impactos ambientais dois dos mais importantes gases da chuva ácida: o NO e o NO_2.

A chuva ácida é um dos principais problemas ambientais mundiais, sendo que seu agravamento ocorreu a partir da Revolução Industrial e é originada principalmente da queima dos combustíveis sólidos nos motores dos automóveis e da queima do carvão mineral (TODA BIOLOGIA, 2011).

Toda solução tem seu caráter medido com o auxílio do pH. Soluções com valores de pH entre 0 e 6 são consideradas ácidas, enquanto que de 8 a 14 uma solução é considerada básica. Soluções neutras apresentam pH igual a 7.

Toda chuva é levemente ácida devido a presença do CO_2 em sua constituição (pH=5,5), porém considera-se a chuva como ácida quando esta tenha pH inferior a este valor base (5,5).

Os principais gases precursores o SO2 e os NO_x, apesar que os compostos orgânicos voláteis (VOC) contribuem para acidificar a chuva ácida (ROSE et al, 1994 apud TABORIANSKI, 2002). Os compostos orgânicos voláteis englobam acetona, hidrocarbonetos alifáticos (octanos, decanos, hexanos, etc), hidrocarbonetos aromáticos (dentre eles tolueno e benzeno) e aldeídos que podem ser gerados pelos processos de combustão. Segundo LANDIS et al, 1999 apud TABORIANSKI, o NO_x pode ser apresentado de seis formas diferentes no meio ambiente: N_2O, NO, NO_2, N_2O_3, N_2O_4 e N_2O_5, sendo o NO_2 a forma mais nociva aos seres vivos. São apresentadas a seguir as equações de formação deste óxido, assim como a reação de formação do ácido nítrico (CCDC,2011).

$$N_2 + O_2 \rightarrow 2NO \quad (1)$$

$$2NO + O_2 \rightarrow 2NO_2 \quad (2)$$

$$3NO_2 + 3H_2O \rightarrow 2H_3O^+ + 2NO_3^- + NO \quad (3)$$

Os efeitos prejudiciais desses gases são irritações no sistema pulmonar, além de poderem afetar o mecanismo de proteção do trato pulmonar.

4.2 Hipóteses adotadas

Para a conclusão deste trabalho, além das hipóteses simplificadoras já apresentadas no item 1.2, as seguintes considerações serão feitas:

- Localização geográfica: cidade de São Paulo
- Residência com 3 moradores
- Família popular (hipótese necessária para definição do tipo de construção).
- Tempo médio diário de um banho: 10 minutos
- Número de banhos diários por pessoa: 1

Segundo informações obtidas na referência ABRAVA (2010), a vida útil de um coletor solar é de 20 a 25 anos. Enquanto que, no caso de um chuveiro elétrico, a vida útil é de 10 anos (aparelho) e 5 anos (resistência). Deste modo, para que se possa fazer uma comparação entre os sistemas, todos os estudos serão feitos considerando a vida útil dos equipamentos de 20 anos.

4.3 Unidade Funcional

Para a realização da ACV, segundo a norma NBR ISO14041 (ABNT, 2004b), deve-se escolher uma unidade funcional durante a fase da definição do escopo. A unidade funcional serve para definir qual a função que deve ser realizada pelos sistemas de aquecimento comparados pela metodologia. Determinada esta "medida de comparação", pode-se verificar quantas unidades de cada sistema devem ser utilizados para desempenhar esta função.

Tabela 4.1- Vazão nos pontos de utilização em função do aparelho sanitário e da peça de utilização. (ABNT, 1998)

Aparelho sanitário		Peça de utilização	Vazão de projeto L/s
Bacia sanitária		Caixa de descarga	0,15
		Válvula de descarga	1,70
Banheira		Misturador (água fria)	0,30
Bebedouro		Registro de pressão	0,10
Bidê		Misturador (água fria)	0,10
Chuveiro ou ducha		Misturador (água fria)	0,20
Chuveiro elétrico		Registro de pressão	0,10
Lavadora de pratos ou de roupas		Registro de pressão	0,30
Lavatório		Torneira ou misturador (água fria)	0,15
Mictório cerâmico	com sifão integrado	Válvula de descarga	0,50
	sem sifão integrado	Caixa de descarga, registro de pressão ou válvula de descarga para mictório	0,15
Mictório tipo calha		Caixa de descarga ou registro de pressão	0,15 por metro de calha
Pia		Torneira ou misturador (água fria)	0,25
		Torneira elétrica	0,10
Tanque		Torneira	0,25
Torneira de jardim ou lavagem em geral		Torneira	0,20

Cópia Impressa pelo Sistema CENWW

Utilizando as hipóteses apresentadas no item 4.2, chegou-se a uma unidade funcional de 2628000 litros de água aquecida.

Os chuveiros elétricos (equipamento e resistência elétrica) não têm vida útil de 20 anos, sendo, portanto necessário substituí-los durante o período de 20 anos. Para realizar este cálculo, utilizou-se a fórmula sugerida por ADALBERTH (1996):

$$\frac{Vida\ útil\ da\ construção}{Vida\ útil\ do\ equipamento} - 1 \qquad (1)$$

Onde:

- Vida útil da construção: vida útil do projeto
- Vida útil do equipamento: vida útil do sistema estudado

Para o caso do chuveiro, que tem vida útil de 10 anos, só será necessária uma troca, enquanto que para as resistências (cinco anos de vida útil), serão necessárias três trocas durante o período estudado. Esta manutenção é mensurada no trabalho através da repetição do material utilizado, ou seja, o material necessário para construir o chuveiro elétrico é contado duas vezes, enquanto que a resistência é contada três vezes.

4.4 Fluxograma do estudo

O fluxograma utilizado por TABORIANSKI (2002) e que será utilizado como base para este estudo é apresentado na figura 4.1.

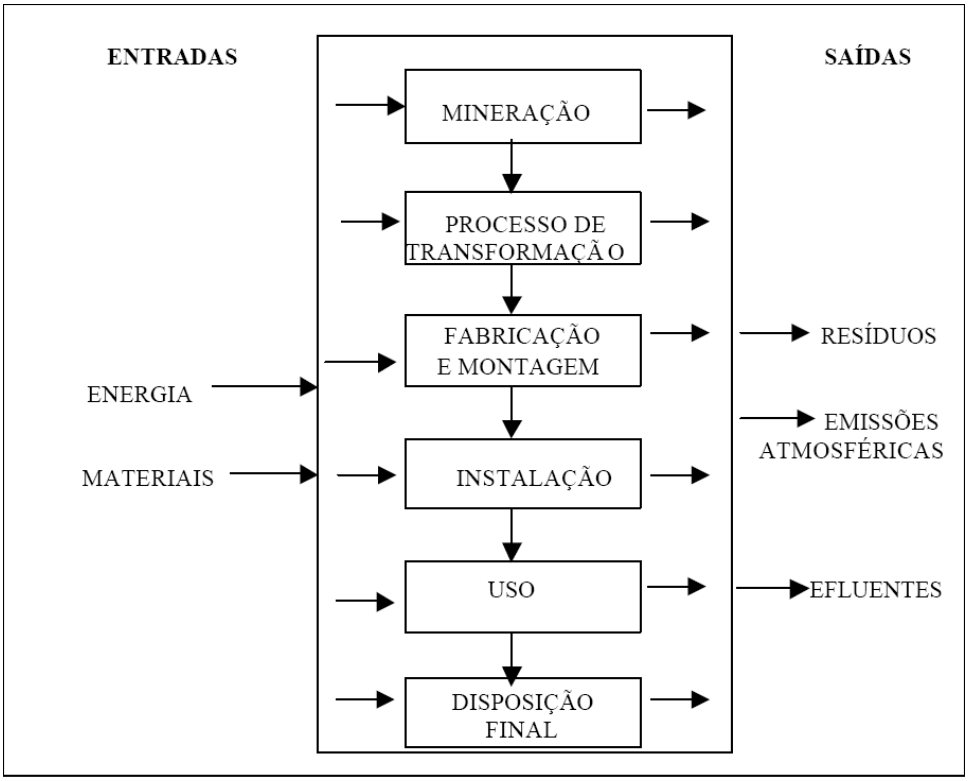


Figura 4.1- Fluxograma a ser utilizado na ACV. (Taborianski, 2002)

Neste trabalho, serão analisados somente os impactos relativos as etapas de mineração, processos de transformação e uso, assim como foi proposto por TABORIANSKI (2002). A justificativa para esta simplificação deve-se ao fato de que há poucas informações sobre a etapa de fabricação e montagem e de que as fases de instalação e disposição final apresentam pouca influência nos resultados.

Na etapa de uso, dever-se-ia considerar os impactos ambientais gerados no processo de geração de energia elétrica. Porém, como foi verificado no item 3.3, há a predominância hídrica na geração de energia no Brasil, processo que não gera aspectos ligados à acidificação. Deste modo, serão desconsiderados estes impactos ambientais neste trabalho.

4.5 Definição do modelo residencial

Para que seja feito o inventário deste estudo, é necessária uma descrição completa de todos os componentes do sistema de aquecimento de uma residência. Por este trabalho ser um complemento do trabalho feito por TABORIANSKI (2002), o modelo a ser utilizado é o mesmo. O modelo para o estudo do chuveiro elétrico foi desenvolvido pela empresa TESIS ENGENHARIA LTDA, enquanto que no caso de aquecimento de água por aquecimento solar foi desenvolvido pela AGÊNCIA ENERGIA Projeto e Consultoria em Engenharia Térmica Ltda. Os sistemas estão descritos na seção ANEXO B.

4.6 SimaPro

Neste estudo de caso, decidiu-se utilizar para a determinação do Inventário do Ciclo de Vida (em inglês, LCI) a ferramenta computacional SimaPro (SimaPro, 2011), que é produzido pela PRÉ-Product Ecology Consultants. Existe uma versão experimental reduzida gratuita na Internet, porém uma versão educacional completa pôde ser obtida junto ao fabricante (versão 7.3.2).

Para a realização do estudo, as seguintes etapas devem ser realizadas:

1) Quantificação de cada material a ser utilizado em cada sistema de aquecimento (etapa da mineração)
2) Listagem dos processos industriais que cada material é submetido durante a etapa de transformação
3) Determinação dos gastos com transporte
4) Montagem dos sistemas

Estas etapas são extremamente importantes pois são usadas como entradas do SimaPro, que tem um banco de dados com diversos processos de fabricação já estabelecidos.

4.7 Determinação dos materiais utilizados no sistema

Os materiais que compões os sistemas estudados foram os mesmos utilizados por TABORIANSKI (2002), que são listados a seguir:

- PVC
- COBRE
- LATÃO
- CPVC
- VIDRO
- ALUMÍNIO
- POLIETILENO
- AÇO
- BRONZE

Algumas simplificações foram feitas em relações às ligas utilizadas: considerou-se que o PVC tem em sua composição 43% de eteno e 57% de cloro, a composição do polietileno tem em sua composição de 82% a 100% de eteno, porém, para simplificação do procedimento, considerou-se 100% de eteno em sua composição.

Quanto à composição das ligas de bronze e latão, foram utilizadas as seguintes premissas: a liga de latão é de 67% de cobre e 33% de zinco e a do bronze é de 82% de cobre, 8% de zinco, 7% de chumbo e 3% de estanho.

4.8 Determinação dos processos de transformação

Após a extração dos minerais, estes devem sofrer processos de transformação em siderúrgicas para que possa ser obtido os componentes que servirão para a montagem dos sistemas de aquecimento. Como já foi dito no item 4.6, a ferramenta computacional utilizada contém um banco de dados com diversos processos. A figura 4.2 apresenta a interface do SimaPro para um processo de transformação.

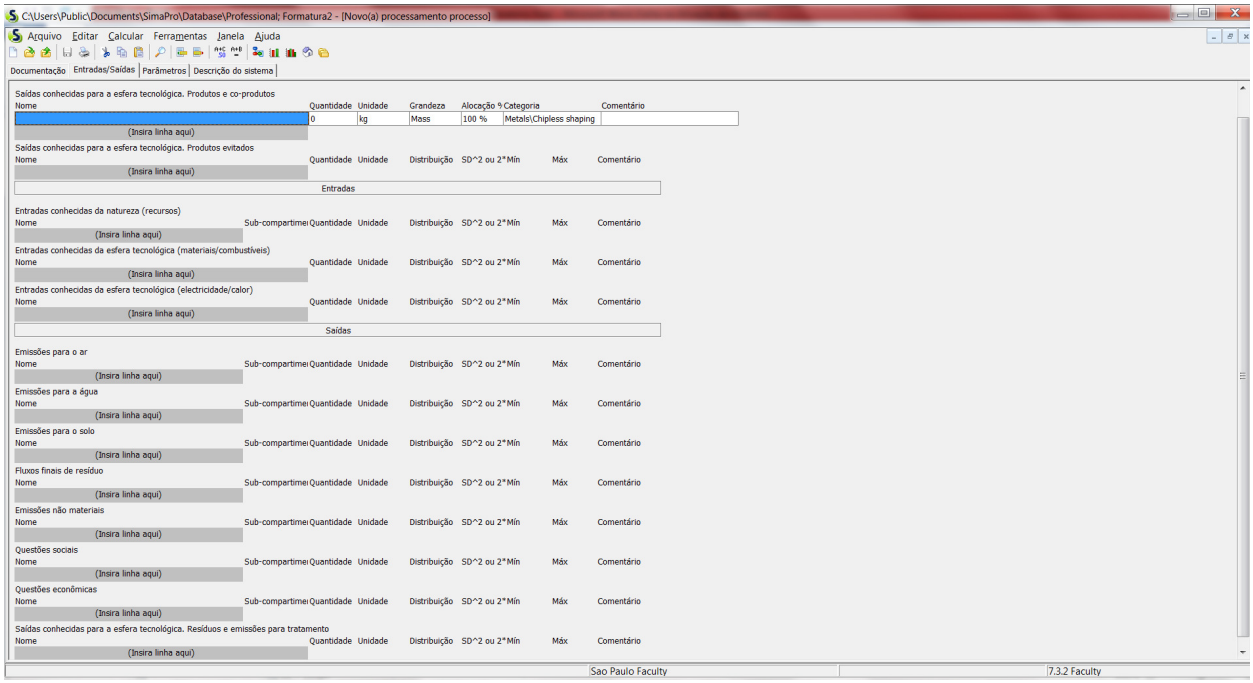


Figura 4.2- Interface do SimaPro para um processo de transformação. (SimaPro, 2011)

Nesta interface, os seguintes dados devem ser anexados para que o programa faça os cálculos de impactos ambientais:

- Produto a ser analisado, junto a sua quantidade e categoria;
- Entradas (recursos, materiais/combustíveis e eletricidade/calor);
- Saídas (emissões e resíduos).

Neste estudo de caso, foram considerados os seguintes processos de transformação para a obtenção dos materiais dos sistemas de aquecimento de água.

1) Chuveiro elétrico

- Siderurgia do aço
- Cobre eletrolítico
- Transformação do alumínio
- Níquel Eletrolítico
- Zinco eletrolítico
- Cromo
- Produção de tubos de PVC

2) Aquecedor solar

- Cobre eletrolítico
- Estanho metálico
- Chumbo metálico
- Zinco metálico
- Siderurgia do aço
- Produção de vidro e lã de vidro
- Produção de tubos de PVC
- Refinamento do petróleo para obtenção do polietileno

4.9 Transporte

Os gastos de energia relativos ao transporte das matérias-primas para um centro de montagem foram considerados do seguinte modo: transporte rodoviário entre as grandes siderúrgicas nacionais até um centro de montagem na cidade de São Paulo. Decidiu-se por um centro de montagem hipotético nesta capital, pois este estudo de caso passa-se nesta cidade.

A localização das siderúrgicas adotada neste estudo é a mesma da utilizada por TABORIANSKI (2002). Isto foi feito, pois o escopo deste trabalho de formatura não previa um estudo aprofundado da situação das siderúrgicas no Brasil.

Sendo assim, considerou-se que toda bauxita é extraída pela Companhia Brasileira de Alumínio (CBA) da mina de Poços de Caldas, de onde é enviada para a usina de Britagem (MG) por via terrestre, seguindo então para a cidade de Alumínio (SP) para a fábrica da CBA via ferrovia.

Segundo TABORIANSKI (2002), todo o cobre produzido no Brasil é obtido pela CARAÍBA METAIS S/A, que tem fábrica em Camaçari, Bahia. A extração é feita nas minas de Jaguarari (SC), de onde o material é enviado para a Bahia por via ferroviária, seguindo posteriormente para São Paulo (rodoviário).

Já o zinco é extraído em minas na cidade de Vazante (MG), de onde segue para as siderúrgicas em Três Marias (BA) por transporte rodoviário, seguindo então para São Paulo com o mesmo meio de transporte.

De acordo com TABORIANSKI (2002), a cromita é extraída pela empresa MAGNETISA S.A, que extrai o minério e envia para suas siderúrgicas, percorrendo 1600 quilômetros de caminhão, seguindo então para São Paulo também por vias terrestres (600 km).

A cassiterita, minério do qual é extraído o estanho, é extraída nas minas de Pitinga, de onde segue para Manaus de caminhão par que seja embarcado para Santos. Do porto de santos o segue de trem até a cidade de Jundiaí, de onde parte de caminhão para a fábrica da empresa MAMORÉ S.A, localizada em Pirapora do Bom Jesus. De lá, o material segue para o destinatário final, São Paulo.

Para a fabricação do PVC e do Polietileno, considerou-se que o PVC é fabricado em Maceió (AL) na OPP QUÌMICA S.A, que o vende para a TUBOS E CONEXÕES TIGRE, situada em Joinville (transporte rodoviário). De Santa Catarina, os tubos seguem para São Paulo.

No caso do vidro, considerou-se o transporte da areia até a indústria em Caçapava (300 km), de onde o material segue de caminhão para São Paulo.

Considerou-se para este trabalho de conclusão de curso, que o minério de ferro é obtido no Quadrilátero Ferrífero (obtido pela empresa MINERAÇÕES BRASILEIRAS REUNIDAS S.A. - MBR, próximo de Belo Horizonte, de onde ele é transportado para a COSIPA em Cubatão (transporte ferroviário). Do litoral paulista, o material segue de caminhão para São Paulo.

O níquel é extraído em Niquelândia, onde também se encontram as indústrias do setor, seguindo então para São Paulo via transporte rodoviário.

Porém, os processos utilizados no SimaPro já prevêem o transporte da mina até as siderúrgica, o que permite que sejam desprezados estes trajetos. A tabela 4.2 apresenta de modo resumido os transportes do material que compõe os sistemas de aquecimento das indústrias até o consumidor final.

Tabela 4.2- Transportes do material que compõe os sistemas de aquecimento das indústrias até o consumidor final

Material	Trajeto	Meio de transporte	Distância (km)
Zinco	Três Marias/ São Paulo	Rodoviário	894
Níquel	Niquelândia/ São Paulo	Rodoviário	1387
PVC e Polietileno	Joinville/ São Paulo	Rodoviário	545
Alumínio	Britagem/ Alumínio	Ferroviário	290
	Alumínio/ São Paulo	Rodoviário	80
Cobre	Camaçari/ São Paulo	Rodoviário	2000
Aço	Cubatão/ Mogi das Cruzes	Rodoviário	120
	Mogi das Cruzes/ São Paulo	Rodoviário	63
Cromo	Siderúrgica/ São Paulo	Rodoviário	600
Estanho	Pirapora do Bom Jesus/ São Paulo	Rodoviário	60
Vidro	Caçapava/ São Paulo	Rodoviário	120

4.10 Estágio de uso

Para o cálculo da energia transferida para a água durante seu aquecimento, utilizou-se o seguinte princípio:

$$E = m.C.(T_{aq} - T_{af})$$

Em que:

E: potência gerada pelo sistema de aquecimento (W);

m: vazão em massa de água (kg/s);

C: calor específico da água (kJ/kg°C);

T_{aq}: Temperatura dá água quente (°C);

T_{af}: Temperatura da água fria (°C).

Deve-se ressaltar que foi desprezado o efeito de compressibilidade da água, pois se tratam de vazões e temperaturas pequenas. Será utilizado o valor de 4,2 kJ/kg°C para o calor específica da água.

Em relação à temperatura, considerou-se qua a água fria está a 27°C, enquanto que a água quente, segundo comunicação verbal do Eng.? Prado, a temperatura mínima da água quente deve ser de 37°C para que se tenha um banho confortável. Deste modo, a água será aquecida de 18°C para 37°C.

De acordo com comunicação verbal do Eng. Racine T. A. Prado, a vazão média de um chuveiro elétrico é de 0,05 l/s, enquanto que para o coletor solar, a vazão é de 0,2 l/s.

5. RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos neste estudo de caso.

5.1 Resultados obtidos com a Análise do Ciclo de Vida

De acordo com a metodologia definida no capítulo 4, foram obtidos os resultados utilizando o SimaPro. Os dados de entrada são as quantidades de materiais e energia utilizada durante o ciclo de vida e as saídas são os danos ambientais gerados pelos mesmos, sendo o objeto do estudo as emissões de NO e NO_2.

As tabelas 5.1 e 5.2 apresentam, respectivamente, os modelos de chuveiro elétrico e aquecedor que foram utilizados nesta análise.

Tabela 5.1- Montagem do sistema do chuveiro elétrico. (SimaPro,2011)

SimaPro 7.3 Educational — fase do produto — Data: 11/11/2011 Hora: 00:21:03
Projeto: Formatura2

Montagem:

Nome
Chuveiro elétrico

Materiais/Montagens			
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	6,5	kg	Indefinido
Copper concentrate, at beneficiation/GLO S	2,1	kg	Indefinido
Aluminium, production mix, at plant/RER U	0,13	kg	Indefinido
Nickel, primary, from platinum group metal production/ZA S	0,1	kg	Indefinido
Zinc, primary, at regional storage/RER S	0,02	kg	Indefinido
Chromium, at regional storage/RER U	0,02	kg	Indefinido
PVC pipe E	665,5	kg	Indefinido
Processos			
Truck 40t	368	tkm	Indefinido
Transport, train, diesel powered/US	0,036	tkm	Indefinido

Input parameters

Calculated parameters

Tabela 5.2- Montagem do sistema do aquecedor solar. (SimaPro, 2011)

SimaPro 7.3 Educational — fase do produto — Data: 11/11/2011 Hora: 00:23:52
Projeto: Formatura2

Montagem:

Nome
Aquecedor solar

Materiais/Montagens			
Steel, converter, unalloyed, at plant/RER S	2,92	kg	Indefinido
Copper concentrate, at beneficiation/GLO S	22,03	kg	Indefinido
Aluminium, production mix, at plant/RER U	17,02	kg	Indefinido
Zinc, primary, at regional storage/RER S	0,02	kg	Indefinido
PVC pipe E	443,27	kg	Indefinido
Tin, at regional storage/RER S	0,01	kg	Indefinido
Lead, primary, at plant/GLO S	0,02	kg	Indefinido
Glass, from public collection, unsorted/RER S	13,4	kg	Indefinido
Polyethylene high density granulate (PE-HD), production mi›	2,38	kg	Indefinido
Processos			
Transport, train, diesel powered/US	0,817	tkm	Indefinido
Truck 40t	289,9	tkm	Indefinido

Input parameters

Calculated parameters

Para cada conjunto, obteve-se uma rede de processos junto à ferramenta computacional utilizada, que são apresentados nas figuras 5.1 e 5.2.

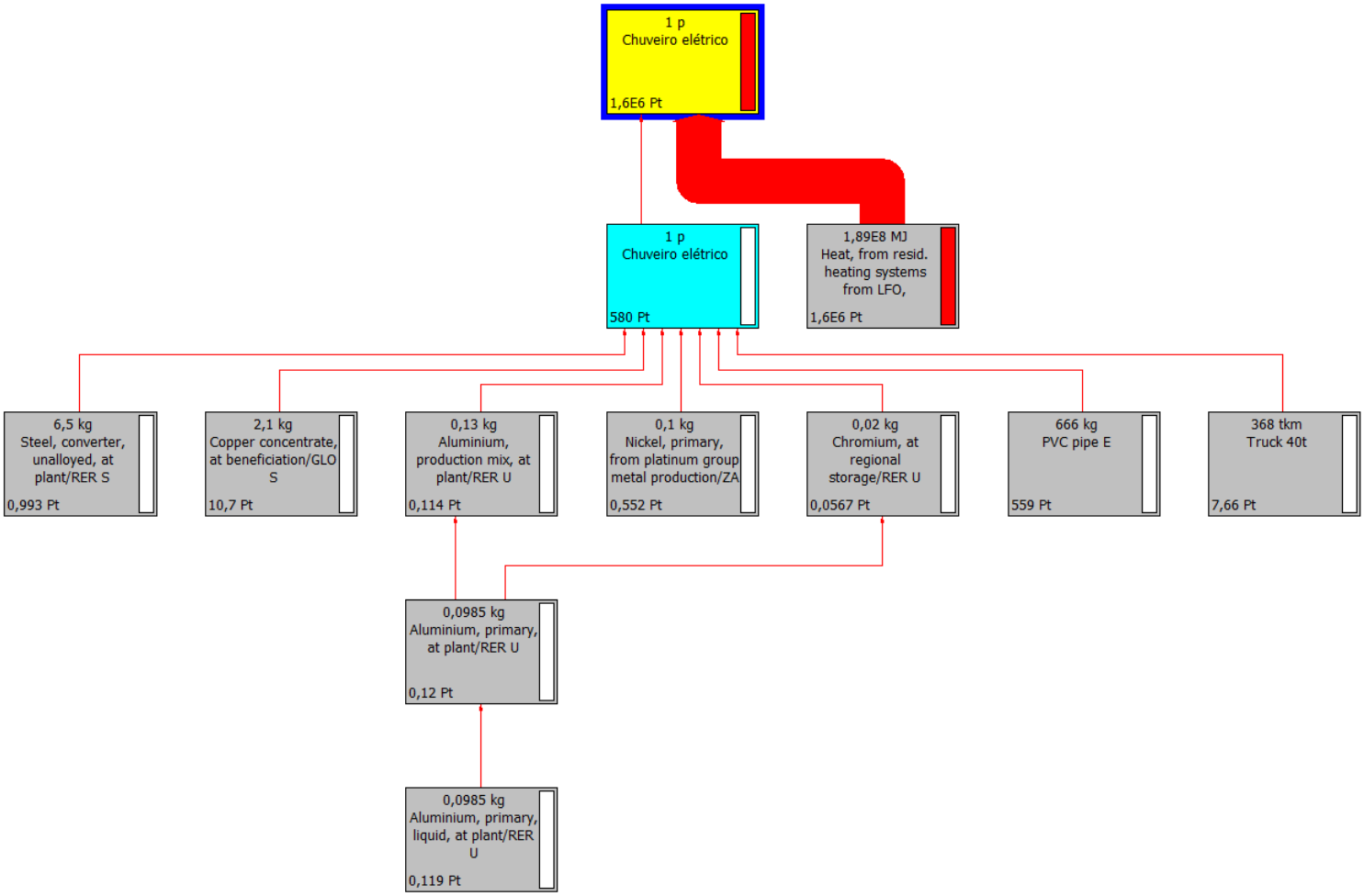


Figura 5.1- Rede da Análise do Ciclo de Vida do Chuveiro Elétrico (SimaPro, 2011)

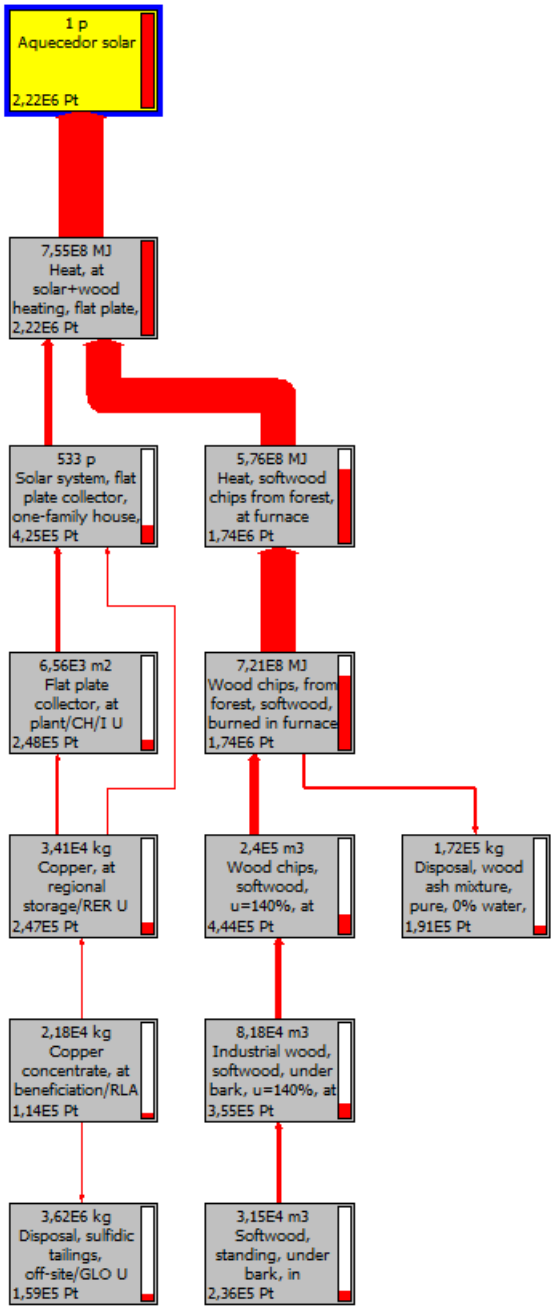


Figura 5.2- Rede da Análise do Ciclo de Vida para o Aquecedor Solar (SimaPro, 2011)

Finalmente, foram obtidos os impactos ambientais gerados no ciclo de vida de um chuveiro elétrico e de um aquecedor solar. A figura 5.3 apresenta as quantidades dos impactos ambientais gerados no ciclo de vida de um chuveiro elétrico.

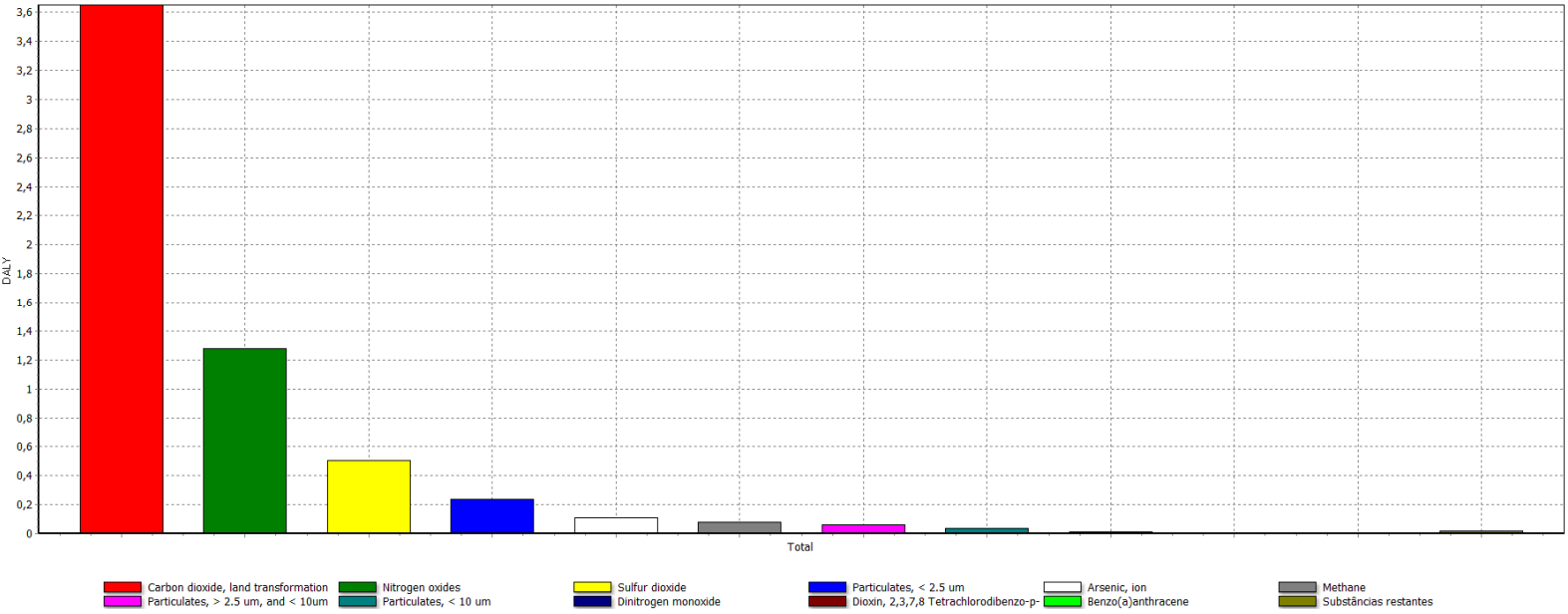


Figura 5.3- Impactos ambientais no ciclo de vida de um chuveiro elétrico. (SimaPro, 2011)

Os resultados obtidos foram apresentados na unidade DALY, que representa a qualidade de vida perdida por ano. Como pode ser verificado nesta figura, os óxidos de nitrogênio são responsáveis por, aproximadamente, 1,3 DALY. Apenas a título de comparação, o CO2 é responsável pela emissão de 3,7 DALY (somados os dois tipos de efeitos).

Analogamente, é apresentada nas figuras 5.4 os resultados para o caso do aquecedor solar. Apenas no item 5.2 é apresentada a comparação entre as duas soluções.

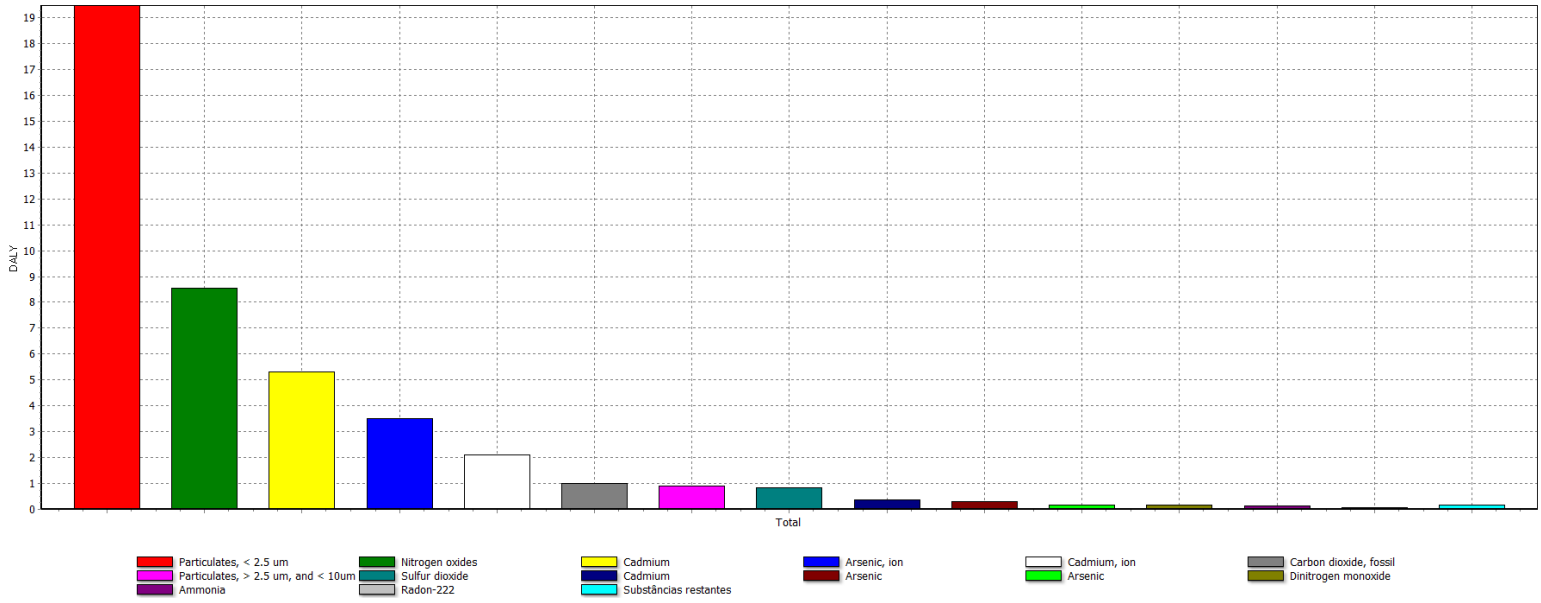


Figura 5.4- Impactos ambientais no ciclo de vida de um aquecedor solar. (SimaPro, 2011)

De acordo com o gráfico, pode- se verificar que houve uma emissão de 8,6 DALY de óxidos de nitrogênio, sendo responsável pela quarta maior emissão de gases. Neste caso, os particulados com dimensão menor que 2,5 micrometros são o impacto mais considerativo, com 19 DALY.

5.2 Análise comparativa das duas soluções

O SimaPro permite a comparação entre vários sistemas equivalentes utilizando um método. Neste trabalho, foi utilizado o Eco-Indicator 99, que é o método indicado pela ferramenta computacional, sendo que o resultado obtido é apresentado na figura 5.5.

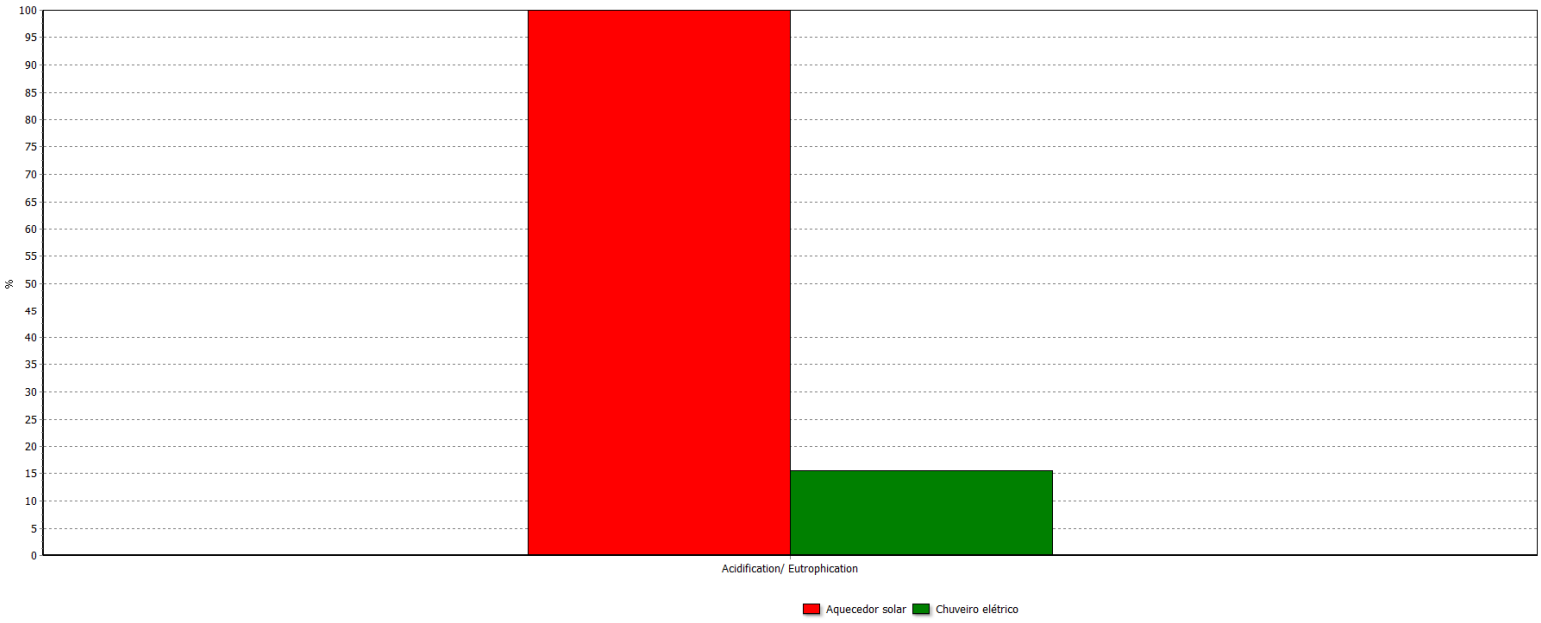


Figura 5.5- Comparação dos danos ambientais gerados pelo aquecedor solar e pelo chuveiro elétrico. (SimaPro, 2011)

O chuveiro elétrico emite aproximadamente 15% de danos relacionados à acidificação, na qual estão incluídos os óxidos de nitrogênio. Deste modo, pode-se afirmar que na consideração dos gases relacionados à chuva ácida, o chuveiro elétrico é uma solução “mais ecológica”, emitindo menor quantidade de gases ácidos.

6. CONCLUSÕES FINAIS

Observa-se pela figura 5.5 que há uma maior emissão de gases da chuva ácida no aquecedor solar do que no chuveiro elétrico. Porém, este resultado certamente teve seu resultado acentuado devido à matriz energética utilizada pelo SimaPro, que na maioria dos processos, é europeia. Tentou-se reduzir a influência da matriz utilizando processos com dados mundiais, porém os resultados obtidos mostram ainda uma influência forte da matriz energética européia.

É interessante comparar que no trabalho realizado por TABORIANSKI (2002), observou-se uma maior emissão de todos os gases referentes ao efeito estufa no chuveiro elétrico do que no aquecedor solar, conforme pode ser observado nas figuras 5.6, 5.7, e 5.8.

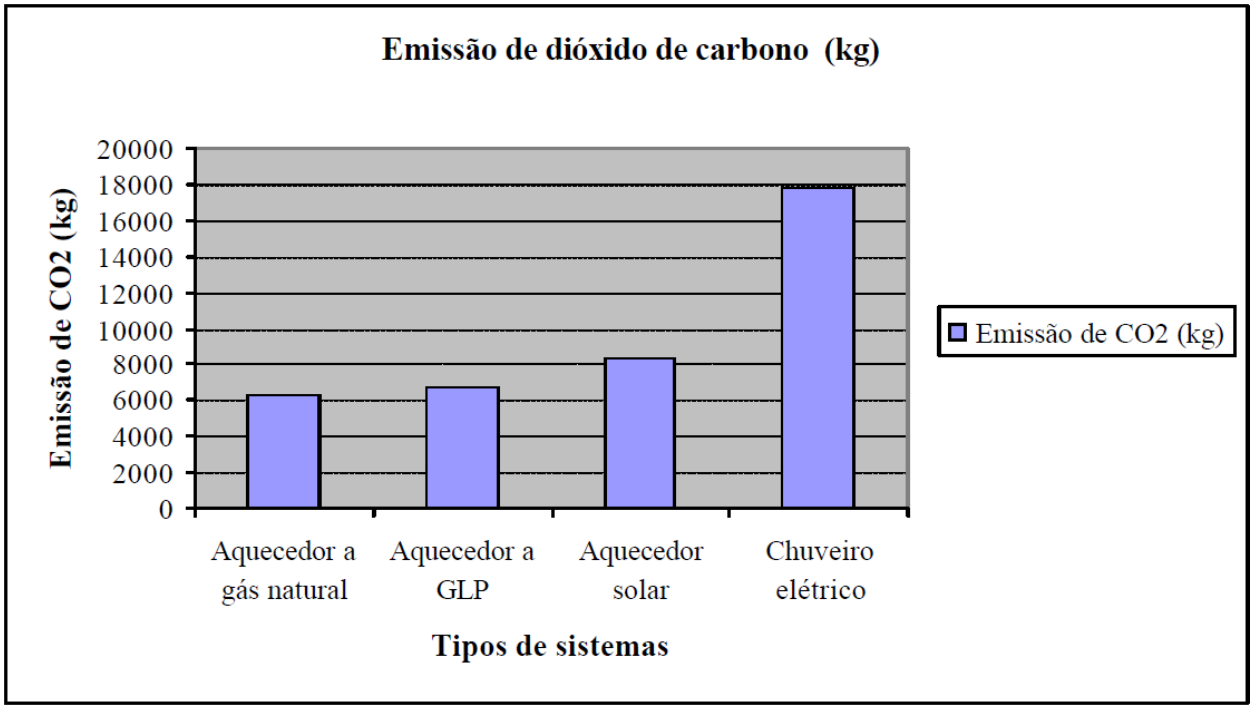


Figura 5.6- Emissão de CO_2 no ciclo de vida de diferentes sistemas de aquecimento de água. (Taborianski, 2002)

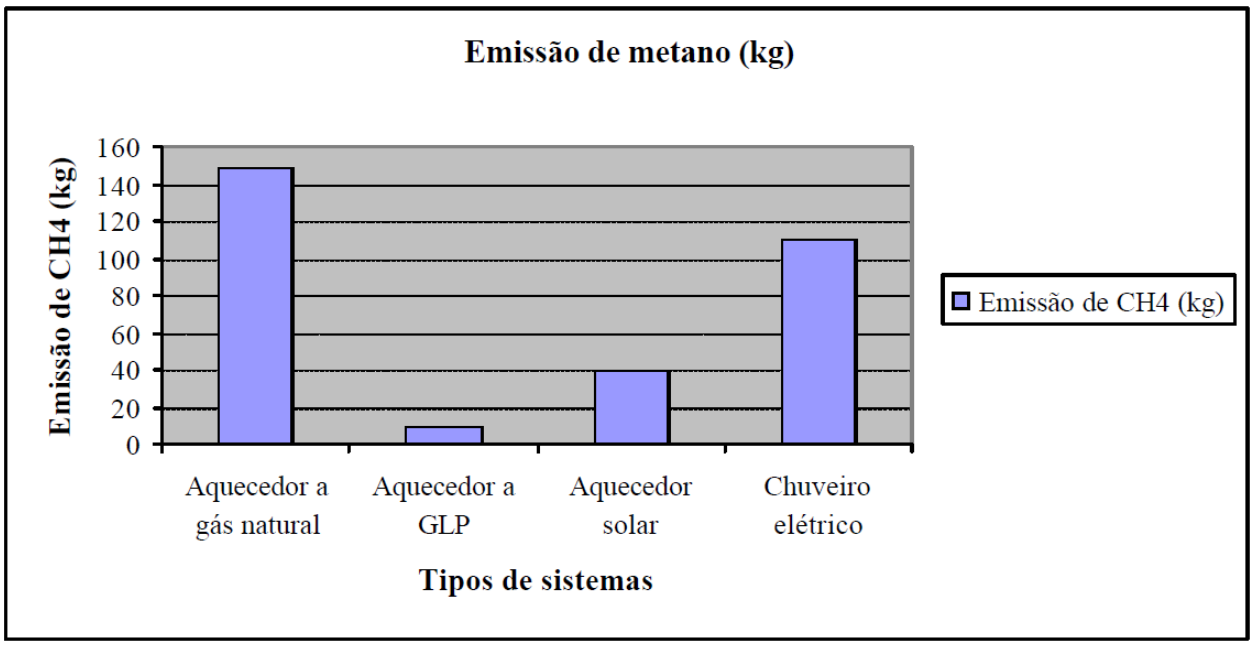


Figura 5.7- Emissão de CH_4 no ciclo de vida de diferentes sistemas de aquecimento de água. (Taborianski, 2002)

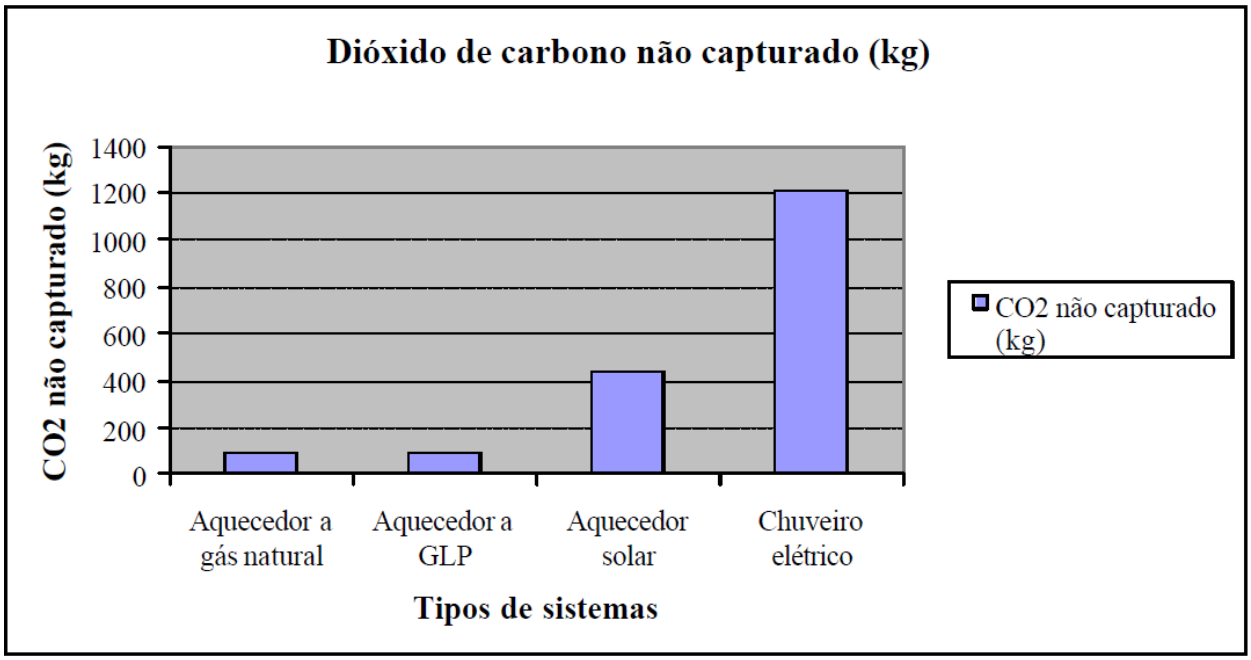


Figura 5.7- Emissão de CO_2 não capturado no ciclo de vida de diferentes sistemas de aquecimento de água. (Taborianski, 2002)

Esta comparação com o trabalho feito por TABORIANSKI (2002) confirma um aspecto relacionado ao uso da teoria da Análise do Ciclo de Vida. O aspecto aqui mencionado refere-se ao fato de que se o objetivo e escopos de um estudo são diferentes, mesmo sendo os objetos estudos os mesmos, os resultados obtidos podem ser diferentes.

Neste caso, se analisados os impactos ambientais gerados pelos gases da chuva ácida, o chuveiro elétrico é a opção menos impactante ao meio ambiente, enquanto que se estudados os impactos ambientais gerados pelo efeito estufa, o coletor solar é a solução menos impactante.

A principal dificuldade em um estudo de caso utilizando a Análise do Ciclo de Vida é a falta de dados no Brasil. Um trabalho futuro que poderia ser feito seria o levantamento completo de uma base de dados para este caso no Brasil, o que é um trabalho demorado e complexo, porém de grande valia para o estudo desta metodologia.

Ainda poderia ser estudado para este mesmo modelo, os impactos ambientais relacionados a outros importantes problemas ambientais, como a névoa fotoquímica e o buraco da camada de ozônio.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 5626:** Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.41p.

_. **NBR ISO 14040:** gestão ambiental- avaliação do ciclo de vida- princípios e estrutura. Rio de Janeiro: ABNT, 2004a.10p.

_. **NBR ISO 14041:** gestão ambiental- avaliação do ciclo de vida- definição do objetivo e escopo e análise de inventário. Rio de Janeiro: ABNT, 2004b.25p.

ABRAVA - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE REFRIGERAÇÃO, AR CONDICIONADO, VENTILAÇÃO E AQUECIMENTO. **Introdução ao sistema de aquecimento solar.** Brasília, agosto 2010.

ADALBERTH, K. Energy use during the life cycle of buildings: a method. **Building and Environment**, Oxford, pp. 317-320, 1996. Disponível em: <http://www.sciencedirect.com>. Acesso em 05maio de 2011.

CCDC. **Chuva ácida.** Disponível em <http://www.cdcc.usp.br/quimica/ciencia/chuva.html>, Acesso em 15/08/2011.

CURRAN, M. A.: **Environmental life-cycle assessment.** EUA: McGraw-Hill, 1996. 272p.

FRANKL, P., RUBIK, F.: **Life Cycle Assessment in Industry and Business- Adoption Patterns, Applications and Implications.** Alemanha: Springer, 2000. 280p.

LANDIS, W.G.;YU,M. **Introduction to environmental toxicology.** 2.ed. Boca Raton: Lewis Publishers, 1999.542p.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA (MME).: **Resultados Preliminares do Balanço Energético Nacional.** Disponível em: <https://ben.epe.gov.br/BENResultadosPreliminares2011.aspx> . Acesso em 15/08/2011.

MOURAD, A. L., GARCIA, E. E. C.; VILHENA, A.: **Avaliação do ciclo de vida: princípios e aplicações.** Campinas: CETEA/CEMPRE, 2002. 92p.

ONS - OPERADOR NACIONAL DO SISTEMA ELÉTRICO: **Mapa da Rede de Distribuição de Energia Elétrica Brasileira.** Disponível em: < http://www.ons.org.br/conheca_sistema/pop/pop_sistema_transmissao.aspx>. Acesso em 01/09/2011.

ROSE, J. **Acid rain:** environmental topics. Yverdon: Gordon and Breach Science Publishers, 1994. v.4. 272p.

SERGIPEC. **Blog Energia.** Disponível em: <http://www.sergipetec.se.gov.br>. Acesso em 28/05/2011.

SIMAPRO. **SimaPro.** SimaPro 7.3.2, que está disponível em: <http://www.pre-sustainability.com>. Acesso em agosto de 2011.

SOLETROL. **Como funciona um aquecedor solar.** Disponível em: <http://www.soletrol.com.br/educacional/comofunciona.php>. Acesso em 27/02/2011.

TABORIANSKI, V. M.: **Avaliação da contribuição das tipologias de aquecimento de água residencial para a variação dos balanços de gases de efeito estufa na atmosfera.** 2002. 134p. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2002.

TODA BIOLOGIA. **Chuva ácida.** Disponível em: < http://www.todabiologia.com/ecologia/chuva_acida.htm>. Acesso em 30/07/2011.

ANEXOS

ANEXO A- PRINCIPAIS USINAS HIDRELÉTRICAS BRASILEIRAS E RESPECTIVAS CAPACIDADES DE GERAÇÃO

Usina	Ano	Rio/Estado	Potência (MW)	Área (Km^2)
Boa Esperança	1970	Parnaíba/ PI	108	350
Caconde	1966	Pardo/SP	80	37
Cachoeira Dourada	1966	Parnaíba/GO	443	74
Cajuru	1959	Pará/GO	7	27
Camargos	1958	Grande/MG	43	76
Campo Mourão	1969	Mourão/PR	8	11
Capivara	1976	Paranapanema/SP	640	515
Capivari- Cachoeira	1970	Capivari/PR	252	13
Curuá-Uma	1977	Curuá-Una/PA	30	78
Corumbá I	1994	Corumbá/GO	375	65
Emborcação	1982	Paranaíba/MG	1192	455
Ernestina	1954	Jacuí/RS	-	4
Estreito	1969	Grande/SP	1104	46
Foz do Areia	1977	Iguaçu/PR	1674	148
Fontes	1908	Lages/RJ	134	31
Funil	1969	Par. Do Sul/RJ	216	39
Funil	1962	Das Contas/BA	30	4
Furnas	1963	Grande/MG	1312	1450
General Sampaio	1935	Curu/CE	0,5	33
H. Borden	1926	Pedras/SP	880	88
Ibitinga	1969	Tietê/SP	131	122
Ilha Solteira	1973	Paraná/SP	3230	1077
Itaipu	1991	Paraná/BR-P Y	12600	1360
Itaparica	1990	São Francisco/PE	2430	835
Itauba	1978	Jacuí/RS	500	17
Itumbiara	1980	Paranaíba/GO	2280	798
Jacuí	1963	Jacuí/RS	150	5
Jaguara	1970	Grande/SP	426	33
Jaguari	1971	Jaguari/SP	15	70
Jupiá	1968	Paraná/SP	1411	327
Jurumirim	1962	Paranapanema/SP	98	425

Lages	1907	Lages/RJ	1907	3
Marimbondo	1975	Grande/MG	1440	438
Mascarenhas	1972	Doce/ES	123	4
Moxotó	1977	São Francisco/AL	440	93
Nilo Peçanha	1953	Par. Do Sul/RJ	390	4
Nova Avanhandava	1982	Tietê/SP	302	216
Nova Ponte	1993	Araguari/MG	510	443
Paraib. Paraitinga	1978	Paraibuna/SP	86	177
Paranoá	1960	Paranoá/SP	20	40
Paredão	1975	Araguari/AP	40	23
Passo Fundo	1972	Passo Fundo/RS	221	149
Passo Real	1973	Jacuí/RS	125	221
Paulo Afonso	1955	São Francisco/BA	3984	16
Pedra	1978	Das Contas/BA	23	101
Pedra do Cavalo	1994	Paraguassu/BA	600	186
Pentecostes	1956	Canindé/CE	0,3	57
Peixoto	1957	Grande/MG	478	263
Pereira Passos	1961	Lages/RJ	105	1
Peti	1946	Santa Barbara/MG	9	6
Porto Colômbia	1973	Grande/MG	328	144
Porto Primavera	1995	Paraná/SP	1818	2250
Promissão	1975	Tietê/SP	264	531
Rosana	1988	Paranapanema/SP	320	217
Salto Grande	1957	Santo Antônio/MG	104	7
Salto Grande	1958	Paranapanema/SP	71	16
Salto Osório	1975	Iguaçu/PR	1332	41
Sal. Santiago		Iguaçu/PR	1332	208
Samuel		Jamari/RO	217	560
Serra da Mesa		Tocantins/GO	1200	1784
São Simão		Paranaíba/GO	1680	772
Segredo		Iguaçu/PR	1260	83
Sobradinho		São Francisco/BA	1050	4214
Taquaruçu		Paranapanema/SP	505	105
Três Irmãos		Tietê/SP	1292	951
Três Marias		São Francisco/MG	517	1059
Tucuruí		Tocantins/PA	4240	2430
Volta Grande		Grande/SP	380	222
Xavantes		Paranapanema/SP	414	398
Xingó		São Francisco/BA	5000	85

ANEXO B - COMPONENTES CONSTITUINTES DOS SISTEMAS DE AQUECIMENTO ANALISADOS

B.1. CHUVEIRO ELÉTRICO

ENTRADA DE ENERGIA	
DESCRIÇÃO	**QUANTIDADE**
Poste para entrada de energia, tipo "T" com 7,50 metros de altura e capacidade de 90 Kgf	0,5 peça
Caixa de medição tipo II-30 cm X 40 cm X 16 cm	1 peça
Disjuntor geral tipo IEC947-2, bipolar, 40A	1 peça
Bengala em PVC rígido Φ 3/4" com 4,0 metros de comprimento	1 peça
Eletroduto em PVC semi-rígido Φ 3/4" para telefone e aterramento	15 metros
Eletroduto em PVC semi-rígido Φ 1"	10 metros
Cabo de cobre eletrolítico com isolamento para 750V- # 10 mm²	30 metros
Condutor de cobre isolado # 10 mm² na cor verde (terra)	5 metros
Manilha de barro Φ 8" de 0,60m, com tampa de concreto e alça	1 peça
Haste de aterramento copperwel cobreada de 3/4" X 2,40 m	1 peça
Presbow com uma roldana tipo pesado	0,5 peça
Abraçadeira de ferro galvanizado chapa 16, largura 1" X 3/32" com 2 parafusos, 2 porcas e 2 arruelas apropriadas para poste quadrado	0,5 peça
Abraçadeira de ferro galvanizado chapa 16, quadrada, para fixação de 2 conduítes (um de cada lado) com 2 parafusos, 2 porvas e 2 arruelas	1 peça
Abraçadeira de ferro galvanizado chapa 16, quadrada, para fixação de 4 conduítes (dois de cada lado) com 2 parafusos, 2 porcas e 2 arruelas	0,5 peça
Suporte para fixação de um quadro de medição chapa 12 com 2 parafusos, 2 porcas e 4 arruelas	2 peças
Parafuso tipo prisioneiro 5/8" X 8" (comprimento mínimo" com 2 porcas e 2 arruelas para fixação de 2 quadros de medição	1 peça
Conector para interligação da haste cobrada com fio de cobre isolado (aterramento)	1 peça
Suporte de fixação para disjuntor geral	1 peça
Bucha em PVC 3/4"	2 peças
Arruela em alumínio Φ 3/4"	2 peças
Concreto magro para envelopamento	0,1 m³
Massa epóxi para vedação	0,05 kg

QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO	
DESCRIÇÃO	**QUANTIDADE**
Quadro de distribuição de eneria em plástico, com capacidade para 12 disjuntores padrão IEC 947-2	1 peça
Disjuntores monopolar tipo IEC 947-2	
10ª	1 peça
15ª	2 peças
Disjuntor bipolar tipo IEC 947-2 - 30A	1 peça
Interruptor diferencial residual 2P - 40A - 30 mA	1 peça

EDIFICAÇÃO	
DESCRIÇÃO	**QUANTIDADE**
Fio de cobre eletrolítico para isolação 750V - fase	
1,5 mm²	20 metros
2,5 mm²	55 metros
4,0 mm²	16 metros
Fio de cobre eletrolítico para isolação 750V - neutro (azul claro)	
1,5 mm²	25 metros
2,5 mm²	55 metros
Fio de cobre eletrolítico para isolação 750V - retorno (branco)	
1,5 mm²	32 metros
Fio de cobre eletrolítico para isolação 750V - terra (verde)	
2,5 mm²	40 metros
4,0 mm²	8 metros
Eletroduto em PVC semi-rígido	
Φ 1/2"	33 metros
Φ 3/4"	5 metros
Caixa octagonal 4"X4"	1 peça
Caixa sextavada 3"X3"	1 peça
Caixa 4"X2"	22 peças
Placa termoplástica 4"X2" com furo no centro, para chuveiro e TV	2 peças
Placa termoplástica 4"X2" com tampa cega	4 peças
Tomada universal para pinos chatos e redondos com dois polos com placa termoplástica e parafusos de fixação 10A 250V	9 peças
Tomada de dois polos + terra universal, 15 - 125/250V, com placa termoplástica e parafusos	3 peças
Interruptor simples 10A 250V, com placa termoplástica e parafusos de fixação	2 peças
Conjunto de 3 interruptores simples 10A - 250V com placa termoplástica e parafusos de fixação	1 peça
Conjunto de interruptor simples e tomada universal para pinos chatos	1 peça

e redondos de dois polos mais terra, com placa termoplástica e parafusos de fixação	
Plafonier com soquete de porcelana e globo de vidro leitoso, com base E-27	2 peças
Soquete de baquelite com base E-27	4 peças

ACESSÓRIOS	
DESCRIÇÃO	**QUANTIDADE**
Conector para chuveiro (12 bornes)	0,25 peças
Arruela de alumínio Φ 1"	1 peça
Bucha em PVC Φ 1"	1 peça
Roldana de fixação para fiação embutida no madeiramento	28 peças
Pressurizador 220V	1 peça
Chuveiro elétrico 220V - 7200W com resistência blindada	1 peça

Sistema hidráulico

COMPONENTE	**DIÂMETRO**	**QUANTIDADE**
Caixa d'água em polietileno 500 litros com tampa		1 peça
Bóia para caixa d'água Φ 20		1 peça
Adaptador soldável com flanges e anel de vedação para caixa d'água	20 mm	1 peça
	25 mm	2 peças
Tubo de PVC soldável	20 mm	19 metros
	25 mm	9 metros
Joelho de 90° soldável e com bucha de latão	20 mm X 1/2"	4 peças
	25 mm X 1/2"	1 peça
Luva soldável e com bucha de latão	20 mm X 1/2"	1 peça
Joelho 90° soldável	20 mm	6 peças
	25 mm	4 peças
TE 90° soldável	20 mm	1 peça
	25 mm	1 peça
TE de redução 90° soldável	(25 X 20) mm	2 peças
Bucha de redução soldável curta	(25 X 20) mm	1 peça
Registro de esfera VS soldável	25 mm	1 peça
Adaptador soldável curto com bolsa e rosca de registro	25 mm X 3/4"	1 peça
Luva soldável com rosca	25 mm X 3/4"	1 peça
Joelho 45° soldável	25 mm	1 peça
Kit Cavalete d'água	1/2"	1 peça
Mangueira plástica para gás Φ 1/2"		2 metros
Abraçadeira para mangueira plástica de gás Φ 1/2"		2 peças

B.2. AQUECEDOR SOLAR

ENTRADA DE ENERGIA	
DESCRIÇÃO	**QUANTIDADE**
Poste para entrada de energia, tipo "T" com 7,50 metros de altura e capacidade de 90 Kgf	0,5 peça
Caixa de medição tipo II-30 cm X 40 cm X 16 cm	1 peça
Disjuntor geral tipo IEC947-2, bipolar, 40A	1 peça
Bengala em PVC rígido Φ 3/4" com 4,0 metros de comprimento	1 peça
Eletroduto em PVC semi-rígido Φ 3/4" para telefone e aterramento	15 metros
Eletroduto em PVC semi-rígido Φ 1"	10 metros
Cabo de cobre eletrolítico com isolamento para 750V- # 10 mm²	30 metros
Condutor de cobre isolado # 10 mm² na cor verde (terra)	5 metros
Manilha de barro Φ 8" de 0,60m, com tampa de concreto e alça	1 peça
Haste de aterramento copperwel cobreada de 3/4" X 2,40 m	1 peça
Presbow com uma roldana tipo pesado	0,5 peça
Abraçadeira de ferro galvanizado chapa 16, largura 1" X 3/32" com 2 parafusos, 2 porcas e 2 arruelas apropriadas para poste quadrado	0,5 peça
Abraçadeira de ferro galvanizado chapa 16, quadrada, para fixação de 2 conduítes (um de cada lado) com 2 parafusos, 2 porvas e 2 arruelas	1 peça
Abraçadeira de ferro galvanizado chapa 16, quadrada, para fixação de 4 conduítes (dois de cada lado) com 2 parafusos, 2 porcas e 2 arruelas	0,5 peça
Suporte para fixação de um quadro de medição chapa 12 com 2 parafusos, 2 porcas e 4 arruelas	2 peças
Parafuso tipo prisioneiro 5/8" X 8" (comprimento mínimo" com 2 porcas e 2 arruelas para fixação de 2 quadros de medição	1 peça
Conector para interligação da haste cobrada com fio de cobre isolado (aterramento)	1 peça
Suporte de fixação para disjuntor geral	1 peça
Bucha em PVC 3/4"	2 peças
Arruela em alumínio Φ 3/4"	2 peças
Concreto magro para envelopamento	0,1 m³
Massa epóxi para vedação	0,05 kg

QUADRO DE DISTRIBUIÇÃO	
DESCRIÇÃO	**QUANTIDADE**
Quadro de distribuição de eneria em plástico, com capacidade para 12 disjuntores padrão IEC 947-2	1 peça
Disjuntores monopolar tipo IEC 947-2	
10ª	1 peça
15ª	2 peças
Disjuntor bipolar tipo IEC 947-2 - 30A	1 peça
Interruptor diferencial residual 2P - 40A - 30 mA	1 peça

EDIFICAÇÃO	
DESCRIÇÃO	**QUANTIDADE**
Fio de cobre eletrolítico para isolação 750V - fase	
1,5 mm²	20 metros
2,5 mm²	55 metros
4,0 mm²	16 metros
Fio de cobre eletrolítico para isolação 750V - neutro (azul claro)	
1,5 mm²	25 metros
2,5 mm²	55 metros
Fio de cobre eletrolítico para isolação 750V - retorno (branco)	
1,5 mm²	32 metros
Fio de cobre eletrolítico para isolação 750V - terra (verde)	
2,5 mm²	40 metros
4,0 mm²	8 metros
Eletroduto em PVC semi-rígido	
Φ 1/2"	33 metros
Φ 3/4"	5 metros
Caixa octagonal 4"X4"	1 peça
Caixa sextavada 3"X3"	1 peça
Caixa 4"X2"	22 peças
Placa termoplástica 4"X2" com furo no centro, para chuveiro e TV	2 peças
Placa termoplástica 4"X2" com tampa cega	4 peças
Tomada universal para pinos chatos e redondos com dois polos com placa termoplástica e parafusos de fixação 10A 250V	9 peças
Tomada de dois polos + terra universal, 15 - 125/250V, com placa termoplástica e parafusos	3 peças
Interruptor simples 10A 250V, com placa termoplástica e parafusos de fixação	2 peças
Conjunto de 3 interruptores simples 10A - 250V com placa termoplástica e parafusos de fixação	1 peça

Conjunto de interruptor simples e tomada universal para pinos chatos e redondos de dois polos mais terra, com placa termoplástica e parafusos de fixação	1 peça
Plafonier com soquete de porcelana e globo de vidro leitoso, com base E-27	2 peças
Soquete de baquelite com base E-27	4 peças

ACESSÓRIOS	
DESCRIÇÃO	**QUANTIDADE**
Conector para chuveiro (12 bornes)	0,25 peças
Arruela de alumínio Φ 1"	1 peça
Bucha em PVC Φ 1"	1 peça
Roldana de fixação para fiação embutida no madeiramento	28 peças
Pressurizador 220V	1 peça
Chuveiro elétrico 220V - 5200W com resistência blindada	1 peça

Sistema hidráulico

COMPONENTE	**DIÂMETRO**	**QUANTIDADE**
Registro de gaveta de cobre	3/4"	1 peça
Registro de pressão de cobre	3/4"	1 peça
Misturador 764 de cobre	3/4"X22mmX3/4"	1 peça
Cotovelo 607 de cobre	22mm	5 peças
Cotovelo RF 707-3 de cobre	22mm X 3/4"	1 peça
Cotovelo RM 707-4 de cobre	22mm	1 peça
Conector RM 604 de cobre	22mm X 3/4"	2 peças
Elumaflex esp. 5 mm	22mm	10 m
Tubo de cobre	22mm	10 m
União 733-3 de cobre	22mm X 3/4"	1 peça
Tê 90 soldável PVC	25mm	1 peça
Joelho 90 soldável PVC	25mm	6 peças
União com rosca PVC	3/4"	1 peça
Adaptador sold. Bolsa/rosca PVC	25mm X 3/4"	1 peça
Tubo PVC rígido soldable PVC	25mm	5 m
Reservatório térmico 200 L		1 peça
Resistência elétrica 2000 W		1 peça
Coletor solar 2 m²		1 peça