

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

Alfredo Boggi Duarte

alfredo.boggi@gmail.com

Resumo. O objetivo deste trabalho é avaliar o desempenho de sistemas de aquecimento de água residencial utilizando a metodologia da Análise do Ciclo de Vida (ACV), na qual devem ser analisados os efeitos ambientais durante todo o ciclo de vida do produto. Os sistemas estudados são: o chuveiro elétrico, que é a solução mais utilizada no Brasil, e os coletores solares, solução teoricamente mais ecológica. O modelo utilizado é o proposto por TABORIANSKI (2002), sendo que os impactos ambientais estudados são de dois dos principais gases da chuva ácida: o NO e o NO₂.

Palavras chave: 1. Sistema de aquecimento de água, 2. Energia Solar, 3. Ciclo de Vida (Análise)

1. Introdução

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.

A metodologia começou a ser desenvolvida na década de 1960, porém ganhou importância após a crise do petróleo, de quando são datados os primeiros estudos de balanços energéticos dos processos. Nestes, foram feitos os primeiros fluxogramas, que serviram de base para a metodologia. Com o início da conscientização ambiental na década seguinte, os estudos estenderam-se aos impactos ambientais.

Segundo a ISO 14040 (2004), que é uma das normas técnicas (criada pela International Organization for Standardization) que parametriza o estudo da Análise do Ciclo de Vida, a ACV é dividida em quatro etapas, conforme apresenta a figura 1.

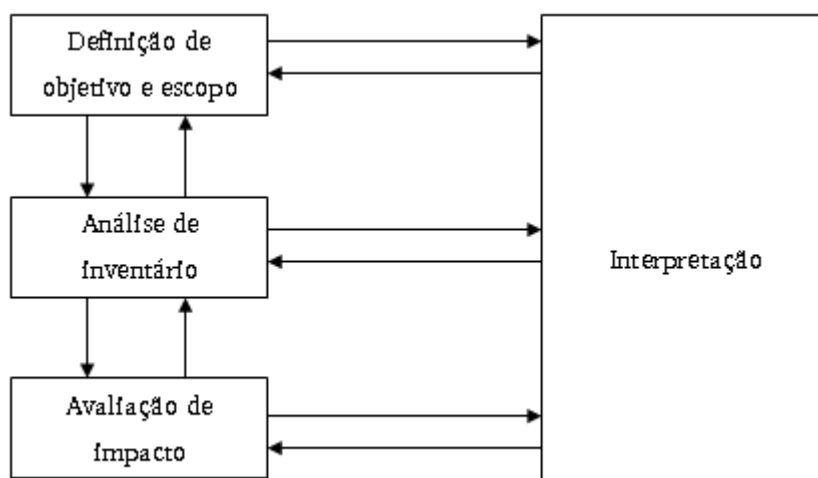


Figura 1. Modelo da Análise do Ciclo de Vida. (Curran, 1996)

1.1 Definição de objetivo e escopo

Consiste-se em definir o motivo da pesquisa, explicando qual é o objetivo a ser alcançado utilizando a metodologia, bem como o escopo do estudo. A ISO 14041 é a norma que parametriza a definição do objetivo e escopo.

Algumas observações sobre esta etapa inicial do estudo devem ser feitas:

- A metodologia é por natureza comparativa, ou seja, é utilizada por empresas para auxiliar na decisão entre um produto ou processo em relação a outro.
- Quanto maior for a importância da decisão a ser tomada, mais amplo e abrangente deve ser o estudo.
- Hipóteses simplificadoras podem ser feitas, porém estas devem ser feitas com cautela para que o estudo não forneça resultados distorcidos ou errôneos.

1.2 Análise do Inventário

Na Análise do Inventário, que também é conhecida no meio acadêmico pela sigla em inglês LCI (Life Cycle Inventory), faz-se o levantamento de dados para que o estudo da metodologia seja feito. Esta etapa é de grande importância, uma vez que se os dados forem imprecisos ou insuficientes, o resultado do estudo pode ser comprometido.

1.3 Avaliação do Impacto

De acordo com CURRAN (1996), a maior dificuldade existente em qualquer estudo que utiliza a ACV é relacionar os resultados obtidos pelo inventário com os possíveis impactos ambientais causados pelo produto e/ou processo.

Para facilitar esta etapa do processo, a Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC), dividiu esta etapa em três momentos, listados a seguir:

- Classificação (separação de cada efeito em uma determinada classe)
- Caracterização (caracterização da magnitude do impacto na classe escolhida)
- Valorização (ponderação dos efeitos)

1.4 Interpretação

Verificação se o objetivo e o escopo foram alcançados, podendo assim afirmar, qual das soluções propostas é “melhor do ponto de vista ecológico”. Atualmente, é importante para uma empresa ser vista como “ecologicamente correta”, visto que isto atrai o consumidor.

2. A chuva ácida

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 chuva tem caráter levemente ácido (devido a existência do CO₂ em sua constituição), porém a chuva é denominada “chuva ácida” se apresentar pH inferior a 5,5.

Os principais gases precursores deste fenômeno são os óxidos de nitrogênio (NO_x), SO₂ e compostos orgânicos voláteis (ROSE et al, 1994 apud TABORIANSKI, 2002). Os óxidos de nitrogênio podem aparecer de seis formas diferentes no meio ambiente: N₂O, NO, NO₂, N₂O₃, N₂O₄ e N₂O₅, sendo o NO₂ a forma mais nociva aos seres vivos.

A reação de formação de sua forma mais nociva é apresentada a seguir:



Como já foi dito no resumo, o objeto deste trabalho é verificar os impactos ambientais associados a dois dos mais importantes gases da chuva ácida: o NO e o NO₂, que podem provocar irritações no sistema pulmonar, além de alterações no mesmo.

3. Metodologia aplicada

Decidiu-se neste estudo utilizar como modelo de residência para ser estudado com o auxílio da Análise do Ciclo de Vida o mesmo que foi proposto por TABORIANSKI (2002) em sua tese de mestrado. No estudo realizado por TABORIANSKI (2002) foi feita uma análise dos principais gases do efeito estufa, o CO₂ e o CH₄, enquanto que o objetivo agora proposto é um estudo de dois dos principais gases da chuva ácida, o NO e o NO₂.

Para determinar a unidade funcional, que serve para definir qual a função que deve ser realizada pelos sistemas comparados (conforme ISO 14040), várias hipóteses simplificadoras foram feitas:

- Local do estudo: cidade de São Paulo
- Família popular
- Residência com 3 moradores
- Tempo médio diário de banho: 10 minutos
- Número de banhos diários por pessoa: 1
- Vida útil dos equipamentos: 20 anos (segundo a ABRAVA- Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento)

Utilizando as hipóteses apresentadas a seguir, se obteve como unidade funcional 2628000 litros de água. Serão apresentados a seguir os sistemas estudados: o chuveiro elétrico e o coletor solar.

3.1 Chuveiro elétrico

O chuveiro elétrico é certamente a alternativa mais utilizada para aquecer água em residências no Brasil. Os motivos para esta preferência são diversos, como o custo do aparelho e a fácil manutenção.

Assim como o proposto por TABORIANSKI (2002), o modelo de chuveiro elétrico utilizado será de um chuveiro elétrico com potência nominal de 5500W e resistência blindada. Encontram-se em anexo a especificação e a quantificação de componentes do sistema do chuveiro elétrico.

3.2 Coletor solar

Os coletores solares são utilizados usualmente para aquecer a água da rede para tarefas do dia-a-dia, como tomar banho, cozinhar e etc. Este equipamento em si é apenas um dos componentes do sistema de aquecimento solar, sendo os demais o boiler e o sistema auxiliar, que é utilizado somente o sistema principal não fornece água quente suficiente.

TABORIANSKI (2002) utilizou um coletor do tipo plano, o que permite a melhor aproximação possível com a realidade. Essa afirmação pode ser comprovada com a figura 2, que apresenta os dados do Mercado nacional em 2008.



Figura 2. Mercado nacional de coletores solares no ano de 2008. (ABRAVA, 2008)

3.3 Fluxograma utilizado

Para que possa ser feita uma análise utilizando a Análise do Ciclo de Vida, deve-se adotar um fluxograma, no qual as entradas são os materiais e energia utilizados durante a vida do produto, e as saídas, os resíduos, as emissões atmosféricas e o efluentes gerados. A figura 3 apresenta o fluxograma do processo analisado.

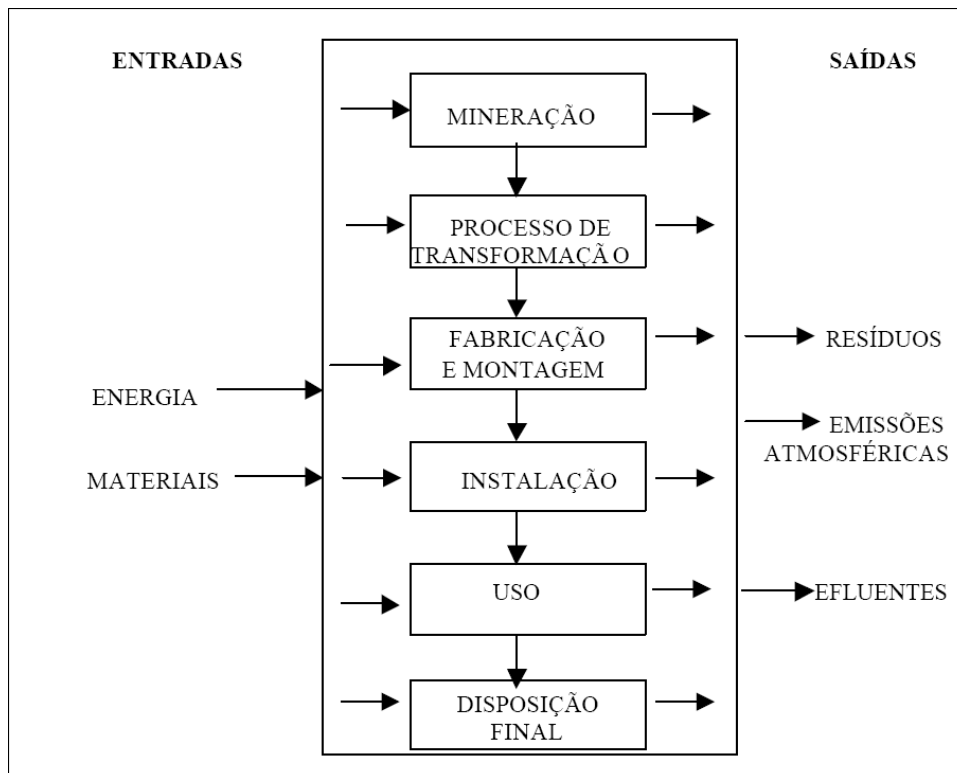


Figura 3. Fluxograma do processo.(TABORIANSKI, 2002)

Como já foi dito no item 1.1, podem ser feitos ajustes ou simplificações no processo, desde que os objetivos sejam obtidos sem que haja distorções nos resultados obtidos. Assim como o proposto por TABORIANSKI (2002), serão consideradas somente as etapas de mineração, processos de transformação uso. 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.

Outra simplificação que foi feita neste trabalho é a desconsideração dos impactos ambientais gerados na produção da energia elétrica que é utilizada na etapa de uso do chuveiro elétrico. Fêz-se esta hipótese, pois no caso brasileiro, a matriz energética é predominantemente hídrica, conforme a figura 4, obtida dos Resultados Preliminares do Balanço Energético Nacional do Ministério de Minas e Energia (2011). No processo de obtenção de energia elétrica em hidrelétricas não há a emissão de gases relacionados à chuva ácida.

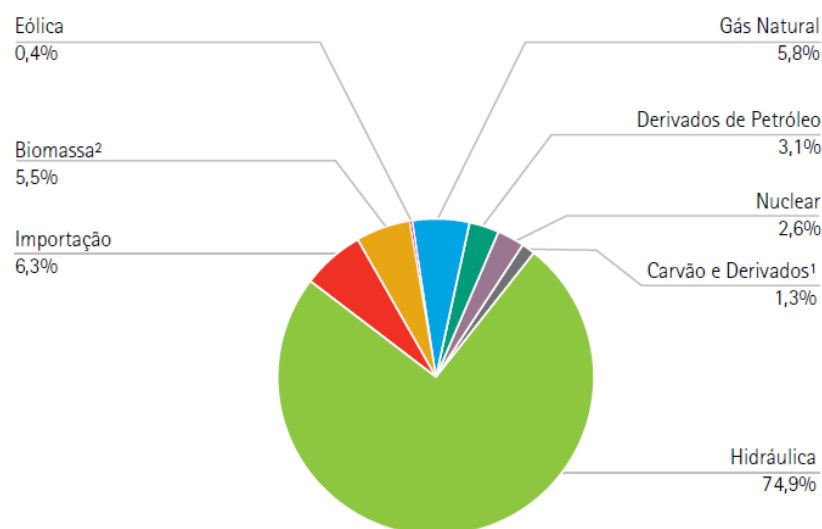


Figura 4. Matriz energética nacional de gerado de energia em %. (MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, 2011).

3.4 SimaPro

Para a realização das análises, foi utilizada como ferramenta computacional o SimaPro (Simapro, 2011), que é fabricado pela Pré- Product Ecology Consultants. Está disponibilizada na internet uma versão demo, porém foi obtida uma versão educacional junto ao fabricante.

A figura 5 apresenta a página de caracterização de um processo de transformação. Pode-se observar que devem ser listadas as entradas, com suas respectivas entradas, e as saídas, que são as emissões.

Nome	Quantidade	Unidade	Grandezas	Alocação %	Categoria	Comentário
(insira linha aqui)	0	kg	Mass	100 %	Metal/Chipless shaping	

Nome	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 ou 2*Min	Máx	Comentário
(insira linha aqui)						

Nome	Sub-compartime	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 ou 2*Min	Máx	Comentário
(insira linha aqui)							

Nome	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 ou 2*Min	Máx	Comentário
(insira linha aqui)						

Nome	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 ou 2*Min	Máx	Comentário
(insira linha aqui)						

Nome	Sub-compartime	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 ou 2*Min	Máx	Comentário
(insira linha aqui)							

Nome	Sub-compartime	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 ou 2*Min	Máx	Comentário
(insira linha aqui)							

Nome	Sub-compartime	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 ou 2*Min	Máx	Comentário
(insira linha aqui)							

Nome	Sub-compartime	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 ou 2*Min	Máx	Comentário
(insira linha aqui)							

Nome	Sub-compartime	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 ou 2*Min	Máx	Comentário
(insira linha aqui)							

Nome	Sub-compartime	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 ou 2*Min	Máx	Comentário
(insira linha aqui)							

Nome	Quantidade	Unidade	Distribuição	SD*2 ou 2*Min	Máx	Comentário
(insira linha aqui)						

Figura 5. Interface do SimaPro para um processo de transformação (SimaPro, 2011)

Deste modo, serão apresentados nos itens seguintes os materiais e processos considerados no inventário de vida dos sistemas de aquecimento. Os processos de transformação selecionados pertencem ao banco de dados do programa, que já tem uma base de dados extensa.

3.5 Materias e processos considerados no Inventário de Ciclo de Vida

Neste estudo de caso, serão considerados os mesmos materiais que TABORIANSKI (2002) utilizou, visto que foi considerado o mesmo modelo de residência. Deste modo, é apresentada a seguir a lista de materias considerada para cada sistema.

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

Existem diversos processos industriais que cada matéria-prima é submetida até que seja obtido o produto final. Deste modo, é apresentada a seguir uma lista com os processos que serão considerados para cada sistema de aquecimento residencial neste trabalho.

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 lâ de vidro
- Produção de tubos de PVC
- Refinamento do petróleo para obtenção do polietileno

3.6 Transporte

Para a análise dos danos ambientais gerados pelo deslocamento dos materiais até o destino final, no caso a cidade de São Paulo, dever-se-ia fazer um levantamento completo desde a matriz de cada material, considerando aonde estão localizadas as indústrias de transformação. Porém, este levantamento não foi feito pois não estava no escopo de estudo de caso. Sendo assim, foi considerado como base o levantamento feito por TABORIANSKI (2002).

Os processos de transformação contidos no SimaPro já consideram os impactos ambientais gerados pelo transporte da matéria-prima do local onde é feita a mineração até o local em que é feita a transformação do produto. Deste modo, serão considerados apenas os gastos da indústria até a cidade de São Paulo. A tabela 1 apresenta todos os deslocamentos considerados.

Tabela 1. Deslocamentos considerados para análise de impactos ambientais relativos ao transporte

Material	Trajetos	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

3.7- Estágio de uso

Para o cálculo dos danos ambientais durante a etapa de uso, considerou-se o seguinte princípio:

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

Em que:

M: vazão em massa de água (kg/min)

C: calor específico da água (kcal/kg°C)

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

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

Deve-se ressaltar que foi desprezado o efeito de compressibilidade da água, pois trata-se de vazões e temperaturas pequenas.

Adotou-se:

$$T_{af} = 18^{\circ}\text{C}$$

$$T_{aq} = 37^{\circ}\text{C}$$

$$C = 4,2 \text{ kJ/Kg}^{\circ}\text{C}$$

Nestes cálculos, considerou-se que a vazão do chuveiro elétrico é de 0,05l/s, enquanto que a vazão no coletor solar é de 0,2l/s.

4. Resultados e Conclusões

Após incluir todos os processos e quantidades de matérias-primas na ferramenta computacional, o SimaPro permite a visualização da montagem do produto, assim como a rede de impactos ambientais do produto. São apresentadas nas tabelas 2 e 3 as montagens dos produtos.

Tabela 2. Montagem do chuveiro elétrico

SimaPro 7.3 Educational Projeto: Formatura2	fase do produto	Data: 11/11/2011 Hora: 00:21:03
Montagem:		
Nome Chuveiro elétrico		
Materials/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 3. Montagem do chuveiro elétrico

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 mix	2,38 kg	Indefinido	
Processos			
Transport, train, diesel powered/US	0,817 tkm	Indefinido	
Truck 40t	289,9 tkm	Indefinido	
Input parameters			
Calculated parameters			

Em seguida, são apresentados na figuras 6 e 7 os impactos ambientais gerados pelos dois processos na escala DALY, que representa a perda de qualidade de vida anual.

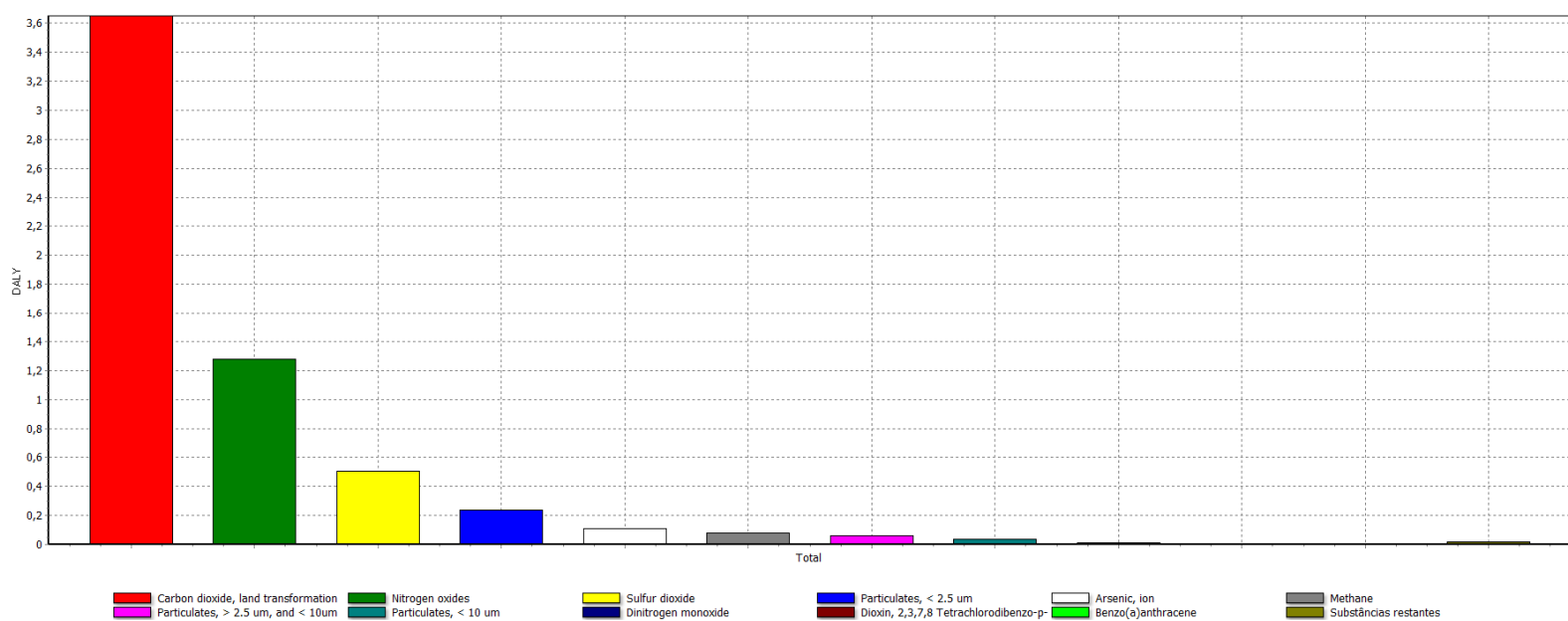


Figura 6. Impactos gerados pelo chuveiro elétrico (SimaPro, 2011)

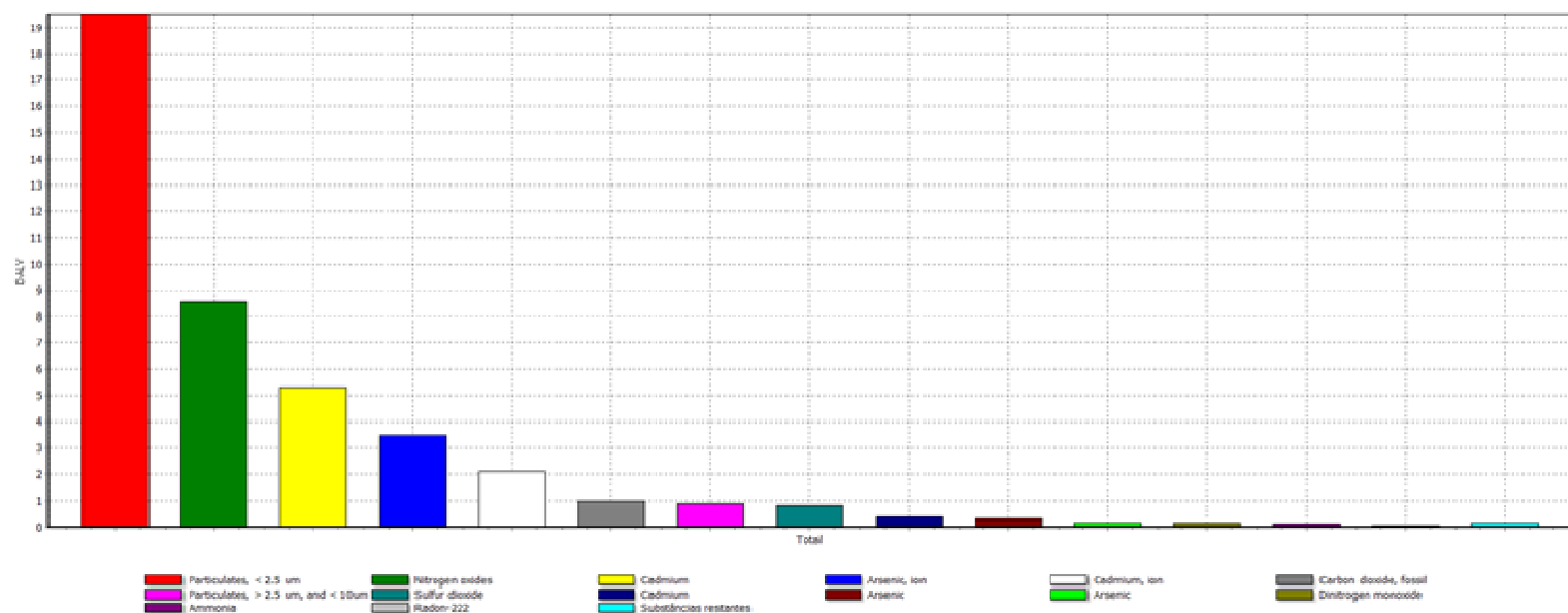


Figura 7. Impactos gerados pelo aquecedor solar (SimaPro, 2011)

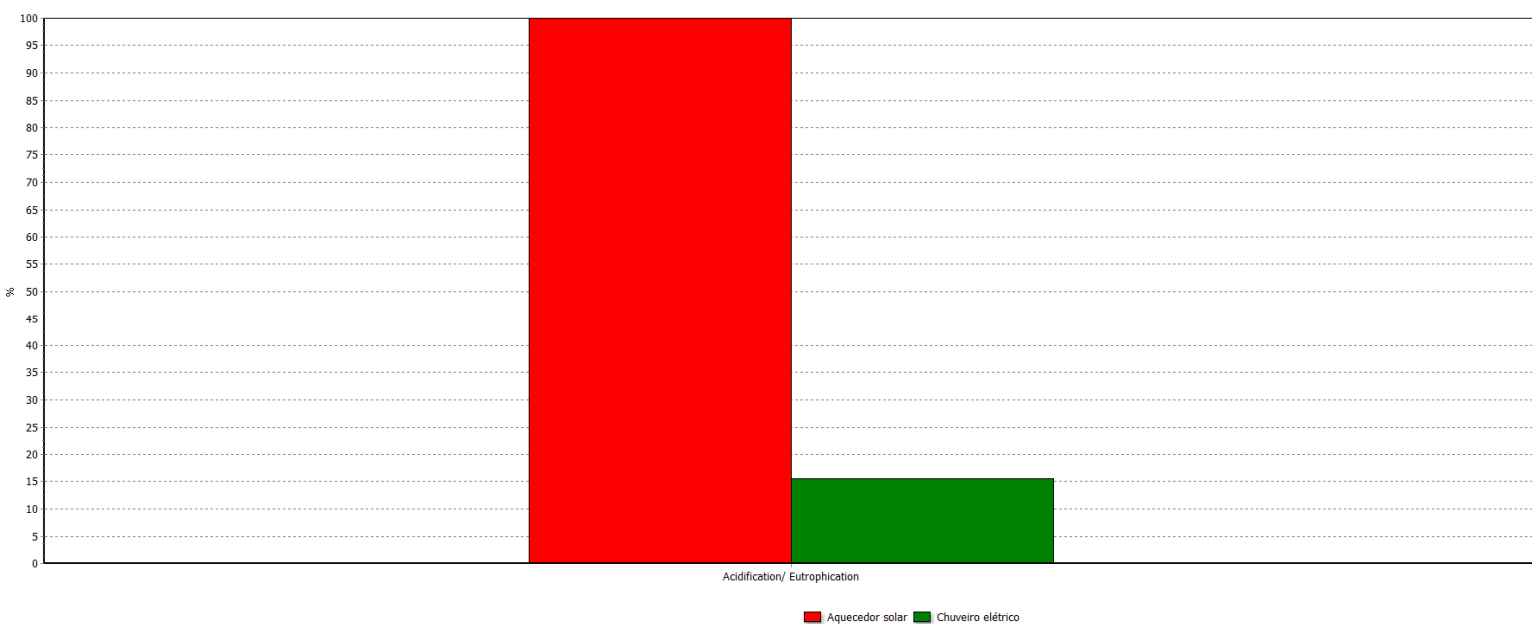
Como pode-se verificar, há uma emissão de 1,3 DALY de óxidos de nitrogênio para os chuveiros elétricos, contra 8,6 para os aquecedores solares.

Para finalizar o estudo, é apresentada na figura 9 a comparação entre os dois sistemas de aquecimento de água.

Figura 8- Comparação entre os dois sistemas de aquecimento de água (SimaPro, 2011)

Pode-se observar que há um consumo muito maior de óxidos de nitrogênio no caso do aquecedor solar do que no chuveiro elétrico, uma situação que é contrária ao que acontece quando se fala dos efeitos causadores do efeito estufa. No caso do efeito estufa (considerados o CO_2 e o CH_4), que foi apresentado por TABORIANSKI (2002), o aquecedor solar era melhor solução para sistemas de aquecimento de água residencial.

Este resultado comprova o que é descrito na metodologia do ACV, em que para mesmos sistemas estudados, caso o escopo seja diferente, resultados diferentes podem ser obtidos.



5. Considerações finais

Neste estudo de caso, utilizou-se como base de dados os processos já pertencentes ao SimaPro, que é uma ferramenta desenvolvida por uma empresa européia, que se baseia em dados relacionados à matriz energética européia. Sendo assim, pode-se afirmar que os resultados aqui obtidos estão distorcidos pois verificou-se que, como resultado geral, os impactos ambientais relativos aos óxidos de nitrogênio são menores para o chuveiro elétrico. Deve-se ressaltar que as conclusões aqui obtidas deveriam ser reavaliadas mediante o levantamento de informações mais precisas com relação a matriz energética brasileira e o seu impacto mensurado nos processos de fabricação e operação dos sistemas aqui analisados.

6. Referências

- ABRAVA - Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. "Introdução ao sistema de aquecimento solar". Brasília, agosto 2010.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas.- "NBR ISO 14040: gestão ambiental - avaliação do ciclo de vida- princípios e estrutura". Rio de Janeiro: ABNT, 2004.10p.
- _. "NBR ISO 14041: gestão ambiental- avaliação do ciclo de vida- definição do objetivo e escopo e análise de inventário". Rio de Janeiro: ABNT, 2004.25p.
- Curran, M. A.: "Environmental life-cycle assessment". EUA: McGraw-Hill, 1996. 432p.
- ROSE, J. **Acid rain:** environmental topics. Yverdon: Gordon and Breach Science Publishers, 1994. v.4. 272p.
- SIMAPRO. **SimaPro**. SimaPro 7.3.2, disponível em: <<http://www.pre-sustainability.com>>. Acesso em agosto de 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.

7. Direitos autorais

Os autores são os únicos responsáveis pelo conteúdo do material impresso incluído no seu trabalho.

AVAILATION OF THE PERFORMANCE OF RESIDENTIAL HEATING WATER SYSTEM USING LIFE CYCLE ASSESSMENT

Alfredo Boggi Duarte
alfredo.boggi@gmail.com

Abstract. The proposal of this paper is to evaluate the performance of a residential hot water system using Life Cycle Assessment (LCA), where environmental effects should be analyzed throughout the product's life cycle. The systems that are analyzed are: electrical shower, which it is the most used solution in Brazil, and a solar collector, theoretically, the most ecological solution. The model that will be used was proposed by Taborianski (2002) and the environmental effects that are studied are the two mainly gases from acid rain: NO and NO₂.

Keywords. 1. Heating water, 2. Solar energy, 3. Life Cycle (Analysis)