



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL -
PPGEC**

**MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL DA
SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS CONVENCIONAIS POR
EQUIPAMENTOS ECONOMIZADORES DE ÁGUA A PARTIR
DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

ANDREZA KALBUSCH

Florianópolis

2011

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA - UFSC
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL -
PPGEC**

ANDREZA KALBUSCH

**MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL DA
SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS CONVENCIONAIS POR
EQUIPAMENTOS ECONOMIZADORES DE ÁGUA A PARTIR
DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutor em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Enedir Ghisi, *PhD.*

Florianópolis

2011

Catologação na fonte pela Biblioteca Universitária da
Universidade Federal de Santa Catarina

K14m Kalbusch, Andreza
Método para avaliação do impacto ambiental da substituição
de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores
de água a partir da avaliação do ciclo de vida [tese] /
Andreza Kalbusch ; orientador, EneDir Ghisi. - Florianópolis, SC, 2011.
Nº de páginas 242, v.: il., grafs., tabs., mapas
Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Água - Equipamento e acessórios - Avaliação. 3. Impacto ambiental. 4. Água - Uso. I. Ghisi, EneDir. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 624

Andreza Kalbusch

**MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DO IMPACTO AMBIENTAL DA
SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS CONVENCIONAIS POR
EQUIPAMENTOS ECONOMIZADORES DE ÁGUA A PARTIR
DA AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA**

Tese julgada adequada para a obtenção do Título de DOUTOR em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil - PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

Prof. Roberto Caldas de Andrade Pinto, *PhD*.
Coordenador do PPGEC

Prof. Eneir Ghisi, *PhD*.
Orientador

Comissão Examinadora:

Prof^ª. Marina Sangoi de Oliveira Ilha, Dra.
FEC/UNICAMP

Prof. Luiz Fernando de Abreu Cybis, Dr.
IPH/UFRGS

Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr.
ENS/UFSC

Prof. Roberto Lamberts, *PhD*.
ECV/UFSC

*Para Tiago, para Laura e para o
bebê que está por vir.*

AGRADECIMENTOS

Ao Professor EneDIR Ghisi, pela orientação impecável, pelo exemplo de honestidade, por saber dosar perfeitamente seriedade e descontração, por saber ser mestre e amigo.

Ao Professor Sebastião Roberto Soares, pela paixão com que ensina Avaliação do Ciclo de Vida aos acadêmicos da Universidade Federal de Santa Catarina e pela disponibilidade em sanar minhas dúvidas relacionadas ao tema.

Aos Professores Marina Sangoi de Oliveira Ilha, Sebastião Roberto Soares, Luiz Fernando de Abreu Cybis e Roberto Lamberts pelas importantes sugestões, que muito contribuíram para este trabalho.

Ao acadêmico Guilherme Marcelo Zanghelini pela transmissão de conhecimento acerca do programa computacional empregado nos cálculos desta tese.

Ao Professor Doalcey Antunes Ramos e à equipe do Programa de Uso Racional da Água do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina, pelo aprendizado e pelas realizações nos seis anos de trabalho conjunto.

Aos servidores Ewerton Warsch (em memória) e Roberto Pacheco e à equipe da prefeitura de campus do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina pelo trabalho desenvolvido junto ao Programa de Uso Racional de Água.

À empresa Docol Metais Sanitários e em especial aos funcionários Fabiano da Veiga, Luciano Bertolazzi e Dorly Ferreira Filho, pela concessão dos dados referentes à fabricação dos equipamentos hidrossanitários analisados no estudo de caso.

À Companhia Municipal Águas de Joinville, pelo empréstimo dos hidrômetros utilizados no estudo de caso desenvolvido neste trabalho. Às empresas que disponibilizaram os dados de produção de matérias-primas e de equipamentos hidrossanitários de forma confidencial.

À Schirlene, Lígia e Kelly por tornarem a distância entre Joinville e Florianópolis muito menor com nossas animadas conversas. À Daniana, Fabiane, Daniele, Rodrigo e Dulce pela linda e sincera amizade.

Aos meus queridos companheiros de medição de consumo no bloco K do CCT-UDESC, Tiago e Diego. À Bea, Laura e Chica, que não realizavam medições, mas nos acompanhavam bem felizes nos finais de semana e feriados. À minha mãe, que como sempre, estava ao meu lado quando precisei de ajuda para realizar as medições de vazão nas torneiras.

A meus pais, Helio e Nazilda, por toda a dedicação, pela educação e pelo exemplo que são em minha vida. À minha irmã, Simone, por ser fundamental para mim. À Filipe, por fazê-la muito feliz.

A Tiago pelo companheirismo e amor, que gerou as mais amadas criaturas: nossa filha Laura e o bebê que carrego comigo.

RESUMO

Na implantação de Programas de Uso Racional da Água em edifícios existentes é recorrente a substituição de equipamentos hidrossanitários convencionais por equipamentos economizadores de água. A viabilidade de tal prática, sob o aspecto ambiental, deve ser analisada para que seja comprovada sua efetividade. O presente trabalho parte da hipótese de que os impactos ambientais são diferentes de acordo com as mudanças impostas a um sistema. Assim, ao analisar dois cenários (no primeiro há a utilização de equipamentos hidrossanitários convencionais e no segundo, há a substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água) os impactos ambientais serão diferentes. O objetivo desta tese é propor um método para verificação dos impactos ambientais quando da substituição de equipamentos em Programas de Uso Racional da Água. Para isso são empregados conceitos relacionados ao método de gerenciamento ambiental Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). O método proposto nesta tese quantifica impactos ambientais no ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários e possibilita a verificação da viabilidade ambiental da substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água que cumpram a mesma função nos sistemas prediais hidrossanitários analisados. São analisadas as fases de produção, uso e disposição final dos equipamentos hidrossanitários com quantificação das entradas referentes a matérias-primas, água e energia e as saídas como forma de emissões atmosféricas, no solo e na água. As categorias de impacto analisadas são: potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, toxicidade humana, acidificação, consumo de água e consumo de energia total. O método proposto foi aplicado em um estudo de caso, comparando os resultados das categorias de impacto em um cenário com torneiras convencionais com outro cenário em que há substituição de torneiras. O período de análise é igual para os cenários, estabelecido como 10 anos. Os cálculos foram realizados com o auxílio do programa computacional SimaPro versão 7.3. Em todas as categorias de impacto, o desempenho ambiental no cenário em que há substituição da torneira convencional por torneiras economizadoras de água é superior, exceto para a categoria de impacto acidificação, em que os valores são semelhantes nos dois cenários analisados no estudo de caso. Também são apresentados outros cenários alternativos de análise no estudo de caso. O estudo demonstra que é ambientalmente viável a substituição das torneiras convencionais por

torneiras economizadoras de água no edifício em estudo, pois os impactos ambientais foram menores quando houve a substituição de equipamentos. O método proposto foi aplicado em um estudo de ACV atribucional na quantificação dos impactos ambientais no ciclo de vida das torneiras e em um estudo de ACV consequential ao analisar cenários com e sem a substituição de torneiras convencionais por economizadoras de água. O método se mostrou válido e adequado para caracterização das categorias de impacto e avaliação da substituição de equipamentos hidrossanitários com base em Avaliação do Ciclo de Vida.

Palavras-chave: Avaliação do Ciclo de Vida; equipamentos hidrossanitários; uso racional da água.

ABSTRACT

The replacement of plumbing fixtures is a regular practice in the implementation of Water Conservation Programmes in existing buildings. The feasibility of such a practice in terms of the environmental aspects should be evaluated in order to verify its effectiveness. This study starts from the assumption that environmental impacts are different according to the changes imposed on a system. Thus, by analyzing two scenarios (in the first scenario ordinary plumbing fixtures are used and in the second scenario, there is the replacement of ordinary with water-saving plumbing fixtures), environmental impacts will be different. This thesis intends to propose a method to verify the feasibility of plumbing fixtures replacement phase in Water Conservation Programmes. To reach this objective, the concepts related to the environmental management method Life Cycle Assessment are used. Thus, the present research aims to propose a method to verify the environmental impacts in plumbing fixtures life cycle and the feasibility of the replacement of ordinary with water-saving plumbing fixtures that perform the same prescribed function in the analyzed water pipe systems. The impact categories considered are: global warming potential, ozone layer depletion, human toxicity, acidification, water consumption and total energy consumption. The proposed method was applied in a case study, comparing the results of the impact categories in a scenario with ordinary taps with another scenario with taps replacement. The calculations were made using the software SimaPro version 7.3. In all impact categories the environmental performance of the scenario with water-saving taps is higher, except for the acidification impact category, whose values are similar in the two scenarios analyzed in the case study. Other alternative scenarios are also presented in the case study. The study demonstrates that the replacement of ordinary with water-saving taps in the building under study is environmentally viable once the environmental impacts were lower in the scenario with the replacement. The proposed method was applied to an attributional LCA study on the quantification of environmental impacts in the life cycle of the taps and in a consequential LCA study to analyze scenarios with and without the replacement of ordinary with water-saving taps. The method proved to be appropriate for characterization of impact categories and for the assessment of the replacement of plumbing fixtures based on Life Cycle Assessment.

Keywords: Life Cycle Assessment; plumbing fixtures; water conservation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma que apresenta as etapas de um Programa de Uso Racional de Água.....	39
Figura 2 – Fases de uma ACV.	52
Figura 3 – Procedimentos simplificados para análise do inventário.	55
Figura 4 – Fases do ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários. ...	73
Figura 5 – Entradas e saídas consideradas no ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários.	74
Figura 6 – Relacionamento de entradas e saídas às categorias de impacto ambiental analisadas.....	97
Figura 7 – Substituição de equipamentos hidrossanitários durante o período de análise.....	101
Figura 8 – Hidrômetro instalado em uma torneira convencional (a) e economizadora de água (b).....	104
Figura 9 – Cenários considerados no estudo de caso.	106
Figura 10 – Cenário considerando a substituição da torneira convencional após o primeiro ano de uso.	108
Figura 11 – Cenários de análise considerando a vida útil das torneiras igual a 6 anos.....	110
Figura 12 – Exemplo de hidrômetro utilizado no diagnóstico de consumo de água do bloco K do CCT-UDESC.	114
Figura 13 – Medição de vazão no banheiro masculino do segundo andar (a) e no banheiro feminino do primeiro andar (b) e os instrumentos utilizados.....	115
Figura 14 – Evolução do índice de consumo com torneiras convencionais e economizadoras de água instaladas no edifício.	117
Figura 15 – Evolução do índice de consumo de água em todos os equipamentos hidrossanitários no edifício.	118
Figura 16 – Local de produção e destino das matérias-primas utilizadas na fabricação das torneiras. Fonte: Google maps (2011). ...	123
Figura 17 – Distância considerada para disposição final das torneiras.....	125

Figura 18 – Resultados da categoria de impacto acidificação para os dois modelos de torneiras.....	133
Figura 19 – Resultados da categoria de impacto potencial de aquecimento global para os dois modelos de torneiras.	133
Figura 20 – Resultados da categoria de impacto potencial de redução da camada de ozônio para os dois modelos de torneiras.	134
Figura 21 – Resultados da categoria de impacto toxicidade humana para os dois modelos de torneiras.	135
Figura 22 – Resultados da categoria de impacto consumo de água dos dois modelos de torneiras.	135
Figura 23 – Resultados da categoria de impacto consumo energético total dos dois modelos de torneiras.	136
Figura 24 – Comparação percentual entre as categorias de impacto para os dois modelos de torneiras.	137
Figura 25 – Resultados da categoria de impacto acidificação.....	140
Figura 26 – Fluxograma da categoria de impacto acidificação para os cenários 1 (a) e 2 (b) gerado pelo programa SimaPro versão 7.3...	141
Figura 27 – Resultados da categoria de impacto potencial de aquecimento global.	142
Figura 28 – Fluxograma da categoria de impacto potencial de aquecimento global para os cenários 1 (a) e 2 (b) gerado pelo programa SimaPro versão 7.3.	143
Figura 29 – Resultados da categoria de impacto potencial de redução da camada de ozônio.	144
Figura 30 – Fluxograma da categoria de impacto potencial de redução da camada de ozônio para os cenários 1 (a) e 2 (b) gerado pelo programa SimaPro versão 7.3.	145
Figura 31 – Resultados da categoria de impacto toxicidade humana..	146
Figura 32 – Fluxograma da categoria de impacto toxicidade humana para os cenários 1 (a) e 2 (b) gerado pelo programa SimaPro versão 7.3.	147
Figura 33 – Resultados da categoria de impacto consumo de água.	148
Figura 34 – Fluxograma da categoria de impacto consumo de água para os cenários 1 (a) e 2 (b) gerado pelo programa SimaPro versão 7.3.	149

Figura 35 – Resultados da categoria de impacto consumo energético total.	150
Figura 36 – Fluxograma da categoria de impacto consumo de energia total para os cenários 1 (a) e 2 (b) gerado pelo programa SimaPro versão 7.3.....	151
Figura 37 – Comparação percentual entre as categorias de impacto nas fases do ciclo de vida das torneiras empregadas nos dois cenários.	152
Figura 38 – Comparação percentual entre as categorias de impacto ambiental nos três cenários de análise.....	154
Figura 39 – Comparação percentual entre as categorias de impacto ambiental nos cenários de análise A, B e C.....	157

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Economia de água estimada na utilização de equipamentos hidrossanitários economizadores.....	44
Tabela 2 – Equipamentos hidrossanitários existentes no campus do CCT-UDESC.....	113
Tabela 3 – Quantidade de equipamentos hidrossanitários no bloco K do campus do CCT-UDESC.....	113
Tabela 4 – Vazões médias nas torneiras economizadoras instaladas nos lavatórios do bloco K do CCT-UDESC.....	115
Tabela 5 – Parâmetros utilizados no cálculo do consumo de água nas torneiras convencionais.....	119
Tabela 6 – Parâmetros utilizados no cálculo do consumo de água nas torneiras economizadoras de água.	120
Tabela 7 – Composição material básica das torneiras modelo Itapema Bella e Pressmatic 110 (Docol).	121
Tabela 8 – Consumo de água para produção de materiais.	122
Tabela 9 – Origem, destino e distâncias de transporte consideradas por tipo de matéria-prima.	123
Tabela 10 – Consumo energético considerado na extração e beneficiamento das matérias-primas.	126
Tabela 11 – Emissão específica de CO ₂ no ano de 2009 no Brasil.	129
Tabela 12 – Emissão de gases na produção de celulose e a produção de papel no Brasil.....	129
Tabela 13 – Emissão de gases por litro de óleo diesel utilizado em transporte rodoviário de frota pesada no Brasil.....	129
Tabela 14 – Emissões aquáticas consideradas para a fabricação das torneiras.....	130
Tabela 15 – Resultados das categorias de impacto para os dois modelos de torneiras.....	132
Tabela 16 – Resultados das categorias de impacto para os dois cenários de análise.....	139
Tabela 17 – Resultados das categorias de impacto para o cenário 3...	154
Tabela 18 – Resultados das categorias de impacto para os três cenários de análise.....	156

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Avaliação do Ciclo de Vida
AICV	Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida
CCT	Centro de Ciências Tecnológicas
CIB	<i>International Council for Research and Innovation in Building and Construction</i>
CML	<i>Centre of Environmental Science – Leiden University</i>
IPCC	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
PNCDA	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PURA	Programa de Uso Racional da Água
RIVM	<i>National Institute for Public Health and the Environment</i>
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
SPH	Sistema Predial Hidráulico
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	27
1.1 JUSTIFICATIVA	28
1.2 INEDITISMO E RELEVÂNCIA DO TEMA	30
1.3 OBJETIVOS	33
1.3.1 Objetivo Geral	33
1.3.2 Objetivos Específicos	33
1.4 LIMITAÇÕES DA ACV	34
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	35
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	37
2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO: USO RACIONAL DA ÁGUA E EQUIPAMENTOS HIDROSSANITÁRIOS	37
2.1.1 Programas de Uso Racional da Água	37
2.1.2 Etapa de substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água.....	41
2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA.....	50
2.3 FASES DE UM ESTUDO DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA	53
2.3.1 Definição de objetivo e escopo.....	53
2.3.2 Análise de inventário	54
2.3.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida.....	57
2.3.4 Interpretação do Ciclo de Vida.....	59
2.3.5 Uso de programas computacionais para cálculo em estudos de ACV.....	60
2.4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: APLICAÇÕES NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL	61
2.5 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: PESQUISAS RELACIONADAS AOS SISTEMAS PREDIAIS HIDROSSANITÁRIOS	66
2.6 SÍNTESE DO CAPÍTULO	68

3 MÉTODO.....	71
3.1 FASES DO CICLO DE VIDA DOS EQUIPAMENTOS	72
3.2 ENTRADAS E SAÍDAS CONSIDERADAS E IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS.....	73
3.3 COLETA DE DADOS E QUANTIFICAÇÃO DE ENTRADAS E SAÍDAS	75
3.3.1 Quantificação das entradas referentes ao consumo de água	75
3.3.2 Quantificação das entradas referentes ao consumo de energia total.....	80
3.3.3 Quantificação das entradas referentes ao consumo de matérias-primas	85
3.3.4 Quantificação das saídas relacionadas a emissões atmosféricas.....	86
3.3.5 Quantificação das saídas relacionadas a emissões aquáticas.....	89
3.3.6 Quantificação das saídas relacionadas a emissões no solo..	93
3.4 QUANTIFICAÇÃO DE IMPACTOS	96
3.5 CONDIÇÕES PARA QUANTIFICAÇÃO DE IMPACTOS NA SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS	100
3.6 APLICAÇÃO DO MÉTODO EM UM ESTUDO DE CASO..	102
3.6.1 ACV consequential: cenários de análise.....	105
3.6.2 Aplicação do método em cenários alternativos de análise	107
4 RESULTADOS.....	111
4.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO EM UM ESTUDO DE CASO..	112
4.1.1 Características das torneiras utilizadas no estudo de caso .	120
4.1.2 Entradas referentes ao consumo de água na fase de produção.....	121
4.1.3 Entradas referentes ao consumo de água na fase de uso ...	124
4.1.4 Entradas referentes ao consumo de água na fase de disposição final.....	125
4.1.5 Entradas referentes ao consumo de energia na fase de produção.....	126

4.1.6 Entradas referentes ao consumo de energia na fase de uso	127
4.1.7 Entradas referentes ao consumo de energia na fase de disposição final.....	128
4.1.8 Saídas referentes às emissões atmosféricas na fase de produção	128
4.1.9 Saídas referentes às emissões atmosféricas na fase de uso	130
4.1.10 Saídas referentes às emissões atmosféricas na fase de disposição final.....	130
4.1.11 Saídas referentes às emissões na água e no solo.....	130
4.1.12 Resultados da quantificação de entradas e saídas no ciclo de vida das torneiras	131
4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS CATEGORIAS DE IMPACTO NO CICLO DE VIDA DOS DOIS MODELOS DE TORNEIRAS	131
4.2.1 Resultados da caracterização das categorias de impacto ...	131
4.2.2 Comparação entre os impactos no ciclo de vida dos dois modelos de torneiras.....	136
4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS CATEGORIAS DE IMPACTO EM CENÁRIOS DE ANÁLISE	138
4.3.1 Resultados da caracterização das categorias de impacto nos dois cenários.....	138
4.3.2 Comparação entre os dois cenários de análise.....	152
4.4 CARACTERIZAÇÃO DAS CATEGORIAS DE IMPACTO EM CENÁRIOS ALTERNATIVOS DE ANÁLISE.....	153
4.4.1 Cenário com substituição da torneira convencional após o primeiro ano de uso	153
4.4.2 Cenários considerando a vida útil das torneiras igual a 6 anos.....	155
5 CONCLUSÕES.....	159
5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO	160
5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	162
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	163

APÊNDICE A.....	179
APÊNDICE B.....	199
APÊNDICE C.....	219
APÊNDICE D.....	231

1 INTRODUÇÃO

Uma das etapas recorrentes de um Programa de Uso Racional da Água (PURA) consiste na substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água, como torneiras com funcionamento hidromecânico, mictórios e bacias sanitárias com acionamento por sensor de presença, bacias sanitárias com volume de descarga reduzido, bacias sanitárias equipadas com sistema de duplo acionamento, arejadores, além de outros equipamentos. Nesta tese são considerados equipamentos hidrossanitários, os aparelhos sanitários, as peças de utilização e outros componentes dos sistemas prediais hidrossanitários cuja utilização apresente interferência no desempenho relativo ao consumo de água.

A etapa de substituição de equipamentos convencionais (em funcionamento, embora com consumo de água e/ou energia maior que o de equipamentos economizadores) deve ter sua viabilidade testada e as verificações devem ser pautadas também em critérios ambientais. Partindo do princípio (que deve ser testado) de que a quantidade de água consumida com o emprego do equipamento economizador é menor na fase de uso, como incluir o consumo de água nas outras fases do ciclo de vida? Como mensurar consumo energético associado às fases de produção, uso e disposição final do equipamento hidrossanitário? Que outros impactos são ocasionados nas fases do ciclo de vida desses equipamentos? Como incluir os impactos ambientais gerados no descarte de um equipamento hidrossanitário que se torna obsoleto? Para definir tais questões há a necessidade da utilização de um método de avaliação de impactos ambientais.

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é um método de gerenciamento ambiental utilizado para avaliar aspectos ambientais de produtos, e tem sua estrutura pautada no conjunto de normas NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a, 2009b). Segundo o *United Nations Environment Programme* - UNEP (1996), ACV é o processo de avaliação dos efeitos que um produto tem sobre o ambiente durante todo o seu período de vida. Considera, desta maneira, os efeitos ambientais nas etapas de extração, processamento, manufatura, distribuição, transporte, uso, reúso, manutenção, reciclagem e disposição final do produto.

Assim, ACV é um método que oferece suporte à tomada de decisões, podendo ser utilizado no desenvolvimento e melhoria de produtos, na comparação de diferentes produtos e em rotulagem

ambiental, que é um meio de comunicar o desempenho ambiental que determinado produto apresenta (UNEP, 1996; BORG, 2001). Segundo Ribeiro (2003), a ACV pode ser utilizada como ferramenta para melhoria de desempenho em determinadas etapas do ciclo de vida de um produto ou sistema, já que fornece informações sobre os impactos ambientais potenciais em cada etapa.

A ACV é uma prática normatizada e reconhecida como método para tomada de decisão ou escolha entre sistemas que desempenhem a mesma função. Desta forma, o que se propõe nesta tese é a utilização do conceito de Avaliação do Ciclo de Vida na verificação da viabilidade, sob o aspecto ambiental, da substituição de equipamentos em um Programa de Uso Racional da Água.

1.1 JUSTIFICATIVA

A preocupação com o ambiente e sua excessiva exploração pelo homem fez com que surgissem discussões a respeito desse assunto e, com o tempo, que pesquisas cada vez mais aprofundadas começassem a ser realizadas. As discussões e pesquisas cresceram também no campo da construção civil. A *Agenda 21 on Sustainable Construction* (CIB, 1999) apontou a indústria da construção e o ambiente construído como os maiores consumidores de recursos. A criação da referida agenda, porém, não teve o intuito apenas de diagnosticar este fato, mas de encorajar a aplicação do conceito global de desenvolvimento sustentável no setor da construção civil.

A norma NBR 15575-1 (ABNT, 2010a) recomenda para o setor da construção civil, a utilização de materiais que causem menor impacto ambiental, considerando desde a exploração dos recursos naturais até o destino final do material. A escolha de materiais deve se dar por meio do conhecimento do respectivo impacto ambiental e deve estar pautada na Avaliação do Ciclo de Vida de cada produto, em uma análise a ser disponibilizada pelos fabricantes.

Segundo Soares, Souza e Pereira (2006), a aplicação do método ACV, frequentemente utilizado nas áreas empresarial e industrial, é reconhecida como de grande importância no setor da construção civil. A construção civil é uma atividade que produz grandes impactos ambientais, desde a fase de extração e fabricação de matérias-primas até a renovação ou demolição e tais impactos necessitam ser quantificados. Silva (2003) também evidencia o cunho científico relacionado ao emprego de ACV para quantificação de impactos no setor da construção

civil. Soares, Souza e Pereira (2006) afirmam que a utilização de conceitos de ACV na avaliação de produtos da construção civil possibilita a especificação de materiais de modo a promover melhoria ambiental (e também econômica) nas diversas etapas do ciclo de vida do produto da construção civil estudado.

Nesta tese, o método Avaliação do Ciclo de Vida é utilizado em uma abordagem atribucional na quantificação de impactos ambientais no ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários e em uma abordagem consequential para quantificação dos impactos ambientais quando da substituição de equipamentos convencionais por economizadores de água. Segundo Fidar, Memon e Butler (2010), as implicações ambientais das ações para promover a eficiência do uso da água também devem ser verificadas.

Quanto à importância ambiental da água, Salati, Lemos e Salati (2006) afirmam que a preservação dos recursos hídricos é condição fundamental para que haja desenvolvimento sustentável. Os autores mencionam a preservação dos recursos hídricos (de forma qualitativa e quantitativa) e a importância socioeconômica desse recurso. Tundisi, Braga e Rebouças (2006) corroboram essa informação citando a dependência da disponibilidade de água para que haja desenvolvimento econômico, qualidade de vida e continuidade das funções dos ecossistemas.

Koehler (2008) ressalta a importância da consideração dos recursos hídricos em estudos de ACV em todos os setores da economia. No caso deste trabalho, como a premissa da substituição de equipamentos hidrossanitários em Programas de Uso Racional de Água é a economia de água, a análise do consumo de água dentro do estudo de ACV para os cenários com e sem substituição de equipamentos se torna obrigatória.

No planejamento para substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água, em geral as análises realizadas são de ordem técnica ou econômica. Quando consideram aspectos ambientais, é comumente considerado apenas o consumo de água na vida útil dos equipamentos. No entanto, é importante a realização de uma avaliação ambiental mais ampla, que deve estar regida por um método que considere todas as etapas do ciclo de vida dos equipamentos e não apenas a fase de uso dos mesmos. Nesta tese, além da quantificação do consumo de água no ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários, são também considerados os seguintes impactos ambientais: consumo de energia total, potencial de

aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, toxicidade humana e acidificação.

Há a necessidade de que sejam considerados os impactos ambientais em todas as fases do ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários para que sejam feitas escolhas verdadeiramente pautadas em critérios ambientais. Esta é a principal justificativa para a elaboração desta tese.

1.2 INEDITISMO E RELEVÂNCIA DO TEMA

Estudos relacionados à Avaliação do Ciclo de Vida vêm sendo desenvolvidos em diversos setores da economia, inclusive nos setores relacionados à indústria da construção civil. Soares, Souza e Pereira (2006) realizaram um estudo sobre a aplicação de ACV no contexto da construção civil, ressaltando a grande variedade de campos de aplicação. O conceito de ACV pode ser aplicado no setor de diversas formas, seja na avaliação de impactos ambientais de materiais e produtos, na escolha de processos construtivos ou na avaliação de impactos no ciclo de vida de edifícios.

Existem estudos acadêmicos relacionados a diversas aplicações de ACV no setor da construção civil. Dentre estes, pode-se citar Oliver-Solà et al. (2009) que compararam três tipos de calçadas e, com base em ACV, identificaram opções de melhoria nos projetos. Kendall (2004) desenvolveu um modelo para comparação de plataformas de pontes baseado em ACV. Hyde e Engel (2000) realizaram um estudo sobre Avaliação do Ciclo de Vida de *guardrails*, comparando a utilização de materiais plásticos, de madeira e de aço.

Graveline (2005) expôs a importância da utilização de ACV na indústria da construção civil, em especial, na produção de materiais de construção. John e Agopyan (não publicado)¹ apontam a ACV como método para seleção de materiais de construção e demais componentes de edifícios. Os autores discutem a utilização de Avaliação do Ciclo de Vida, além de outras ferramentas, como forma de inserção de uma dimensão ambientalmente mais sustentável ao projeto de edifícios. Abeyundara, Babel e Gheewala (2009) desenvolveram uma matriz para escolha de materiais de construção baseada em ACV. Os autores utilizaram dados de consumo energético coletados nas edificações

¹ JOHN, V. M.; AGOPYAN, V., **Sustainability criteria for the selection of materials and components – a developing world view**, 7 p.

analisadas, dados da indústria de fabricação de materiais de construção e de uma base de dados. A matriz desenvolvida pelos autores inclui, além da avaliação ambiental, critérios de ordem econômica e social.

Entre os estudos relacionados à escolha de materiais de construção baseada em critérios ambientais, podem ser citados os trabalhos desenvolvidos por Chevalier e Téo (1996), Nicoletti, Notarnicola e Tassielli (2002), Schmidt et al. (2004) e Traverso, Rizzo e Finkbeiner (2010). Asif, Muneer e Kelley (2007) desenvolveram um estudo de caso envolvendo a quantificação da energia embutida nos materiais de construção de uma residência na Escócia. Os autores analisaram a distribuição de dados referentes a alguns materiais de construção utilizados, como o concreto, vidro, alumínio, materiais cerâmicos, dentre outros. Huberman e Pearlmutter (2007) realizaram um estudo sobre o ciclo de vida energético de materiais de construção em Israel. Os autores avaliaram o consumo energético dividido em energia embutida nos materiais de construção e energia operacional na etapa de uso em um edifício.

Li, Zhu e Zhang (2010) elaboraram um método para escolha de processos construtivos com base em ACV. O inventário inclui entradas e saídas referentes aos materiais de construção e aos equipamentos utilizados em cada processo.

Quanto ao emprego do conceito de ACV na avaliação ambiental de edifícios, Silva (2003) salientou a relevância de que as decisões sejam confirmadas por evidências científicas que comprovem o ganho ambiental da escolha de um determinado produto ou sistema em detrimento de outro. Peuportier, Kohler e Boonstra (1997), Lloyd, Landfield e Glazebrook (2005), Kofoworola e Gheewala (2008), Blengini (2008), Bribián, Usón e Scarpellini (2009) e Verbeeck e Hens (2010a) também discutiram a integração do conceito de Avaliação do Ciclo de Vida no projeto de edifícios ambientalmente sustentáveis.

Blanchard e Reppe (1998) realizaram um estudo de ACV de uma residência nos Estados Unidos, focando os resultados na quantificação de energia consumida e no potencial de aquecimento global durante o ciclo de vida da edificação. Peuportier (2001) apresentou uma avaliação comparativa, com o emprego de Avaliação do Ciclo de Vida, de residências unifamiliares na França. O autor traçou um perfil ambiental de um metro quadrado de área interna utilizável de cada casa, considerando indicadores como acidificação, consumo de água, de energia, potencial de eutrofização, consumo de recursos e ecotoxicidade.

Tavares e Lamberts (2004) realizaram estudos comparativos sobre o consumo energético de edificações na Suécia, Austrália e Brasil.

No Brasil, Soares e Pereira (2004) realizaram uma pesquisa que envolve o inventário do ciclo de vida de pisos e tijolos cerâmicos. Tavares (2006) elaborou um método de Avaliação do Ciclo de Vida Energético para edificações residenciais brasileiras. O autor investigou a natureza do consumo energético nas etapas do ciclo de vida de edificações residenciais e determinou o consumo energético de materiais de construção apontados como de maior influência. Taborianski, Simoni e Prado (2008) elaboraram um inventário de consumo de energia no ciclo de vida de materiais utilizados em fachadas de edifícios.

Com relação mais direta ao tema proposto neste trabalho, o estudo conduzido por Clarcke, Grant e Thornton (2009) demonstrou a importância da economia de água na redução de emissões de gases que provocam o efeito estufa. O estudo desenvolvido por Lassaux, Renzoni e Germain (2007) versa sobre a Avaliação do Ciclo de Vida do uso da água desde a estação elevatória até a estação de tratamento de esgotos sanitários na Bélgica. Os autores utilizaram o método Eco-indicator 99, desenvolvido pela PRé Consultants, e o método desenvolvido pelo *Centre of Environmental Science – Leiden University* (CML) para caracterização das categorias de impacto. Na área de sistemas prediais, Ardente et al. (2005) elaboraram um estudo de ACV de um coletor solar para aquecimento de água. No estudo foi analisado o consumo de água no ciclo de vida, porém na etapa de uso não há consideração dos detalhes de concepção do projeto que levem a maior eficiência no uso da água quando do sistema instalado em um edifício.

A aplicação de Avaliação do Ciclo de Vida é normatizada e existem inúmeros estudos sobre os impactos ambientais de matérias-primas, sistemas de transporte, utilização de produtos, etc. Da mesma forma, existem estudos que corroboram a importância da etapa de substituição de equipamentos que consomem água por equipamentos mais eficientes em Programas de Uso Racional de Água (SILVA; TAMAKI; GONÇALVES, 2005; ASANO, 2005; FIDAR; MEMON; BUTLER, 2010). O ineditismo do estudo está na verificação da viabilidade desta etapa de substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água por meio da utilização do conceito de Avaliação do Ciclo de Vida para quantificação dos impactos ambientais decorrentes.

A relevância do tema está na necessidade da realização da verificação de viabilidade sob a ótica ambiental. A etapa de substituição

de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água é recorrente em Programas de Uso Racional de Água e, muitas vezes, o que ocorre é a troca de todos os equipamentos convencionais, principalmente em locais de uso público ou de grande circulação de pessoas.

Neste estudo, pretende-se quantificar impactos ambientais relativos à substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água de modo a testar a viabilidade ambiental de tal prática, sendo este seu principal objetivo e sua principal contribuição.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

O objetivo geral desta tese é a proposição de um método para quantificação das entradas e saídas no ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários, permitindo a avaliação do impacto ambiental da substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água em Programas de Uso Racional da Água.

1.3.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- estimar, em um estudo de caso, o consumo de água, o consumo de energia e as emissões atmosféricas, na água e no solo nas diversas fases do ciclo de vida de uma torneira convencional e de uma torneira economizadora de água;
- estimar os seguintes impactos ambientais no ciclo de vida de torneiras: potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, toxicidade humana, acidificação, consumo de água e consumo de energia total;
- estimar os impactos ambientais causados em diferentes cenários de igual período de análise, com e sem substituição de equipamentos convencionais por economizadores de água.

1.4 LIMITAÇÕES DA ACV

A difusão de estudos envolvendo ACV na área acadêmica é evidente, fato analisado por Souza e Barbastefano (2011). Embora existam inúmeros estudos sobre os impactos ambientais de materiais e produtos, ainda existe muito a ser realizado no que tange à quantificação de impactos na área da construção civil. Limitações comuns em estudos de ACV são a idade dos dados ou a falta de dados que reflitam a realidade local, o que implica na necessidade de utilização de dados disponíveis de outros locais ou mesmo na alteração das fronteiras do sistema considerado.

O Brasil ainda carece de pesquisas que apontem dados referentes a impactos ambientais de muitos tipos de matérias-primas, de avaliação de operação de produtos, de impactos relativos ao descarte final, além das outras fases do ciclo de vida de muitos produtos. As limitações em estudos de ACV são bastante discutidas na literatura acadêmica. Crawford (2008) discute a incompletude e a falta de confiabilidade associada a fontes de dados, que acabam por gerar resultados duvidosos. O autor relaciona as limitações na elaboração do inventário do ciclo de vida à falta de credibilidade do estudo de ACV como um todo. Ibáñez-Forés, Bovea e Simó (2011) também mencionam a qualidade dos dados como um ponto preponderante na confiabilidade e credibilidade de um estudo de ACV.

De acordo com Lenzen (2001), outras limitações em estudos de ACV decorrem de problemas no estabelecimento das fronteiras do sistema analisado e a consequência é a desconsideração de fluxos e processos. Essa não consideração de determinados recursos e emissões poluentes pode levar a erros na interpretação dos impactos ambientais. Optis e Wild (2010) analisaram os problemas envolvendo a documentação em estudos de ACV de edifícios. Os autores enfatizam a importância de que o método seja claramente identificado quando da divulgação dos resultados de um estudo de ACV. Isso possibilita a identificação das fronteiras e processos considerados e, consequentemente, a comparação entre os resultados alcançados por diferentes estudos (OPTIS; WILD, 2010).

Soares, Souza e Pereira (2006) ressaltam também as limitações da aplicação de ACV na avaliação de impactos ambientais associados à construção civil. Segundo os autores as dificuldades iniciam já na fase de coleta de informações, com a obtenção de bases de dados confiáveis para os materiais empregados na construção civil. Silva (2003) também aponta eventuais problemas na aplicação dos conceitos relacionados à

ACV no setor da construção civil, como as simplificações ocasionadas pela carência de dados em determinados estudos. A autora menciona também as dificuldades para comparação entre a importância relativa de diferentes categorias de impacto, que não pode ser generalizada e deve ser definida de acordo com uma agenda ambiental específica, com uma análise profunda de cada caso.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

Esta tese está dividida nos capítulos de Introdução, Revisão Bibliográfica, Método, Resultados e Conclusões. O capítulo de Introdução faz uma apresentação geral do assunto, com a justificativa do trabalho e os objetivos a serem alcançados. Apresenta também a natureza inédita do assunto e as limitações da ACV.

O capítulo Revisão Bibliográfica apresenta o desenvolvimento de Programas de Uso Racional da Água e a etapa de substituição de equipamentos hidrossanitários, recorrente neste tipo de programa. É apresentado também o método de gerenciamento ambiental Avaliação do Ciclo de Vida, suas etapas opcionais e obrigatórias e o uso de programas computacionais no desenvolvimento de estudos de ACV. São apresentadas também aplicações da ACV no campo da construção civil e mais especificamente na área de sistemas prediais hidrossanitários.

No terceiro capítulo há a proposição de um método para quantificação, nas diversas fases do ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários, do consumo de matérias-primas, de água e de energia e das emissões atmosféricas, na água e no solo. Tais entradas e saídas são quantificadas de modo a representar as categorias de impacto potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, toxicidade humana, acidificação, consumo de água e consumo de energia total. Os cálculos das categorias de impacto ambiental propostas no método são realizados com o auxílio do programa computacional SimaPro versão 7.3. O método proposto é utilizado para comparação entre os impactos ambientais causados em diferentes cenários (de igual período) para avaliar a substituição de equipamentos convencionais por economizadores de água em Programas de Uso Racional da Água. A aplicação do método em um estudo de caso para avaliação da substituição de torneiras convencionais por torneiras economizadoras de água em um edifício de salas de aula localizado em um *campus* universitário também é apresentada no capítulo.

No quarto capítulo é apresentada a coleta de dados e quantificação de entradas (consumo de água, de matérias-primas e de energia) e saídas (emissões no ar, na água e no solo) para dois modelos de torneira. Os dados coletados são prioritariamente brasileiros, porém são utilizados dados provenientes de pesquisas acadêmicas internacionais e da base de dados do *Ecoinvent Centre* (2010) quando da indisponibilidade de dados nacionais. O método proposto no capítulo 3 é empregado para quantificação dos impactos ambientais no ciclo de vida de dois modelos de torneira considerando a fase de uso de quatro anos. O método também é empregado para avaliação em um estudo de caso dos impactos ambientais em dois diferentes cenários, com e sem a substituição das torneiras convencionais por economizadoras de água, em um período de 10 anos.

O capítulo de conclusões apresenta as considerações sobre o método proposto e sobre sua aplicação no estudo de caso. Apresenta também as limitações do trabalho e sugestões para o desenvolvimento de outros trabalhos relacionados ao assunto.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 CONTEXTUALIZAÇÃO: USO RACIONAL DA ÁGUA E EQUIPAMENTOS HIDROSSANITÁRIOS

O planejamento de ações relacionadas ao uso racional da água em edifícios, em geral leva à execução de atividades de forma integrada e contínua com o objetivo de alcançar eficiência no uso da água. Entre as ações para promoção do uso racional da água em edificações, a adoção de equipamentos hidrossanitários economizadores de água é bastante recorrente. A seguir são apresentadas as etapas para implantação de Programas de Uso Racional da Água, incluindo a etapa de substituição de equipamentos e o papel dos equipamentos hidrossanitários no desempenho dos sistemas prediais no que concerne ao consumo de água.

2.1.1 Programas de Uso Racional da Água

A gestão do uso da água, segundo Oliveira (1999), deve ser realizada em três níveis sistêmicos: sistemas hidrográficos (nível macro); sistemas públicos de abastecimento de água e de coleta de esgoto sanitário (nível meso); e sistemas prediais (nível micro). Os estudos desenvolvidos neste trabalho são voltados ao nível micro, sistemas prediais, com referência aos esforços relativos ao uso racional da água.

Uso racional da água, de acordo com Gonçalves (2002), pode ser definido como “otimização em busca do menor consumo de água possível mantidas, em qualidade e quantidade, as atividades consumidoras”. A otimização do consumo de água pode ser alcançada por meio da gestão da demanda, com o planejamento e implementação de ações para redução de desperdícios e perdas (GONÇALVES, 2002; CHENG; HONG, 2004).

De acordo com Silva (2004), uso racional da água envolve minimização de desperdícios e maximização de eficiência. A autora define maximização de eficiência como a utilização de uma quantidade menor de água para exercer uma mesma atividade, garantindo a qualidade requerida, seja por meio de equipamentos que promovam esta eficiência e/ou por meio de esforços para conscientização dos usuários.

Oliveira (1999) ressalta que, para a implementação de ações visando o uso racional da água, há a necessidade do conhecimento do

sistema hidráulico do edifício, do histórico do consumo de água, das atividades desenvolvidas no edifício e dos procedimentos dos usuários nas atividades relacionadas ao uso da água. Segundo a referida autora, as ações que contribuem para a redução de consumo de água em edifícios podem ser divididas em econômicas, sociais e tecnológicas.

A autora propõe um método para implantação de Programa de Uso Racional da Água em edifícios estruturada em quatro etapas: auditoria do consumo; diagnóstico; plano de intervenção; e avaliação do impacto de redução do consumo. Gonçalves et al. (1999) enumeram, em um dos documentos do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água – PNCDA, medidas para racionalização do uso da água em grandes consumidores, dividindo o método proposto em sete etapas: levantamento de dados; campanha de conscientização; levantamento do sistema; diagnóstico; plano de intervenção; avaliação econômica; e avaliação do impacto de redução.

Nunes (2000) realizou um estudo nos edifícios do campus da Universidade Estadual de Campinas, dividindo o método em: análise e levantamento dos edifícios (população e sistema hidráulico); medição e avaliação do consumo de água; detecção e conserto de vazamentos; substituição de equipamentos. Silva (2004) caracteriza o Programa de Uso Racional da Água da Universidade de São Paulo, dividindo a sua implantação em cinco etapas (diagnóstico geral; redução de perdas físicas; redução de consumo nos pontos de utilização; caracterização dos hábitos e racionalização das atividades que consomem água; e divulgação, campanhas de conscientização e treinamentos), além de outros esforços, concentrados nas fases de pré e pós-implantação do programa.

Existem inúmeros estudos acerca da implantação de Programas de Uso Racional da Água e Programas de Conservação da Água. No Brasil, em especial, há vários estudos relacionados à área, dentre os quais podem-se destacar os trabalhos e métodos desenvolvidos em diversas Universidades. Estes estudos, de maneira geral, apontam para um Programa de Uso Racional da Água em edifícios estruturado nas seguintes etapas:

a) diagnóstico geral:

- cadastro e caracterização do Sistema Predial Hidráulico - SPH;
- caracterização de hábitos de consumo;
- auditoria de consumo;

b) detecção de vazamentos visíveis;

c) detecção de vazamentos não visíveis;

- d) diagnóstico de consumo: cálculo dos índices de perdas;
- e) correção de vazamentos;
- e) instalação de sistema de medição setorizada de consumo de água;
- f) substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água;
- g) reaproveitamento de água em sistemas especiais;
- h) campanhas de conscientização e educação;
- i) avaliação do impacto de redução por agente consumidor.

Um fluxograma com as etapas citadas para implantação de um Programa de Uso Racional da Água em edifícios é apresentado na Figura 1.

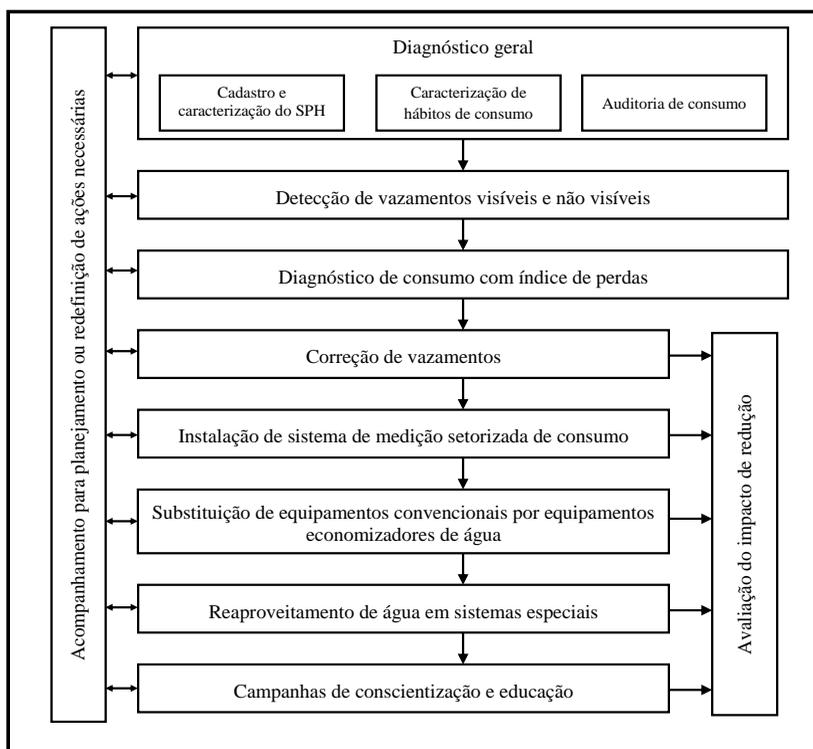


Figura 1 – Fluxograma que apresenta as etapas de um Programa de Uso Racional de Água.

No método para implantação de um PURA, de modo geral, em uma primeira etapa, é realizado um diagnóstico geral, que contempla o cadastramento e caracterização do sistema hidráulico, além da caracterização dos hábitos dos usuários com relação ao uso da água. Oliveira (1999) propõe a realização de uma auditoria no consumo de água, com o levantamento de indicadores de consumo para evitar avaliações errôneas. É importante conhecer o histórico de consumo da edificação, o número de agentes consumidores, o indicador de consumo no período (relação entre o volume consumido e o número de agentes consumidores), além do índice de desperdício estimado.

Oliveira (1999) propõe também a realização de um levantamento das características físicas e funcionais do sistema hidráulico e das atividades desenvolvidas pelos usuários no edifício. A autora ressalta a importância de que o planejamento de ações leve em consideração os aspectos do edifício em que o PURA será implantado, os usuários a serem atingidos pelas ações e os aspectos referentes ao meio ambiente, já que estes apresentam influência direta no consumo de água.

Silva (2004) propõe que o sistema hidráulico seja caracterizado por meio dos projetos e documentação técnica, de entrevistas a funcionários responsáveis pela manutenção de tais sistemas, além de levantamentos em campo. O estado de conservação e a existência de vazamentos nos pontos de utilização devem ser verificados nesta etapa.

As informações a respeito das características do sistema hidráulico em questão, dos usuários do sistema e os indicadores de consumo de água no edifício possibilitam, assim, a elaboração de um plano de intervenção.

A etapa seguinte prevê a verificação de vazamentos. Oliveira (1999) enumera métodos para detecção de vazamentos visíveis em diversos componentes do sistema predial hidráulico. A autora propõe também que a detecção dos vazamentos não visíveis seja realizada por meio de testes expeditos e especiais, com a utilização de equipamentos como correlacionador de ruídos, geofone eletrônico e haste de escuta. Com isso é possível a realização de um diagnóstico que contempla o índice de perda por vazamento visível e o índice de perda por vazamento não-visível. Em seguida há a correção dos vazamentos detectados.

Após isso, pode ser especificado um sistema de medição setorizada do consumo de água. Neste caso, o objetivo é possibilitar o monitoramento periódico do consumo de modo a permitir a elaboração de um diagnóstico de consumo do edifício de forma setorizada, além da detecção de anomalias de forma mais eficiente (TAMAKI, 2003).

A etapa posterior envolve a substituição de equipamentos convencionais por economizadores de água (alvo do presente estudo). Aqui cabe salientar a importância do conhecimento do perfil de consumo, que envolve a frequência diária de uso dos equipamentos hidrossanitários, a vazão unitária e o tempo de acionamento. Estes parâmetros devem ser estudados tanto para os equipamentos convencionais quanto para os equipamentos economizadores de água, de modo a permitir a quantificação do índice de redução de consumo (ILHA et al., 2010).

Também podem ser planejadas ações para o reaproveitamento de água em sistemas hidráulicos especiais. Em um PURA devem ocorrer também, segundo Oliveira (1999), campanhas de conscientização e educação dos usuários. O assunto foi discutido por Willis et al. (2011), que concluíram que a preocupação com o uso da água e com questões ambientais leva a uma utilização mais criteriosa da água. A última etapa, segundo Oliveira (1999), é a avaliação do impacto de redução do consumo de água por agente consumidor.

É importante ressaltar que Programas de Uso Racional da Água devem ter caráter permanente, com esforços periódicos para monitoramento de consumo, manutenção preventiva e corretiva, além da análise de parâmetros e indicadores e do planejamento das novas ações para uma gestão contínua do uso da água. A seguir é detalhada a etapa de substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores em Programas de Uso Racional da Água.

2.1.2 Etapa de substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água

A etapa de substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água em um PURA deve ocorrer de forma sistêmica. Não se deve dissociar esta etapa das demais etapas do programa, ou aplicá-la sem o planejamento devido. É importante ressaltar que o diagnóstico geral deve servir de base para verificação dos pontos de consumo a serem revistos, dos pontos em que o consumo pode ser otimizado e dos que apresentam perdas. Além disso, é necessário um estudo de viabilidade técnica da instalação das tecnologias disponíveis. Para isso é importante o conhecimento de variáveis de consumo, como a frequência de utilização, a vazão no ponto de consumo e o tempo de acionamento, tanto para os equipamentos convencionais, quanto para economizadores de água. A utilização de equipamentos economizadores de água é indiscutivelmente

relevante, porém a especificação dos mesmos deve ser muito bem estudada e planejada em um PURA (OLIVEIRA, 1999).

Ioshimoto, Oliveira e Gonçalves (2004) ressaltam a importância da especificação de equipamentos que estejam de acordo com os requisitos de desempenho, focando nas necessidades dos usuários. Shouler (2005) propõe a utilização de equipamentos economizadores de água e também destaca a importância da transformação do mercado por meio da adoção de normatização de desempenho e de rotulagem de produtos que utilizam água em edifícios.

A NBR 15575-6 (ABNT, 2010b) sugere o emprego de equipamentos economizadores de água e de dispositivos de alta eficiência nos sistemas prediais hidráulicos, desde que não haja prejuízos à saúde ou satisfação dos usuários. Essa norma aponta como vantagens a redução da demanda de água da rede pública de abastecimento e a redução do volume de esgoto a ser tratado. São citados como exemplos de soluções economizadoras, bacias sanitárias de volume de descarga reduzido e torneiras de lavatório e pia dotadas de arejadores. A referida norma também apresenta uma tabela com os valores de vazão máxima para cada tipo de peça de utilização.

Ilha et al. (2010) realizaram medições em um conjunto de banheiros de um aeroporto internacional no Brasil. Os autores dividiram o estudo em etapas, com leituras do consumo antes das intervenções, após ajustes (de vazão e duração do jato) e após a instalação de equipamentos economizadores de água. O índice de consumo médio antes das intervenções era de 11,9 l/passageiro por dia e após simples ajustes o consumo passou a 7,7 l/passageiro por dia. O índice de consumo final após a instalação de diferentes equipamentos foi calculado como 7,0 l/passageiro por dia. O estudo mostrou que ajustes nos equipamentos existentes também podem levar à redução significativa no consumo de água.

Asano (2005) estimou a economia de água com emprego de bacias sanitárias, máquinas de lavar louças e máquinas de lavar roupas mais eficientes. O estudo foi realizado em residências da cidade de Tóquio e a economia total de água estimada foi de 12 a 19%. Fidar, Memom e Butler (2010) compararam o consumo de água com equipamentos convencionais e o consumo estimado com o emprego de diferentes equipamentos economizadores de água (em torneiras, chuveiros, bacias sanitárias, máquinas de lavar louças e máquinas de lavar roupas). O consumo de água com equipamentos convencionais, de 150 l/pessoa por dia, apresentou redução de 20% a 47% em cenários com a utilização de diferentes equipamentos economizadores de água.

A economia de água na etapa de uso dos equipamentos hidrossanitários é apresentada em alguns trabalhos brasileiros. A Tabela 1 apresenta um resumo dos resultados de pesquisas que compararam o consumo de equipamentos convencionais e economizadores de água.

A eficiência com relação à diminuição do consumo de água com a adoção de equipamentos economizadores depende de uma série de fatores, como a tipologia do edifício, as características específicas do sistema predial hidráulico, os usuários e suas necessidades. Tais fatores devem ser levados em consideração quando do cálculo da redução de consumo em consequência da instalação de equipamentos economizadores de água. Se possível, é recomendável que sejam realizados procedimentos de investigação, como medições *in loco* e entrevistas com os usuários das edificações que passarão por essas intervenções.

Gonçalves et al. (1999) recomendam também a realização de uma avaliação econômica antes da substituição de sistemas e componentes, por meio da quantificação dos custos da ação a ser implementada e da estimativa de redução do consumo de água após a intervenção. Aqui cabe ressaltar a necessidade de que seja realizada também uma avaliação da viabilidade ambiental de tais ações.

Tabela 1 – Economia de água estimada na utilização de equipamentos hidrossanitários economizadores.

Equipamento hidrossanitário	Equipamento economizador	Economia média estimada de água (%)	Local	Tipologia das edificações analisadas	Fonte
Torneira	Torneira dotada de arejador	50,0	Cozinha	Residencial	GONÇALVES (2007)
Torneira	Torneira dotada de arejador	24,0	Cozinha	Diversas	SAUTCHÚK et al. (2006)
Torneira	Torneira dotada de arejador	22,5	Cozinha	Residencial	SECOVI (2005)
Torneira	Torneira automática	48,0	Cozinha	Diversas	SAUTCHÚK et al. (2006)
Torneira	Torneira automática	47,5	Cozinha	Residencial	SECOVI (2005)
Torneira	Torneira eletrônica	57,5	Cozinha	Residencial	SECOVI (2005)
Torneira	Torneira dotada de válvula de acionamento com o pé	52,0	Cozinha	Diversas	SAUTCHÚK et al. (2006)
Torneira	Torneira dotada de registro regulador de vazão	40,0	Lavatório	Diversas	SAUTCHÚK et al. (2006)
Torneira	Torneira dotada de registro regulador de vazão	35,0	Lavatório	Residencial	SECOVI (2005)
Torneira	Torneira dotada de arejador	50,0	Lavatório	Diversas	SAUTCHÚK et al. (2006)
Torneira	Torneira dotada de arejador	24,0	Lavatório	Diversas	SAUTCHÚK et al. (2006)
Torneira	Torneira dotada de arejador	22,5	Lavatório	Residencial	SECOVI (2005)
Torneira	Torneira funcionamento hidromecânico	75,0	Lavatório	Residencial	GONÇALVES (2007)
Torneira	Torneira funcionamento hidromecânico	48,0	Lavatório	Diversas	SAUTCHÚK et al. (2006)

continua

Tabela 1 – Economia de água estimada na utilização de equipamentos hidrossanitários economizadores (continuação).

Equipamento hidrossanitário	Equipamento economizador	Economia média estimada de água (%)	Local	Tipologia das edificações analisadas	Fonte
Torneira	Torneira hidromecânico	47,5	Lavatório	Residencial	SECOVI (2005)
Torneira	Torneira com sensor de presença	87,5	Lavatório	Residencial	GONÇALVES (2007)
Torneira	Torneira com sensor de presença	58,0	Lavatório	Diversas	SAUTCHÚK et al. (2006)
Torneira	Torneira com sensor de presença	57,5	Lavatório	Residencial	SECOVI (2005)
Torneira	Torneira dotada de arejador	50,0	Lavanderia	Residencial	GONÇALVES (2007)
Torneira	Torneira dotada de arejador	22,5	Lavanderia	Residencial	SECOVI (2005)
Torneira	Torneira automática	47,5	Lavanderia	Residencial	SECOVI (2005)
Chuveiro	Chuveiro dotado de dispositivo regulador de vazão	45,0	Banheiro	Residencial	GONÇALVES (2007)
Chuveiro	Chuveiro dotado de dispositivo regulador de vazão	40,0	Banheiro	Diversas	SAUTCHÚK et al. (2006)
Chuveiro	Chuveiro dotado de dispositivo regulador de vazão	35,0	Banheiro	Residencial	SECOVI (2005)
Chuveiro	Chuveiro dotado de válvula de fechamento automático	42,0	Banheiro	Diversas	SAUTCHÚK et al. (2006)

continua

Tabela 1 – Economia de água estimada na utilização de equipamentos hidrossanitários economizadores (continuação).

Chuveiro	Chuveiro dotado de válvula de fechamento automático	42,5	Banheiro	Residencial	SECOVI (2005)
Chuveiro	Chuveiro dotado de válvula de fechamento com o pé	45,0	Banheiro	Diversas	SAUTCHÚK et al. (2006)
Mictório	Mictório dotado de válvula de fechamento automático	42,5	Banheiro	Residencial	SECOVI (2005)
Mictório	Mictório dotado de válvula de fechamento automático	50,0	Banheiro	Diversas	SAUTCHÚK et al. (2006)
Mictório	Mictório dotado de válvula de fechamento eletrônica	57,5	Banheiro	Residencial	SECOVI (2005)
Mictório	Mictório dotado de válvula de fechamento eletrônica	50,0	Banheiro	Diversas	SAUTCHÚK et al. (2006)
Bacia sanitária	Bacia sanitária com volume de descarga reduzido (6 litros por acionamento)	50,0	Banheiro	Diversas	SAUTCHÚK et al. (2006)
Bacia sanitária	Bacia sanitária com volume de descarga reduzido (6 litros por acionamento)	50,0	Banheiro	Residencial	GONÇALVES (2007)
Bacia sanitária	Bacia sanitária com válvula de descarga eletrônica e ciclo fixo (6 litros por acionamento)	50,0	Banheiro	Residencial	GONÇALVES (2007)
Bacia sanitária	Bacia sanitária com volume de descarga reduzido (6 litros por acionamento)	50,0	Banheiro	Residencial	SECOVI (2005)

continua

Tabela 1 – Economia de água estimada na utilização de equipamentos hidrossanitários economizadores (continuação).

Bacia sanitária	Bacia sanitária com sistema duplo de descarga (3 e 6 litros por acionamento)	62,5	Banheiro	Residencial	SECOVI (2005)
Bacia sanitária	Bacia sanitária com sistema duplo de descarga (3 e 6 litros por acionamento)	68,8	Banheiro	Residencial	GONÇALVES (2007)

conclusão

2.1.2.1 Definições e nomenclatura

A Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT (1998), por meio da NBR 5626, define o Sistema Predial de Água Fria como o sistema composto por reservatórios, tubulação, peças de utilização, equipamentos e outros componentes, cumprindo a função de levar água fria da fonte de abastecimento aos pontos de utilização. A NBR 8160 (ABNT, 1999) traz a definição de Sistema Predial de Esgoto Sanitário como o “conjunto de tubulações e acessórios destinados a coletar e transportar o esgoto sanitário, garantir o encaminhamento dos gases para a atmosfera e evitar o encaminhamento dos mesmos para os ambientes sanitários”.

A NBR 5626 (ABNT, 1998) define aparelho sanitário como componente destinado ao uso da água ou recebimento de dejetos, pertencendo ao Sistema Predial de Esgoto Sanitário, na maioria dos casos. Bacias sanitárias, lavatórios, pias de cozinha, banheiras, lavadoras de roupas e lavadoras de louças são exemplos de aparelhos sanitários. A referida norma define peça de utilização como componente instalado a jusante do sub-ramal no Sistema Predial de Água Fria que permite a utilização da água e em alguns casos, também o ajuste de vazão. Define também componente como qualquer produto integrante do Sistema Predial de Água Fria que cumpra uma função individualmente. A NBR 15575-6 (ABNT, 2010b), que trata de sistemas hidrossanitários, utiliza as nomenclaturas peça de utilização e aparelhos sanitários, embora também empregue as expressões equipamentos e componentes dos sistemas hidrossanitários.

A etapa de substituição de materiais físicos em Programas de Uso Racional de Água, objeto do presente estudo, envolve a substituição de componentes, tanto do Sistema Predial de Água Fria, quanto do Sistema Predial de Esgoto Sanitário. Nesta tese é proposto um método para avaliação de impacto ambiental que pode ser utilizado para aparelhos sanitários (como bacias sanitárias, mictórios, lavadoras de louças ou de roupas), peças de utilização (como torneiras, chuveiros, duchas higiênicas) ou outros componentes que exerçam uma função preponderante no consumo de água dos sistemas hidrossanitários. Segundo Ioshimoto, Oliveira e Gonçalves (2004), componentes dos sistemas hidrossanitários que aparentemente não possuem características relacionadas à economia de água podem resultar em um decréscimo de consumo na utilização. Os autores citam como exemplo o emprego de gatilhos nas pontas de mangueiras, que fazem com que haja vazão apenas quando o usuário estiver efetivamente utilizando-as. Outro

exemplo citado é a utilização de torneiras com alavancas em cozinhas industriais, o que facilita a abertura e fechamento e desencoraja a opção de manter a torneira aberta quando não utilizada. Assim, a nomenclatura utilizada para os componentes dos sistemas hidrossanitários avaliados por meio do método proposto nesta tese é equipamentos hidrossanitários.

Oliveira (1999), ao mencionar as ações tecnológicas em Programas de Uso Racional de Água, utiliza as nomenclaturas “sistemas e componentes convencionais” e “sistemas e componentes economizadores de água”. Ioshimoto, Oliveira e Gonçalves (2004) utilizam as nomenclaturas “produtos economizadores de água” e “equipamentos economizadores de água”. Hespagnol e Gonçalves (2004) utilizam a nomenclatura “equipamentos economizadores de água”.

Sautchúk (2004) utiliza as nomenclaturas “equipamentos e componentes hidráulicos” e “equipamentos economizadores de água”. Silva (2004) utiliza a nomenclatura “equipamentos convencionais” e “equipamentos economizadores de água”. Scherer (2003) utiliza as denominações “componentes economizadores de água”, “equipamentos economizadores de água” e “aparelhos economizadores de água”. Oliveira et al. (2007) utilizam a terminologia “equipamentos hidráulicos economizadores”. Alves, Rocha e Gonçalves (2006) utilizam a denominação “aparelhos sanitários economizadores”, enumerando como exemplos: bacias sanitárias, banheiras, chuveiros e duchas, lavatórios, mictórios e bidês a serem utilizados nos banheiros; pias e lavadoras de utensílios de cozinha; tanques e lavadoras de roupas nas áreas de serviço; e torneiras de jardim e outras torneiras em garagens, pátios e superfícies similares.

Tamaki (2003) define equipamentos economizadores de água como “dispositivos que buscam a redução do consumo, mas sem a perda da eficiência ou comprometimento do desempenho”.

Nesta tese são utilizadas as nomenclaturas equipamentos convencionais e equipamentos economizadores de água. São considerados equipamentos economizadores de água os aparelhos sanitários, peças de utilização e outros componentes dos sistemas prediais hidrossanitários que cumpram a mesma função dos equipamentos convencionais com redução de consumo de água e manutenção da qualidade requerida.

2.1.2.2 Equipamentos hidrossanitários: vida útil

De acordo com ABNT (2010b), os equipamentos que compõem os sistemas prediais hidrossanitários devem manter a capacidade funcional para a vida útil de projeto, desde que respeitados os requisitos de manutenção e conservação. ABNT (2010a) enquadra a vida útil de projeto de edifícios em mínima (40 anos) e superior (60 anos). A mesma norma considera os equipamentos hidrossanitários como substituíveis e de fácil acesso, estabelecendo a vida útil de projeto mínima como maior ou igual a três anos, e a superior, maior ou igual a quatro anos.

Ao analisar a viabilidade econômica da utilização de tecnologias economizadoras de água em escolas, Ywashima (2005) considera a vida útil de equipamentos economizadores igual a dois anos, exceto para os que possuem acabamento antivandalismo, para os quais a autora considera a vida útil de cinco anos. A referida autora justifica a consideração fazendo menção à tipologia dos edifícios (escolas) e afirma que o prazo de garantia contra defeitos de fabricação estipulado por alguns fabricantes de equipamentos economizadores é de cinco anos. Cabe ressaltar que a vida útil reduzida foi assim considerada, pois o local apresentava índices elevados de roubo e vandalismo.

André e Pelin (1998) consideram, para fins de análise econômica de equipamentos economizadores de água, a vida útil de 10 anos. Os autores justificam a escolha com a realização de cálculos com vida útil estendida sem, contudo, verificar alteração significativa nos resultados para a análise econômica em questão.

2.2 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), segundo a ABNT (2009a), é um método de avaliação de aspectos ambientais e impactos potenciais de produtos. Para tanto, um estudo de ACV analisa esses aspectos e impactos ao longo dos estágios do ciclo de vida, desde a extração da matéria-prima ou geração de recursos naturais à disposição final. As fases do ciclo de vida de um produto envolvem, assim, extração de matéria-prima, processamento, manufatura, distribuição, embalagem, transporte, uso, reúso, manutenção, reciclagem e disposição final do produto.

Segundo Chehebe (1997), a ACV de produtos pode ser utilizada para diversas finalidades, ajudando a subsidiar tomadas de decisão, seleção de indicadores ambientais relevantes em um determinado

projeto (ou reprojeto) de produtos ou processos, além de ser uma ferramenta de planejamento estratégico. Segundo ABNT (2009a), a ACV pode ser empregada para:

- identificar pontos em que pode haver melhoria de produtos, quando considerado o aspecto ambiental ao longo de uma ou mais fases do seu ciclo de vida;
- ajudar na tomada de decisões sobre determinado produto ou processo;
- selecionar indicadores ambientais e definir, desta maneira, técnicas de medição;
- definir critérios que envolvem programas como os de rotulagem, certificação ou declaração ambiental de produtos ou processos.

ACV é um método de suporte à tomada de decisões, podendo ser utilizada no desenvolvimento e melhoria de produtos, na comparação de diferentes produtos e como ferramenta para rotulagem ambiental (UNEP, 1996). De acordo com ABNT (2009a), o método de ACV deve incluir:

- definição de objetivo e escopo;
- análise do inventário do ciclo de vida;
- avaliação do impacto do ciclo de vida;
- interpretação do ciclo de vida.

A referida norma apresenta ainda as fases citadas e suas interações, conforme apresentado na Figura 2.

Na fase de definição de objetivo e escopo devem ser definidos a razão (justificativa) para a realização do estudo, abrangência e limites considerados, o método e os procedimentos a serem adotados de modo a atingir a qualidade esperada (CHEHEBE, 1997). De acordo com Jolliet, Saadé e Crettaz (2005), essa fase tem extrema importância, pois define elementos cruciais, como a unidade funcional, as funções e limites do sistema.

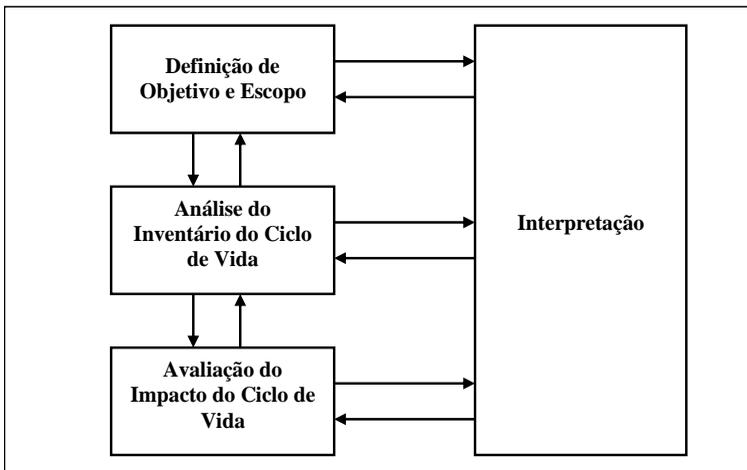


Figura 2 – Fases de uma ACV.

Fonte: adaptado de ABNT (2009a).

A análise do inventário do ciclo de vida, segundo Chehebe (1997), inclui a coleta e quantificação de variáveis como energia, matéria-prima, transportes, emissões no ar, na água e no solo durante todo o ciclo de vida do produto, processo ou atividade em estudo. De acordo com Hofstetter (1998), essa fase do estudo de ACV descreve o sistema por meio de todos os processos que geram uma contribuição relevante para os impactos ambientais definidos no objetivo do estudo. Segundo ABNT (2009a) esta fase é iterativa, ou seja, a coleta de dados faz com que os condutores de uma ACV conheçam mais sobre o sistema, o que pode levar à identificação de novos requisitos ou mesmo limitações para os dados. Isso pode acarretar na necessidade de mudanças nos procedimentos de coleta de dados para que os objetivos sejam alcançados. A referida norma cita ainda casos em que determinadas questões possam acarretar em revisões de objetivo e/ou escopo de estudo.

A fase de avaliação do impacto do ciclo de vida é um processo qualitativo e quantitativo que se baseia nos resultados obtidos na fase de análise do inventário. Por meio do entendimento destes resultados pode-se avaliar a magnitude e importância dos impactos ambientais (CHEHEBE, 1997). Nessa fase, a contribuição potencial de cada categoria de impacto é calculada (BLOM; ITARD; MEIJER, 2010).

Em estudos de ACV, na fase de interpretação do ciclo de vida, as constatações das duas fases anteriores (análise de inventário e avaliação

do impacto do ciclo de vida) são combinadas de acordo com objetivos e escopo previamente definidos para alcançar conclusões e recomendações (ABNT, 2009a). Nesta fase, de acordo com Jolliet, Saadé e Crattez (2005), é importante que sejam analisadas as hipóteses consideradas de maneira crítica para verificação de incertezas durante o processo.

A seguir, as fases da Avaliação do Ciclo de Vida são detalhadas de forma mais aprofundada. O estudo apresentado tem como base e ponto de partida o conjunto de Normas Técnicas da série NBR ISO 14040, que tratam de ACV. Foram pesquisados, porém, outros autores já que em muitos pontos foi necessária uma investigação de determinados termos e procedimentos que não são plenamente esclarecidos apenas com as normas citadas.

2.3 FASES DE UM ESTUDO DE AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA

2.3.1 Definição de objetivo e escopo

Na fase de definição do objetivo de um estudo de ACV são feitas escolhas iniciais para determinação de um plano de trabalho. O objetivo deve ser definido em termos exatos, com a aplicação pretendida (GUINÉE, 2002). De acordo com Jolliet, Saadé e Crettaz (2005) esta fase inclui a avaliação do problema, a definição dos objetivos e a definição do campo de estudos. A definição do objetivo de um estudo de ACV deve incluir a aplicação pretendida, razões para condução do estudo e o público-alvo, sem contradições ou possibilidade de interpretações ambíguas (ABNT, 2009b). A definição do objetivo de um estudo de ACV deve contemplar, portanto, a definição do porquê, para quê e para quem será realizado o estudo.

ABNT (2009a) recomenda, sobre a definição do escopo: “convém que o escopo seja suficientemente bem definido para assegurar que a extensão, a profundidade, o grau de detalhe do estudo sejam compatíveis e suficientes para atender o objetivo estabelecido”. Guinée (2002) afirma que a definição do escopo deve incluir a cobertura temporal, geográfica e tecnológica do estudo, além do nível de aprofundamento requerido para atingir o objetivo previamente definido.

Sobre possíveis mudanças no escopo e/ou objetivo do estudo decorrentes de necessidades relativas à etapa de coleta de dados e informações, ABNT (2009b) recomenda que quaisquer mudanças sejam documentadas e devidamente justificadas.

Nesta fase é definida a unidade funcional. Frenette et al. (2010) discorrem sobre a importância da correta definição da unidade funcional para a aplicação de ACV na análise de um produto ou sistema. Os estudos de Horne, Grant e Verghese (2009) também mencionam a importância da definição da unidade funcional no desenvolvimento do estudo de ACV. A unidade funcional, de acordo com as normas NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b) e ISO 14049 (ISO, 2000), representa a quantificação das funções previamente identificadas, fornecendo, desta forma, uma referência para padronização dos dados de entrada e saída.

Após a fase de definição de objetivo e escopo, o método de ACV prevê a realização da análise de inventário do ciclo de vida, etapa descrita a seguir.

2.3.2 Análise de inventário

A análise de inventário é a fase em que são coletados os dados para possibilitar a avaliação do impacto do ciclo de vida. Além disso, nessa fase são definidos os procedimentos de cálculo para quantificar entradas e saídas do sistema em estudo (ABNT, 2009a).

A NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b) recomenda, para análise de inventário, a realização das etapas mencionadas na Figura 3.

A preparação para coleta de dados visa assegurar que esta etapa seja realizada de forma coerente com o objetivo e escopo previamente definidos. A coleta de dados, segundo ABNT (2009b), exige registro detalhado e profundo conhecimento sobre os processos elementares. Devem ser realizadas descrições quantitativas e qualitativas de entradas e saídas, delimitando o início e fim de cada processo e, quando aplicável, os dados necessários para definir procedimentos de alocação também devem ser documentados.

Segundo Chehebe (1997), a etapa de coleta de dados é a maior consumidora de tempo de uma ACV. O autor ainda aponta essa etapa como uma possível maior consumidora de recursos financeiros também, já que muitas vezes há a necessidade de coleta de dados *in loco*, dependendo do estudo.

Segundo o referido autor, a principal dificuldade é a indisponibilidade de dados para o estudo em questão. Muitas vezes o que ocorre também é a incompatibilidade (idade dos dados, dados disponíveis apenas para etapas conjuntas do ciclo de vida, diferentes hipóteses metodológicas, falta de informações sobre a geração dos dados, etc.).

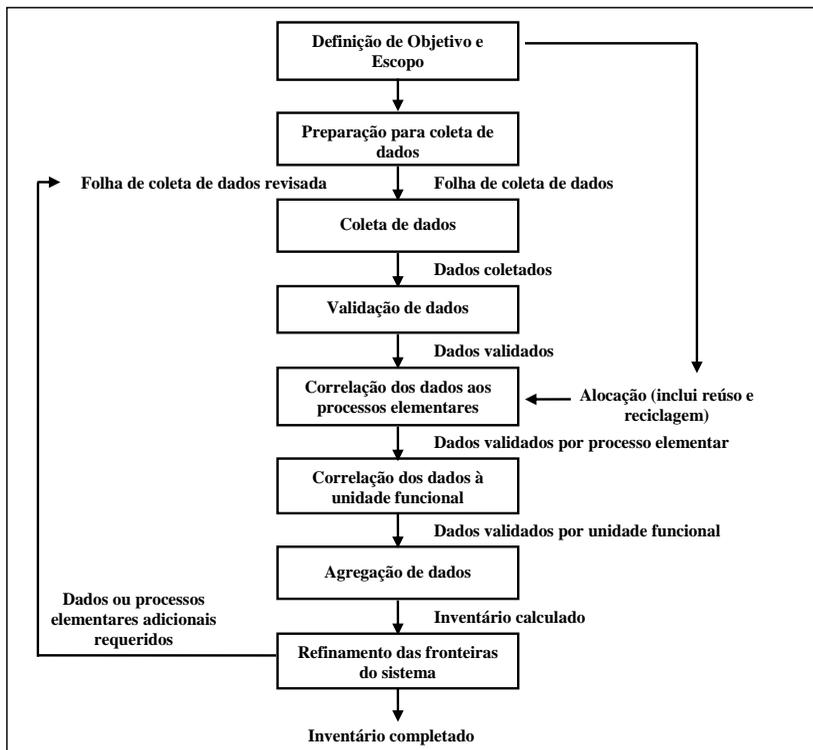


Figura 3 – Procedimentos simplificados para análise do inventário.

Fonte: ABNT (2009b).

Segundo ABNT (2009a) e ABNT (2009b), após a coleta de dados, procedimentos de cálculo são necessários para a geração dos resultados do inventário de cada processo elementar. Os procedimentos de cálculo envolvem: (i) a validação dos dados, (ii) a correlação de dados a processos elementares, (iii) a correlação dos dados aos fluxos de referência e à unidade funcional e (iv) o refinamento das fronteiras do sistema.

No caso de ausência de dados, a NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b) recomenda, para tratamento dos dados, a inclusão do valor zero para o dado (desde que justificado), a inclusão de um valor diferente de zero (também se convenientemente justificado), ou a inclusão de um valor calculado por meio de base de dados de processos que utilizem tecnologia similar ao processo em questão. Para tanto, o tratamento deve

ser documentado e deve haver uma justificativa desta escolha feita no estudo.

O relacionamento de dados com o processo elementar deve ser realizado de maneira que, para cada processo elementar, haja um fluxo de referência relacionado. Assim, os dados de entrada e saída de cada processo elementar devem ser calculados com base nesse fluxo de referência determinado (ABNT, 2009b).

ABNT (2009b) recomenda o relacionamento dos dados com a unidade funcional, ou seja, os dados de entrada e saída, no resultado dos cálculos, devem se referir à unidade funcional. Isso acontece por meio da normalização, para a unidade funcional, dos fluxos dos processos elementares. Os dados de entrada e saída devem ser agregados apenas para categorias de dados referentes a substâncias equivalentes e a impactos ambientais similares.

O refinamento das fronteiras do sistema é a última etapa dos procedimentos de cálculo e consiste na revisão das fronteiras iniciais do sistema de produto. Todo o processo deve ser documentado, podendo resultar na exclusão de fases do ciclo de vida, processos elementares ou de entradas e saídas que se venha a verificar que não apresentem significância no estudo. Esse procedimento pode resultar ainda na inclusão de processos elementares ou de entradas e saídas que se mostrem significativos e justifiquem tal inclusão (ABNT, 2009b).

Alocação consiste na divisão dos fluxos de materiais, de energia e das cargas ambientais entre os diferentes produtos quando os processos industriais produzem mais de um produto ou quando ocorre algum tipo de reciclagem ou descarte de matéria-prima que seja utilizada em outros processos. Todo o procedimento de alocação para cada processo elementar deve ser devidamente documentado e justificado (ABNT, 2009a; ABNT, 2009b).

Quando houver reutilização e reciclagem nos processos, devem ser realizados procedimentos de alocação levando em consideração a especificidade de tal situação. Deve-se levar em consideração que a reutilização ou reciclagem pode implicar na divisão de entradas e saídas entre o sistema de produto em estudo e outro(s) sistema(s) de produto. Outro aspecto a ser considerado nos cálculos de alocação é a possível alteração de propriedades dos materiais com a reciclagem ou reúso. Para processos de recuperação, a definição das fronteiras do sistema deve ser realizada de maneira a assegurar a validade dos procedimentos de alocação (ABNT, 2009b).

Segundo Frenette et al. (2010), de modo geral, a fase de análise de inventário avalia as entradas e saídas de materiais, substâncias e

energia do sistema em estudo. Para isso é importante que sejam cumpridas as etapas descritas anteriormente. Após a realização dessas etapas, o método de ACV prevê a fase de avaliação do impacto do ciclo de vida, descrita a seguir.

2.3.3 Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida

A avaliação do impacto do ciclo de vida (AICV) consiste na interpretação dos resultados da análise do inventário do ciclo de vida, avaliando a significância dos impactos ambientais associados. O objetivo da AICV é a avaliação do sistema de produto por meio dos impactos ambientais potenciais. Desta forma, fornece informações para a interpretação dos resultados do ciclo de vida (ABNT, 2009a). Guinée (2002) ressalta a importância da seleção das categorias de impacto a serem consideradas, que devem ser relevantes para o estudo e baseadas nos objetivos anteriormente definidos.

Nesta fase, os resultados obtidos na fase de análise de inventário são relacionados a categorias de impacto. As categorias de impacto são definidas por meio de indicadores de categoria e cada categoria apresenta um resultado calculado. Para as categorias de impacto analisadas, o perfil da AICV é o conjunto de resultados dos indicadores, que demonstram aspectos ambientais referentes ao sistema analisado no estudo de ACV (ABNT, 2009a, 2009b).

A fase de AICV apresenta elementos obrigatórios e opcionais. Os elementos obrigatórios são as etapas do AICV responsáveis por transformar os resultados da análise de inventário em resultados dos indicadores de categoria. De acordo com a NBR 14044 (ABNT, 2009b), os elementos obrigatórios são os seguintes:

- seleção das categorias de impacto, indicadores de categoria e modelos de caracterização;
- correlação dos resultados às categorias de impacto selecionadas (classificação);
- cálculo dos resultados dos indicadores de categoria (caracterização).

Os elementos opcionais objetivam a normalização, agrupamento ou ponderação dos resultados dos indicadores de categoria, além da análise de qualidade dos dados. Os elementos opcionais da AICV são (ABNT, 2009b):

- cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores de categoria com relação a informações de referência (normalização);
- agrupamento;
- ponderação;
- análise da qualidade dos dados.

A etapa obrigatória de seleção das categorias de impacto é descrita a seguir.

2.3.3.1 Categorias de impacto

A seleção das categorias de impacto a serem consideradas no estudo de ACV deve apresentar coerência com o objetivo do mesmo. Para possibilitar a caracterização das categorias de impacto, as etapas anteriormente descritas na análise do inventário (como a coleta de dados), devem ser realizadas de modo a permitir os cálculos das categorias de impacto pretendidas.

A caracterização das categorias de impacto demonstra a relação do produto ou sistema analisado no estudo de ACV com questões ambientais. São exemplos: exaustão de recursos, que relaciona os recursos necessários no ciclo de vida e a oferta dos mesmos; potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio; acidificação; toxicidade humana; potencial de nutrificação (GUINÉE, 2002).

Como mencionado, as categorias de impacto consideradas dependem do objetivo do estudo. Na literatura existem trabalhos que consideram uma ou várias categorias, que fazem uso da ponderação para geração de índices únicos ou não. Soares, Toffoletto e Deschênes (2006), ao desenvolverem um modelo de ponderação em AICV, consideraram as seguintes categorias de impacto: mudanças climáticas, potencial de redução da camada de ozônio, formação de oxidantes fotoquímicos, acidificação, eutrofização terrestre, eutrofização aquática, ecotoxicidade, toxicidade humana, uso do solo e utilização de recursos abióticos.

No campo da construção civil há estudos que consideram desde uma categoria de impacto, como nos trabalhos de Crawford e Treolar (2004) e de Asif, Muneer e Kelley (2007). Esses trabalhos consideraram o consumo de energia no ciclo de vida dos produtos da construção civil analisados. São recorrentes também trabalhos que consideram o

consumo energético e a emissão de CO₂ decorrente (HUBERMAN; PEARLMUTTER, 2007; ÜRGE-VORSATZ; NORVIKOVA, 2008). O trabalho de Kofoworola e Gheewala (2008) considerou as categorias de impacto potencial de aquecimento global, acidificação e potencial de formação de oxidantes fotoquímicos, segundo os autores, por serem importantes no contexto em que o estudo foi realizado. Em grande parte dos trabalhos acadêmicos publicados no campo da engenharia civil foram consideradas várias categorias de impacto, como nos estudos publicados por Cybis e Santos (2000), Seppälä et al. (2002), Scheuer, Keoleian e Reppe (2003), Arena e Rosa (2003), Wu, Zhang e Chen (2005), Zhang et al. (2006), Blengini (2008) e Frenette et al. (2010).

A consideração de diferentes categorias de impacto em estudos voltados à indústria da construção civil foi analisada por Ortiz, Castells e Sonnemann (2009). Os autores encontraram certo consenso na escolha das categorias de impacto, sendo as mais utilizadas: potencial de aquecimento global, acidificação e consumo de energia. Dos estudos de ACV voltados à indústria da construção civil analisados pelos autores, apenas 25% consideravam o consumo de água como impacto ambiental.

2.3.4 Interpretação do Ciclo de Vida

Na fase de interpretação do ciclo de vida, os resultados obtidos nas fases de análise do inventário e avaliação do impacto do ciclo de vida são combinados de maneira consistente com o objetivo e escopo do estudo de Avaliação do Ciclo de Vida. As constatações devem ser descritas, com o objetivo de se obter conclusões e recomendações (ABNT, 2009a). Nesta fase, segundo Jolliet, Saadé e Crettaz (2005), é possível identificar pontos onde pode haver melhoria ambiental no processo de fabricação do produto ou sistema.

Segundo a referida norma, o resultado final do estudo de ACV deve ser divulgado ao público-alvo de maneira a explicitar o método e pressupostos aplicados, bem como as limitações do estudo. Deve ser realizada ainda uma revisão crítica de modo a verificar a pertinência quanto ao método, coleta de dados, interpretação e comunicação de resultados.

A Avaliação do Ciclo de Vida é um método para avaliação de impactos ambientais que considera todo o ciclo de vida do sistema ou produto analisado, desde a extração de matérias-primas até a disposição final. O estudo de ACV é, por muitas vezes, extenso, apresentando limitações principalmente devido à complexidade da coleta de dados ou dificuldade em assegurar a qualidade dos mesmos. Mesmo diante das

dificuldades apontadas, o método ACV é válido e normatizado, apresentando-se como uma importante ferramenta de gestão ambiental. Um estudo de ACV pode ser utilizado para a tomada de decisões, definições de prioridades, projeto de produtos, identificação de possibilidades de melhoria ambiental de produtos (em várias fases do ciclo de vida), entre outros aspectos (ABNT, 2009a; CHEHEBE, 1997).

2.3.5 Uso de programas computacionais para cálculo em estudos de ACV

A compilação dos dados, a quantificação de impactos e os cálculos envolvidos em estudos de ACV voltados à indústria da construção civil podem ser bastante complexos. E a utilização de sistemas computacionais com intuito de auxiliar o desenvolvimento dos estudos envolvendo ACV se torna crescente. De acordo com Norris e Yost (2002) um requisito ao avanço de estudos em ACV é o uso de programas computacionais que facilitem o trabalho interativo com os dados disponíveis e com os modelos propostos. Segundo Ribeiro (2009), o uso de programas produz resultados com maior agilidade e confiabilidade em estudos de ACV.

O uso de programas computacionais para avaliação de aspectos ambientais de produtos e sistemas inerentes à indústria da construção civil é pertinente e existem várias opções no mercado. O pesquisador deve realizar a escolha do programa que melhor se adequa a suas necessidades e aos objetivos do estudo de ACV (FORSBERG; MALMBORG, 2004).

Entre os programas computacionais para apoio à ACV no mercado podem ser citados GaBi, TEAM, Umberto e SimaPro. O programa computacional GaBi auxilia estudos de ACV e pode incluir verificações de ordem ambiental, social e econômica de produtos. Lee, Tae e Shin (2009) citam a facilidade para manuseio do programa, que oferece diversas funções para que o usuário estruture o estudo de forma simples. O programa é desenvolvido pela empresa PE International, que comercializa também as bases de dados a serem utilizadas. A licença para utilização do programa deve ser adquirida pelo usuário, porém há uma versão demonstrativa que pode ser utilizada gratuitamente.

O programa TEAM é desenvolvido pela Ecobilan PricewaterhouseCoopers e pode ser utilizado por meio da aquisição de uma licença. O programa realiza avaliação ambiental e econômica do ciclo de vida de produtos e permite a criação de bases de dados. Esse programa trabalha separadamente a análise de inventário e a avaliação

de impactos (LEE; TAE; SHIN, 2009). O programa computacional Umberto é desenvolvido pela Ifu Hamburg. Existe a possibilidade de aquisição de diferentes tipos de licença para uso do programa, de acordo com a necessidade do usuário. Segundo Ribeiro (2009), a principal aplicação do programa Umberto reside na verificação de pontos de melhoria no consumo de matérias-primas e energia.

O programa computacional SimaPro é desenvolvido pela empresa PRé Consultants e a utilização também se dá por meio de aquisição de licença de uso. Existe uma versão demonstrativa que pode ser utilizada gratuitamente, porém com algumas limitações. O programa SimaPro possui vasta base de dados e diferentes métodos preestabelecidos para caracterização das categorias de impacto. O programa pode ser facilmente adaptado aos objetivos de diferentes estudos. A facilidade para entrada de dados e o acesso a informações das bases de dados são citadas por Lee, Tae e Shin (2009) como características do programa. Além disso, as bases de dados podem ser alteradas para se adequarem à realidade da região em que o estudo é desenvolvido, bem como os métodos de caracterização de impactos, que podem também incluir impactos sociais e econômicos.

A maioria dos programas computacionais para auxílio a estudos de ACV sofrem mudanças e atualizações periódicas. Como a demanda é crescente, assim como a aplicação de ACV nos mais variados setores, as empresas desenvolvedoras dos programas computacionais procuram inovar e atender aos anseios dos usuários. Desta forma, existe uma variedade de opções no mercado e cabe a cada pesquisador verificar qual ferramenta computacional melhor se enquadra nos objetivos do estudo de ACV a ser desenvolvido.

2.4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: APLICAÇÕES NO SETOR DA CONSTRUÇÃO CIVIL

Segundo Soares, Souza e Pereira (2006), Avaliação do Ciclo de Vida é um excelente método para análise e seleção de alternativas sob uma ótica ambiental. De acordo com John, Oliveira e Lima (2007), ACV é reconhecida como o método potencialmente mais eficiente para avaliação de produtos do ponto de vista ambiental e em um futuro próximo deve ser utilizada de modo prático para a seleção de materiais em diversas áreas.

No setor da construção civil, estudos são realizados de modo a incorporar o conceito de ACV quando da seleção de métodos

construtivos e da escolha de materiais e sistemas. As vantagens da análise utilizando um método estruturado nos impactos ambientais na construção civil são analisadas por autores como Taborianski e Prado (2001) e Silva (2003). De acordo com Soares, Souza e Pereira (2006), estudos mostram que a aplicação de ACV pode ser realizada nos mais diversos campos da indústria da construção civil. Segundo Silva (2003), o conceito da ACV tem sido inserido no contexto da construção civil das seguintes formas:

- na avaliação de materiais de construção para melhoria de processos e produtos;
- na rotulagem ambiental de produtos;
- em ferramentas de suporte à decisão (medição e comparação de impactos ambientais de diferentes materiais e componentes);
- em instrumentos de informação aos projetistas;
- em sistemas de avaliação de sustentabilidade ambiental de edifícios.

Os métodos para avaliação ambiental de edifícios que têm seus resultados baseados no atendimento de critérios de avaliação, segundo Silva (2003), tentam, de alguma maneira incorporar o conceito de ACV a suas estruturas de avaliação. A referida autora afirma que a maioria dos métodos para avaliação de edifícios não emprega ACV na quantificação de impactos ambientais. Porém, os métodos para avaliação ambiental de edifícios comumente usam o conceito de ciclo de vida extraído do método ACV para tentar avaliar o edifício em todas as suas fases e não apenas na de projeto ou pré-ocupação.

De acordo com Zhang et al. (2006) os métodos que não utilizam ACV possuem um caráter mais subjetivo, enquanto os métodos baseados em Avaliação do Ciclo de Vida apresentam um resultado objetivo na avaliação de sistemas. A existência de deficiências e dificuldades na aplicação de ACV na avaliação de edifícios é reconhecida, mas a principal vantagem de sua utilização é a cobertura detalhada de impactos ambientais associados à edificação (ZHANG et al., 2006).

Peuportier, Kohler e Boonstra (1997) analisaram a adaptação da ACV, originalmente desenvolvida para produtos industrializados, à indústria da construção civil. No caso de edifícios, os autores enumeraram questões a serem consideradas, enfatizando o caráter único

de um edifício. O trabalho de Verbeeck e Hens (2010b) também mencionou a dificuldade de comparação dos resultados de estudos de ACV em edifícios devido a essa característica única.

Outra diferença citada por Peuportier, Kohler e Boonstra (1997) é a vida útil, bastante estendida quando comparada à vida útil da maioria dos produtos industrializados. Os diferentes usuários² (muitas vezes com objetivos contraditórios) e o grande número de materiais que podem ser empregados na execução dos produtos ligados à construção civil são outros fatores que agregam dificuldade à aplicação da ACV no setor. Verbeeck e Hens (2010b) também citaram a vida útil de produtos de edifícios e dos próprios edifícios como um agente promotor de incertezas na avaliação de ACV. Como tais sistemas não possuem estabilidade ao longo do tempo, há certa dificuldade na previsão de reformas ou nas necessidades de manutenção (VERBEECK; HENS, 2010b).

O trabalho de Bribián, Usón e Scarpellini (2009) discorreu sobre a particularidade de ACV aplicada a edifícios, mencionando a possibilidade de haver multiplicidade de funções em um mesmo edifício e as recorrentes mudanças durante a vida útil. Os autores também citam a variedade de componentes e a produção do edifício, que é realizada de forma local. Outra particularidade é a integração do edifício com a infraestrutura local, o que poderia gerar uma dificuldade adicional na definição dos limites do sistema.

Lloyd, Landfield e Glazebrook (2005) também citaram como uma das principais dificuldades da avaliação ambiental no setor, o caráter único de cada edifício. Um edifício é um sistema complexo composto por subsistemas e componentes que se inter-relacionam. Além disso, os impactos ambientais gerados dependem também da relação entre o meio natural, o meio construído e seus usuários. No estudo desenvolvido por Peuportier (2001) também houve preocupação com a relação entre o ambiente construído, o meio que o cerca e os usuários.

Erlandsson e Borg (2003) apontaram como uma das dificuldades da avaliação por meio de ACV, a possibilidade de mudanças na utilização de um edifício ao longo do ciclo de vida, o que produz saídas diferentes ao longo do tempo e dificulta a quantificação de impactos na fase de uso e ocupação.

² De acordo com Graça e Gonçalves (1986), devem ser considerados usuários do sistema edifício, os ocupantes (pessoal permanente, visitantes, pessoal de limpeza e manutenção) e não-ocupantes (construtores, proprietários, administradores, vizinhos, etc.).

Ao analisar requisitos para um modelo de avaliação de materiais de construção baseado em ACV, Chevalier e Téo (1996) demonstraram preocupação com a correta quantificação do ganho ambiental de um produto que produza mais de um benefício, por exemplo. Outra preocupação, segundo Graveline (2005) é com o tratamento utilizado ao avaliar determinado material, já que muitas vezes, a durabilidade de um tipo de produto depende da eficiência de outros produtos que interagem com o produto em questão.

De acordo com Scheuer, Keoleain e Reppe (2003), uma dificuldade da aplicação de ACV na indústria da construção civil reside na falta de dados e informações relativas aos impactos ambientais gerados nas etapas de construção e demolição, por exemplo. Segundo Soares, Souza e Pereira (2006), as dificuldades de quantificação ocorrem principalmente devido ao número de diferentes materiais utilizados e à dinâmica de alteração e renovação, própria da construção civil.

Silva, Yokote e Ribeiro (2002) apontaram a disponibilidade de bancos de dados confiáveis como requisito fundamental para a correta aplicação e desenvolvimento de uma ACV. Sobre as limitações para aquisição de dados, os referidos autores enumeraram as seguintes principais causas:

- políticas de sigilo adotadas pelos fabricantes;
- falta de critérios consolidados para elaboração de relatórios;
- questões regulamentares;
- falta de incentivos ou atratividade para que as organizações colem dados;
- custos de coleta e compilação de dados.

Taborianski, Simoni e Prado (2008) apontaram como causas da complexidade requerida para criação de um banco de dados brasileiro a necessidade de levantamento de dados referentes a diversos materiais e matérias-primas, além da grande variedade de produtos finais. O trabalho de Scheuer, Keoleain e Reppe (2003) comparou a avaliação de edifícios a de outros produtos, listando como dificuldades a magnitude do produto edifício, a complexidade no uso de materiais, as diferentes funções desenvolvidas, além das mudanças requeridas devido a diferenças na vida útil dos produtos e sistemas utilizados ou a variações nos requisitos e exigências dos usuários do produto edifício.

John e Agopyan (não publicado)³ também apontaram algumas limitações do uso de ACV na seleção de materiais, citando a dificuldade de encontrar a unicidade ou a pluralidade necessárias quando da ponderação das diversas categorias de impactos ambientais, por exemplo. Dentro de um mesmo país, diferentes instituições pregam a utilização de fatores bastante diversos de ponderação. Apesar da grande quantidade de dados, que acarretam dificuldade e muitas vezes custos elevados para compilação de forma consistente, os referidos autores indicaram a ACV como o método mais completo para avaliação de impactos ambientais.

Segundo Baldwin et al. (1998) e Silva (2003), apesar da complexidade, a utilização da Avaliação do Ciclo de Vida acrescenta uma caracterização científica à avaliação de desempenho ambiental na construção civil. Para John, Oliveira e Lima (2007), ainda que haja dificuldades e limitações, ACV é o melhor método para seleção de materiais quando analisados do ponto de vista da sustentabilidade ambiental. Os autores acrescentaram ainda que, com o aumento da disponibilidade de dados, a precisão dos procedimentos ligados à ACV e à construção civil deve também aumentar.

Segundo Bribián, Usón e Scarpellini (2009), a utilização de ACV na certificação de edifícios permite a promoção da sustentabilidade, a busca por eficiência e favorece a inovação no setor da construção civil. O cunho científico da utilização de ACV na indústria da construção civil é corroborado por Soares, Souza e Pereira (2006), no sentido de facilitar a verificação de possibilidades de melhorias no perfil ambiental por meio da análise detalhada das repercussões ambientais a partir de um inventário de entradas e saídas do sistema em estudo.

Segundo os referidos autores, a aplicação de ACV na avaliação ambiental de sistemas e elementos construtivos leva a uma análise mais minuciosa e, ao mesmo tempo, crítica dos materiais e sistemas a serem utilizados na indústria da construção civil. Além de promover melhorias ambientais, a utilização do conceito de ACV também pode trazer vantagens econômicas ao setor, por meio de estudos detalhados das diversas fases do ciclo de vida do produto da construção civil considerado.

³ JOHN, V. M.; AGOPYAN, V., *Sustainability criteria for the selection of materials and components – a developing world view*, 7 p.

2.5 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA: PESQUISAS RELACIONADAS AOS SISTEMAS PREDIAIS HIDROSSANITÁRIOS

As possibilidades de aplicação do método Avaliação do Ciclo de Vida são amplas no setor da construção civil. Nas áreas de sistemas prediais e de gestão do uso da água, alguns estudos já foram desenvolvidos. Lassaux, Renzoni e Germain (2007) avaliaram o impacto ambiental do uso da água na Bélgica (desde a captação até o tratamento de esgotos gerados), utilizando um método híbrido entre os propostos pelo Eco-indicator 99 e pelo CML. Os autores consideraram as seguintes categorias de impacto ambiental: mudanças climáticas, efeitos cancerígenos, efeitos respiratórios causados por substâncias orgânicas e inorgânicas, ecotoxicidade, extração de minerais, extração de combustíveis fósseis, acidificação e eutrofização. Foram analisados cenários com diferentes taxas de tratamento de esgoto. O estudo de ACV demonstrou que, para redução dos impactos ambientais, as etapas mais significativas foram as de captação e tratamento de esgoto.

Mahgoub et al. (2010) analisaram o sistema de distribuição de água e tratamento de esgoto sanitário na cidade de Alexandria, no Egito. Os autores utilizaram dados coletados para o estudo junto à companhia de água municipal e dados disponíveis na literatura. Os resultados foram calculados por meio do programa computacional SimaPro e as categorias de impacto analisadas são as propostas no método Eco-Indicator 99. Com a utilização do conceito de ACV, os autores propuseram melhorias ao sistema atualmente empregado, apresentaram outras possibilidades de estruturação (como o sistema descentralizado de coleta de esgoto) e apresentaram os impactos ambientais decorrentes.

O trabalho de Vince et al. (2008) apresentou um método para avaliação do impacto ambiental da produção de água potável baseado em ACV. No estudo de caso apresentado, os autores concluíram que a utilização de energia elétrica e de substâncias químicas para tratamento da água são os maiores geradores de impactos ambientais. Barrios et al. (2008) analisaram os impactos ambientais e econômicos para produção de água potável na Holanda. Foram utilizados dados coletados pelos autores, além de bases de dados disponíveis no programa computacional SimaPro versão 5.1. Os autores determinaram processos que podem ter os impactos ambientais e econômicos reduzidos por meio de mudanças sugeridas com o estudo de ACV.

Venkatesh e Brattebo (2011) analisaram os impactos ambientais do uso de energia para o abastecimento de água e coleta de esgotos

sanitários na Noruega. Os impactos analisados no estudo, que considera apenas a fase de uso dos sistemas de abastecimento de água e coleta de esgoto, são: potencial de aquecimento global, acidificação, eutrofização, potencial de redução da camada de ozônio, depleção de recursos abióticos e potencial fotoquímico de criação de ozônio. Foram utilizados dados coletados pelos autores e dados disponíveis na base de dados do *Ecoinvent Centre*. Com o estudo, os autores traçaram um perfil do consumo energético na operação dos sistemas de abastecimento de água e coleta de esgoto. Os autores reconheceram, porém, a importância da consideração de outros recursos para que o estudo de ACV apresente resultados de maneira mais completa.

Ortiz et. al. (2007) analisaram o sistema de tratamento de esgoto sanitário em uma cidade com 13.200 habitantes na Espanha. Foram utilizados três métodos para avaliação do impacto no ciclo de vida (CML 2000, Eco-Indicator 99 e Ecopoints 97) e os cálculos foram realizados com auxílio do programa computacional SimaPro. Os resultados mostraram que o tratamento terciário não contribui significativamente para aumento do impacto ambiental e possibilita o reúso da água. Renou et al. (2008) realizaram um estudo de ACV relativo ao tratamento de esgoto sanitário de 140.000 habitantes utilizando cinco métodos diferentes para avaliação do impacto no ciclo de vida. Os métodos utilizados foram CML 2000, Eco-Indicator 99, EDIP 96, EPS e Ecopoints 97.

Crawford e Treolar (2004) compararam aquecedores solares e aquecedores convencionais para água na Austrália. O estudo leva em consideração a energia embutida e a energia operacional dos aquecedores. Ardente et al. (2005) realizaram um estudo de ACV de um coletor solar para aquecimento de água que considera a produção, necessidades relativas a manutenção e disposição final do equipamento. No entanto, não faz parte do escopo do estudo, a consideração do consumo de água na fase de uso. O estudo inclui categorias de impacto como potencial de aquecimento global, acidificação e consumo de energia. A viabilidade econômica da instalação do equipamento também é analisada no trabalho. Battisti e Corrado (2005) realizaram um estudo de ACV de coletores solares com reservatório de água integrado. O estudo mostra a caracterização de categorias de impacto como acidificação, potencial de redução da camada de ozônio e potencial de aquecimento global apenas na fase de produção do equipamento. O consumo energético e a emissão de CO₂ decorrente são analisados em todas as fases do ciclo de vida.

Mais especificamente sobre uso racional da água, o estudo de Asano (2005) estimou a redução nos níveis de emissão de CO₂ decorrente da economia de água em um complexo residencial no Japão. O autor considerou a emissão de CO₂ decorrente do uso da água (incluindo o tratamento de água e posterior tratamento do esgoto gerado) como 0,000189 kg de CO₂ por litro de água consumido na edificação. Clarcke, Grant e Thornton (2009) avaliaram a emissão de CO₂ decorrente do uso da água no Reino Unido. O estudo foi realizado considerando a fase de uso em residências, fazendo uma relação da economia de água com a diminuição das emissões de CO₂. Os autores corroboraram a importância da consideração de fatores como a eficiência na utilização de água e energia na etapa de operação dos equipamentos, o tipo de aquecimento adotado e as perdas de calor no sistema de distribuição de água quente da edificação.

2.6 SÍNTESE DO CAPÍTULO

O método de Avaliação do Ciclo de Vida é normatizado no país por meio da Associação Brasileira de Normas Técnicas em parceria com a *International Organization for Standardization*. As etapas de um estudo de ACV descritas neste capítulo (definição de objetivo e escopo; análise do inventário do ciclo de vida; avaliação do impacto do ciclo de vida; e interpretação do ciclo de vida) são importantes passos para a obtenção de informações confiáveis acerca dos impactos no ciclo de vida de um produto ou sistema.

Avaliação do Ciclo de Vida é um método de gerenciamento ambiental utilizado na quantificação dos impactos ambientais de sistemas ou produtos ao longo do ciclo de vida dos mesmos. O conceito de ACV é largamente utilizado em diferentes setores com objetivos diversos, desde a criação de índices para avaliação dos impactos ambientais citados, como no balizamento de decisões nas etapas de produção de determinados equipamentos.

Conforme anteriormente mencionado, há diversos estudos na área da construção civil que utilizam o conceito de ACV, seja no emprego de diferentes materiais na fabricação de produtos do setor (HYDE; ENGEL, 2000; GRAVELINE, 2005; SCHMIDT et al., 2004), seja na escolha de produtos baseada em ACV (NICOLETTI; NOTARNICOLA; TASSIELLI, 2002; TABORIANSKI; SIMONI; PRADO, 2008; OLIVER-SOLÀ et al., 2009), na escolha de processos construtivos (LI; ZHU; ZHANG, 2010) ou na avaliação de impactos em edifícios

(PEUPORTIER; KOHLER; BOONSTRA, 1997; PEUPORTIER, 2001; ASIF; MUNEEER; KELLEY, 2007; KOFOWOROLA; GHEEWALA, 2008; TAVARES, 2006).

Ao mesmo tempo em que a diversidade presente no setor aponta para várias possibilidades de aplicação, também mostra como ainda há muito a desenvolver na área da Engenharia Civil. E com o desenvolvimento desta tese pretende-se aplicar o conceito de ACV no setor, mais precisamente no campo do uso racional de água.

Para tanto, neste estudo pretende-se, por meio da quantificação dos impactos ambientais decorrentes, realizar a verificação da viabilidade da etapa de substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água em Programas de Uso Racional da Água utilizando o conceito de Avaliação do Ciclo de Vida.

3 MÉTODO

O método consiste na aplicação do conceito de Avaliação do Ciclo de Vida para determinação da viabilidade da substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água. Essa análise considera o consumo de água, o consumo de energia e as emissões atmosféricas, no solo e na água desde a extração da matéria-prima até o descarte final de equipamentos hidrossanitários. Desta forma, é possível mensurar os impactos ambientais gerados, a economia de insumos e outros ganhos ambientais gerados pela substituição dos equipamentos convencionais.

O ponto de partida é a definição da função desempenhada pelos equipamentos no sistema predial hidrossanitário analisado. Com isso é possível a determinação da unidade funcional e, conseqüentemente, do equipamento economizador e do equipamento convencional que desempenhem a mesma função para análise. A etapa seguinte é a definição dos limites a serem considerados, como as fronteiras do sistema em estudo e as fases do ciclo de vida dos produtos a serem incluídas.

Como o objetivo desta tese é analisar os impactos gerados pela substituição dos equipamentos hidrossanitários, a coleta de dados se concentra em dados referentes ao consumo dos recursos água, energia e matérias-primas, além das emissões durante o ciclo de vida desses equipamentos. Os dados devem ser então analisados e tratados de modo a serem convertidos nos impactos propriamente ditos. A coleta de dados visa possibilitar a quantificação dos seguintes itens:

- consumo de água, energia e matéria-prima, além de emissões no ar, no solo e na água decorrentes das fases de produção, uso e disposição final do equipamento convencional;
- consumo de água, energia e matéria-prima, além de emissões no ar, no solo e na água decorrentes das fases de produção, uso e disposição final do equipamento economizador de água.

Por meio da interpretação desses dados e do relacionamento destes com os impactos ambientais gerados é possível a comparação de um cenário em que o edifício analisado conta com a instalação de

equipamentos convencionais com outro cenário em que há adoção de sistemas economizadores de água.

O método se baseia na substituição de equipamentos, tratando-se, desta forma, de um método a ser aplicado em edifícios já existentes. No caso de edifícios novos, parte do método aqui proposto pode ser usada para analisar e escolher o equipamento a ser especificado já na fase de projeto. Nesse caso, os impactos gerados ao longo do ciclo de vida de dois ou mais equipamentos que desempenhem a mesma função podem ser quantificados para que a decisão possa ser pautada no nível de impactos ambientais apresentados pelos equipamentos analisados.

3.1 FASES DO CICLO DE VIDA DOS EQUIPAMENTOS

Com base na revisão bibliográfica realizada, as fases do ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários consideradas no método se dividem nas fases principais de produção, uso e disposição final.

A fase de produção envolve a extração de materiais e seu beneficiamento de modo a possibilitar a fabricação do equipamento hidrossanitário. A fase de uso engloba os impactos gerados pela utilização e eventual manutenção do mesmo e a fase de disposição final, os impactos relativos ao descarte, considerando a possibilidade de reciclagem. As subdivisões consideradas para as fases de produção, uso e disposição final são:

- a) fase de produção:
 - extração da matéria-prima;
 - processamento e transporte da matéria-prima;
 - aquisição de materiais reciclados;
 - processamento e transporte de materiais reciclados;
 - manufatura do equipamento;
 - transporte do equipamento;
- b) fase de uso:
 - utilização do equipamento;
 - manutenção do equipamento;
- c) fase de disposição final:
 - transporte;
 - reciclagem;
 - descarte.

A Figura 4 ilustra as fases do ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários propostas no método, representando por meio de setas as necessidades relativas a transporte de materiais.

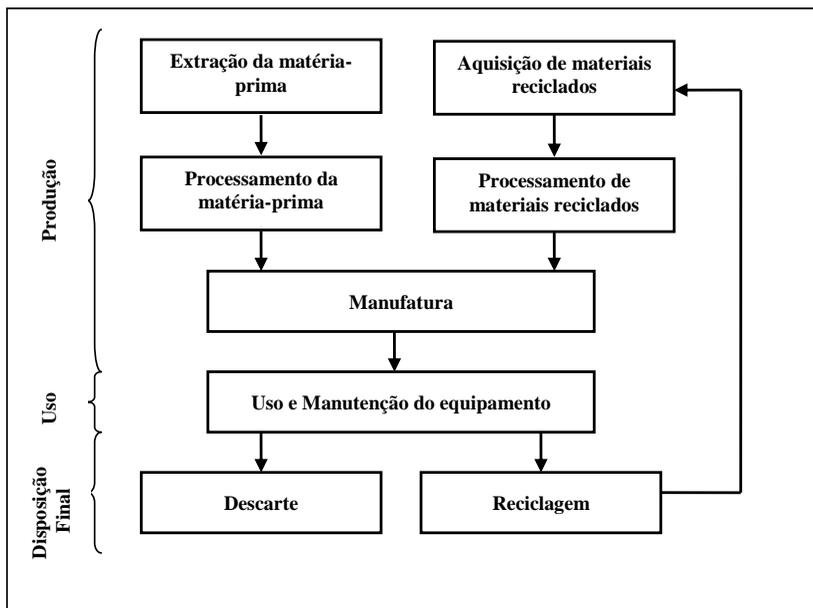


Figura 4 – Fases do ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários.

É importante ressaltar que os valores referentes a eventuais desperdícios em cada uma das fases apresentadas também devem estar embutidos nos cálculos sendo, portanto, considerados neste estudo.

3.2 ENTRADAS E SAÍDAS CONSIDERADAS E IMPACTOS AMBIENTAIS ASSOCIADOS

Para o estabelecimento dos impactos ambientais analisados é importante o estabelecimento das entradas e saídas do sistema em estudo. Neste caso, para o ciclo de vida de um equipamento hidrossanitário, dividido nas fases anteriormente descritas, as entradas correspondem a fluxos de água, energia e matérias-primas e as saídas analisadas, a emissões no ar, no solo e na água. As entradas e saídas consideradas no ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários são apresentadas na Figura 5.

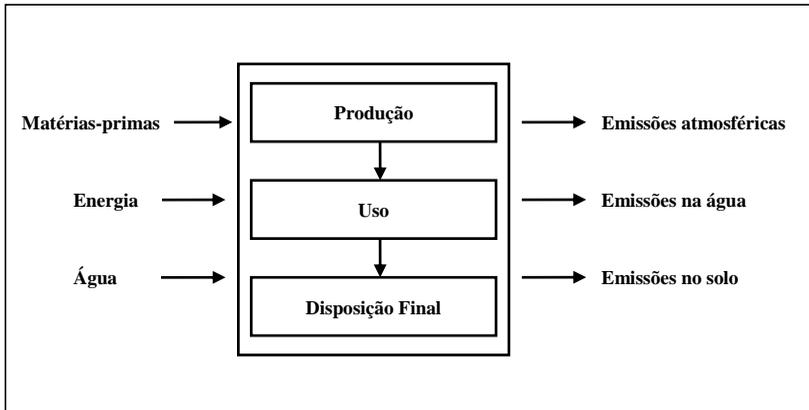


Figura 5 – Entradas e saídas consideradas no ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários.

Os impactos ambientais analisados neste trabalho são aqueles referentes ao consumo de água, consumo de energia total e às emissões no ar, no solo e na água ao longo do ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários em estudo. As categorias de impacto analisadas são:

- consumo de água;
- consumo de energia total;
- potencial de aquecimento global;
- potencial de redução da camada de ozônio;
- toxicidade humana;
- acidificação.

O inventário do ciclo de vida considera a quantificação de entradas referentes aos recursos água e matérias-primas, bem como as entradas de energia durante cada uma das fases do ciclo de vida dos equipamentos. Consideram também as saídas correspondentes às emissões atmosféricas, no solo e na água. As entradas referentes ao consumo de água são quantificadas em metros cúbicos (m^3) de água consumida e as entradas referentes ao consumo de matérias-primas são quantificadas em quilogramas (kg) de material. Para o consumo de energia total, todas as entradas são quantificadas em megajoules (MJ). As saídas relativas a emissões atmosféricas ao longo do ciclo de vida dos equipamentos são quantificadas em quilograma (kg) de gás emitido

para a atmosfera. As saídas relativas a emissões aquáticas são quantificadas em quilograma (kg) de substância emitida em corpos d'água. As saídas relativas a emissões no solo são quantificadas em quilograma (kg) de substância despejada no solo. A regularização das unidades de entrada e saída a serem consideradas é necessária e ocorre de modo a possibilitar adições nas diversas fases do ciclo de vida ou até mesmo comparações entre estas.

3.3 COLETA DE DADOS E QUANTIFICAÇÃO DE ENTRADAS E SAÍDAS

Os dados utilizados neste trabalho devem ser calculados ou obtidos por meio de pesquisas de campo junto a fabricantes de equipamentos hidrossanitários, na literatura ou em bancos de dados confiáveis. No que concerne à qualidade dos dados, os mesmos devem preferencialmente apresentar idade inferior a dez anos e refletir a realidade nacional. Além disso, todos os dados apresentados devem ser referenciados e relacionados à unidade funcional.

A seguir é apresentado o método proposto nesta tese para quantificação das entradas e saídas no estudo de ACV de equipamentos hidrossanitários.

3.3.1 Quantificação das entradas referentes ao consumo de água

O cálculo do consumo de água leva em conta o volume total de água consumido (em m³), somando as contribuições nas diversas fases do ciclo de vida dos equipamentos, bem como as respectivas necessidades de transporte:

- consumo de água para extração da matéria-prima;
- consumo de água para processamento da matéria-prima;
- consumo de água para aquisição de materiais reciclados;
- consumo de água para processamento de materiais reciclados;
- consumo de água para manufatura na indústria de equipamentos hidrossanitários;
- consumo de água na utilização do equipamento;
- consumo de água para manutenção do equipamento;
- consumo de água para reciclagem;
- consumo de água para descarte.

Desta forma, o cálculo do consumo de água total (em m^3), leva em consideração as contribuições nas diversas fases do ciclo de vida dos equipamentos, conforme Equação 1.

$$CA = CA_{pr} + CA_u + CA_d \quad (1)$$

onde:

- CA é o consumo de água total (m^3);
- CA_{pr} é o consumo de água na fase de produção do equipamento (m^3);
- CA_u é o consumo de água na fase de uso do equipamento (m^3);
- CA_d é o consumo de água na fase disposição final do equipamento (m^3).

3.3.1.1 Consumo de água na fase de produção

O consumo de água na fase de produção do equipamento inclui o consumo para extração e processamento da matéria-prima e aquisição e processamento de materiais reciclados, além do consumo de água para fabricação do equipamento na indústria de equipamentos hidrossanitários (Equação 2).

$$CA_{pr} = CA_{mp} + CA_{rc} + CA_{ma} \quad (2)$$

onde:

- CA_{pr} é o consumo de água na fase de produção do equipamento (m^3);
- CA_{mp} é o consumo de água para extração e processamento da matéria-prima (m^3);
- CA_{rc} é o consumo de água para aquisição e processamento de materiais reciclados (m^3);
- CA_{ma} é o consumo de água para manufatura do equipamento (na indústria de equipamentos hidrossanitários) (m^3).

Para a extração e transporte das matérias-primas utilizadas na produção dos equipamentos, devem ser consideradas as massas dos materiais componentes do equipamento em questão, além das respectivas distâncias de transporte, desde o local de extração até o local de fabricação. Quanto às necessidades de transporte de matéria-prima, devem ser consideradas as distâncias percorridas para que o material

chegue ao fabricante dos equipamentos hidrossanitários, o tipo de transporte e os respectivos consumos de água associados. A Equação 3 demonstra o método proposto de cálculo.

$$CA_{mp} = \sum_{i=1}^n (M_{mpi} \times CA_{exti} + D_{mpi} \times Pc_i \times CA_{tmpi}) \quad (3)$$

onde:

CA_{mp} é o consumo de água para extração e processamento da matéria-prima (m^3);

n é o número de materiais analisados;

M_{mpi} é a massa do material (kg);

CA_{ext} é o consumo de água associado à extração e processamento do material (m^3/kg);

D_{mp} é a distância de transporte da matéria-prima (km);

Pc é a percentagem representativa da massa da matéria-prima em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

CA_{tmp} é o consumo de água associado ao transporte da matéria-prima (m^3/km).

Se houver a utilização de material reciclado, o consumo de água deve ser considerado, de acordo com a Equação 4.

$$CA_{rc} = \sum_{i=1}^n (M_{rci} \times CA_{reci} + D_{rci} \times Pc_i \times CA_{trci}) \quad (4)$$

onde:

CA_{rc} é o consumo de água para aquisição e processamento de materiais reciclados (m^3);

n é o número de materiais analisados;

M_{rc} é a massa do material reciclado (kg);

CA_{rec} é o consumo de água associado à reciclagem e processamento do material (m^3/kg);

D_{rc} é a distância de transporte do material reciclado (km);

Pc é a percentagem representativa da massa da matéria-prima em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

CA_{trc} é o consumo de água associado ao transporte do material (m^3/km).

Finalmente, na fase de produção, deve ser considerado o consumo de água necessário para manufatura e posterior distribuição do equipamento, conforme Equação 5.

$$CA_{ma} = M_{eq} \times CA_p + D_{pr} \times Pc \times CA_{tpr} \quad (5)$$

onde:

CA_{ma} é o consumo de água para manufatura do equipamento (processo industrial) (m^3);

M_{eq} é a massa do equipamento analisado (kg);

CA_p é o consumo de água associado à manufatura do equipamento, por massa (m^3/kg);

D_{pr} é a distância de transporte para distribuição do equipamento (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

CA_{tpr} é o consumo de água associado ao transporte do equipamento (m^3/km).

3.3.1.2 Consumo de água na fase de uso

Na fase de uso é importante a determinação do consumo de água do equipamento hidrossanitário, em m^3/ano . Desta forma é possível verificar o volume consumido na utilização do equipamento hidrossanitário (Equação 6). A manutenção dos equipamentos também deve ser considerada, somando o volume consumido durante o ciclo de vida de eventuais peças de reposição e as necessidades de transporte decorrentes.

$$CA_u = CA_{eq} \times VU + CA_m \quad (6)$$

onde:

CA_u é o consumo de água na fase de uso do equipamento (m^3);

CA_{eq} é o consumo anual de água do equipamento (m^3/ano);

VU é a vida útil (anos);

CA_m é o consumo de água associado a necessidades de manutenção (m^3).

3.3.1.3 Consumo de água na fase de disposição final

O cálculo do consumo de água na fase de disposição final leva em conta o volume consumido de água para descarte e reciclagem dos equipamentos hidrossanitários, bem como o volume consumido para atender as necessidades de transporte.

Para o simples descarte em aterro, no caso de consumo de água, o que se considera são as necessidades relativas a transporte, já que o descarte na natureza em si não produz um consumo de água, embora apresente outros impactos. Quanto à reciclagem de materiais, a quantidade de material reciclado em ciclo fechado na produção do equipamento hidrossanitário em estudo já deve ter sido levada em conta nos cálculos apresentados em 3.3.1.1. Se houver necessidades de transporte para o caso de disposição final que apresente reciclagem em ciclo aberto, as distâncias de transporte e o consequente consumo de água também devem ser considerados (Equação 7). Neste caso, as necessidades de alocação devem ser verificadas.

$$CA_d = \sum_{i=1}^n (M_{dei} \times CA_{dei} + D_{dei} \times Pc_i \times CA_{tdei} + M_{rei} \times CA_{rei} + D_{rei} \times Pc_i \times CA_{trei}) \quad (7)$$

onde:

CA_d é o consumo de água na fase de disposição final do equipamento (m^3);

n é o número de materiais analisados;

M_{de} é a massa do material descartado (kg);

CA_{de} é o consumo de água associado ao descarte de materiais (m^3/kg);

D_{de} é a distância de transporte para descarte do equipamento (km);

CA_{tde} é o consumo de água associado ao transporte do equipamento para descarte (m^3/km);

M_{re} é a massa do material reciclado (kg);

CA_{re} é o consumo de água associado à reciclagem do material (m^3/kg);

D_{re} é a distância de transporte para reciclagem do material (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

CA_{tre} é o consumo de água associado ao transporte do material para reciclagem (m^3/km).

3.3.2 Quantificação das entradas referentes ao consumo de energia total

O consumo de energia total leva em consideração a quantidade de energia (em MJ) também somando as contribuições das diversas fases do ciclo de vida dos equipamentos e as respectivas necessidades de transporte:

- energia embutida na extração da matéria-prima;
- energia embutida no processamento da matéria-prima;
- energia embutida na aquisição de materiais reciclados;
- energia embutida no processamento de materiais reciclados;
- energia embutida para manufatura na indústria de equipamentos hidrossanitários;
- consumo de energia para utilização do equipamento;
- energia necessária para manutenção do equipamento;
- energia necessária para reciclagem;
- energia necessária no processo de descarte.

Assim, o consumo de energia total leva em consideração as contribuições das diversas fases do ciclo de vida dos equipamentos. A Equação 8 demonstra o método proposto de cálculo.

$$CE = EE_{pr} + CE_u + CE_d \quad (8)$$

onde:

CE é o consumo de energia total (MJ);

EE_{pr} é a energia embutida na fase de produção do equipamento (MJ);

CE_u é o consumo de energia na fase de uso do equipamento (MJ);

CE_d é o consumo de energia na fase de disposição final do equipamento (MJ).

3.3.2.1 Consumo de energia na fase de produção

A energia embutida na fase de produção dos equipamentos hidrossanitários inclui a energia embutida na extração e processamento de matérias-primas, na aquisição e processamento de materiais reciclados e no processo fabril para manufatura do equipamento (Equação 9).

$$EE_{pr} = EE_{mp} + EE_{rc} + EE_{ma} \quad (9)$$

onde:

EE_{pr} é a energia embutida na fase de produção do equipamento (MJ);

EE_{mp} é a energia embutida na extração e processamento da matéria-prima (MJ);

EE_{rc} é a energia embutida na aquisição e processamento de materiais reciclados (MJ);

EE_{ma} é a energia embutida no processo de manufatura do equipamento (na indústria de equipamentos hidrossanitários) (MJ).

Neste caso também devem ser consideradas, ao analisar a extração e transporte das matérias-primas utilizadas na produção dos equipamentos, as massas dos componentes do equipamento hidrossanitário, além das respectivas distâncias de transporte.

Quanto às necessidades de transporte de matéria-prima, devem ser consideradas as distâncias percorridas para que o material chegue ao fabricante dos equipamentos hidrossanitários, o tipo de transporte e os respectivos consumos de energia associados (Equação 10).

$$EE_{mp} = \sum_{i=1}^n (M_{mpi} \times CE_{exti} + D_{mpi} \times Pc_i \times CE_{tmpi}) \quad (10)$$

onde:

EE_{mp} é a energia embutida na extração e processamento da matéria-prima (MJ);

n é o número de materiais analisados;

M_{mpi} é a massa do material (kg);

CE_{ext} é o consumo de energia associado à extração e processamento do material (MJ/kg);

D_{mpi} é a distância de transporte da matéria-prima (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

CE_{tmp} é o consumo de energia associado ao transporte da matéria-prima (MJ/km).

Se houver a utilização de materiais provenientes de reciclagem, a energia embutida na aquisição e processamento de tais materiais também deve ser considerada, de acordo com a Equação 11.

$$EE_{rc} = \sum_{i=1}^n (M_{rci} \times CE_{rci} + D_{rci} \times Pc_i \times CE_{trci}) \quad (11)$$

onde:

EE_{rc} é a energia embutida na aquisição e processamento de materiais reciclados (MJ);

n é o número de materiais analisados;

M_{rc} é a massa do material reciclado (kg);

CE_{rc} é o consumo de energia associado à reciclagem e processamento do material (m^3/kg);

D_{rc} é a distância de transporte do material reciclado (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

CE_{trc} é o consumo de energia associado ao transporte do material reciclado (MJ/km).

A energia necessária para manufatura e transporte do equipamento hidrossanitário (da indústria ao local de utilização) também deve ser considerada, conforme Equação 12.

$$EE_{ma} = M_{eq} \times CE_p + D_{pr} \times Pc \times CE_{tpr} \quad (12)$$

onde:

EE_{ma} é a energia embutida no processo de manufatura do equipamento (na indústria de equipamentos hidrossanitários) (MJ);

M_{eq} é a massa do equipamento analisado (kg);

CE_p é o consumo de energia associado à fabricação do equipamento, por massa (MJ/kg);

D_{pr} é a distância de transporte para distribuição do equipamento (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

CE_{tpr} é o consumo de energia associado ao transporte do equipamento (MJ/km).

3.3.2.2 Consumo de energia na fase de uso

É importante determinar, na fase de uso, o consumo de energia de equipamentos como chuveiros com sistemas de aquecimento elétrico e a gás, torneiras e mictórios acionados com sensor de presença e outros

equipamentos que utilizem fontes energéticas. Também devem ser consideradas as necessidades energéticas para bombeamento da água nos sistemas prediais, que são tanto maiores quanto maior for o consumo de água. Tais estimativas devem ser realizadas levando em consideração os projetos dos sistemas hidrossanitários como construído, o número de usuários dos sistemas e outras particularidades na utilização dos sistemas prediais da edificação em estudo.

De acordo com Spezzia Junior (2009), o cálculo simplificado do consumo diário de energia para o bombeamento de água em sistemas prediais pode ser estimado por meio da Equação 13.

$$CE_{mb} = PM \times FC \times FS \times Tfunc \quad (13)$$

onde:

CE_{mb} é o consumo diário de energia da motobomba (kWh/dia);

PM é a potência mecânica do motor elétrico, em CV;

FC é o fator de conversão, igual a 0,735;

FS é o fator de serviço do motor (em geral igual a 1,15);

$Tfunc$ é o tempo de funcionamento do motor, em horas por dia.

O consumo de energia para bombeamento da água deve ser calculado de acordo com a Equação 14.

$$CE_{bo} = (CE_{mb} \times c) / CA_{ed} \quad (14)$$

onde:

CE_{bo} é o consumo de energia para bombeamento de água (MJ/m^3);

CE_{mb} é consumo diário de energia da motobomba (kWh/dia);

c é o fator de conversão de kWh para MJ, igual a 3,6.

CA_{ed} é consumo diário de água do edifício (m^3/dia).

Outros dados a serem considerados se referem ao consumo da energia despendida no tratamento e abastecimento de água e na coleta e tratamento dos efluentes gerados. Existem alguns estudos que estimam o consumo energético para o fornecimento de água tratada e tratamento de efluentes, como os apresentados por Tsutiya (1997) e Hirata (2009), ambos em São Paulo.

Neste trabalho, porém, a consulta destes dados é realizada por meio do relatório publicado pelo Sistema Nacional de Informações

sobre Saneamento – SNIS, que apresenta um diagnóstico dos serviços de água e esgoto no país (BRASIL, 2007). No documento são calculados o índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água e o índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário nos municípios brasileiros, ambos expressos em kWh/m³. Desta forma, pode-se realizar os cálculos referentes ao consumo energético para o tratamento e abastecimento de água e para coleta e tratamento dos efluentes gerados levando em consideração os valores do município em que é realizado o estudo.

A Equação 15 demonstra o método proposto de cálculo para o consumo de energia na utilização e manutenção do equipamento.

$$CE_u = CE_{ut} \times VU + CE_{aq} + (CE_{bo} + CE_{ab} + CE_{esg}) \times (CA_{eq} \times VU) + CE_m \quad (15)$$

onde:

- CE_u é o consumo de energia na fase de uso do equipamento (MJ);
- CE_{ut} é o consumo de energia do equipamento, por ano (MJ/ano);
- VU é a vida útil do equipamento (anos);
- CE_{aq} consumo de energia para aquecimento de água (MJ);
- CE_{bo} é o consumo de energia para bombeamento de água (MJ/m³);
- CE_{ab} é o consumo de energia para abastecimento público de água (MJ/m³);
- CE_{esg} é o consumo de energia para coleta e tratamento de esgoto sanitário (MJ/m³);
- CA_{eq} é o consumo anual de água do equipamento (m³/ano);
- CE_m é o consumo de energia associado a necessidades de manutenção (MJ).

3.3.2.3 Consumo de energia na fase de disposição final

Em caso de descarte em aterro na fase de disposição final dos equipamentos, assim como no caso do consumo de água, para o consumo de energia o que se considera são as necessidades relativas a transporte. Isso ocorre porque o simples descarte não produz um consumo de energia direto, mas também apresenta outros impactos. Se o descarte ocorrer por exemplo, por incineração, o consumo de energia necessário deve ser considerado. Quanto à reciclagem de materiais, deve ser verificada a quantidade de material enviado para reciclagem em ciclo

aberto (excluindo o que é reciclado diretamente na produção do equipamento hidrossanitário em estudo, já considerado em 3.3.2.1) e as respectivas distâncias de transporte, conforme Equação 16.

$$CE_d = \sum_{i=1}^n (M_{de_i} \times CE_{de_i} + D_{de_i} \times Pc_i \times CE_{tde_i} + M_{re_i} \times CE_{re_i} + D_{re_i} \times Pc_i \times CE_{tre_i}) \quad (16)$$

onde:

CE_d é o consumo de energia na fase de disposição final do equipamento (MJ);

n é o número de materiais analisados;

M_{de} é a massa de materiais descartados (kg);

CE_{de} é o consumo de energia associado ao descarte (MJ/kg);

D_{de} é a distância de transporte para descarte do equipamento (km);

CE_{tde} é o consumo de energia associado ao transporte para descarte do equipamento (MJ/km);

M_{re} é a massa do material reciclado (kg);

CE_{re} é o consumo de energia associado à reciclagem do material (m^3/kg);

D_{re} é a distância de transporte para disposição final do material para reciclagem (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

CE_{tre} é o consumo de energia associado ao transporte do material para reciclagem (MJ/km).

3.3.3 Quantificação das entradas referentes ao consumo de matérias-primas

O cálculo do consumo de matérias-primas quantifica as contribuições nas fases de produção, uso e disposição final dos equipamentos hidrossanitários. São consideradas as matérias-primas necessárias à produção do equipamento e as entradas de material referentes a eventuais reposições de componentes dos equipamentos hidrossanitários na fase de uso. Na fase de disposição final são consideradas as entradas de material necessárias aos processos de reciclagem e descarte. Desta forma, o cálculo do consumo de matérias-primas (em kg de material) é realizado conforme Equação 17.

$$CMP = \sum_{i=1}^n (M_{mpi}) \quad (17)$$

onde:

CMP é o consumo de determinada matéria-prima (kg);

n é o número de materiais analisados;

M_{mp} é a massa da matéria-prima analisada (kg).

3.3.4 Quantificação das saídas relacionadas a emissões atmosféricas

O cálculo dos indicadores referentes às emissões de gases para a atmosfera leva em consideração as contribuições nas diversas fases do ciclo de vida dos equipamentos, conforme Equação 18.

$$EA_i = EA_{mpi} + EA_{rci} + EA_{mai} + EA_{ui} + EA_{di} \quad (18)$$

onde:

EA_i é emissão atmosférica de determinada substância analisada no ciclo de vida do equipamento hidrossanitário (kg);

EA_{mpi} é emissão atmosférica da substância analisada associada à extração e processamento da matéria-prima (kg);

EA_{rci} é a emissão atmosférica da substância analisada associada à aquisição e processamento de materiais reciclados (kg);

EA_{mai} é a emissão atmosférica da substância analisada associada à manufatura do equipamento (kg);

EA_{ui} é a emissão atmosférica da substância analisada na fase de uso do equipamento (kg);

EA_{di} é a emissão atmosférica da substância analisada na fase de disposição final do equipamento (kg).

Os cálculos detalhados nas fases de produção, uso e disposição final dos equipamentos hidrossanitários são apresentados a seguir.

3.3.4.1 Emissões atmosféricas na fase de produção

Para a extração e transporte das matérias-primas utilizadas na produção dos equipamentos hidrossanitários devem ser consideradas as massas dos materiais componentes do equipamento em questão, além das respectivas distâncias de transporte, desde o local de extração até o local de fabricação. Quanto às necessidades de transporte de matéria-prima, devem ser consideradas as distâncias percorridas para que o material chegue ao fabricante dos equipamentos hidrossanitários, o tipo

de transporte e as respectivas emissões atmosféricas. A Equação 19 demonstra o método de cálculo proposto para quantificação da emissão atmosférica na extração e processamento da matéria-prima.

$$EA_{mpi} = \sum_{i=1}^n (M_{mpi} \times EA_{exti} + D_{mpi} \times Pc_i \times EA_{tmpi}) \quad (19)$$

onde:

EA_{mpi} é emissão atmosférica da substância analisada associada à extração e processamento da matéria-prima (kg);

n é o número de materiais analisados;

M_{mp} é a massa do material (kg);

EA_{ext} é a emissão atmosférica associada à extração e processamento do material, por massa (kg/kg);

D_{mp} é a distância de transporte da matéria-prima (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

EA_{tmp} é a emissão atmosférica associada ao transporte da matéria-prima (kg/km).

Se houver a utilização de material reciclado, a emissão atmosférica decorrente deve ser considerada, de acordo com a Equação 20.

$$EA_{rci} = \sum_{i=1}^n (M_{rci} \times EA_{reci} + D_{rci} \times Pc_i \times EA_{trci}) \quad (20)$$

onde:

EA_{rci} é a emissão atmosférica da substância analisada associada à aquisição e processamento de materiais reciclados (kg);

n é o número de materiais analisados;

M_{rc} é a massa do material reciclado (kg);

EA_{rec} é a emissão atmosférica associada à reciclagem do material, por massa (kg/kg);

D_{rc} é a distância de transporte do material reciclado (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

EA_{trc} é a emissão atmosférica associada ao transporte do material (kg/km).

Finalmente, na fase de produção, devem ser consideradas as emissões atmosféricas geradas na manufatura e posterior distribuição do equipamento (Equação 21).

$$EA_{mai} = M_{eq} \times EA_p + D_{pr} \times Pc \times EA_{tpr} \quad (21)$$

onde:

EA_{mai} é a emissão atmosférica da substância analisada associada à manufatura do equipamento (kg);

M_{eq} é a massa do equipamento analisado (kg);

EA_p é a emissão atmosférica associada à manufatura do equipamento, por massa (kg/kg);

D_{pr} é a distância de transporte para distribuição do equipamento (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

EA_{tpr} é a emissão atmosférica associada ao transporte do equipamento (kg/km).

3.3.4.2 Emissões atmosféricas na fase de uso

A Equação 22 demonstra o método proposto de cálculo para as emissões atmosféricas na fase de uso do equipamento.

$$EA_{ui} = EA_{ut} + EA_m \quad (22)$$

onde:

EA_{ui} é a emissão atmosférica da substância analisada na fase de uso do equipamento (kg);

EA_{ut} é emissão atmosférica decorrente da utilização do equipamento (kg);

EA_m é a emissão atmosférica decorrente de necessidades de manutenção (kg).

3.3.4.3 Emissões atmosféricas na fase de disposição final

Na fase de disposição final, quando há reciclagem de materiais, deve ser verificada a quantidade de material, as respectivas distâncias de transporte e as emissões atmosféricas decorrentes, conforme Equação

23. Quando o material for enviado para reciclagem na disposição final deve-se excluir os materiais reciclados diretamente na produção do equipamento, já considerados na fase de produção (em ciclo fechado).

$$EA_{di} = \sum_{i=1}^n (M_{re\ i} \times EA_{re\ i} + D_{re\ i} \times Pc_i \times EA_{tre\ i} + M_{de\ i} \times EA_{tde\ i} + D_{de\ i} \times Pc_i \times EA_{tde\ i}) \quad (23)$$

onde:

EA_{di} é a emissão atmosférica da substância analisada na fase de disposição final do equipamento (kg);

n é o número de materiais analisados;

M_{re} é a massa do material a ser reciclado (kg);

EA_{re} é a emissão atmosférica associada ao processo de reciclagem, por massa (kg/kg);

D_{re} é a distância de transporte para disposição final do material para reciclagem (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

EA_{tre} é a emissão atmosférica associada ao transporte do material para reciclagem (kg/km).

M_{de} é a massa do material descartado (kg);

EA_{tde} é a emissão atmosférica associada ao processo de descarte, por massa (kg/kg);

D_{de} é a distância de transporte para descarte do equipamento (km);

EA_{tde} é a emissão atmosférica associada ao transporte para descarte do equipamento (kg/km).

3.3.5 Quantificação das saídas relacionadas a emissões aquáticas

No cálculo dos indicadores referentes às emissões de substâncias na água são consideradas as contribuições nas diversas fases do ciclo de vida dos equipamentos, conforme Equação 24.

$$EAQ_i = EAQ_{mpi} + EAQ_{rci} + EAQ_{mai} + EAQ_{ui} + EAQ_{di} \quad (24)$$

onde:

EAQ_i é emissão aquática da substância analisada no ciclo de vida do equipamento hidrossanitário (kg);

EAQ_{mpi} é emissão aquática da substância analisada associada à extração e processamento da matéria-prima (kg);

EAQ_{rci} é a emissão aquática da substância analisada associada à aquisição e processamento de materiais reciclados (kg);

EAQ_{mai} é a emissão aquática da substância analisada associada à manufatura do equipamento (kg);

EAQ_{ui} é a emissão aquática da substância analisada na fase de uso do equipamento hidrossanitário (kg);

EAQ_{di} é a emissão aquática da substância analisada na fase de disposição final do equipamento (kg).

Os cálculos detalhados das contribuições nas fases de produção, uso e disposição final dos equipamentos hidrossanitários são apresentados a seguir.

3.3.5.1 Emissões aquáticas na fase de produção

Para o cálculo das emissões de substâncias na água são consideradas as massas dos materiais componentes do equipamento hidrossanitário analisado e as emissões aquáticas decorrentes dos processos de extração e beneficiamento da matéria-prima (Equação 25).

$$EAQ_{mpi} = \sum_{i=1}^n (M_{mpi} \times EAQ_{exti} + D_{mpi} \times Pc_i \times EAQ_{tmpi}) \quad (25)$$

onde:

EAQ_{mpi} é emissão aquática da substância analisada associada à extração e processamento da matéria-prima (kg);

n é o número de materiais analisados;

M_{mpi} é a massa do material (kg);

EAQ_{ext} é a emissão aquática associada à extração e processamento do material, por massa (kg/kg);

D_{mpi} é a distância de transporte da matéria-prima (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

EAQ_{tmp} é a emissão aquática associada ao transporte da matéria-prima (kg/km).

Se houver a utilização de material reciclado, a emissão de substâncias na água deve ser considerada, de acordo com a Equação 26.

$$EAQ_{rci} = \sum_{i=1}^n (M_{rci} \times EAQ_{reci} + D_{rci} \times Pc_i \times EAQ_{trci}) \quad (26)$$

onde:

EAQ_{rci} é a emissão aquática da substância analisada associada à aquisição e processamento de materiais reciclados (kg);

n é o número de materiais analisados;

M_{rc} é a massa do material reciclado (kg);

EAQ_{rec} é a emissão aquática associada à reciclagem do material, por massa (kg/kg);

D_{rc} é a distância de transporte do material reciclado (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

EAQ_{trc} é a emissão aquática associada ao transporte do material (kg/km).

Na fase de produção também devem ser consideradas as emissões aquáticas geradas na manufatura do equipamento (Equação 27).

$$EAQ_{mai} = M_{eq} \times EAQ_p + D_{pr} \times Pc \times EAQ_{tpr} \quad (27)$$

onde:

EAQ_{mai} é a emissão aquática da substância analisada associada à manufatura do equipamento (kg);

M_{eq} é a massa do equipamento analisado (kg);

EAQ_p é a emissão aquática associada à manufatura do equipamento, por massa (kg/kg);

D_{pr} é a distância de transporte para distribuição do equipamento (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

EAQ_{tpr} é a emissão aquática associada ao transporte do equipamento (kg/km).

3.3.5.2 Emissões aquáticas na fase de uso

As emissões aquáticas na fase de uso são calculadas conforme Equação 28.

$$EAQ_{ui} = EAQ_{ut} + EAQ_m \quad (28)$$

onde:

EAQ_{ui} é a emissão aquática da substância analisada na fase de uso do equipamento (kg);

EAQ_{ut} é emissão aquática decorrente da utilização do equipamento (kg);

EAQ_m é a emissão aquática decorrente de necessidades de manutenção (kg).

3.3.5.3 Emissões aquáticas na fase de disposição final

Na fase de disposição final deve ser verificada, para a reciclagem de materiais, a quantidade de cada material e as emissões aquáticas decorrentes dos processos de reciclagem e descarte, conforme Equação 29. Em caso de reciclagem de materiais, devem ser excluídos os materiais reciclados diretamente na produção do equipamento hidrossanitário cujas emissões aquáticas já foram consideradas na fase de produção.

$$EAQ_{di} = \sum_{i=1}^n (M_{re_i} \times EAQ_{re_i} + D_{re_i} \times Pc_i \times EAQ_{tre_i} + M_{de_i} \times EAQ_{tde_i} + D_{de_i} \times Pc_i \times EAQ_{tde_i}) \quad (29)$$

onde:

EAQ_{di} é a emissão aquática da substância analisada na fase de disposição final do equipamento (kg);

n é o número de materiais analisados;

M_{re} é a massa do material a ser reciclado (kg);

EAQ_{re} é a emissão aquática associada ao processo de reciclagem, por massa (kg/kg);

D_{re} é a distância de transporte para disposição final do material para reciclagem (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

EAQ_{tre} é a emissão aquática associada ao transporte do material para reciclagem (kg/km).

M_{de} é a massa do material descartado (kg);

EAQ_{tde} é a emissão aquática associada ao processo de descarte, por massa (kg/kg);

D_{de} é a distância de transporte para descarte do equipamento (km);

EAQ_{tde} é a emissão aquática associada ao transporte para descarte do equipamento (kg/km).

3.3.6 Quantificação das saídas relacionadas a emissões no solo

O cálculo dos indicadores referentes às emissões de substâncias no solo leva em consideração as contribuições nas diversas fases do ciclo de vida dos equipamentos, conforme Equação 30.

$$ES_i = ES_{mpi} + ES_{rci} + ES_{mai} + ES_{ui} + ES_{di} \quad (30)$$

onde:

ES_i é emissão no solo no ciclo de vida do equipamento hidrossanitário (kg);

ES_{mpi} é emissão no solo associada à extração e processamento da matéria-prima (kg);

ES_{rci} é a emissão no solo associada à aquisição e processamento de materiais reciclados (kg);

ES_{mai} é a emissão no solo associada à manufatura do equipamento (kg);

ES_{ui} é a emissão no solo na fase de uso do equipamento (kg);

ES_{di} é a emissão no solo na fase de disposição final do equipamento (kg).

Os cálculos detalhados para as emissões no solo nas fases de produção, uso e disposição final dos equipamentos hidrossanitários são apresentados a seguir.

3.3.6.1 Emissões no solo na fase de produção

Para o cálculo das emissões de substâncias no solo são consideradas as massas dos materiais componentes do equipamento hidrossanitário analisado e as emissões decorrentes dos processos de extração e beneficiamento da matéria-prima (Equação 31).

$$ES_{mpi} = \sum_{i=1}^n (M_{mpi} \times ES_{exti} + D_{mpi} \times Pc_i \times ES_{tmpi}) \quad (31)$$

onde:

ES_{mpi} é emissão no solo da substância analisada associada à extração e processamento da matéria-prima (kg);

n é o número de materiais analisados;

M_{mpi} é a massa do material (kg);

ES_{ext} é a emissão no solo associada à extração e processamento do material, por massa (kg/kg);

D_{mp} é a distância de transporte da matéria-prima (km);

P_c é a percentagem representativa da massa do material em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

ES_{tmp} é a emissão no solo associada ao transporte da matéria-prima (kg/km).

Se houver a utilização de material reciclado, a emissão no solo decorrente da reciclagem deve ser considerada (Equação 32).

$$ES_{rci} = \sum_{i=1}^n (M_{rci} \times ES_{reci} + D_{rci} \times P_{ci} \times ES_{trci}) \quad (32)$$

onde:

ES_{rci} é a emissão no solo *da* substância analisada associada à aquisição e processamento de materiais reciclados (kg);

n é o número de materiais analisados;

M_{rci} é a massa do material reciclado (kg);

ES_{reci} é a emissão no solo associada à reciclagem do material, por massa (kg/kg);

D_{rci} é a distância de transporte do material reciclado (km);

P_{ci} é a percentagem representativa da massa do material em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

ES_{trci} é a emissão no solo associada ao transporte do material (kg/km).

Na fase de produção também devem ser consideradas as emissões no solo geradas na fabricação do equipamento, conforme Equação 33.

$$ES_{mai} = M_{eq} \times ES_p + D_{pr} \times P_c \times ES_{tpr} \quad (33)$$

onde:

ES_{mai} é a emissão no solo da substância analisada associada à manufatura do equipamento (kg);

M_{eq} é a massa do equipamento analisado (kg);

ES_p é a emissão no solo associada à manufatura do equipamento, por massa (kg/kg);

D_{pr} é a distância de transporte para distribuição do equipamento (km);

Pc é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);
 ES_{tp} é a emissão no solo associada ao transporte do equipamento (kg/km).

3.3.6.2 Emissões no solo na fase de uso

As emissões no solo na fase de uso são calculadas de acordo com a Equação 34.

$$ES_{ui} = ES_{ut} + ES_m \quad (34)$$

onde:

ES_{ui} é a emissão no solo da substância analisada na fase de uso do equipamento (kg);

ES_{ut} é emissão no solo decorrente da utilização do equipamento (kg);

ES_m é a emissão no solo decorrente de necessidades de manutenção (kg).

3.3.6.3 Emissões no solo na fase de disposição final

Na fase de disposição final deve ser verificada, para a reciclagem ou descarte de materiais, a quantidade de cada material e as emissões no solo associadas aos processos de reciclagem. Se houver reciclagem de materiais, também deve ser verificada a quantidade de material enviado para reciclagem em ciclo aberto de modo a excluir os materiais já considerados na fase de produção (Equação 35).

$$ES_{di} = \sum_{i=1}^n (M_{re\ i} \times ES_{re\ i} + D_{re\ i} \times Pc\ i \times ES_{tre\ i} + M_{de\ i} \times ES_{tde\ i} + D_{de\ i} \times Pc\ i \times ES_{tdei}) \quad (35)$$

onde:

ES_{di} é a emissão no solo da substância analisada na fase de disposição final do equipamento (kg);

n é o número de materiais analisados;

M_{re} é a massa do material a ser reciclado (kg);

ES_{re} é a emissão no solo associada ao processo de reciclagem, por massa (kg/kg);

D_{re} é a distância de transporte para disposição final do material para reciclagem (km);

P_c é a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte (%);

ES_{tre} é a emissão no solo associada ao transporte do material para reciclagem (kg/km).

M_{de} é a massa do material descartado (kg);

ES_{tde} é a emissão no solo associada ao processo de descarte, por massa (kg/kg);

D_{de} é a distância de transporte para descarte do equipamento (km);

ES_{tde} é a emissão no solo associada ao transporte para descarte do equipamento (kg/km).

3.4 QUANTIFICAÇÃO DE IMPACTOS

As análises apresentadas neste trabalho se referem aos impactos ambientais decorrentes do consumo de água, de matérias-primas, de energia total e de emissões no ar, no solo e na água ao longo do ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários convencionais e economizadores de água.

Os dados são coletados e agrupados de modo a expressar os resultados das categorias de impacto ambiental, conforme Figura 6. A quantificação das entradas referentes ao consumo de água e de energia, além das saídas referentes a emissões no ar, no solo e na água é realizada de acordo com o método proposto nesta tese. O consumo de água nas diversas fases do ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários é quantificado de modo a caracterizar a categoria de impacto denominada consumo de água. Da mesma forma, o consumo energético nas fases do ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários é quantificado de modo a caracterizar a categoria de impacto denominada consumo de energia total. Para as demais categorias de impacto analisadas (potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, toxicidade humana e acidificação), no relacionamento dos fluxos elementares às categorias de impacto ambiental, é utilizado o método proposto pelo CML (GUINÉE, 2002). As entradas referentes a matérias-primas são importantes para o desenvolvimento deste estudo de ACV, porém não geram diretamente os resultados das categorias de impacto ambiental analisadas.

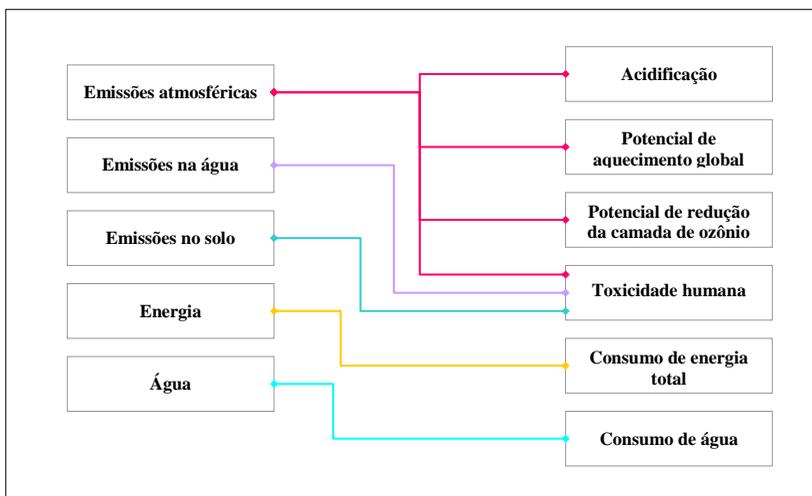


Figura 6 – Relacionamento de entradas e saídas às categorias de impacto ambiental analisadas.

O resultado dos cálculos referentes aos impactos ambientais analisados é expresso em diferentes categorias de impacto, para cada equipamento hidrossanitário avaliado: consumo de água; consumo de energia total; potencial de aquecimento global; potencial de redução da camada de ozônio; toxicidade humana; e acidificação. Os cálculos são feitos com auxílio do programa SimaPro versão 7.3 de acordo com o método proposto nesta tese. São inseridas no programa as entradas de matérias-primas, água e energia e as saídas em forma de emissões no solo, na água e no ar, calculadas de acordo com o método proposto neste trabalho. O programa computacional SimaPro realiza os cálculos dos resultados das categorias de impacto potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, toxicidade humana e acidificação de acordo com o método proposto pelo CML, conforme apresentado a seguir. Além dessas, há também a análise das categorias de impacto consumo de água e consumo de energia total.

Na categoria de impacto acidificação são avaliadas as emissões no ar de gases que contribuem para mudanças na acidez da água e do solo. O efeito das emissões de gases como NH_x , NO_x e SO_x é computado em kg de SO_2 equivalente para gerar o resultado final da categoria. Desta forma, a medida é relacionada ao efeito para acidificação de 1 kg de SO_2 emitido (CHEHEBE, 1997). O cálculo do indicador de

acidificação é feito em função dos dados de saída em forma de emissões atmosféricas, conforme Equação 36 (HEIJUNGS et al., 1992).

$$I_A = \sum_{i=1}^n PA_i \times EA_i \quad (36)$$

onde:

- I_A é o indicador da categoria acidificação (kg de SO_2 equivalente);
- n é o número de substâncias analisadas;
- PA é o potencial de acidificação da substância analisada (kg de SO_2 equivalente/kg de substância);
- EA é a emissão atmosférica da substância analisada (kg).

A categoria potencial de aquecimento global avalia as emissões no ar de gases que contribuem para absorção da radiação e em consequência, para o aquecimento global. O *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) elaborou uma lista considerando o efeito de diversos gases e as respectivas contribuições para o aquecimento global. A lista foi desenvolvida por meio de consultas a pesquisadores de todo o mundo e é dividida em horizontes de 20, 100 e 500 anos. O método analisa as contribuições das emissões de gases como CO , CO_2 , CH_4 e N_2O em kg de CO_2 equivalente utilizando o método desenvolvido pelo IPCC para um horizonte de 100 anos (GUINÉE, 2001). A Equação 37 demonstra como os dados de saída em forma de emissões atmosféricas são utilizados para gerar o indicador, em kg de CO_2 equivalente (HEIJUNGS et al., 1992).

$$I_{PAG} = \sum_{i=1}^n PAG_i \times EA_i \quad (37)$$

onde:

- I_{PAG} é o indicador da categoria potencial de aquecimento global (kg de CO_2 equivalente);
- n é o número de substâncias analisadas;
- PAG é o potencial de aquecimento global da substância analisada (kg de CO_2 equivalente/kg de substância);
- EA é a emissão atmosférica da substância analisada (kg).

A categoria de impacto potencial de redução da camada de ozônio avalia as emissões no ar de gases que contribuem para a redução da camada de ozônio. O método desenvolvido pela *World*

Meteorological Organisation analisa os efeitos de emissões de diversas substâncias em comparação a emissões de CFC-11 (GUINÉE, 2002). A Equação 38 demonstra o método de cálculo do indicador (HEIJUNGS et al., 1992).

$$I_{\text{PRCO}} = \sum_{i=1}^n \text{PRCO}_i \times \text{EA}_i \quad (38)$$

onde:

I_{PRCO} é o indicador da categoria potencial de redução da camada de ozônio (kg de CFC-11 equivalente);

n é o número de substâncias analisadas;

PRCO é o potencial de redução da camada de ozônio da substância analisada (kg de CFC-11 equivalente/kg de substância);

EA é a emissão atmosférica da substância analisada (kg).

A categoria de impacto toxicidade humana avalia o impacto de substâncias tóxicas emitidas no solo, na água e no ar para a saúde humana em kg de 1,4-diclorobenzeno equivalente (GUINÉE, 2001). A Equação 39 demonstra como os dados de saída em forma de emissões no ar, no solo e na água são utilizados para gerar o indicador (GUINÉE, 2002).

$$I_{\text{TH}} = \sum_{i=1}^n (\text{PTHa}_i \times \text{EA}_i + \text{PTHaq}_i \times \text{EAQ}_i + \text{PTHs}_i \times \text{ES}_i) \quad (39)$$

onde:

I_{TH} é o indicador da categoria toxicidade humana (kg de 1,4-DB equivalente);

n é o número de substâncias analisadas;

PTHa é o potencial de toxicidade humana da substância analisada no ar (kg de 1,4-DB equivalente/kg de substância);

EA é a emissão atmosférica da substância analisada (kg);

PTHaq é o potencial de toxicidade humana da substância analisada na água (kg de 1,4-DB equivalente/kg de substância);

EAQ é a emissão aquática da substância analisada (kg);

PTHs é o potencial de toxicidade humana da substância analisada no solo (kg de 1,4-DB equivalente/kg de substância);

ES é a emissão no solo da substância analisada (kg).

Na categoria de impacto consumo de água são avaliadas as entradas referentes ao consumo de água durante o ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários analisados, em m³ de água consumida, conforme Equação 1 apresentada em 3.3.1. A categoria de impacto consumo de energia total avalia as entradas referentes ao consumo energético total nas fases do ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários, incluindo transporte, produção e disposição final de materiais, a energia necessária à operação de equipamentos, à disponibilização de água tratada no ponto de consumo e posterior tratamento do esgoto gerado. As entradas são computadas em MJ, conforme Equação 8 apresentada em 3.3.2.

3.5 CONDIÇÕES PARA QUANTIFICAÇÃO DE IMPACTOS NA SUBSTITUIÇÃO DE EQUIPAMENTOS

A unidade funcional a ser considerada no estudo é a utilização de equipamento(s) hidrossanitário(s) necessário(s) em um determinado período de análise para viabilização do uso da água no ponto de consumo. Assim, para cada ponto de consumo, as comparações devem ser realizadas entre cenários com equipamentos convencionais e equipamentos economizadores que desempenhem as mesmas funções no edifício em que é implantado o Programa de Uso Racional da Água. É importante verificar questões que geram subjetividade na análise. Por exemplo, se a substituição de um equipamento convencional por um equipamento economizador, gerando maior conforto ao usuário em sua utilização, não levaria a um tempo maior de uso e, como consequência, a um consumo maior de insumos. Para contornar problemas como o mencionado é importante que cada sistema seja analisado como um sistema único, com suas particularidades que devem ser levadas em consideração. Nesse caso, a sugestão é que sejam adotados procedimentos para experimentação e medições *in loco*.

O método proposto visa determinar os impactos no ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários (tanto economizadores quanto convencionais) e também verificar a viabilidade ambiental da substituição dos equipamentos convencionais por economizadores. Assim, o método proposto nesta tese pode ser utilizado como uma abordagem atribucional (uma vez que atribui os impactos do ciclo de vida relativos a determinado equipamento) ou consequential (quando estimadas as mudanças nos impactos no sistema causadas pela substituição de equipamentos). Na abordagem atribucional é

determinado, em um dado período de tempo, o impacto gerado por um produto ou sistema levando em consideração o ciclo de vida no período estudado (que pode ser presente, passado ou futuro). Na abordagem consequencial é determinado como os fluxos e impactos são modificados por possíveis decisões que gerem alguma modificação no sistema (EPA, 2002; FINNVEDEN et al., 2009).

Nesta tese, a abordagem atribucional é utilizada para quantificação dos impactos no ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários, de acordo com as equações propostas no método. Quando da abordagem consequencial, para verificação da viabilidade ambiental da substituição de equipamentos, deve ser considerado o ciclo de vida (berço ao túmulo) tanto dos equipamentos convencionais quanto dos equipamentos economizadores que os substituiriam. Desta maneira, o que se propõe é a comparação levando em consideração dois cenários: (i) levantamento dos impactos com o ponto de consumo em operação com a utilização de equipamentos convencionais no período de análise; e (ii) levantamento dos impactos com o ponto de consumo em operação com a substituição de equipamentos convencionais por economizadores de água. O estudo é realizado considerando a operação em um período de tempo pré-determinado, analisando os cenários de análise, conforme esquematizado na Figura 7.

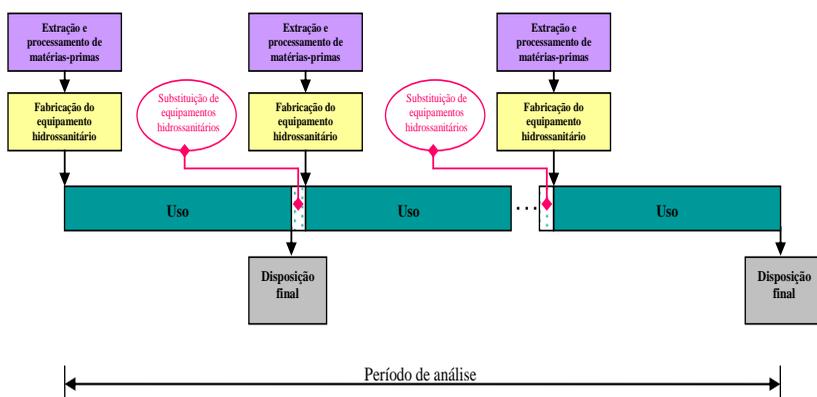


Figura 7 – Substituição de equipamentos hidrossanitários durante o período de análise.

Se o período de análise for maior que a vida útil (considerada a fase de uso) do equipamento hidrossanitário, haverá a necessidade de utilização de mais de um equipamento nesse período. Ou seja, é preciso prever a substituição do equipamento quando a vida útil do mesmo chegar ao fim. Assim, no período de análise, para o primeiro cenário devem ser quantificados os impactos referentes às fases de produção, uso e disposição final dos equipamentos convencionais necessários no período.

A comparação é realizada com um segundo cenário, que contempla a substituição do equipamento convencional instalado por outros equipamentos que desempenhem a mesma função, porém com economia de água. Para o cenário 2, no mesmo período de análise, deve ser realizado o levantamento de impactos existentes até a instalação da tecnologia economizadora e dos impactos posteriores à substituição. Assim, são considerados os impactos referentes às fases de produção, uso e disposição final do equipamento convencional e os impactos decorrentes da substituição de equipamentos, por meio da quantificação de impactos na fase de produção, uso e disposição final dos equipamentos economizadores.

A comparação por cenários (com e sem substituição de equipamentos) foi elaborada como uma abordagem consequencial e não como uma comparação de ACV de cada equipamento (abordagem atribucional) de modo a considerar que, com a intervenção no sistema, o equipamento economizador substitui outro equipamento (convencional), porém com menor consumo de água.

3.6 APLICAÇÃO DO MÉTODO EM UM ESTUDO DE CASO

Com a finalidade de aplicar o método, no estudo de caso é proposta a avaliação de impactos ambientais no ciclo de vida de dois diferentes modelos de torneiras (uma torneira convencional e outra torneira com fechamento hidromecânico) instaladas em um dos blocos de salas de aula do campus do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina. O bloco K do referido campus possui 18 salas de aula, dois banheiros femininos e dois banheiros masculinos, divididos em dois andares.

Conforme anteriormente descrito, para a coleta de dados primeiramente deve-se realizar um levantamento dos edifícios e dos equipamentos hidrossanitários existentes. No estudo de caso, a aquisição destes dados se dá por meio do levantamento dos projetos dos edifícios

existentes no campus e de levantamentos *in loco*, quando não houver projetos atualizados das edificações.

Para os dados referentes ao ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários, os dados secundários são coletados primordialmente em pesquisas acadêmicas, em relatórios setoriais e por meio de consulta a fabricantes. Nos cálculos apresentados no estudo de caso também é utilizada a base de dados do *Ecoinvent Centre* (2010) quando da indisponibilidade de dados provenientes da literatura.

Na fase de produção, a coleta dos dados relativos à extração e processamento de matérias-primas se dá por meio de consultas a pesquisas acadêmicas e relatórios setoriais. Também houve consultas a fornecedores de matérias-primas para coletas de dados inexistentes na literatura. Para coleta dos dados relativos ao processo de fabricação dos equipamentos hidrossanitários analisados houve consulta aos principais fabricantes no país.

Na fase de produção são consideradas as distâncias dos locais de produção dos materiais até o local de produção dos equipamentos. Para o transporte dos equipamentos produzidos, é considerada a distância do local de fabricação até o local de aplicação, o campus universitário em estudo.

Na fase de uso, os dados referentes ao consumo de água do equipamento hidrossanitário devem, preferencialmente, ser obtidos por meio de medições *in loco* (dados primários). Para o cálculo do consumo de energia na utilização do equipamento deve ser considerado o consumo de energia (se houver) fornecido pelo fabricante do equipamento hidrossanitário analisado, o consumo de energia para bombeamento de água, obtido com o fabricante do sistema elevatório e por meio de dados de consumo de água da edificação. Também devem ser considerados o consumo de energia para abastecimento público de água e o consumo de energia para coleta e tratamento de esgoto sanitário. Tais dados devem ser obtidos por meio do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento ou por meio de outras pesquisas que reflitam a realidade local. As emissões no solo, no ar e na água decorrentes do uso do equipamento também devem ser contabilizadas.

Para quantificar o consumo de água na fase de uso, o bloco de salas de aula teve o consumo de água de todos os equipamentos hidrossanitários analisado no período de 06/04/2011 a 23/05/2011. Após isso, as 14 torneiras convencionais foram substituídas por 14 torneiras com fechamento hidromecânico e o consumo de água foi medido do período de 24/05/2011 a 03/07/2011. Como há flutuação no número de

usuários durante os dias da semana, foi calculado o índice de consumo por usuário, em litros/usuário por dia.

A Figura 8 mostra um hidrômetro instalado em um dos pontos de consumo, antes e depois da troca de torneiras. A instalação do hidrômetro a montante de cada torneira ocasiona uma perda de carga localizada, o que pode gerar diminuição da velocidade de saída do jato de água e da vazão. Os hidrômetros necessários à realização do levantamento do consumo de água no estudo de caso estavam presentes nos dois períodos de medição (com torneiras convencionais e com torneiras economizadoras de água). Desta forma, não houve diferenciação no sistema de distribuição de água do reservatório até cada torneira nos dois períodos. No entanto, as vazões poderiam ser maiores nos dois casos sem a presença dos hidrômetros.



Figura 8 – Hidrômetro instalado em uma torneira convencional (a) e economizadora de água (b).

Na fase de disposição final é considerada apenas a deposição em locais apropriados para receber os resíduos, sem considerar cenários com reciclagem de materiais. Os dados referentes a distâncias de

transporte para descarte do equipamento e/ou de suas partes devem ser obtidos com os órgãos ambientais locais. Os dados de consumo de energia associado ao transporte do equipamento devem ser obtidos em pesquisas que relacionem o tipo de transporte utilizado na região, o consumo de recursos e respectivas emissões.

3.6.1 ACV consequencial: cenários de análise

No estudo de caso há a aplicação do método proposto em um estudo de ACV atribucional, com apresentação dos resultados das categorias de impacto ambiental considerando o ciclo de vida de dois modelos de torneiras.

É também realizado um estudo de ACV consequencial em dois cenários, considerando um ponto de consumo localizado no mesmo edifício em um período de 10 anos (Figura 9). O período de 10 anos foi escolhido para a análise, pois é possível que haja mudanças com relação à eficiência dos equipamentos hidrossanitários em um período superior ao considerado. A vida útil considerada para as torneiras utilizadas no estudo de caso é de quatro anos, considerando o disposto em ABNT (2010a) e a tipologia dos edifícios em análise.

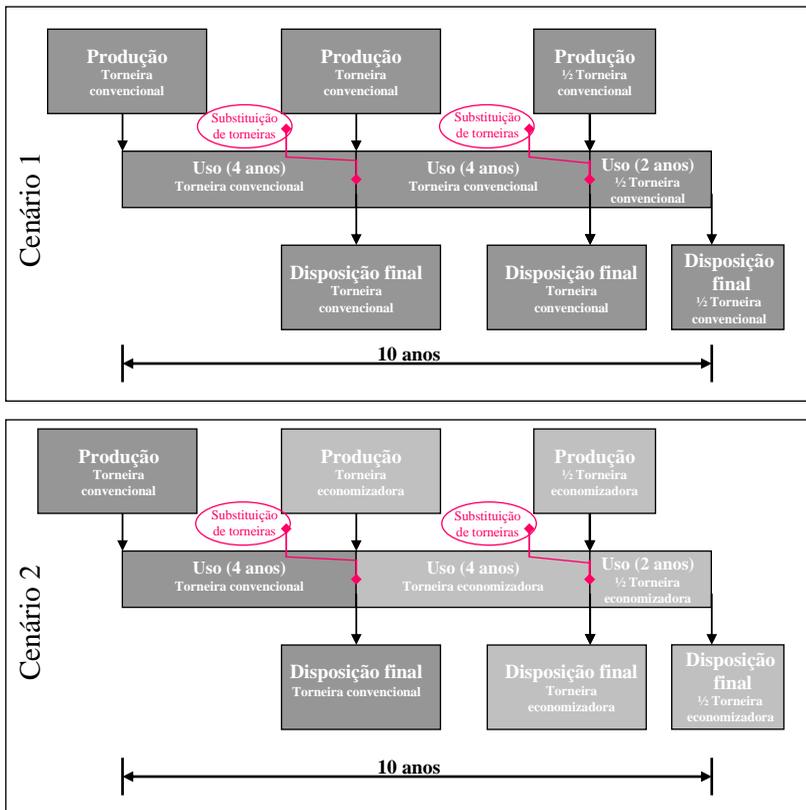


Figura 9 – Cenários considerados no estudo de caso.

No primeiro cenário, quando há a necessidade de substituição da torneira convencional existente, há a reposição com uma nova torneira convencional. No período de 10 anos é considerada a utilização de 2,5 torneiras convencionais. Os impactos ambientais são calculados levando em consideração as fases de produção, uso e disposição final deste número de torneiras convencionais. Os cálculos das entradas e saídas e a caracterização das categorias de impacto ambiental são realizados de acordo com o método proposto nesta tese.

A decisão que leva à reposição da torneira convencional por outra semelhante poderia estar atrelada a questões culturais, econômicas ou de outra natureza. Um exemplo de fator que poderia influenciar na decisão é o valor inicial (de compra) da torneira convencional utilizada no

estudo de caso, cerca de quatro vezes menor que o valor de compra da torneira economizadora.

No segundo cenário há a substituição da torneira convencional por modelos economizadores de água após quatro anos de uso. Neste cenário, para o período de 10 anos, são necessárias uma torneira convencional e 1,5 torneiras economizadoras de água. Assim, os impactos ambientais do segundo cenário devem ser calculados em função das fases do ciclo de vida dessas torneiras.

Após quatro anos há a necessidade de substituição das torneiras nos dois cenários de análise. No primeiro cenário há a substituição da torneira convencional por outra torneira convencional. No segundo cenário há a substituição da torneira convencional por um modelo economizador de água após o período inicial de quatro anos.

Após oito anos, contados a partir do início da análise, há novamente a necessidade de substituição das torneiras. Como o período considerado no estudo de caso é igual a 10 anos, restam apenas dois anos para a fase de uso das torneiras, que na totalidade é considerada quatro anos (vida útil). As torneiras instaladas nos últimos dois anos de análise tiveram, além dos impactos na fase de uso reduzidos à metade, também os impactos referentes às fases de produção e disposição final. Esta foi uma maneira de tornar justa a análise, afinal, após o período considerado, as torneiras continuariam sendo utilizadas por mais dois anos e os impactos referentes à produção e disposição final também devem ser diluídos nesse período que não faz parte da análise aqui proposta.

3.6.2 Aplicação do método em cenários alternativos de análise

Existem variadas opções de análise com diferentes possibilidades de consideração ao analisar o estudo de caso apresentado. Como seriam os impactos ambientais se a vida útil das torneiras fosse considerada maior que 4 anos? E se o descarte de uma das torneiras ocorresse antes do fim da vida útil? Para responder a tais questões são apresentados a seguir cenários alternativos de análise utilizando o método proposto.

3.6.2.1 Cenário com substituição da torneira convencional após o primeiro ano de uso

Neste cenário de análise, de 10 anos, considera-se a vida útil das torneiras convencionais e economizadoras de água igual a quatro anos.

Neste cenário, que recebe a nomenclatura de cenário 3, assim como no cenário 2 detalhado anteriormente, a situação inicial apresenta uma torneira convencional instalada no ponto de consumo, posteriormente substituída por modelos economizadores de água. A diferença, no entanto, está no período de descarte da torneira convencional, após um ano de uso - antes do fim da vida útil prevista. Sendo assim, após um ano de uso, a torneira convencional é substituída por torneiras economizadoras de água nos nove anos de análise subsequentes.

No cenário 3 são consideradas a etapa de produção e disposição final da torneira convencional e um ano da etapa de uso (Figura 10). As etapas de produção e disposição final são consideradas como um todo pois a torneira, apesar de não ter chegado ao fim da vida útil, será descartada. Para os nove anos seguintes são consideradas as etapas de produção, uso e disposição final de 2,25 torneiras economizadoras de água. Analogamente ao cenário 2, ao final do período de análise a torneira economizadora instalada no ponto de consumo pode continuar sendo utilizada. Por isso os impactos ambientais de produção e disposição final dessa última torneira são diluídos também nos três anos restantes de vida útil da mesma.

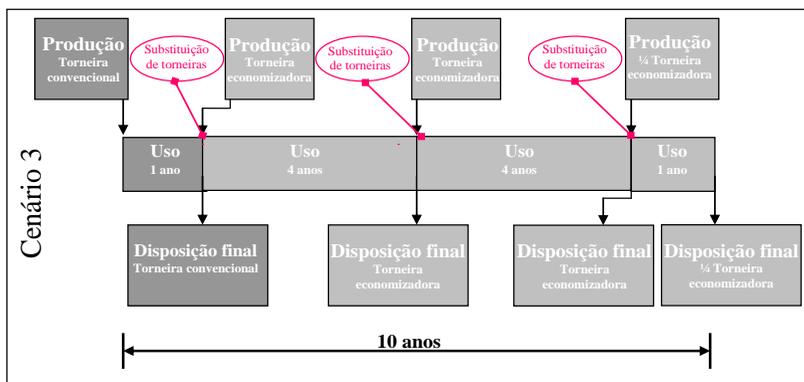


Figura 10 – Cenário considerando a substituição da torneira convencional após o primeiro ano de uso.

3.6.2.2 Cenários considerando a vida útil das torneiras igual a 6 anos

Os cenários aqui apresentados seguem os mesmos critérios apresentados nos cenários 1, 2 e 3 descritos anteriormente. A principal

diferença encontra-se na vida útil das torneiras, considerada igual a 6 anos. As nomenclaturas “cenário A”, “cenário B” e “cenário C” são utilizadas para estes novos cenários de análise.

No cenário A há a utilização de torneiras convencionais nos 10 anos de período de análise. Neste caso são necessárias 1,67 torneiras convencionais, já que a vida útil de cada torneira é de seis anos. No cenário B, após a vida útil da torneira convencional inicialmente instalada chegar ao fim, a mesma é substituída por uma torneira economizadora de água no período restante de análise. Assim, nos seis primeiros anos há a utilização de uma torneira convencional e nos quatro anos restantes são considerados os impactos ambientais relativos às fases de produção, uso e disposição final de 0,67 torneiras economizadoras de água. No cenário C, a torneira convencional inicialmente instalada é substituída ao fim do primeiro ano de uso, antes de alcançar o fim da vida útil. Essa torneira é substituída nos nove anos restantes de análise por modelos economizadores de água. Assim, são considerados no cenário C, os impactos ambientais das etapas do ciclo de vida de uma torneira convencional (considerando um ano de uso) e de 1,5 torneiras economizadoras de água. A Figura 11 apresenta um fluxograma ilustrativo dos três cenários de análise.

A aplicação do método no estudo de caso para a caracterização das categorias de impacto no ciclo de vida dos dois modelos de torneiras e posterior análise dos cenários é apresentada a seguir.

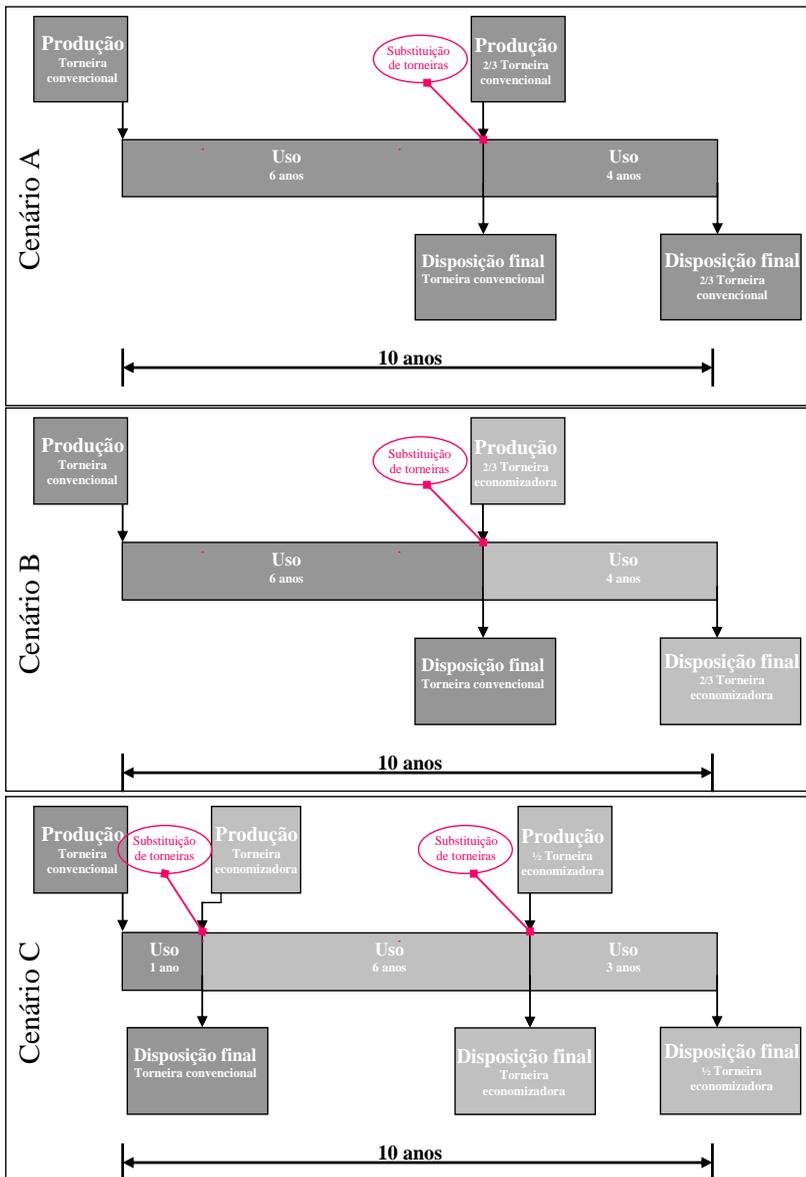


Figura 11 – Cenários de análise considerando a vida útil das torneiras igual a 6 anos.

4 RESULTADOS

Os resultados apresentados nesta tese caracterizam as categorias de impacto propostas para os dois cenários, com equipamentos convencionais e com a substituição destes por economizadores de água. Por meio da coleta de dados e da aplicação do método que envolve os cálculos descritos no capítulo 3 é possível comparar os impactos ocasionados pela adoção do sistema economizador com os impactos gerados no cenário em que o edifício conta apenas com equipamentos convencionais.

Para a aplicação do método proposto em uma edificação ou em um conjunto de edificações, o primeiro passo é a definição dos equipamentos convencionais a serem substituídos. O passo seguinte é a definição de quais equipamentos economizadores de água serão empregados no lugar dos equipamentos convencionais.

Para isso é necessário o conhecimento da(s) edificação(ões) em estudo, dos sistemas prediais hidráulicos e sanitários e dos equipamentos instalados. Por meio deste diagnóstico, do conhecimento dos usuários e do perfil de consumo, pode-se definir as necessidades referentes à substituição de equipamentos. A vida útil de cada equipamento convencional e economizador de água também deve ser determinada.

No estudo de caso, alvo da aplicação do método proposto, um campus universitário tem a peculiaridade de poder abrigar edificações de diferentes tipologias: salas de aula, auditórios, refeitórios, dormitórios (ou até mesmo edifícios residenciais), hospitais universitários, laboratórios, etc. Desta forma, é imprescindível um levantamento prévio dos edifícios e dos equipamentos hidrossanitários existentes para verificação das necessidades de substituição de equipamentos.

De posse da lista de equipamentos a serem substituídos e da determinação dos equipamentos economizadores que os substituirão, pode-se iniciar a aplicação do método proposto. As fases consideradas do ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários são as descritas em 3.1, o que divide os impactos analisados nas fases de produção, uso e disposição final. Os dados para cada uma destas fases devem ser coletados de modo a assegurar que os cálculos dos índices sejam representativos. Visando testar a efetividade do método, o mesmo é empregado no estudo de caso apresentado a seguir.

4.1 APLICAÇÃO DO MÉTODO EM UM ESTUDO DE CASO

A fim de testar a aplicação do método proposto, o mesmo é aqui empregado no estudo de implantação do Programa de Uso Racional da Água no campus do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina (CCT-UEDESC). O campus universitário está localizado no município de Joinville e conta com o Programa de Uso Racional da Água desde o ano de 2005. O Programa tem caráter permanente e é composto por algumas etapas integradas: diagnóstico geral; especificação e instalação de sistema de medição que permita o acompanhamento do consumo de água; detecção e correção de vazamentos; regularização e substituição de equipamentos convencionais por equipamentos economizadores de água; proposta de reutilização da água em sistemas especiais; e campanhas de conscientização dos usuários.

O campus é constituído de 14 edifícios, distribuídos em uma área de aproximadamente 62.000 m². Todo suprimento de água do campus é realizado pela rede de serviço de abastecimento da companhia de saneamento municipal, não existindo nenhuma fonte alternativa de abastecimento. O levantamento dos equipamentos hidrossanitários instalados foi realizado considerando os tipos, a quantidade e condições de operação. O campus conta com alguns equipamentos economizadores de água, como torneiras com funcionamento hidromecânico, mictórios individuais com funcionamento hidromecânico e bacias sanitárias de 6 litros por fluxo. Não há, porém, padronização de equipamentos e os mesmos apresentam condições de funcionamento e estados de conservação diversos (KALBUSCH et al., 2008). O campus possui um total de 451 pontos de consumo de água, divididos conforme mostra a Tabela 2.

Tabela 2 – Equipamentos hidrossanitários existentes no campus do CCT-UDESC.

Equipamentos hidrossanitários	Quantidade
Torneira convencional – material plástico	52
Torneira convencional – material metálico	85
Torneira de funcionamento hidromecânico	56
Mictório coletivo de funcionamento hidromecânico	3
Mictório individual funcionamento hidromecânico	44
Bacia sanitária com caixa de descarga	21
Bacia sanitária com válvula de descarga	113
Chuveiro	39
Ducha higiênica	3
Bidê	1
Bebedouro	19
Ponto de consumo sem equipamento hidrossanitário instalado	15

O método proposto no capítulo 3 foi idealizado para ser aplicado na etapa de substituição de equipamentos convencionais por modelos economizadores de água que desempenhem as mesmas funções. Com a finalidade de aplicar o método proposto, o que se propõe neste estudo de caso é avaliar a substituição das torneiras convencionais (dos lavatórios de um dos blocos do campus) por modelos economizadores de água. O bloco K do campus do Centro de Ciências Tecnológicas da UDESC possui 18 salas de aula, dois banheiros femininos e dois banheiros masculinos, posicionados em dois andares. Os equipamentos hidrossanitários existentes no bloco de salas de aula são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 – Quantidade de equipamentos hidrossanitários no bloco K do campus do CCT-UDESC.

Equipamentos hidrossanitários	Quantidade
Bacia sanitária	16
Torneira (lavatório)	14
Mictório	8
Bebedouro	4
Torneira de limpeza	2

O perfil de consumo de água do bloco de salas de aula foi traçado em duas etapas, com torneiras convencionais e com torneiras economizadoras instaladas nos lavatórios. O consumo de água nas torneiras foi medido por meio de leituras diárias nos hidrômetros instalados a montante das mesmas. Os hidrômetros são semelhantes ao apresentado na Figura 12 e, segundo o fabricante, operam com a vazão mínima de 0,0083 l/s e máxima de 0,8333 l/s (LAO, 2010).



Figura 12 – Exemplo de hidrômetro utilizado no diagnóstico de consumo de água do bloco K do CCT-UDESC.

As vazões nas torneiras com os hidrômetros instalados foram medidas para verificar se as mesmas se encontravam entre os valores mínimos e máximos indicados pelo fabricante dos hidrômetros. As medições foram realizadas considerando a massa de água escoada na unidade de tempo. Para determinação da vazão foram utilizados um cronômetro, um recipiente do tipo béquer e uma balança de precisão (Figura 13). Para conversão da vazão em massa para vazão volumétrica foi utilizado o valor de 1,0 kg/l para a massa específica da água.

Para cada torneira, a vazão foi medida em três etapas, sendo considerada como vazão média, a média aritmética das três medições realizadas. Os resultados das vazões médias nas torneiras com os hidrômetros instalados são apresentados na Tabela 4 e em todos os casos as vazões se encontram dentro dos limites admissíveis para utilização dos hidrômetros.



Figura 13 – Medição de vazão no banheiro masculino do segundo andar (a) e no banheiro feminino do primeiro andar (b) e os instrumentos utilizados.

Tabela 4 – Vazões médias nas torneiras economizadoras instaladas nos lavatórios do bloco K do CCT-UDESC.

Torneira	Local	Vazão média (l/s)
1	Banheiro feminino (1 ^o andar)	0,092
2	Banheiro feminino (1 ^o andar)	0,110
3	Banheiro feminino (1 ^o andar)	0,090
4	Banheiro feminino (1 ^o andar)	0,107
5	Banheiro masculino (1 ^o andar)	0,113
6	Banheiro masculino (1 ^o andar)	0,081
7	Banheiro masculino (1 ^o andar)	0,095
8	Banheiro feminino (2 ^o andar)	0,054
9	Banheiro feminino (2 ^o andar)	0,089
10	Banheiro feminino (2 ^o andar)	0,070
11	Banheiro feminino (2 ^o andar)	0,072
12	Banheiro masculino (2 ^o andar)	0,152
13	Banheiro masculino (2 ^o andar)	0,064
14	Banheiro masculino (2 ^o andar)	0,082

Com as medições *in loco*, os dados de consumo de água nas torneiras convencionais e nas torneiras economizadoras refletem a realidade da edificação analisada. As Figuras 14 e 15 mostram a evolução do índice de consumo de água nas torneiras e em todos os pontos de utilização do edifício, em l/usuário por dia. O período de medições foi de 06/04/2011 até 23/05/2011 com torneiras convencionais

instaladas e de 24/05/2011 até 03/07/2011 com torneiras economizadoras instaladas no bloco de salas de aula. Nos gráficos também são apontadas as médias dos índices de consumo nos dois períodos. Os índices de consumo de água nas torneiras convencionais e economizadoras de água representam, respectivamente, 16,30% e 14,91% do índice de consumo total da edificação em cada período de análise.

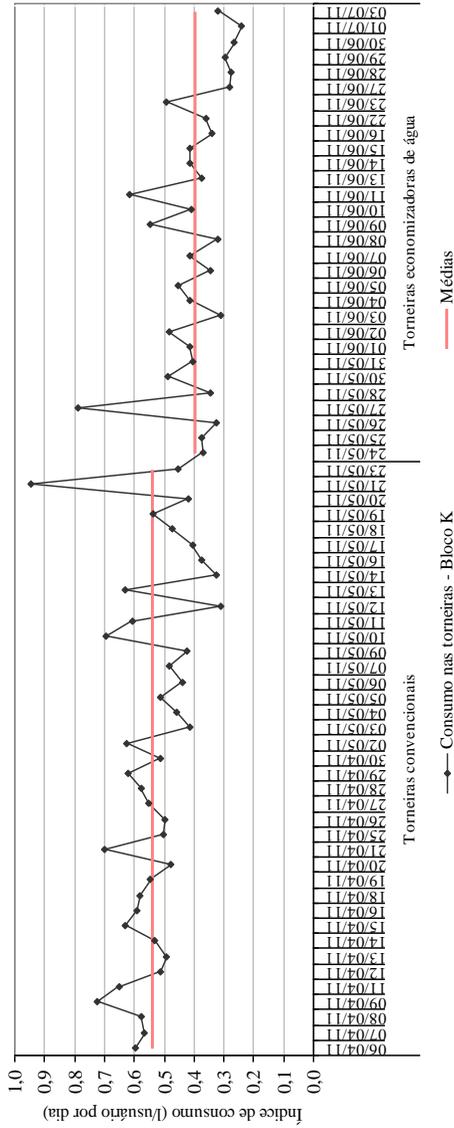


Figura 14 – Evolução do índice de consumo com torneiras convencionais e economizadoras de água instaladas no edifício.

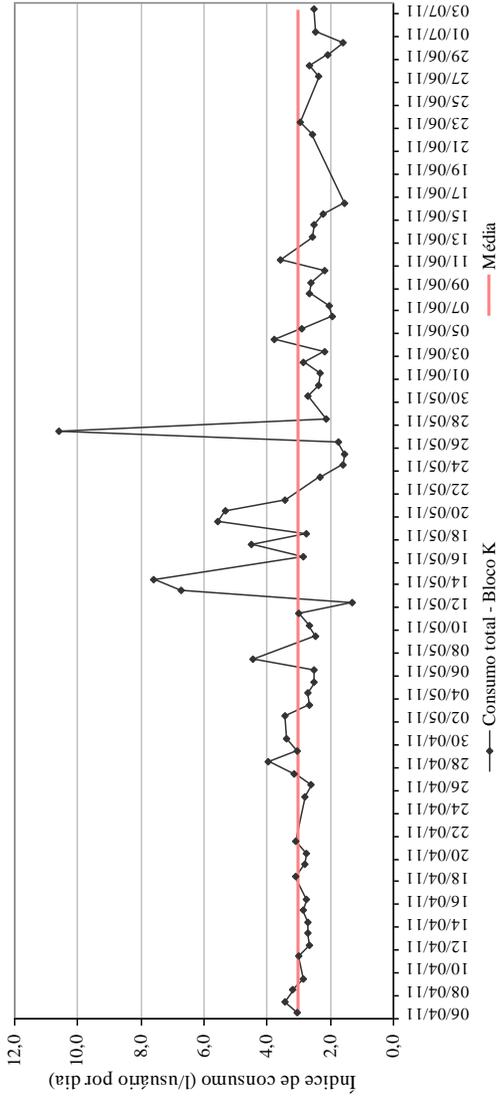


Figura 15 – Evolução do índice de consumo de água em todos os equipamentos hidrossanitários no edifício.

Os dados obtidos nos dois períodos são apresentados nas Tabelas 5 e 6. Quando comparados os índices de consumo nos dois períodos, a economia de água com a utilização das torneiras economizadoras em relação ao consumo de água com as torneiras convencionais foi de 26%. O valor é inferior aos dados nacionais apresentados na revisão bibliográfica, o que era esperado em função principalmente do comportamento dos usuários do campus. Além de não serem usuais ações de vandalismo, os próprios usuários participam ativamente do Programa de Uso Racional de Água do campus sugerindo atividades e denunciando vazamentos.

O número de usuários por dia foi verificado junto ao setor de registro acadêmico do campus do CCT-UDESC, responsável pela determinação das salas de aula utilizadas em cada disciplina. Foi investigada também a utilização em caráter extraordinário (por exemplo, com a realização de aulas não programadas e do vestibular que resultou na maior taxa de ocupação do bloco de salas de aula no período). Como há variação no número de usuários durante todo o período de análise, para interpretação dos resultados foi calculado o índice de consumo (IC), em litros por usuário por dia. No entanto, existem fatores que não foram possíveis de mensurar, como o número de usuários que optam por não utilizar as torneiras ou o número de usuários que utilizam os banheiros do bloco de salas de aula, mas não frequentam as disciplinas ali lecionadas. Nas Figuras 14 e 15 existem alguns picos de consumo. Foram investigadas possibilidades de aumento não documentado no número de usuários e ocorrência de vazamentos. Como não foi detectada nenhuma intercorrência que justificasse o descarte de dados, o índice de consumo foi calculado com base na coleta de dados de todo o período.

Tabela 5 – Parâmetros utilizados no cálculo do consumo de água nas torneiras convencionais.

Parâmetros para torneiras convencionais	Média	Mínimo	Máximo
Consumo diário de água (m ³ /dia)	0,462	0,192	0,724
Número de usuários por dia	876	426	1342
Índice de consumo (l/usuário por dia)	0,538	0,312	0,946

Tabela 6 – Parâmetros utilizados no cálculo do consumo de água nas torneiras economizadoras de água.

Parâmetros para torneiras economizadoras	Média	Mínimo	Máximo
Consumo diário de água (m ³ /dia)	0,383	0,143	0,931
Número de usuários por dia	980	426	2234
Índice de consumo (l/usuário por dia)	0,396	0,242	0,789

É importante ressaltar que o cálculo do índice de consumo foi realizado considerando o número de usuários total da edificação e não o número real de usuários das torneiras. Além disso, o edifício em que foi realizado o estudo de caso é localizado em um campus universitário em que é comum o deslocamento para outros locais nos horários destinados a refeições. Isso pode ocasionar um consumo menor quando comparado ao consumo de outras instituições de ensino.

Para o cálculo do consumo anual e posterior comparação entre os dois cenários de análise foram considerados 223 dias letivos por ano e um número fixo de 921 usuários por dia. O consumo total das torneiras dos lavatórios da edificação foi dividido pelo número de torneiras existentes. Os dados necessários à quantificação dos impactos ambientais considerados no ciclo de vida dos dois modelos de torneiras são apresentados a seguir.

4.1.1 Características das torneiras utilizadas no estudo de caso

Os dados sobre a composição das torneiras utilizadas no estudo de caso (incluindo a embalagem) foram obtidos junto à empresa Docol Metais Sanitários, um dos maiores fabricantes de metais sanitários no Brasil. A torneira convencional analisada é o modelo Itapema Bella e a torneira economizadora de água é o modelo Pressmatic 110. As informações referentes à composição dos dois modelos de torneira podem ser verificadas na Tabela 7.

Tabela 7 – Composição material básica das torneiras modelo Itapema Bella e Pressmatic 110 (Docol).

 Torneira convencional Modelo: Itapema Bella		 Torneira economizadora Modelo: Pressmatic 110	
Material	Massa	Material	Massa
Latão	614,5 g	Latão	591,4 g
Cerâmica	3,4 g	Aço inoxidável	14,1 g
Plástico (POM)	81,5	Plástico (POM)	60,7 g
Borracha	1,5 g	Borracha	3,1 g
Papel / Papelão	8,2 g	Papel / Papelão	88,5 g
Total	709,1 g	Total	757,8 g

Nota: O percentual considerado de cobre no latão é de aproximadamente 70% e de zinco, 30%. Fonte: VEIGA (2011).

4.1.2 Entradas referentes ao consumo de água na fase de produção

Para o cálculo do consumo de água na fase de produção foi pesquisado o volume de água necessário à extração e processamento das matérias-primas utilizadas na fabricação das torneiras convencional e economizadora de água. A Tabela 8 apresenta o consumo de água para a produção dos materiais utilizados no estudo de caso. A opção pela utilização de dados de origem prioritariamente nacional esbarra na falta de robustez dos mesmos, já que em alguns casos não há explicitação clara do método de cálculo. Outros dados não disponíveis em publicações foram adquiridos junto a fabricantes de matérias-primas. É importante salientar que os dados de produção de um fabricante não necessariamente refletem a média nacional.

Tabela 8 – Consumo de água para produção de materiais.

Material	Média do consumo de água (m³/kg)
Aço inoxidável	0,04370
Cobre	0,03195
Zinco	0,02375
Borracha sintética	1,44180
Cerâmica	0,00190
Papel	0,42000

Fonte: Norgate; Lovel (2004); ANA (2009).

O consumo de água para a produção do polioximetileno não foi encontrado em relatórios setoriais ou estudos acadêmicos. Neste caso foram utilizados os valores de consumo de uma indústria brasileira, do período de janeiro de 2010 a junho de 2011. Para produção de 1000 kg de polioximetileno, a indústria utiliza 0,5 m³ de água bruta e 0,2 m³ de água tratada. Para transformação do latão, os dados são referentes a outra indústria brasileira que utiliza 1,38 litros de água por quilograma de latão processado. Em ambos os casos foi solicitada confidencialidade, portanto não há divulgação dos nomes das empresas.

Para quantificação dos insumos envolvidos no transporte de materiais, Cybis e Santos (2000) utilizaram, para transporte rodoviário em caminhões, o valor de um litro de óleo diesel para cada 3,0 km. O mesmo consumo médio foi considerado por Tavares (2006). Uma pesquisa da *Natural Resources Canada* (2009) determinou o consumo médio de diesel em caminhões pesados como 0,345 l/km no ano de 2007 no Canadá. Neste caso, o desempenho calculado foi de aproximadamente 2,90 km/l. Sheehan et al. (1998) calcularam o volume de água necessário para a produção de óleo diesel proveniente do petróleo como 0,469 litros/bhp-h, aproximadamente 0,63 litros/KWh.

Considerando o consumo de óleo diesel igual a um litro para cada 3,0 km percorridos por caminhão pesado e o volume de água necessário à produção desse combustível (SHEEHAN et al. 1998), no estudo de caso foi considerado o valor de 2,03 litros de água por km percorrido com caminhão pesado. Foi considerada também a percentagem representativa da massa do equipamento em comparação à carga total transportada no meio de transporte, de acordo com o método proposto. A Tabela 9 e a Figura 16 mostram os locais de produção das matérias-primas e as distâncias de transporte consideradas.

Tabela 9 – Origem, destino e distâncias de transporte consideradas por tipo de matéria-prima.

Matéria-prima	Origem	Destino	Distância considerada (km)
Cobre	Camaçari, BA (H)	Joinville, SC (A)	2440
Zinco	Três Marias, MG (G)	Joinville, SC (A)	1361
Aço inoxidável	Timoteo, MG (F)	Joinville, SC (A)	1314
Cerâmica	Criciúma, SC (B)	Joinville, SC (A)	349
Plástico	Suzano, SP (D)	Joinville, SC (A)	575
Borracha	Barretos, SP (E)	Joinville, SC (A)	896
Papel/papelão	Timbó, SC (C)	Joinville, SC (A)	112



Figura 16 – Local de produção e destino das matérias-primas utilizadas na fabricação das torneiras.

Fonte: Google maps (2011).

Na manufatura dos equipamentos, segundo levantamentos realizados por Veiga (2011), o volume de água utilizado para a fabricação de uma torneira é de 4,60 litros/dm² de área superficial da torneira. A fábrica que teve seu processo analisado implantou um

sistema de reúso de água no setor de galvanoplastia. Um relatório de Ferreira Filho (2009) para a mesma indústria aponta que em 1997, antes da execução do sistema de conservação da água na indústria, o consumo de água para fabricação de torneiras, por decímetro quadrado de área externa da torneira, era de 32 litros. Esses dados demonstram que o consumo de água (assim como o consumo de energia e outros impactos analisados) na fase de produção de equipamentos hidrossanitários depende de cada fabricante e de seu sistema de gestão ambiental.

A área de cromagem externa do modelo de torneira economizadora de água, segundo a fonte citada, é de aproximadamente $3,32 \text{ dm}^2$. A área de cromagem externa do modelo convencional utilizado no estudo de caso é de $2,30 \text{ dm}^2$. Sendo assim, o volume de água total necessário na manufatura da torneira economizadora é de 15,3 litros e da torneira convencional, 10,6 litros.

Outra indústria brasileira de metais sanitários disponibilizou os dados de consumo de água para produção de torneiras, calculado como $5,88 \text{ m}^3/\text{ton}$ de peças produzidas. A massa de uma torneira economizadora produzida pela indústria é 0,8255 kg e da torneira convencional, 0,6430 kg. Neste caso, fazendo uma aproximação com base no consumo de água por massa de torneiras produzidas, o consumo pode ser estimado em 4,85 litros para a torneira economizadora e 3,78 litros para a torneira convencional. Por motivo de solicitação de confidencialidade o nome da indústria não é divulgado.

Os valores disponibilizados por essa indústria são bastante diferentes dos valores apresentados por Veiga (2011). Para esta pesquisa, foram consultados nove dos principais fabricantes brasileiros de metais sanitários. Foram realizadas várias tentativas em diversos contatos com estas nove empresas, porém apenas duas se propuseram a disponibilizar os dados. Uma das empresas autorizou a divulgação de forma parcial, apenas dos dados de consumo de água e energia. Por haver acesso mais amplo aos dados, neste estudo de caso são utilizadas as informações disponibilizadas por Veiga (2011).

4.1.3 Entradas referentes ao consumo de água na fase de uso

Neste estudo de caso, o índice de consumo com a utilização da torneira convencional foi calculado como 0,538 l/usuário por dia. O índice de consumo calculado com a utilização da torneira economizadora de água foi 0,396 l/usuário por dia. Para o cálculo do consumo anual e posterior comparação entre os dois cenários de análise são considerados 223 dias letivos por ano e 921 usuários por dia.

Para manutenção dos equipamentos, com vida útil de quatro anos, é considerada apenas a limpeza dos arejadores a cada seis meses, tanto para modelos convencionais quanto para economizadores de água. A limpeza é realizada pela própria equipe de manutenção do campus e não ocasiona consumo de água representativo para este estudo de caso.

4.1.4 Entradas referentes ao consumo de água na fase de disposição final

Neste estudo de caso, para a disposição final será considerado apenas o consumo de água relativo ao transporte do equipamento hidrossanitário. No que se refere às necessidades de transporte são adotados os valores apresentados por Sheehan et al. (1998), Cybis e Santos (2000) e Tavares (2006), descritos em 4.1.2. Para o estudo de caso não são considerados cenários com reciclagem dos materiais, apenas simples descarte em aterro. Ao fim da vida útil, é considerado o transporte das 14 torneiras do edifício e a distância do local de utilização das torneiras até o local de descarte é de 5,90 km (Figura 17).

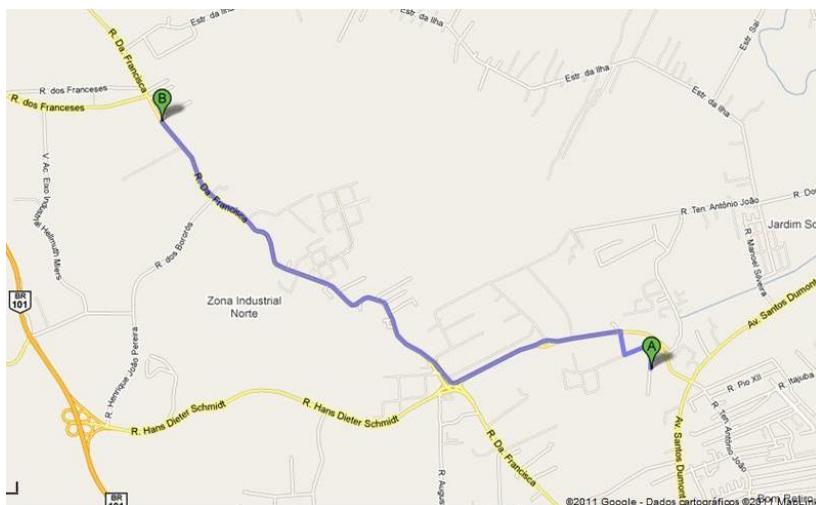


Figura 17 – Distância considerada para disposição final das torneiras.

Fonte: Google maps (2011).

4.1.5 Entradas referentes ao consumo de energia na fase de produção

A Tabela 10 apresenta o consumo energético na extração de matéria-prima e beneficiamento de materiais considerado no estudo de caso. Os dados são prioritariamente de fontes nacionais. Apenas quando não havia dados brasileiros disponíveis foram utilizados dados de referências estrangeiras. No caso do aço inoxidável foram utilizados dados nacionais disponíveis para a matéria-prima aço. Para o beneficiamento do latão foram utilizados dados de uma indústria (que solicitou confidencialidade) que utiliza 7,0 kWh/kg de latão beneficiado. Esse valor foi acrescido ao consumo energético para extração e beneficiamento dos materiais cobre e zinco na Tabela 10.

Tabela 10 – Consumo energético considerado na extração e beneficiamento das matérias-primas.

Material	Consumo energético total (MJ/kg)
Cobre (incluindo transformação em latão)	38,60
Zinco (incluindo transformação em latão)	73,20
Aço	23,03
Cerâmica	3,73
Borracha	143,00
Papel/papelão	17,51

Fontes: MME (2009b; 2009c); MME (2010); Bracelpa (2010); Scheuer, Keoleian, Reppe (2003); Seppälä et al (2002); Norgate, Jahanshahi, Rankin (2007).

O consumo de energia para a produção do polioximetileno não foi encontrado em relatórios setoriais ou estudos acadêmicos. Assim como para o consumo de água, foram utilizados os valores de consumo de uma indústria brasileira, do período de janeiro de 2010 a junho de 2011. Para produção de cada quilograma de polioximetileno, a indústria que disponibilizou os dados emprega 0,4 kWh de energia elétrica.

Para extração e beneficiamento dos materiais utilizados na produção das torneiras foi considerado o consumo de energia elétrica no estudo de caso. As entradas foram calculadas de acordo com o método

proposto e inseridas no programa computacional SimaPro versão 7.3 considerando a matriz energética brasileira, disponível na base de dados do *Ecoinvent Centre* (2010).

Para quantificação da energia envolvida no transporte de materiais, Cybis e Santos (2000) utilizaram, conforme citado anteriormente, o valor de um litro de óleo diesel para cada 3,0 km, mesmo consumo médio considerado por Tavares (2006). O referido autor realizou ainda a transformação considerando o poder calorífico do combustível de 35 GJ/m^3 .

De acordo com o estudo realizado por Veiga (2011) em uma indústria fabricante de metais sanitários, analogamente aos dados apresentados para o consumo de água, o consumo de energia elétrica para a fabricação das torneiras é de 5,41 kWh/kg de equipamentos produzidos. Para os modelos de torneira em questão a fonte energética é apenas elétrica, embora a indústria analisada seja atendida também por energia proveniente de rede de gás natural.

A outra indústria que disponibilizou os dados de consumo energético estimou o consumo de energia elétrica em 4.238,120 kWh e 30,308 kg de GLP por tonelada de metal sanitário produzido. As massas de uma torneira economizadora e de uma torneira convencional produzidas pela indústria são, respectivamente, 0,8255 kg e 0,6430 kg. Assim, considerando o consumo energético por massa nesta indústria, o consumo energético para produção da torneira convencional é de 2,73 kWh de energia elétrica e 0,019 kg de GLP e para a torneira economizadora, 3,50 kWh de energia elétrica e 0,025 kg de GLP. Assim como nos dados de consumo de água, neste estudo de caso são utilizadas as informações disponibilizadas por Veiga (2011).

4.1.6 Entradas referentes ao consumo de energia na fase de uso

No período de quatro anos, para a manutenção dos equipamentos é considerada apenas a limpeza dos arejadores a cada seis meses, realizada pelos funcionários do campus. Quanto à energia para bombeamento da água, Pertel et al. (2008) calcularam a relação entre a energia necessária para bombas de recalque e o volume de água levado ao reservatório superior como $1,65 \text{ kWh/m}^3$ em um edifício de 20 andares.

No estudo de caso, a potência mecânica calculada para o motor elétrico da motobomba no bloco de salas de aula em análise é igual a 0,25 CV. A potência foi calculada considerando a média diária de consumo de água no edifício no período de 06/04/2011 a 03/07/2011,

igual a $2,78 \text{ m}^3/\text{dia}$ e o tempo de funcionamento da motobomba igual a 2 horas por dia. Neste caso, o consumo energético para bombeamento da água no edifício foi calculado como $0,55 \text{ MJ/m}^3$.

Outro ponto a ser considerado é o consumo energético para provisão de água potável e posterior coleta e tratamento de esgoto sanitário. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (BRASIL, 2007), os dados para o consumo energético no tratamento e abastecimento de água e coleta e tratamento de esgotos sanitários para a cidade de Joinville são:

- índice de consumo de energia elétrica em sistemas de abastecimento de água: $1,908 \text{ MJ/m}^3$;
- índice de consumo de energia elétrica em sistemas de esgotamento sanitário: $0,648 \text{ MJ/m}^3$.

4.1.7 Entradas referentes ao consumo de energia na fase de disposição final

No que se refere às necessidades de transporte, para o cálculo do consumo energético o desempenho considerado para os caminhões foi de $3,0 \text{ km}$ por litro de óleo diesel (CYBIS; SANTOS, 2000; TAVARES, 2006). A transformação foi realizada considerando o poder calorífico do óleo diesel igual a 35 GJ/m^3 (TAVARES, 2006). No cálculo do consumo energético para transporte foi considerado que todas as 14 torneiras do edifício alcançaram o fim da vida útil. Assim, o consumo energético deste transporte foi dividido pelo número total de torneiras transportadas.

4.1.8 Saídas referentes às emissões atmosféricas na fase de produção

Para extração e processamento das matérias-primas os dados utilizados são os disponibilizados pelo Ministério de Minas e Energia (MME), conforme Tabela 11. No caso do aço inoxidável foram utilizadas as emissões referentes ao aço, em kg de gás por tonelada de material produzido.

Tabela 11 – Emissão específica de CO₂ no ano de 2009 no Brasil.

Material	Emissão específica de CO₂ no setor de mineração
Aço	2.200
Cobre	550
Cerâmica	188

Fonte: MME (2009a).

A Tabela 12 apresenta as emissões atmosféricas para a produção de papelão. As emissões foram calculadas considerando os valores disponibilizados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (MCT, 2006; MCT, 2010) e a produção total de papel no Brasil de acordo com o relatório da Associação Brasileira de Celulose e Papel - BRACELPA (2010).

Tabela 12 – Emissão de gases na produção de celulose e a produção de papel no Brasil.

Emissão (kg gás/kg de papel produzido)	
NO _x	1,64x10 ⁻³
NMVOG	6,12 x 10 ⁻³
CO	4,05 x 10 ⁻³

Fontes: MCT (2006); MCT (2010); BRACELPA (2010).

Para as demais matérias-primas utilizadas na fase de produção das torneiras foram utilizadas as emissões disponíveis na base de dados do *Ecoinvent Centre* (2010). Para o transporte das matérias-primas e das torneiras fabricadas, os dados de emissões atmosféricas utilizados são os disponibilizados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (2006). A Tabela 13 apresenta a emissão de gases no transporte rodoviário de frota pesada no Brasil.

Tabela 13 – Emissão de gases por litro de óleo diesel utilizado em transporte rodoviário de frota pesada no Brasil.

Emissão (g/l de óleo diesel)						
Gás	CO₂	CO	CH₄	NO_x	N₂O	NMVOG
Emissão	2799	60,5	0,182	77,6	2,2 x 10 ⁻³	14,72

Fonte: MCT (2006).

Na fabricação das torneiras foram consideradas as emissões na indústria Docol Metais Sanitários disponibilizadas em um relatório elaborado pela empresa Orgânica (2010). A emissão de SO_x no sistema de exaustão na indústria em outubro de 2010 foi estimada em 0,0256 kg de SO_x por kg de peças produzidas na indústria de metais sanitários. A emissão relacionada à manufatura de cada torneira foi calculada considerando a massa dos modelos utilizados no estudo de caso.

4.1.9 Saídas referentes às emissões atmosféricas na fase de uso

As emissões atmosféricas consideradas na fase de uso são as emissões geradas pelo consumo de água, de energia e de materiais. O consumo de energia considerado para as torneiras no estudo de caso é decorrente da utilização da água, que demanda energia nas fases de tratamento, bombeamento e posterior tratamento do esgoto gerado.

4.1.10 Saídas referentes às emissões atmosféricas na fase de disposição final

Quanto às necessidades de transporte e respectivas emissões atmosféricas, são empregados os valores disponibilizados pelo Ministério de Ciência e Tecnologia (2006) já citados em 4.1.8.

4.1.11 Saídas referentes às emissões na água e no solo

As emissões aquáticas consideradas no processo de manufatura das torneiras foram disponibilizadas pelo fabricante de metais sanitários e são apresentadas na Tabela 14.

Tabela 14 – Emissões aquáticas consideradas para a fabricação das torneiras.

Emissão (g de substância/kg de torneira produzida)			
Substância	Fósforo	Níquel	Sulfetos
Emissão	$1,449 \times 10^{-3}$	$2,635 \times 10^{-3}$	$1,45 \times 10^{-4}$

Fonte: Ferreira Filho (2011).

Os demais dados relativos a emissões na água e no solo são os disponibilizados pela base de dados do *Ecoinvent Centre* (2010).

4.1.12 Resultados da quantificação de entradas e saídas no ciclo de vida das torneiras

Os resultados da quantificação de entradas e saídas utilizadas na caracterização das categorias de impacto ambiental no ciclo de vida das torneiras são apresentadas nos Apêndices A e B. Os resultados foram calculados por meio do programa computacional SimaPro versão 7.3 de acordo com o método proposto nesta tese.

4.2 CARACTERIZAÇÃO DAS CATEGORIAS DE IMPACTO NO CICLO DE VIDA DOS DOIS MODELOS DE TORNEIRAS

As categorias de impacto consideradas no estudo de caso são: potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, toxicidade humana, acidificação, consumo de água e consumo de energia total. São consideradas as entradas e saídas apresentadas em 4.1 nas fases de produção, uso e descarte da torneira convencional e da torneira economizadora de água. A fase de uso é considerada igual à vida útil das torneiras, ou seja, quatro anos. Os resultados finais das categorias de impacto ambiental divididos nas categorias propostas são apresentados a seguir para os dois modelos de torneira. Os resultados parciais são apresentados mais detalhadamente nos Apêndices C e D.

4.2.1 Resultados da caracterização das categorias de impacto

A Tabela 15 apresenta os resultados calculados para os dois modelos de torneira para as seguintes categorias de impacto: potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, toxicidade humana, acidificação, consumo de água e consumo de energia total. Os dados utilizados são os apresentados em 4.1, considerando a fase de uso de quatro anos. Os resultados foram obtidos de acordo com o método proposto e os cálculos foram realizados com a utilização do programa SimaPro versão 7.3. As categorias de impacto potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, toxicidade humana e acidificação foram calculadas de acordo com o método proposto pelo CML (GUINÉE, 2002). Os resultados representam as categorias de impacto ambiental nas fases do ciclo de vida (produção, uso e disposição final) da torneira convencional e da torneira economizadora de água. Desta forma, são comparados os impactos ambientais apresentados pelos dois modelos de torneira no ciclo de vida, considerando a fase de uso igual a quatro anos.

Tabela 15 – Resultados das categorias de impacto para os dois modelos de torneiras.

	Categoria de impacto ambiental	Produção	Uso (4 anos)	Disposição final	Total
Torneira convencional	Acidificação (kg de SO ₂ equivalente)	0,033	0,008	0,006	0,046
	Potencial de aquecimento global (kg de CO ₂ equivalente)	3,450	6,410	0,480	10,341
	Potencial de redução da camada de ozônio (kg de CFC-11 equivalente)	1,610 x10 ⁻⁷	4,340x10 ⁻⁷	8,716 x10 ⁻⁸	6,822 x10 ⁻⁷
	Toxicidade humana (kg 1,4-DB equivalente)	25,492	1,454	0,040	26,986
	Consumo de água (m ³)	0,045	31,593	0,001	31,639
	Consumo de energia (MJ)	50,411	102,544	5,157	158,113
Torneira economizadora de água	Acidificação (kg de SO ₂ equivalente)	0,035	0,006	0,006	0,046
	Potencial de aquecimento global (kg de CO ₂ equivalente)	3,613	4,718	0,480	8,811
	Potencial de redução da camada de ozônio (kg de CFC-11 equivalente)	1,681x10 ⁻⁷	3,195 x10 ⁻⁷	8,716 x10 ⁻⁸	5,747 x10 ⁻⁷
	Toxicidade humana (kg 1,4-DB equivalente)	24,639	1,070	0,040	25,749
	Consumo de água (m ³)	0,086	23,254	0,001	23,341
	Consumo de energia (MJ)	55,907	75,479	5,157	136,543

Na categoria de impacto ambiental acidificação são avaliadas as emissões atmosféricas de gases que contribuem para modificações na acidez da água e do solo, em kg de SO₂ equivalente. A fase de produção das torneiras apresenta a maior parcela do impacto ambiental na categoria acidificação (Figura 18). Isso ocorre devido aos processos de extração e beneficiamento das matérias-primas que compõem as torneiras. Na fase de disposição final é considerado o simples descarte das torneiras e a necessidade de transporte decorrente. O local para descarte dos dois modelos de torneiras é o mesmo por isso o impacto para disposição final é igual.

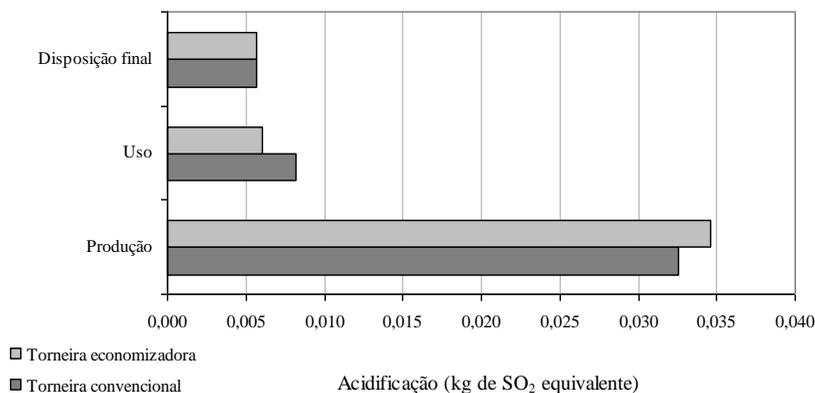


Figura 18 – Resultados da categoria de impacto acidificação para os dois modelos de torneiras.

Na categoria potencial de aquecimento global são avaliadas as emissões no ar de gases que contribuem para mudanças climáticas. A maior parcela de contribuição, em kg de CO₂ equivalente, se situa na fase de uso das torneiras em função do consumo de energia para possibilitar o uso da água no ponto de consumo (bombeamento da água no edifício, tratamento da água e do esgoto gerado) (Figura 19). Como a torneira convencional apresenta consumo de água maior que a torneira economizadora de água, o impacto potencial de aquecimento global apresentado pela torneira convencional é superior na etapa de uso.

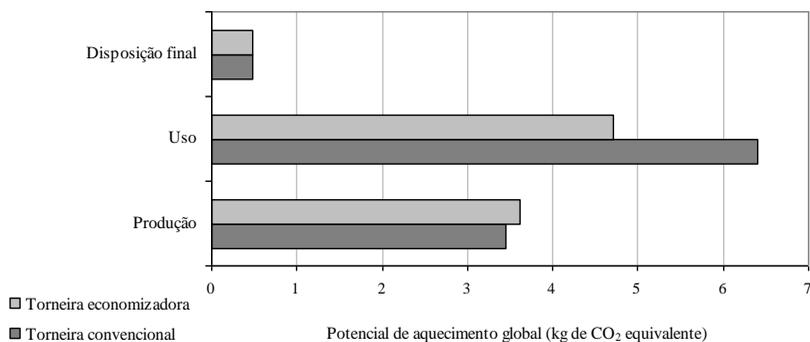


Figura 19 – Resultados da categoria de impacto potencial de aquecimento global para os dois modelos de torneiras.

Na categoria potencial de redução da camada de ozônio são avaliadas as emissões atmosféricas de gases que contribuem para redução da camada de ozônio, em kg de CFC-11 equivalente. Nessa categoria, a maior parcela do impacto ambiental se situa na fase de uso das torneiras (Figura 20). A grande contribuição da fase de uso é devido a emissões atmosféricas decorrentes do uso de energia associado ao uso da água (para tratamento e distribuição da água, bombeamento na edificação e posterior tratamento de esgoto).

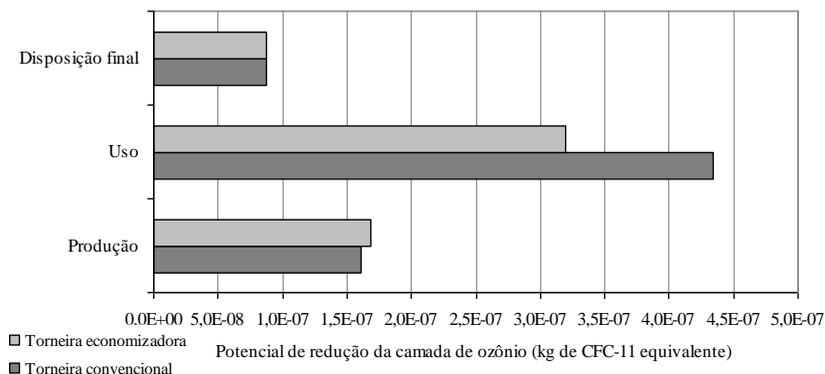


Figura 20 – Resultados da categoria de impacto potencial de redução da camada de ozônio para os dois modelos de torneiras.

Na categoria de impacto toxicidade humana são computadas as emissões na água, no ar e no solo de substâncias potencialmente tóxicas, em kg de 1,4-diclorobenzeno equivalente. A Figura 21 apresenta os resultados da categoria de impacto toxicidade humana. O gráfico é apresentado em escala logarítmica pois há discrepância entre os impactos nas fases de produção, uso e disposição final das torneiras. A fase de produção apresenta 94,4% e 95,7% de contribuição para formação do resultado nesta categoria de impacto quando analisado o ciclo de vida da torneira convencional e da torneira economizadora de água, respectivamente.

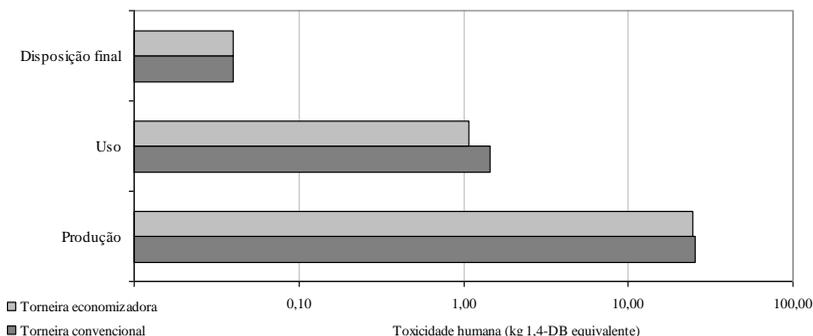


Figura 21 – Resultados da categoria de impacto toxicidade humana para os dois modelos de torneiras.

Nos resultados calculados da categoria de impacto consumo de água nota-se a discrepância entre o consumo de água nas diferentes fases do ciclo de vida tanto para a torneira convencional quanto para a torneira economizadora de água. A Figura 22 apresenta o consumo de água para os dois modelos de torneiras dividido nas fases de produção, uso e disposição final. O gráfico é também apresentado em escala logarítmica devido à grande diferença nos resultados de cada fase do ciclo de vida. A fase de uso das torneiras convencional e economizadora de água é responsável por, respectivamente, 99,9% e 99,6% do consumo total de água no ciclo de vida.

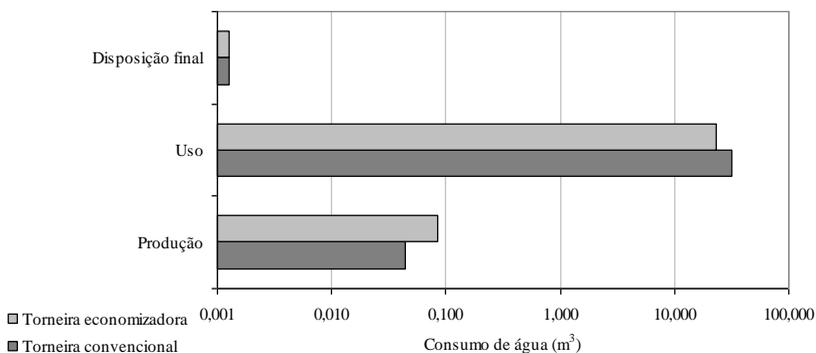


Figura 22 – Resultados da categoria de impacto consumo de água dos dois modelos de torneiras.

A Figura 23 apresenta o consumo de energia nas fases de produção, uso e disposição final das torneiras. O consumo energético para possibilitar o uso da água no ponto de consumo (bombeamento e sistema de tratamento e distribuição de água) e posterior coleta e tratamento de esgoto sanitário é responsável pela contribuição mais expressiva no ciclo de vida dos dois modelos de torneiras.

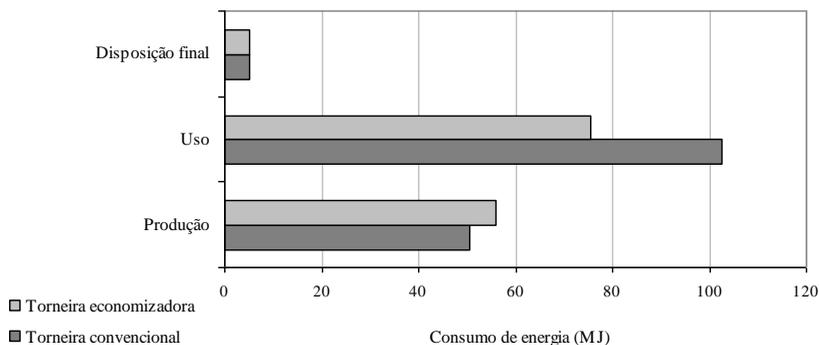


Figura 23 – Resultados da categoria de impacto consumo energético total dos dois modelos de torneiras.

4.2.2 Comparação entre os impactos no ciclo de vida dos dois modelos de torneiras

A torneira economizadora de água, por apresentar menor consumo de água na fase de uso, apresenta menor impacto ambiental em todas as categorias de impacto analisadas, exceto para a categoria de impacto acidificação. Nesta categoria os resultados para os dois modelos de torneiras são semelhantes pois a torneira economizadora de água apresenta maior contribuição na fase de produção. Esta situação se inverte na fase de uso, mas o resultado final para as duas torneiras nesta categoria de impacto é igual, 0,046 kg de SO₂ equivalente. A Figura 24 mostra a comparação entre os dois modelos de torneira nas categorias de impacto analisadas.

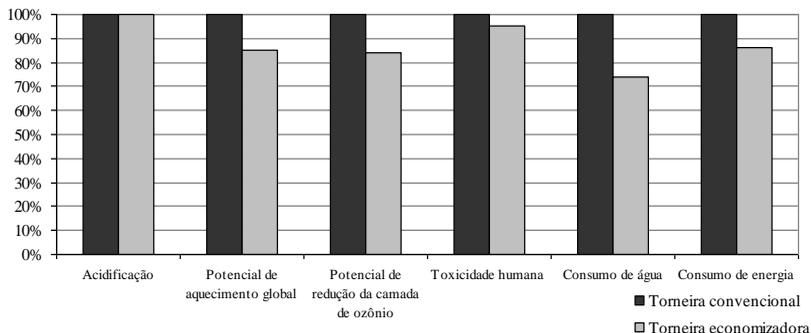


Figura 24 – Comparação percentual entre as categorias de impacto para os dois modelos de torneiras.

Em todas as outras categorias de impacto analisadas a torneira economizadora de água apresentou menor impacto. Na categoria de impacto potencial de aquecimento global, a torneira economizadora de água apresentou resultado, em kg de CO₂ equivalente, 15% menor que a torneira convencional. Na categoria de impacto potencial de redução da camada de ozônio, a torneira economizadora de água apresentou o resultado 16% menor que o resultado apresentado pela torneira convencional, em kg de CFC-11 equivalente. O resultado na categoria de impacto toxicidade humana para a torneira economizadora de água foi 5% menor que o resultado calculado para a torneira convencional, em kg de 1,4-DB equivalente.

O consumo de água no ciclo de vida da torneira economizadora de água foi 26% menor quando comparado ao desempenho da torneira convencional. O consumo energético total no ciclo de vida da torneira economizadora de água em comparação ao da torneira convencional foi 14% menor.

As categorias de impacto ambiental que apresentaram diferença percentual mais expressiva na comparação entre os impactos no ciclo de vida dos dois modelos de torneira são: potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, consumo de água e consumo energético total. Em todas essas categorias de impacto, a fase de uso foi responsável pela maior parcela de contribuição, tanto para a torneira convencional quanto para a torneira economizadora de água. Este resultado mostra que a economia de água na utilização das torneiras é essencial para melhoria do desempenho ambiental e que outros impactos

estão diretamente relacionados ao consumo de água em um equipamento hidrossanitário.

Os resultados apresentados no ciclo de vida das torneiras são importantes para a caracterização das categorias de impacto nos dois cenários de análise, apresentada a seguir.

4.3 CARACTERIZAÇÃO DAS CATEGORIAS DE IMPACTO EM CENÁRIOS DE ANÁLISE

O método proposto nesta tese é utilizado para quantificação de entradas e saídas e cálculo das categorias de impactos ambientais. Porém os impactos ambientais são analisados com base nos conceitos de ACV consequential apresentados em 3.5, com dois cenários de análise. A unidade funcional considerada no estudo é a utilização das torneiras necessárias no período de 10 anos de modo a viabilizar o uso da água no ponto de consumo neste período de análise.

No primeiro cenário é realizado o cálculo dos impactos ambientais decorrentes da utilização de equipamentos convencionais. É então realizado o cálculo de impactos ambientais em um cenário em que há substituição do equipamento convencional por equipamentos economizadores de água que desempenhem a mesma função no mesmo período de análise. No estudo de caso, para o período de análise de 10 anos são considerados os impactos ambientais das fases de produção, uso e disposição final de 2,5 torneiras convencionais no primeiro cenário. A utilização de 2,5 torneiras é considerada no período de 10 anos porque a vida útil dos equipamentos empregados no estudo de caso é considerada quatro anos.

No segundo cenário, para o período de análise, é considerado que o edifício inicialmente conta com uma torneira convencional instalada no ponto de consumo e que a mesma é substituída por torneiras economizadoras após o fim da vida útil. Assim, no segundo cenário são considerados os impactos ambientais das fases de produção, uso e disposição final de uma torneira convencional e de 1,5 torneiras economizadoras de água.

4.3.1 Resultados da caracterização das categorias de impacto nos dois cenários

A Tabela 16 apresenta os resultados calculados com o programa computacional SimaPro versão 7.3 para as categorias de impacto

ambiental acidificação, potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, toxicidade humana, consumo de água e consumo de energia total. Na referida tabela há a divisão dos impactos nas fases de produção, uso e disposição final das torneiras nos dois cenários. Como a vida útil considerada para os dois modelos de torneira é igual a quatro anos, nos dois cenários de análise foram necessárias 2,5 torneiras no período de 10 anos. Assim, o resultado apresentado no cenário 1 é igual ao impacto gerado na utilização de 2,5 torneiras convencionais e no cenário 2, de 1 torneira convencional e 1,5 torneiras economizadoras de água no período de 10 anos.

Tabela 16 – Resultados das categorias de impacto para os dois cenários de análise.

	Categoria de impacto ambiental	Produção	Uso (10 anos)	Disposição final	Total
Cenário 1	Acidificação (kg de SO ₂ equivalente)	0,081	0,021	0,014	0,116
	Potencial de aquecimento global (kg de CO ₂ equivalente)	8,626	16,025	1,201	25,852
	Potencial de redução da camada de ozônio (kg de CFC-11 equivalente)	4,024x10 ⁻⁷	1,085 x10 ⁻⁶	2,179 x10 ⁻⁷	1,705 x10 ⁻⁶
	Toxicidade humana (kg 1,4-DB equivalente)	63,730	3,636	0,100	67,465
	Consumo de água (m ³)	0,112	78,982	0,003	79,096
	Consumo de energia (MJ)	126,029	256,361	12,894	395,283
Cenário 2	Acidificação (kg de SO ₂ equivalente)	0,084	0,017	0,014	0,116
	Potencial de aquecimento global (kg de CO ₂ equivalente)	8,870	13,487	1,201	23,558
	Potencial de redução da camada de ozônio (kg de CFC-11 equivalente)	4,131 x10 ⁻⁷	9,133 x10 ⁻⁷	2,179 x10 ⁻⁷	1,544 x10 ⁻⁶
	Toxicidade humana (kg 1,4-DB equivalente)	62,450	3,060	0,100	65,610
	Consumo de água (m ³)	0,173	66,474	0,003	66,650
	Consumo de energia (MJ)	134,271	215,762	12,894	362,927

Na categoria acidificação a maior parcela do impacto ambiental, em kg de SO₂ equivalente, se situa na fase de produção das torneiras, com percentual de 70,1% no primeiro cenário e 72,8% no segundo cenário de análise (Figura 25). Na disposição final, é considerado o simples descarte das torneiras e a consequente necessidade de transporte. Como as distâncias para descarte e o número de torneiras é o mesmo, o impacto para disposição final é igual nos dois cenários de análise. Apesar do cenário 1 apresentar melhor desempenho na fase de produção das torneiras, na fase de uso esta situação se inverte. Na categoria de impacto acidificação os resultados são iguais para os dois cenários: 0,116 kg de SO₂ equivalente.

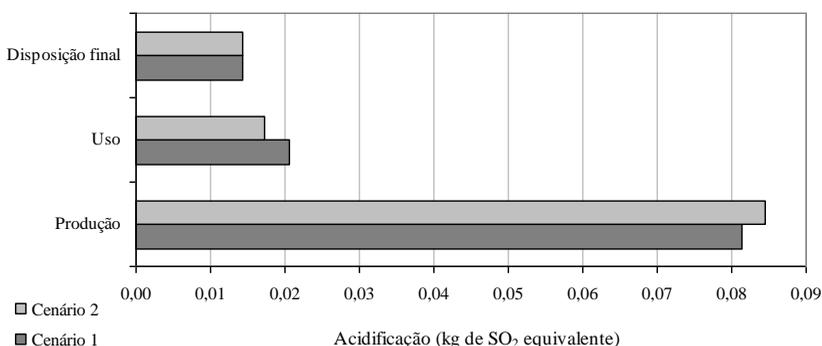
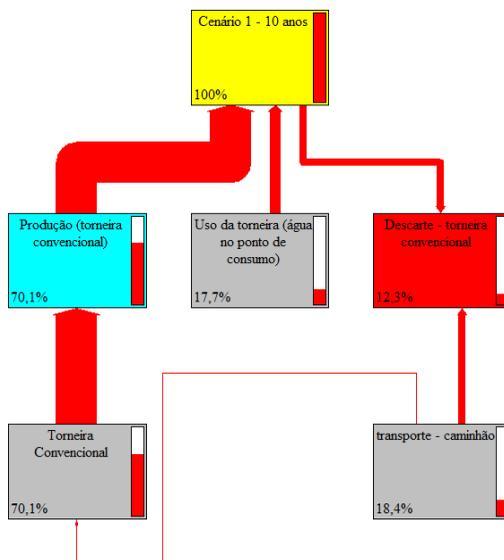
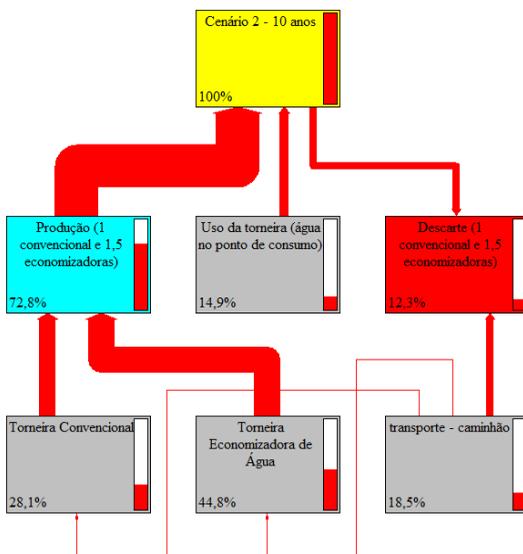


Figura 25 – Resultados da categoria de impacto acidificação.

A Figura 26 apresenta os fluxogramas com as contribuições de cada fase na categoria de impacto acidificação. Na figura, as caixas mostram os processos principais envolvidos no ciclo de vida das torneiras nos dois cenários. A porcentagem apresentada dentro de cada caixa é a contribuição do processo no resultado da categoria de impacto acidificação. A espessura das setas representa a importância da contribuição de cada processo considerado. A barra vermelha posicionada do lado direito de cada caixa também demonstra a contribuição de cada processo para a categoria de impacto. Nos fluxogramas, é possível identificar a fase de produção das torneiras como a de maior contribuição para a categoria de impacto acidificação em ambos os cenários.



(a) Cenário 1



(b) Cenário 2

Figura 26 – Fluxograma da categoria de impacto acidificação para os cenários 1 (a) e 2 (b) gerado pelo programa SimaPro versão 7.3.

Na categoria potencial de aquecimento global, a maior parcela de contribuição, em kg de CO₂ equivalente, se situa na fase de uso das torneiras e é decorrente das necessidades energéticas consideradas para possibilitar o uso da água no ponto de consumo. Com isso, o resultado final da categoria aponta o cenário em que há o emprego de equipamentos economizadores de água como mais favorável, uma vez que apresenta menor consumo de água, de energia e em consequência, menor potencial de aquecimento global (Figura 27).

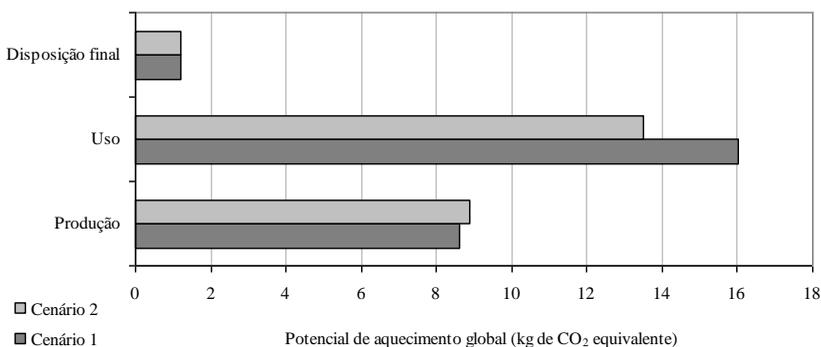
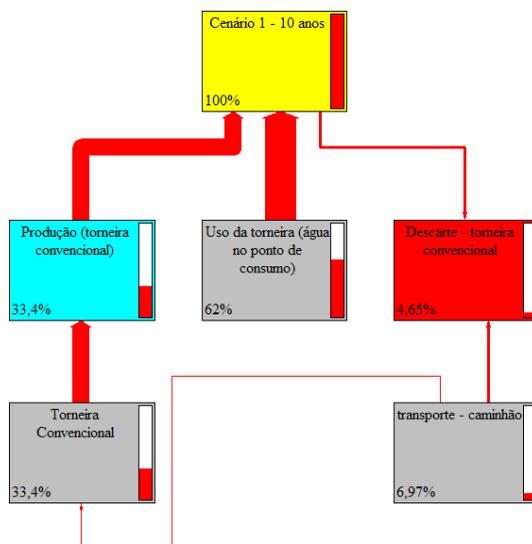
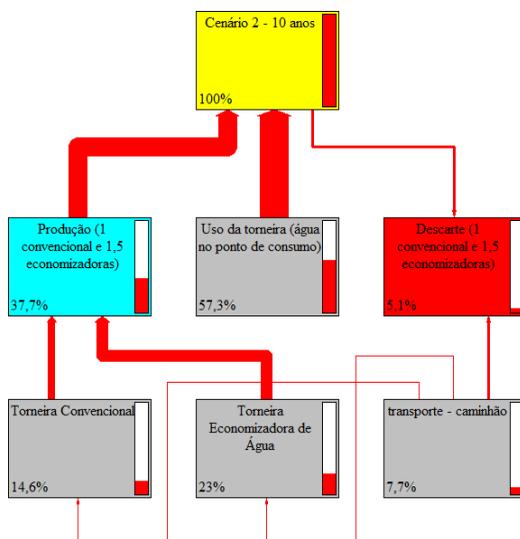


Figura 27 – Resultados da categoria de impacto potencial de aquecimento global.

Os fluxogramas com as contribuições de cada fase na categoria de impacto potencial de aquecimento global são apresentados na Figura 28. Os fluxogramas demonstram por meio da espessura das setas a fase de uso como a de maior impacto potencial de aquecimento global em ambos os cenários. A fase de uso apresenta contribuição de 62,0% no resultado final da categoria de impacto ambiental potencial de aquecimento global no cenário 1 e 57,3% no cenário 2.



(a) Cenário 1



(b) Cenário 2

Figura 28 – Fluxograma da categoria de impacto potencial de aquecimento global para os cenários 1 (a) e 2 (b) gerado pelo programa SimaPro versão 7.3.

Na categoria potencial de redução da camada de ozônio, a maior parcela do impacto ambiental, em kg de CFC-11 equivalente, se situa na fase de uso das torneiras, com percentual de 63,6% no primeiro cenário e 59,1% no segundo cenário de análise (Figura 29). Isso ocorre devido à necessidade de energia para possibilitar o uso da água no ponto de consumo (por meio do tratamento da água potável e bombeamento no sistema predial do edifício) e posteriormente, a coleta e tratamento de esgotos sanitários.

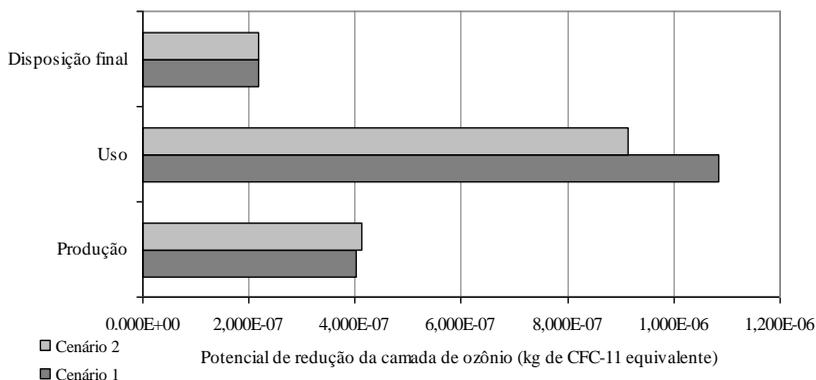
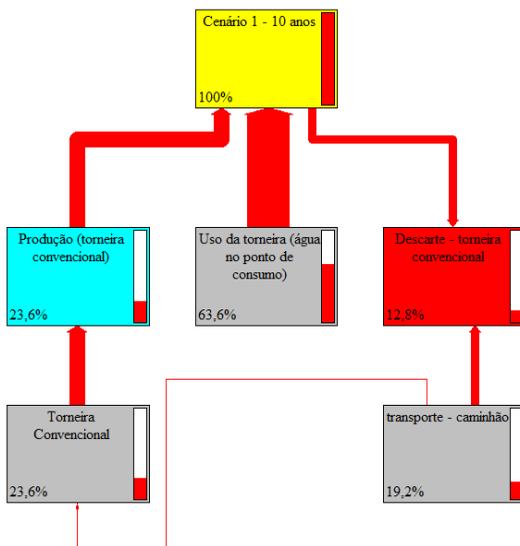
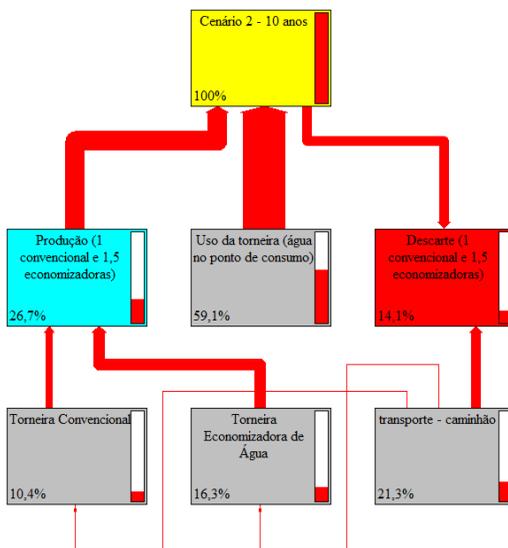


Figura 29 – Resultados da categoria de impacto potencial de redução da camada de ozônio.

A Figura 30 apresenta os fluxogramas com as contribuições de cada fase na categoria de impacto potencial de redução da camada de ozônio. Nos fluxogramas é possível identificar a fase de uso como a de maior contribuição nos dois cenários para esta categoria de impacto. Conforme mencionado nos resultados de ACV das torneiras, a fase de uso é responsável pela maior contribuição nessa categoria de impacto devido principalmente a emissões atmosféricas decorrentes do uso de energia associado ao uso da água.



(a) Cenário 1



(b) Cenário 2

Figura 30 – Fluxograma da categoria de impacto potencial de redução da camada de ozônio para os cenários 1 (a) e 2 (b) gerado pelo programa SimaPro versão 7.3.

A Figura 31 apresenta os resultados da categoria de impacto toxicidade humana. Nessa categoria de impacto a fase preponderante para os resultados apresentados é a de produção das torneiras, com 94,5% de contribuição no primeiro cenário e 95,2% no segundo cenário. O gráfico apresentado está em escala logarítmica devido à discrepância entre os resultados nas fases de produção, uso e disposição final das torneiras para a categoria de impacto analisada.

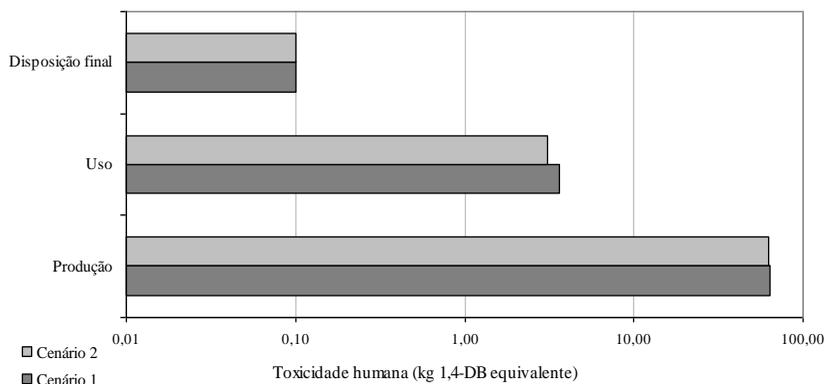
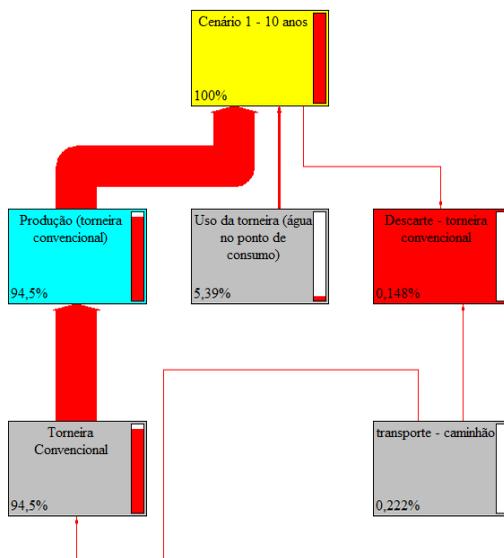
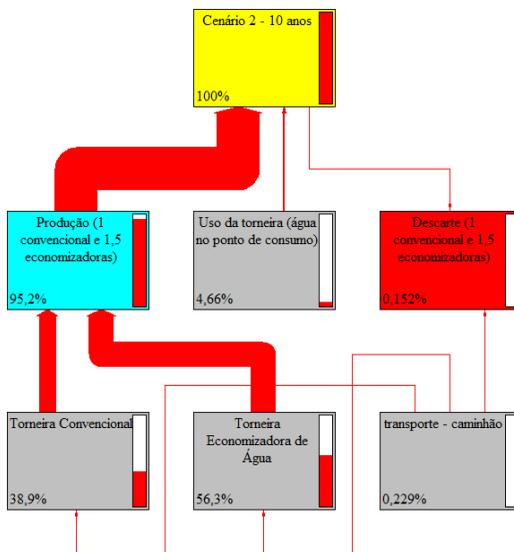


Figura 31 – Resultados da categoria de impacto toxicidade humana.

A Figura 32 apresenta os fluxogramas com as contribuições de cada fase na categoria de impacto toxicidade humana. A fase de produção das torneiras, para ambos os cenários, é a fase com maior contribuição para essa categoria de impacto. Isso ocorre devido às emissões no solo, no ar e na água decorrentes dos processos de extração e processamento dos materiais necessários à fabricação das torneiras.



(a) Cenário 1



(b) Cenário 2

Figura 32 – Fluxograma da categoria de impacto toxicidade humana para os cenários 1 (a) e 2 (b) gerado pelo programa SimaPro versão 7.3.

A Figura 33 apresenta o consumo de água para os dois cenários de análise dividido nas fases de produção, uso e disposição final das torneiras. Há grande discrepância entre o consumo de água nas diferentes fases (produção, uso e disposição final) para os dois cenários de análise. A fase de uso contribui para 99,9% do consumo total de água no primeiro cenário e 99,7% no segundo cenário. O gráfico é apresentado em escala logarítmica devido à grande diferença nos resultados de cada fase do ciclo de vida. No primeiro cenário, para produzir as 2,5 torneiras utilizadas no período de 10 anos de análise, são necessários $0,112 \text{ m}^3$ de água. Na fase de uso, estas mesmas torneiras utilizam aproximadamente $7,898 \text{ m}^3$ por ano. Os $0,003 \text{ m}^3$ necessários à disposição final das torneiras são oriundos do transporte em caminhão ao local de descarte. No segundo cenário, para produzir a torneira convencional e 1,5 torneiras utilizadas no período de 10 anos de análise, são necessários $0,173 \text{ m}^3$ de água. Na fase de uso, a torneira convencional utiliza aproximadamente $7,898 \text{ m}^3$ por ano e a torneira economizadora, $5,814 \text{ m}^3$ por ano. Para a disposição final das torneiras, assim como no primeiro cenário, são necessários $0,003 \text{ m}^3$ de água.

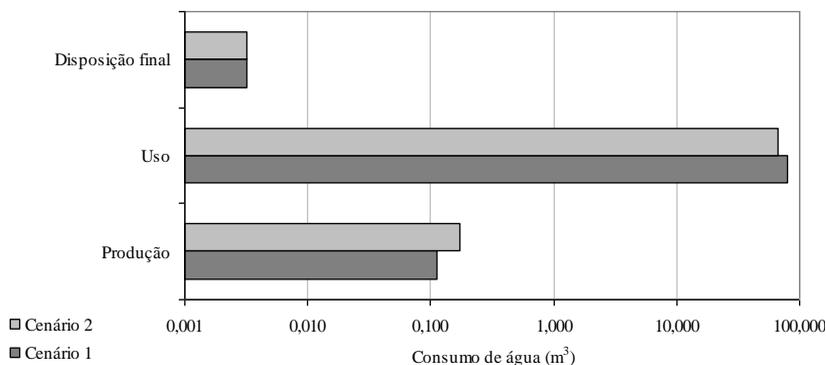
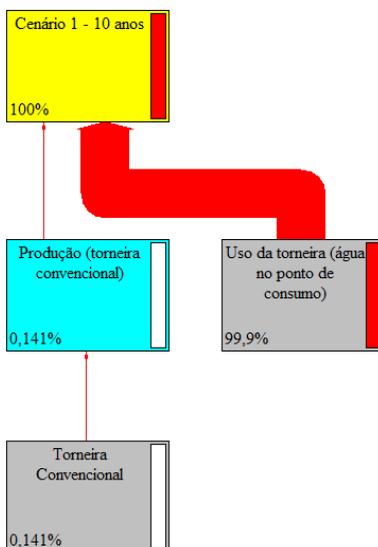
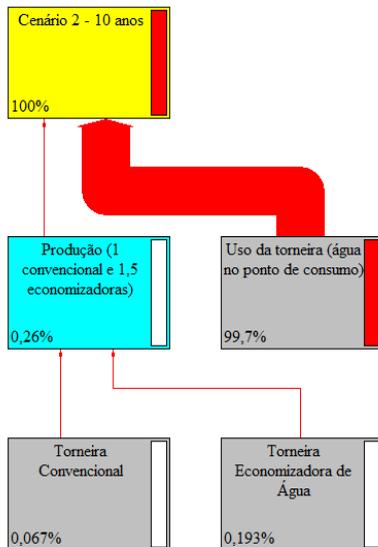


Figura 33 – Resultados da categoria de impacto consumo de água.

Os fluxogramas com as contribuições de cada fase na categoria de impacto consumo de água são apresentados na Figura 34. É possível identificar a fase de uso das torneiras como a de maior contribuição para a categoria nos dois cenários. A fase de disposição final possui contribuição menor que 0,01% nos dois cenários e por isso não é mostrada nos fluxogramas.



(a) Cenário 1



(b) Cenário 2

Figura 34 – Fluxograma da categoria de impacto consumo de água para os cenários 1 (a) e 2 (b) gerado pelo programa SimaPro versão 7.3.

A Figura 35 apresenta o consumo energético total nos dois cenários, dividido nas fases de produção, uso e disposição final das torneiras. Na fase de produção, é considerada a energia necessária à extração e processamento de matérias-primas, além do consumo energético relativo às necessidades de transporte. Na fase de uso, é considerada a necessidade energética envolvida na disponibilização de água potável no ponto de consumo e posterior tratamento de esgoto. Na fase de disposição final, é considerado o consumo energético decorrente do transporte dos equipamentos ao final da vida útil dos mesmos.

Nos dois cenários, a fase de uso apresenta maior contribuição no resultado final, com percentual de 64,9% no primeiro cenário e 59,5% no segundo cenário. O cenário 2 apresenta maior consumo energético na fase de produção devido ao consumo energético para produção da torneira economizadora, que é de 55,907 MJ. A fase de produção da torneira convencional utilizada no estudo de caso apresenta consumo energético equivalente a 50,411 MJ.

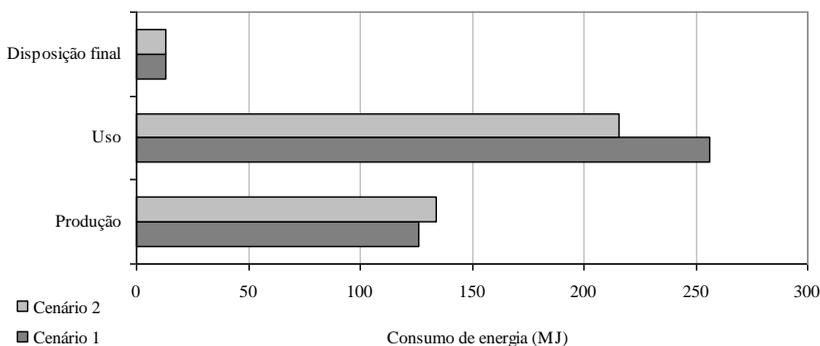
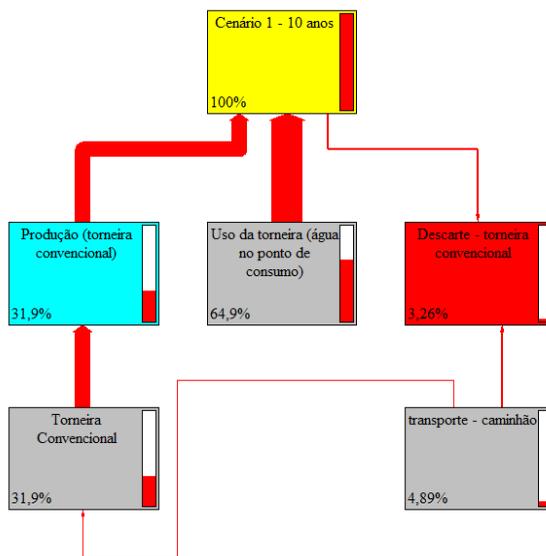
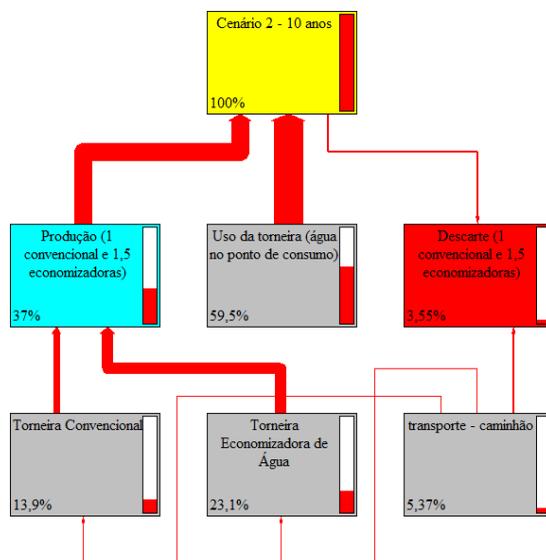


Figura 35 – Resultados da categoria de impacto consumo energético total.

Os fluxogramas com as contribuições de cada fase na categoria de impacto consumo de energia total (Figura 36) mostram a importância da fase de uso das torneiras. Em ambos os cenários a fase de uso apresenta a maior contribuição, seguida da fase de produção das torneiras.



(a) Cenário 1



(b) Cenário 2

Figura 36 – Fluxograma da categoria de impacto consumo de energia total para os cenários 1 (a) e 2 (b) gerado pelo programa SimaPro versão 7.3.

4.3.2 Comparação entre os dois cenários de análise

Analisando os resultados totais de cada categoria de impacto, o cenário 2, em que há substituição da torneira convencional pela torneira economizadora de água, apresenta menor impacto ambiental. Isso ocorre para todas as categorias de impacto analisadas, exceto para a categoria de impacto acidificação, em que os valores são semelhantes. A Figura 37 ilustra a comparação entre os dois cenários de análise e a importância relativa de cada fase do ciclo de vida no resultado final das categorias de impacto ambiental.

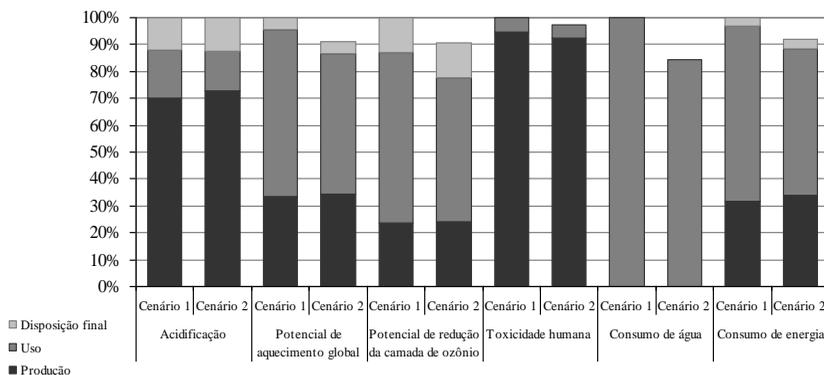


Figura 37 – Comparação percentual entre as categorias de impacto nas fases do ciclo de vida das torneiras empregadas nos dois cenários.

Desta forma, realizando uma avaliação ambiental dos dois cenários, com base no método que contempla as categorias de impacto acidificação, potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, toxicidade humana, consumo de água e de energia, a conclusão é que o segundo cenário apresenta melhor desempenho. Assim, na avaliação ambiental realizada no estudo de caso, a utilização de torneiras economizadoras de água quando da substituição de equipamentos é a alternativa recomendada.

Os resultados calculados para as categorias de impacto nos dois cenários mostram que a fase de uso é preponderante nos resultados, apresentando maior parcela de contribuição em quatro categorias de impacto ambiental analisadas (potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, consumo de água e consumo

de energia total). Assim, a economia de água na utilização do equipamento hidrossanitário não é apenas fundamental para preservação deste recurso, mas também apresenta significativa relevância no desempenho do equipamento quando considerados outros impactos ambientais.

4.4 CARACTERIZAÇÃO DAS CATEGORIAS DE IMPACTO EM CENÁRIOS ALTERNATIVOS DE ANÁLISE

4.4.1 Cenário com substituição da torneira convencional após o primeiro ano de uso

No cenário 3, além das etapas de produção e disposição final, também é considerado um ano da etapa de uso da torneira convencional. Nos nove anos seguintes são consideradas as etapas de produção, uso e disposição final de 2,25 torneiras economizadoras de água. Os cálculos foram realizados de acordo com o método proposto, considerando as condições expostas para o terceiro cenário em 3.6.2.1.

Os resultados da caracterização das categorias de impacto ambiental analisadas são apresentados na Tabela 17. Ao comparar o terceiro cenário com o primeiro cenário de análise (apenas torneiras convencionais instaladas no período de 10 anos), o desempenho do cenário 3 é inferior nas categorias de impacto ambiental acidificação e toxicidade humana. Isso ocorre devido à produção e descarte da torneira convencional após apenas um ano de uso e da consequente necessidade de produção de nova torneira economizadora para substituí-la. Nas demais categorias de impacto ambiental (potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, consumo de água e consumo de energia total), o desempenho do cenário 3 é superior ao desempenho estimado para o primeiro cenário, apresentado anteriormente na Tabela 16.

Tabela 17 – Resultados das categorias de impacto para o cenário 3.

	Categoria de impacto ambiental	Produção	Uso (10 anos)	Disposição final	Total
Cenário 3	Acidificação (kg de SO ₂ equivalente)	0,110	0,016	0,019	0,145
	Potencial de aquecimento global (kg de CO ₂ equivalente)	11,579	12,218	1,567	25,364
	Potencial de redução da camada de ozônio (kg de CFC-11 equivalente)	5,391 x10 ⁻⁷	8,273 x10 ⁻⁷	2,843 x10 ⁻⁷	1,651 x10 ⁻⁶
	Toxicidade humana (kg 1,4-DB equivalente)	80,929	2,772	0,130	83,831
	Consumo de água (m ³)	0,237	60,220	0,004	60,461
	Consumo de energia (MJ)	176,201	195,463	16,823	388,487

A Figura 38 ilustra a comparação entre os três cenários de análise apresentados, com a contribuição das etapas de produção, uso e disposição final para a formação das categorias de impacto ambiental em cada um dos cenários. Em todas as categorias de impacto ambiental analisadas, o segundo cenário apresenta melhor desempenho, exceto nas categorias de impacto consumo de água (em que o terceiro cenário é o mais favorável) e acidificação (em que os resultados são iguais no primeiro e segundo cenários).

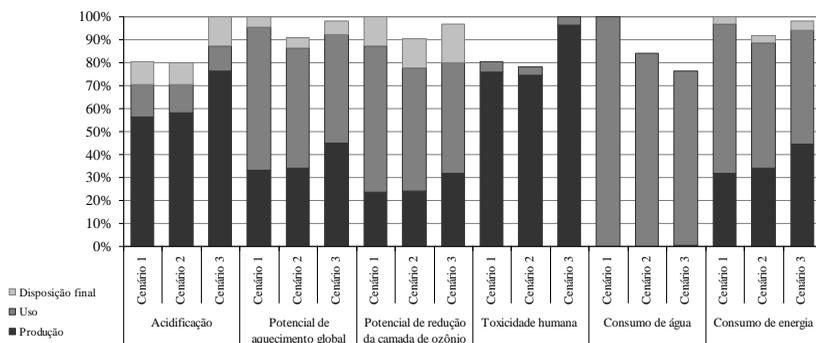


Figura 38 – Comparação percentual entre as categorias de impacto ambiental nos três cenários de análise.

4.4.2 Cenários considerando a vida útil das torneiras igual a 6 anos

Os cenários de análise A, B e C foram estabelecidos de acordo com o método exposto em 3.6.2.2. No cenário A, nos 10 anos de período de análise, são empregadas 1,67 torneiras convencionais, já que a vida útil de cada torneira é considerada 6 anos. No cenário B, nos 6 primeiros anos há a utilização de uma torneira convencional e nos quatro anos restantes é considerada a utilização de 0,67 torneiras economizadoras de água. No cenário C, a torneira convencional é substituída ao fim do primeiro ano de uso, sendo substituída nos nove anos seguintes por modelos economizadores de água. No cenário C são considerados os impactos ambientais de um ano de uso, da produção e disposição final de uma torneira convencional e os impactos ambientais no ciclo de vida de 1,5 torneiras economizadoras de água.

Para os mesmos modelos de torneira apresentados no estudo de caso, considerando uma vida útil estendida, igual a 6 anos, tanto para a torneira convencional quanto para a torneira economizadora de água, os resultados são detalhados na Tabela 18. Na categoria de impacto acidificação, os cenários A e B apresentam resultados semelhantes, com desempenho ambiental superior ao cenário C. Isso ocorre principalmente devido às emissões decorrentes do processo de produção das torneiras, já que o número total de torneiras utilizadas no cenário C é maior que o número de torneiras necessárias nos outros dois cenários. Na categoria de impacto consumo de água, o cenário C apresenta melhor desempenho, uma vez que a fase de uso é preponderante nesta categoria de impacto e que são considerados nove anos de utilização de torneiras economizadoras de água neste último cenário. Para as demais categorias de impacto ambiental, o cenário B é o mais favorável.

Tabela 18 – Resultados das categorias de impacto para os três cenários de análise.

	Categoria de impacto ambiental	Produção	Uso (10 anos)	Disposição final	Total
Cenário A	Acidificação (kg de SO ₂ equivalente)	0,054	0,021	0,009	0,084
	Potencial de aquecimento global (kg de CO ₂ equivalente)	5,751	16,025	0,801	22,576
	Potencial de redução da camada de ozônio (kg de CFC-11 equivalente)	2,683x10 ⁻⁷	1,085x10 ⁻⁶	1,453x10 ⁻⁷	1,499x10 ⁻⁶
	Toxicidade humana (kg 1,4-DB equivalente)	42,486	3,636	0,066	46,189
	Consumo de água (m ³)	0,074	78,982	0,002	79,058
	Consumo de energia (MJ)	84,019	256,361	8,596	348,975
Cenário B	Acidificação (kg de SO ₂ equivalente)	0,056	0,018	0,010	0,084
	Potencial de aquecimento global (kg de CO ₂ equivalente)	5,871	14,333	0,805	21,009
	Potencial de redução da camada de ozônio (kg de CFC-11 equivalente)	2,736x10 ⁻⁷	9,706x10 ⁻⁷	1,460x10 ⁻⁷	1,390x10 ⁻⁶
	Toxicidade humana (kg 1,4-DB equivalente)	42,000	3,252	0,067	45,319
	Consumo de água (m ³)	0,102	70,643	0,002	70,747
	Consumo de energia (MJ)	87,869	229,295	8,642	325,806
Cenário C	Acidificação (kg de SO ₂ equivalente)	0,084	0,016	0,014	0,114
	Potencial de aquecimento global (kg de CO ₂ equivalente)	8,870	12,218	1,201	22,289
	Potencial de redução da camada de ozônio (kg de CFC-11 equivalente)	4,131x10 ⁻⁷	8,273x10 ⁻⁷	2,179x10 ⁻⁷	1,458 x10 ⁻⁶
	Toxicidade humana (kg 1,4-DB equivalente)	62,450	2,772	0,100	65,322
	Consumo de água (m ³)	0,173	60,220	0,003	60,396
	Consumo de energia (MJ)	134,271	195,463	12,894	342,628

A Figura 39 apresenta a comparação entre os cenários A, B e C. Pode-se identificar a contribuição de cada etapa do ciclo de vida na formação das categorias de impacto ambiental. É possível identificar a fase de uso como a fase de principal contribuição quando consideradas as categorias de impacto ambiental potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, consumo de água e consumo de energia total. Nas categorias de impacto ambiental acidificação e toxicidade humana, a etapa de produção apresenta maior contribuição percentual para formação dos indicadores nos três cenários de análise.

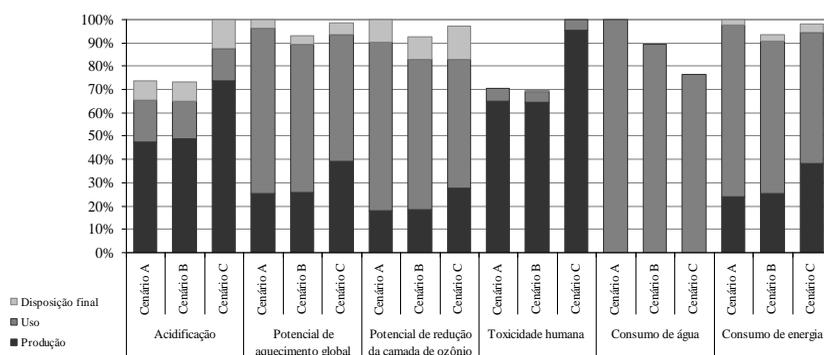


Figura 39 – Comparação percentual entre as categorias de impacto ambiental nos cenários de análise A, B e C.

A comparação entre diferentes alternativas de análise é bastante interessante e o método permite a modelagem de diferentes cenários para posterior tomada de decisões quando da substituição de equipamentos hidrossanitários. A comparação considerando dois ou mais cenários com diferentes equipamentos hidrossanitários é importante para avaliar como escolhas de produtos podem trazer alterações nos impactos ambientais ao longo do tempo. Mesmo uma simples comparação entre dois modelos de equipamentos hidrossanitários que exerçam a mesma função no sistema predial deve levar em consideração o período de análise, uma vez que a vida útil dos equipamentos pode ser maior ou menor de acordo com os materiais empregados, com o processo de fabricação, além de outras variáveis.

No estudo de caso apresentado, o método proposto foi utilizado para verificar a viabilidade da substituição de equipamentos hidrossanitários em um Programa de Uso Racional da Água. No entanto,

existem outras possibilidades de utilização do mesmo. Com a aplicação do método proposto é possível verificar as fases do ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários que possuem maior influência nos resultados. Também é possível verificar os processos que apresentam parcelas de contribuição significativas na geração de cada impacto. Isso pode ser empregado na indústria de equipamentos hidrossanitários para repensar processos, avaliar a utilização de determinados materiais e fontes energéticas, por exemplo. Finalmente, no setor da construção civil, o método apresentado pode ser utilizado na fase de projeto para a escolha entre duas ou mais opções de equipamentos hidrossanitários com base nos impactos ambientais no ciclo de vida.

5 CONCLUSÕES

Ao proceder à escolha entre dois ou mais produtos ou sistemas, algumas questões necessitam ser respondidas. Existem diversas variáveis atreladas a este tipo de escolha: consumo de recursos e outros impactos ambientais envolvidos, além de variáveis econômicas, sociais, culturais.

Nesta tese, foi apresentado um método para tomada de decisão quando da substituição de equipamentos hidrossanitários com base em Avaliação do Ciclo de Vida. O método leva em consideração aspectos ambientais, quantificando as entradas e saídas do sistema considerado. Assim, as entradas de matérias-primas, energia e água e as saídas em forma de emissões atmosféricas, no solo e na água são analisadas no ciclo de vida dos equipamentos hidrossanitários.

O método analisa as entradas e saídas ao longo das fases de produção, uso e disposição final de equipamentos hidrossanitários. Como a função principal do equipamento hidrossanitário é possibilitar a utilização da água pelos usuários dos sistemas prediais de distribuição de água, a eficiência do equipamento com relação ao consumo de água acarreta diferenças no desempenho ambiental.

O método pode ser utilizado em uma abordagem atribucional para quantificar os impactos ambientais no ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários. O método também pode ser utilizado com uma abordagem consequencial, analisando como mudanças em um determinado sistema acarretam diferentes desempenhos ao analisar os impactos ambientais associados.

O método foi utilizado em um estudo de ACV com abordagem atribucional ao quantificar os impactos no ciclo de vida dos dois modelos de torneira. O método foi utilizado em uma ACV consequencial ao analisar diferentes cenários: no primeiro há o emprego de equipamentos hidrossanitários convencionais em um dado período; no segundo há a substituição dos equipamentos convencionais por economizadores de água no mesmo período de análise.

Assim, o método foi utilizado para quantificação dos impactos ambientais no ciclo de vida de dois modelos de torneiras e para quantificação dos impactos ambientais em diferentes cenários com a instalação de torneiras convencionais e economizadoras de água. O

método se mostrou válido quando de sua aplicação em um estudo de caso.

As categorias de impacto consideradas no estudo de caso são potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, toxicidade humana, acidificação, consumo de água e consumo de energia total. No estudo de caso, foram comparados os resultados das categorias de impacto em diferentes cenários: (i) ponto de consumo com torneiras convencionais instaladas no período de 10 anos e (ii) ponto de consumo com uma torneira convencional instalada e posterior substituição desta torneira por torneiras economizadoras de água no período de 10 anos.

O atendimento dos objetivos do trabalho se dá por meio da utilização do método proposto em um estudo de caso para quantificação do consumo de água, de energia e de matérias-primas e das emissões atmosféricas, na água e no solo nas diversas fases do ciclo de vida de dois modelos de torneira. Da mesma forma, a caracterização das categorias de impactos ambientais no ciclo de vida desses equipamentos hidrossanitários e a comparação entre os impactos ambientais em diferentes cenários de análise atendem aos objetivos específicos da tese.

O estudo de caso demonstrou que é ambientalmente viável a substituição das torneiras convencionais por torneiras economizadoras de água no edifício do campus universitário em análise. O método proposto se mostrou adequado para caracterização das categorias de impacto acidificação, potencial de aquecimento global, potencial de redução da camada de ozônio, toxicidade humana, consumo de água e consumo de energia total. O método também se mostrou adequado para avaliação da substituição de equipamentos hidrossanitários com base em Avaliação do Ciclo de Vida. A principal contribuição deste trabalho (e a resposta ao seu objetivo geral) é a proposição de um método para quantificação das entradas e saídas no ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários, permitindo a caracterização de impactos ambientais e possibilitando a análise da substituição de equipamentos em Programas de Uso Racional da Água com base em critérios ambientais.

5.1 LIMITAÇÕES DO TRABALHO

Nesta tese, dados referentes ao plástico de engenharia polioximetileno não foram encontrados na literatura ou em relatórios setoriais. Neste caso, foi feita uma consulta a um fabricante nacional que disponibilizou apenas os dados de consumo de água e de energia para

produção. Outra limitação foi a resistência por parte de alguns fabricantes de equipamentos hidrossanitários para disponibilização de dados. Foram consultados nove dos principais fabricantes brasileiros em diversas tentativas. Apenas dois fabricantes disponibilizaram os dados. Outros dados não disponíveis em pesquisas nacionais relativos às fases do ciclo de vida das torneiras empregadas no estudo de caso foram coletados na base de dados do *Ecoinvent Centre* (2010). Mesmo os dados nacionais coletados apresentam limitações pois, em alguns casos, os métodos de coleta não são totalmente claros, o que gera incertezas e prejudica o resultado final da análise.

Também não foi possível a realização de medições dissociadas para o processo de manufatura de cada torneira avaliada no estudo de caso. Assim, os valores relativos a consumo de energia e emissões foram relacionados à massa dos equipamentos. Os valores relativos ao consumo de água para manufatura das torneiras foi obtido considerando a área de cromagem externa das mesmas.

No estudo de caso, o índice de consumo tem papel fundamental na determinação do consumo de água e dos impactos ambientais decorrentes desse consumo na fase de uso das torneiras. É importante ressaltar que a consideração do consumo diário de água por usuário nem sempre é a alternativa que melhor representa o perfil da edificação e este item deve ser muito bem planejado quando da utilização do método aqui proposto em outros trabalhos no futuro.

O uso do programa computacional SimaPro e da base de dados do *Ecoinvent Centre* (2010) possibilitaram a consideração de dados a que não se teria acesso neste trabalho, porém a limitação reside na origem desses dados que, em geral, é diferente da realidade brasileira. A utilização de informações provenientes da base de dados proporcionou maior completude ao estudo de ACV realizado, porém é inegável a limitação gerada por parte dos dados não refletirem a realidade do local em que foi realizado o estudo.

Tais limitações tendem a ser minimizadas futuramente com a criação de bases de dados brasileiras e com relatórios confiáveis gerados por núcleos setoriais e pelo poder público. Assim, espera-se que o método aqui proposto possa ser utilizado em sua totalidade ou, se necessário, adaptado à realidade futura com o uso de dados que melhor representem o cenário da construção civil no Brasil.

5.2 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Espera-se que a aplicação do método proposto nesta tese dê subsídios à tomada de decisão quando da escolha de equipamentos hidrossanitários. Uma sugestão para o desenvolvimento de trabalhos futuros é o emprego do método com atribuição de pesos relativos (ponderação) entre os resultados das categorias de impacto propostas. Neste caso haveria a geração de um índice único de impacto ambiental para cada cenário de análise. Para possibilitar isso seria necessária a utilização de um método de ponderação e preferencialmente o envolvimento de profissionais do setor por meio de questionários e entrevistas.

Outra sugestão é a realização do estudo de caso considerando cenários com reciclagem dos diferentes materiais que compõem as torneiras analisadas. Sugere-se também a aplicação do método proposto na avaliação da substituição de outros equipamentos hidrossanitários: (i) torneiras dotadas ou não de arejador; (ii) válvula de descarga convencional e com duplo acionamento; (iii) peças de utilização com e sem regulares de vazão; (iv) aparelhos sanitários instalados com o sistema convencional de esgotamento sanitário e com o sistema de esgotamento a vácuo, entre outros.

Por fim, sugere-se, para o desenvolvimento de outros trabalhos, a aplicação do método aqui proposto em conjunto com métodos válidos para avaliação de desempenho de ordem econômica, social e cultural.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEYSUNDARA, U. G. Y.; BABEL, S.; GHEEWALA, S. A matrix in life cycle perspective for selecting sustainable materials for buildings in Sri Lanka. **Building and Environment**. V. 44, n. 5, p. 997-1004. Elsevier, 2009.

ALVES, W. C.; ROCHA, A. L.; GONÇALVES, R. F. Aparelhos Sanitários Economizadores. In: GONÇALVES, R. F. (coord). **Uso racional da água em edificações**.. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

ANDRÉ, P de T. A.; PELIN, E. R. **Elementos de Análise Econômica relativos ao Consumo Predial**. DTA nº B1 do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Brasília, 1998.

ARDENTE, F.; BECCALI, G. CELLURA, M.; BRANO, V. L. Life Cycle Assessment of a solar thermal collector. **Renewable Energy**. V. 30, n. 7, p. 1031-1054. Elsevier, 2005.

ARENA, A. P.; ROSA, C. de. Life cycle assessment of energy and environmental implications of the implementation of conservation technologies in school buildings in Mendoza - Argentina. **Building and Environment**. V.38, n. 2, p. 359-368. Elsevier, 2003.

ASANO, Y. **Forecast of amount of water saving in housing complex and amount of carbon dioxide reduction according to it**. 31st CIB W062 Symposium. Belgium, 2005.

ASIF, M.; MUNEER, T, KELLEY, R. Life Cycle Assessment: a case study of a dwelling home in Scotland. **Building and Environment**. V.42, n. 3, p. 1391-1394. Elsevier, 2007.

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS – ANA. **Utilizações da Água**. Disponível em <http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/Catalogo_Publicacoes/UtilizacoesdaAgua.ppt>. Acesso: 13 ago 2009.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626 – Instalação Predial de Água Fria**. Rio de Janeiro, 1998.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8160 – Sistemas Prediais de Esgoto Sanitário: Projeto e execução**. Rio de Janeiro, 1999.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14040 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura**. Rio de Janeiro, 2009a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14044 - Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida –Requisitos e Orientações**. Rio de Janeiro, 2009b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-1 - Edifícios Habitacionais de até cinco Pavimentos - Desempenho - Parte 1: Requisitos Gerais**. Rio de Janeiro, 2010a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15575-6 - Edifícios Habitacionais de até cinco Pavimentos - Desempenho - Parte 6: Sistemas hidrossanitários**. Rio de Janeiro, 2010b.

BALDWIN, R. et al. **BREEAM 98 for Offices**: an environmental assessment method for office buildings. Garston, 1998. 36 p.

BARRIOS, R et. al. Environmental and financial life cycle impact assessment of drinking water production at Waternet. **Journal of Cleaner Production**. V. 16, n. 4, p. 471 - 476. Elsevier. 2008.

BATTISTI, R.; CORRADO, A. Environmental assessment of solar thermal collectors with integrated water storage. **Journal of Cleaner Production**. V. 13, n. 13-14, p. 1295 - 1300. Elsevier. 2005.

BLANCHARD, S.; REPPE, P. **Life Cycle Analysis of a Residential Home in Michigan**. Center for Sustainable Systems, Report No. CSS98-05, University of Michigan. Ann Arbor, 1998.

BLENGINI, G. A. Life Cycle of Buildings, Demolition and Recycling Potencial: a case study in Turin, Italy. **Building and Environment**. V. 44, n. 2, p. 319-330. Elsevier, 2008.

BLOM, I., ITARD, L., MEIJER, A. LCA-based environmental assessment of the use and maintenance of heating and ventilation systems in Dutch dwellings. **Building and Environment**. V. 45, n. 11, p. 2362-2372. Elsevier, 2010.

BORG, M. **Environmental Assessment of Materials, Components and Buildings: Building Specific Considerations, Open-loop Recycling, Variations in Assessment Results and the Usage Phase of Buildings**. Tese de Doutorado. Estocolmo, 2001.

BRACELPA. **Relatório Anual 2009/2010**. Estatísticas Bracelpa – Associação Brasileira de Celulose e Papel. São Paulo, 2010.

BRASIL. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos**. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS. Brasília, 2007.

BRIBIÁN, I. Z.; USÓN, A. A.; SCARPELLINI, S. Life cycle assessment in buildings: state-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. **Building and Environment**. V. 44, n. 12, p. 2510-2520. Elsevier, 2009.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1997.

CHENG, C. L.; HONG, Y. T. Evaluating water utilization in primary schools. **Building and Environment**. V. 39, n. 7, p. 837-845. Elsevier, 2004.

CHEVALIER, J. L.; LE TÉNO, J. F. Requirements for na LCA-based Model for the Evaluation of the Environmental Quality of Building Products. **Building and Environment**. V. 31, n. 5, p. 487-491. Elsevier, 1996.

CIB - INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION. **Agenda 21 on Sustainable Construction**. [S.L.]: CIB, 1999.

CLARCKE, A.; GRANT, N.; THORNTON, J. **Quantifying the energy and carbon effects of water saving**: full technical report. Environment Agency. Great Britain, 2009.

CRAWFORD, R. H. Validation of a hybrid life-cycle inventory analysis method. **Journal of Environmental Management**. V. 88. n. 3. p. 496-506. Elsevier, 2008.

CRAWFORD, R. H.; TREOLAR, G. J. Net energy analysis of solar and conventional domestic hot water systems in Melbourne, Australia. **Solar Energy**. V. 76. n. 1-3. p. 159-163. Elsevier, 2004.

CYBIS, L. F.; SANTOS, C. V. J. dos. **Análise do Ciclo de Vida (ACV) aplicada à indústria da construção civil** – Estudo de caso. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Porto Alegre, 2000.

EARLANDSSON, M.; BORG, M. Generic LCA-methodology applicable for buildings, constructions and operation services – today practices and development needs. **Building and Environment**. V.38. n. 7. p. 919-938. Elsevier, 2003.

ECOINVENT CENTRE. **Converted ecoinvent 2.2 data as unit processes with links to other processes, including uncertainty data**. Disponível no *software* SimaPro versão 7.3. Suíça, 2010.

EPA - United States Environmental Protection Agency. **Report on the International Workshop on Electricity Data for Life Cycle Inventories**. EPA 600-R-02-041. Cincinnati, 2002.

FERREIRA FILHO, D. **Resumo de ações – meio ambiente DOCOL**. Relatório de 23 jul. 2009.

FERREIRA FILHO, D. **ABC 2011 – 2º semestre**. Mensagem recebida por <andreza@olimpiatur.com.br> em 08 ago 2011.

FINNVEDEN, et. al., 2009. Recent developments in Life Cycle Assessment. **Journal of Environmental Management**. V. 91. n. 1. p. 1-21. Elsevier, 2009.

FIDAR, A., MEMON, F. A.; BUTLER, D. Environmental implications of water efficient microcomponents in residential buildings. **Science of the Total Environment**. V. 408. Issue 23. p. 5828-5835. Elsevier. Great Britain, 2010.

FORSBERG, A.; MALMBORG, F. V. Tools for environmental assessment of the built environment. **Building and Environment**. V. 39, n. 2, p. 223-228. Elsevier, 2004.

FRENETTE, C. D. et al. Using Life Cycle Assessment to derive an environmental index for light-frame wood wall assemblies. **Building and Environment**. V. 45, n. 10, p. 2111-2122. Elsevier, 2010.

GONÇALVES, O. M et al. **Medidas de racionalização do uso da água para grandes consumidores**. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - PNCDA. DTA B3 - Brasília, 1999.

GONÇALVES, O. M. **Uso Racional da Água nos Edifícios**. Disponível em <http://pcc5100.pcc.usp.br/05_Agua/uso%20racional%20agua-25-03-2002.pdf>. São Paulo, 2002. Acesso em 20 de outubro de 2005.

GONÇALVES, O. M. **Manual de Conservação de Água**. Programa de Conservação de Águas. Empreendimento Genesis - Takaoka. 50 p. São Paulo, 2007.

GOOGLE maps. Dados cartográficos 2011. Disponível em : <maps.google.com.br>. Acesso em 08 ago 2011.

GRAÇA, M. E. A da.; GONÇALVES, O. M. Desempenho de sistemas sanitários prediais: conceitos fundamentais. **Revista Engenharia Mackenzie**. São Paulo, 1986.

GRAVELINE, S. P. LCA's Role in the Manufacture of Construction Materials. **Building Design & Construction**. Illinois, 2005.

GUINÉE, J. B. **Handbook on Life Cycle Assessment**: operational guide to the ISO standards. Kluwer Academic Publishers. Holanda, 2002.

GUINÉE, J. B. et al. **LCA - An operational guide to the ISO-standards** - Part 2: Guide (Final report, May 2001). 2001. Disponível em: <media.leidenuniv.nl/legacy/new-dutch-lca-guide-part-2a.pdf>. Acesso em 10 ago 2011.

HEIJUNGS, R. et al.. **Environmental Life Cycle Assessment of Products**: Background. Volume 2. Centre of Environmental Science. Leiden, 1992.

HESPANOL, I.; GONÇALVES, O. M (coord). **Conservação e Reúso de Água**: Manual de Orientações para o Setor Industrial. Volume 1. São Paulo, 2004.

HIRATA, A. Y. **Programa Eficiência Energética nas Estações de Tratamento de Esgoto (ETE) Parque Novo Mundo e ABC**. Disponível em <www.agendasustentavel.com.br>. Acesso em 25 jun. 2009.

HOFSTETTER, P. **Perspectives in Life Cycle Impact Assessment**: a structured approach to combine models of technosphere, ecosphere and valuesphere. Kluwer Academic Publishers. Estados Unidos, 1998.

HORNE, R., GRANT, T. VERGHESE, K. **Life Cycle Assessment**: principles, practice and prospects. Collingwood: CSIRO Publishing. 2009.

HUBERMAN, N., PEARLMUTTER, D. A Life-cycle energy analysis of building materials in the Negev Desert. **Energy and Buildings**. V. 40, n. 5, p 837 – 848. Elsevier. 2007.

HYDE, J. ENGEL, P. **Lifecycle Assessment Study Guardrail Offset Blocks**: Recycled Plastic, Steel and Pressure Treated Wood Blocks. University of Massachusetts. Estados Unidos, 2000.

IBÁÑEZ-FORÉS, V.; BOVEA, M. D; SIMÓ, A. Life cycle assessment of ceramic tiles. Environmental and statistical analysis. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. Online version. Springer. 2011.

ILHA, M. S. O. et al. Impact of installation of water saving technologies at the International Airport of São Paulo in Brazil. **Symposium CIB W062**. Sydney, 2010.

INTERNATIONAL ORGANIZATOIN FOR STANDARLIZATION. **ISO/TR 14049 - Environmental management – life cycle assessment – examples and application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis**. Genebra, 2000.

IOSHIMOTO, E.; OLIVEIRA, L. H.; GONÇALVES, O. M. **Produtos Economizadores de Água nos Sistemas Prediais**. DTA n° F2 do Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. Revisão: William Schmidt. Brasília, 2004.

JOHN, V. M.; OLIVEIRA, D. P. de.; LIMA, J. A. R. de. **Tecnologias para construção habitacional mais sustentável**: Levantamento do Estado da Arte - seleção de materiais. Finep. São Paulo, 2007.

JOLLIET, O., SAADÉ, M., CRETZAZ, P. **Analyse du cycle de vie**: comprendre et realiser un ecóbilan. Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes. 2005.

KALBUSCH, A. et al. **Programa de Uso Racional da Água do campus do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade do Estado de Santa Catarina**: Resultados das etapas concluídas. IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Salvador, 2008.

KENDALL, A. **A Dynamic Life Cycle Assessment Tool for Comparing Bridge Deck Designs**. Center for Sustainable Systems, Report No. CSS04-12, University of Michigan. Ann Arbor, 2004.

KOEHLER, A. Water use in LCA: managing the planet's freshwater resources. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. V. 13, n. 6, p. 451-455. 2008.

KOFOWOROLA, O. F.; GHEEWALA, S. H. Environmental Life Cycle Assessment of a Commercial Office Building in Thailand. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. V. 13, n. 6, p. 498-511. 2008.

LAO. **Hidrômetro Unijato**: Linha 4000 (catálogo técnico). 2010. Disponível em: <<http://www.laoindustria.com.br>>. Acesso em 18 out 2011.

LASSAUX, S., RENZONI, R., GERMAIN, A. Life Cycle Assessment of Water from the pumping Station to the Wastewater Treatment Plant. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. V. 12, n. 2, p. 118-126. 2007.

LEE, K.; TAE, S.; SHIN, S. Development of a Life Cycle Assessment Program for building (SUSB-LCA) in South Korea. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**. V. 13. n. 8. p. 1994-2002. Elsevier, 2009.

LENZEN, M. Errors in Conventional and Input-Output-based Life-Cycle Inventories. **Journal of Industrial Ecology**. V. 4. n. 4. p. 127-148. Malden, 2001.

LI, X.; ZHU, Y.; ZHANG, Z. An LCA-based environmental impact assessment model for construction processes. **Building and Environment**. V. 45, n. 3, p. 766-775. Elsevier, 2010.

LLOYD, S.; LANDFIELD, A.; GLAZEBROOK, B. Integrating LCA into Green Building Design. **Building Design & Construction**. Illinois, 2005.

MAHGOUB, M. E. M. et. al. Towards sustainability in urban water: a life cycle analysis of the urban water system of Alexandria City, Egypt. **Journal of Cleaner Production**. V. 18, n. 10-11, p. 1100 - 1106. Elsevier. 2010.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Primeiro inventário brasileiro de emissões antrópicas de gases de efeito estufa**: relatórios de referência. Brasília. 2006.

MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA. **Inventário brasileiro de emissões antrópicas por fontes e remoções por sumidouros de gases de efeito estufa não controlados pelo Protocolo de Montreal**: Parte 2. Brasília. 2010.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário Estatístico 2009: setor metalúrgico**. Brasília. 2009a.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Anuário Estatístico 2009: setor de transformação de não-metálicos**. Brasília. 2009b.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Sinopse 2009: mineração e transformação mineral (metálicos e não-metálicos)**. Brasília. 2009c.

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA. **Balço energético nacional: ano base 2009**. Brasília. 2010.

NATURAL RESOURCES CANADA. **2007 Canadian Vehicles Survey**: summary report. Ottawa. 2009.

NICOLETTI, G. M.; NOTARNICOLA, B.; TASSIELLI, G. Comparative Life Cycle Assessment of flooring materials: ceramic versus marble tiles. **Journal of Cleaner Production**. V. 10, n. 3, p. 283 - 296. Elsevier. 2002.

NORGATE, T. E.; JAHANSHAH, S.; RANKIN, W. J. Assessing the Environmental Impact of Metal Production Processes. **Journal of Cleaner Production**. V. 15, n. 8 - 9, p. 838 – 848. Elsevier. 2007.

NORGATE, T. E.; LOVEL, R. R. **Water Use in Metal Production: a Life Cycle Perspective**. Report DMR 2505. CSIRO. 2004.

NORRIS G. A.; YOST, P. A Transparent, Interactive Software Environment for Communicating Life-Cycle Assessment Results: An Application to Residential Windows **Journal of Industrial Ecology**. V. 5. n. 4. p. 15-28. Malden, 2002.

NUNES, S. S. **Estudo da conservação de água em edifícios localizados no campus da Universidade Estadual de Campinas**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2000.

ORGÂNICA. **Análises de efluente atmosférico dos sistemas de exaustão da galvânica da empresa Docol Metais Sanitários Ltda**. Jaraguá do Sul, 2010.

OLIVEIRA, L. H. **Metodologia para implantação de programa de uso racional da água em edifícios**. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1999.

OLIVEIRA, L. H. et al. **Tecnologias para construção habitacional mais sustentável: Levantamento do Estado da Arte - água**. Finep. São Paulo, 2007.

OLIVER-SOLÀ, J. et al. Environmental Optimization of Concrete Sidewalks in Urban Areas. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. V. 14, n. 4, p. 302-312. 2009.

OPTIS, M.; WILD, P. Inadequate documentation in published life cycle energy reports on buildings. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. V. 15, n. 7, p. 644 – 651. Springer. 2010.

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

ORTIZ, M. et. al. Life cycle assessment of water treatment technologies: wastewater and water-reuse in a small town. **Desalination**. V. 204, n. 1-3, p. 121 - 131. Elsevier. 2007.

PERTEL, M. et al. **Avaliação da Sazonalidade do Consumo de Água e Energia em uma Edificação Residencial de Alto Padrão**. XXXI Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental - AIDIS, Santiago, 2008.

PEUPORTIER, B. L. P.; KOHLER, N.; BOONSTRA C. **European project REGENER, life cycle analysis of buildings**. 2nd International Conference Buildings and the environment, Paris, 1997.

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

RENOU, S. et. al. Influence of impact assessment methods in wastewater treatment LCA. **Journal of Cleaner Production**. V. 16, n. 10, p. 1098 – 1105. Elsevier. 2008.

RIBEIRO, F. de M. **Inventário de Ciclo de Vida da Geração Hidrelétrica no Brasil – Usina de Itaipu: Primeira Aproximação**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

RIBEIRO, P. H. **Contribuição ao banco de dados brasileiro para apoio à avaliação do ciclo de vida: fertilizantes nitrogenados.** Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2009.

SALATI, E.; LEMOS, H. M. de; SALATI, E. Água e o desenvolvimento sustentável. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B. TUNDISI, J. G. **Águas Doces do Brasil.** 3 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

SAUTCHÚK, C. A. **Formulação de Diretrizes para Implantação de Programas de Conservação de Água em Edificações.** Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004a.

SAUTCHÚK, C. A. et. al. **Conservação e Reúso da Água em Edificações.** Prol Editora Gráfica. 2 ed. São Paulo, 2006.

SCHERER, F. A. **Uso Racional da Água em Escolas Públicas: Diretrizes para as Secretarias de Educação.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2003.

SCHEUER, C.; KEOLEAIN, G. A.; REPPE, P. Life Cycle Energy and Environmental performance of a new university building: modeling challenges and design implications. **Energy and Buildings.** V. 35, n. 10, p. 1049 - 1064. Elsevier Science B. V. 2003.

SCHMIDT, A. C. et al. A Comparative. Life Cycle Assessment of Building Insulation Products made of Stone Wool, Paper Wool and Flax. **The International Journal of Life Cycle Assessment.** V. 9, n. 1, p. 53-66. 2004.

SECOVI - SINDICATO DAS EMPRESAS DE COMPRA, VENDA, LOCAÇÃO E ADMINISTRAÇÃO DE IMÓVEIS RESIDENCIAIS E COMERCIAIS DE SÃO PAULO. **Manual do Uso Racional da Água.** Secovi. 25 p. São Paulo, 2005.

SEPPÄLÄ, J. et al. The Finnish Metals Industry and the Environment. **Resources, Conservation and Recycling**. V. 35, n. 1 – 2, p. 61 – 76. Elsevier Science B. V. 2002.

SHEEHAN, J. et al. **Life Cycle Inventory of Biodiesel and Petroleum Diesel for Use in a Urban Bus**. US Department of Agriculture and US Department of Energy. 1998.

SHOULER, M. C. **Water Efficient Appliances for Sustainable Buildings**. CIB W062 Symposium 2005. Tokyo, 2005.

SILVA, G. A.; YOKOTE, A. Y.; RIBEIRO, P. H. **Desenvolvimento de Banco de Dados Brasileiro para Avaliação de Ciclo de Vida**. Global Conference – Construindo o Mundo Sustentável. São Paulo, 2002.

SILVA, G. S. da. **Programas permanentes de uso racional da água em campi universitário: O programa de uso racional da água da universidade de São Paulo**. 2004. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, Departamento de Engenharia de Construção Civil, São Paulo, 2004.

SILVA, G. S. da; TAMAKI, H. O.; GONÇALVES, O. M. Water Conservation Programs in university campi: the Water Conservation Program of the University of São Paulo. 2005 World Sustainable Building Conference. Tokyo, 2005.

SILVA, V. G. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: Diretrizes e Base Metodológica**. 2003. Tese (Doutorado em Engenharia) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SOARES, S. R., PEREIRA, S. W. Inventário da Produção de pisos e tijolos cerâmicos no contexto da análise do ciclo de vida. **Ambiente Construído**. Volume 4, n. 2, p. 83-94. Antac. Porto Alegre, 2004.

SOARES, S. R., SOUZA, D. M. de, PEREIRA, S. W. A avaliação do Ciclo de Vida no Contexto da Construção Civil. In: SATTler, M. A., PEREIRA, F. A. R. **Construção e Meio Ambiente**. Volume 7. Habitare. Porto Alegre, 2006.

SOARES, S. R.; TOFFOLETTO, L.; DESCHÊNES, L. Development of weighting factors in the context of LCIA. **Journal of Cleaner Production**. V. 14, n. 6-7, p. 649 – 660. Elsevier. 2006.

SOUZA, C. G. de; BARBASTEFANO, R. G. Knowledge diffusion and collaboration networks on life cycle assessment. **The International Journal of Life Cycle Assessment**. V. 16, n. 6, p. 561 – 568. Springer. 2011.

SPEZZIA JUNIOR, L. C. **Estimativa de consumo**: Schneider Motobombas. Mensagem recebida por <andrezza@joinville.udesc.br> em 08 jul. 2009.

TABORIANSKI, V. M.; PRADO, R. T. A. **Environmental comparative evaluation of the water heating typologies for residential use**: part 1. CIB W62 – Water supply and drainage for buildings symposium' 2001. Portoroz, 2001.

TABORIANSKI, V. M.; SIMONI, R. A.; PRADO, R. T. A. **Elaboração de Inventário de Consumo de Energia no Ciclo de Vida dos Materiais utilizados em Fachadas de Edifícios no Brasil**. Anais do XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. Fortaleza, 2008.

TAMAKI, H. O. **A Medição Setorizada como Instrumento de Gestão da Demanda de Água em Sistemas Prediais** – Estudo de Caso: Programa de Uso Racional da Água da Universidade de São Paulo. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

TAVARES, S. F. **Metodologia de Análise do Ciclo de Vida Energético de Edificações Residenciais Brasileiras**. 2006. Tese (Doutorado em Engenharia) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

TAVARES, S. F.; LAMBERTS, R. **Estudos Comparativos sobre Consumo Energético no Ciclo de Vida de Edificações Residenciais do Brasil, Austrália e Suécia.** Anais da I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável. X Encontro Nacional de Tecnologia no Ambiente Construído. São Paulo, 2004.

TRAVERSO, M.; RIZZO, G.; FINKBEINER, M. Environmental Performance of Building Materials: Life Cycle Assessment of a Typical Sicilian Marble. **The International Journal of Life Cycle Assessment.** V. 15, n. 1, p. 104-114. 2010.

TSUTIYA, M. T. **Redução do custo de energia elétrica em estações elevatórias de água e esgoto.** 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Foz do Iguaçu, 1997.

TUNDISI, J. G.; BRAGA, B. REBOUÇAS, A. da C. Os recursos hídricos e o futuro: síntese. In: REBOUÇAS, A. da C.; BRAGA, B. TUNDISI, J. G. **Águas Doces do Brasil.** 3 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

UNITED NATIONS ENVIRONMENT PROGRAMME - UNEP. **Life Cycle Assessment: what it is and how to do it.** França, 1996.

ÜRGE-VORSATZ, D.; NOVIKOVA, A. Potentials and costs of carbon dioxide mitigation in the world's buildings. **Energy Policy.** V. 36, n. 2, p. 642-661. Elsevier, 2008.

VEIGA, F. da. **Consumo de água no parque fabril da Docol.** Mensagem recebida por <andreza@olimpiatur.com.br> em 23 jul. 2011.

VENKATESH, G.; BRATTEBO, H. Energy consumption, costs and environmental impacts for urban water cycle services: Case study of Oslo (Norway). **Energy.** V. 36, n. 2, p. 792-800. Elsevier, 2011.

VERBEECK, G.; HENZ, H. Life cycle inventory of buildings: a calculation method. **Building and Environment.** V. 45, n. 4, p. 1037-1041. Elsevier, 2010a.

VERBEECK, G.; HENZ, H. Life cycle inventory of buildings: a contribution analysis. **Building and Environment**. V. 45, n. 4, p. 964-967. Elsevier, 2010b.

VINCE, F. et. al. LCA tool for the environmental evaluation of potable water production. **Desalination**. V. 220, n. 1-3, p. 37 - 56. Elsevier. 2008.

WILLIS, R. M. et al. Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption. **Journal of Environmental Management**. V. 92. n. 8. p. 1996-2009. Elsevier, 2011.

WU, X.; ZHANG, Z.; CHEN, Y. Study of the environmental impacts based on the “green tax” - applied to several types of building materials. **Building and Environment**. V. 40, n. 2, p. 227 - 237. Elsevier, 2005.

YWASHIMA, L. A. **Avaliação do uso de água em edifícios escolares públicos e análise de viabilidade econômica da instalação de tecnologias economizadoras nos pontos de consumo**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

ZHANG, Z.; WU, X; YANG, X.; ZHU, Y. BEPAS – a life cycle building environmental assessment model. **Building and Environment**. V. 41, n. 5, p. 669 – 675. Elsevier, 2006.

APÊNDICE A

Entradas e saídas utilizadas na caracterização das categorias de impacto ambiental nas fases do ciclo de vida da torneira convencional

Tabela A.1 – Consumo de água no ciclo de vida da torneira convencional.

Fase	Subitem	Consumo de água (m³)
Produção	Processo industrial	0,011
	Latão (extração, beneficiamento e transporte)	0,026
	Cerâmica (extração, beneficiamento e transporte)	2,590E-05
	Polioximetileno (extração, beneficiamento e transporte)	1,024E-04
	Borracha (extração, beneficiamento e transporte)	0,002
	Papelão (extração, beneficiamento e transporte)	0,003
	Energia elétrica (na indústria de metais sanitários)	0,002
	transporte de caminhão(da indústria ao campus)	1,893E-04
Uso		31,593
Disposição final		0,001
Total		31,639

Tabela A.2 – Consumo de energia total no ciclo de vida da torneira convencional.

Fase	Subitem	Consumo de energia total (MJ)
Produção	Consumo de água na indústria de metais sanitários	0,023
	Latão (extração, beneficiamento e transporte)	34,081
	Cerâmica (extração, beneficiamento e transporte)	0,018
	Polioximetileno (extração, beneficiamento e transporte)	0,238
	Borracha (extração, beneficiamento e transporte)	0,308
	Papelão (extração, beneficiamento e transporte)	0,524
	Processo industrial	14,453
	transporte de caminhão(da indústria ao campus)	0,766
Uso		102,544
Disposição final		5,157
Total		158,113

Tabela A.3 – Emissões no ar na fase de produção da torneira convencional.

Substância	Unidade	Total	Indústria	Emissões no ar										transporte (caminhão)
				Água tratada	Latão	Cerâmica	Políoximetíleno	Borracha	Papelão	Energia elétrica				
Acenaphthene	ng	6,037E+00	x	2,972E-03	4,119E+00	2,405E-03	1,602E-02	3,015E-02	2,009E-02	1,843E+00	2,352E-03			
Acrolein	ng	9,462E+02	x	5,868E-01	6,608E+02	5,736E-01	2,568E+00	4,808E+00	5,134E+00	2,699E+02	1,822E+00			
Ammonia	g	1,080E+00	x	6,007E-05	1,057E+00	2,992E-04	2,335E-04	4,052E-04	7,972E-04	2,074E-02	3,813E-04			
Antimony	µg	4,209E+01	x	3,404E-02	3,456E+01	8,176E-02	6,369E-02	1,581E-01	1,144E-01	7,047E+00	2,537E-02			
Arsenic	µg	4,129E+02	x	2,936E-01	3,420E+02	6,708E-01	6,273E-01	1,425E+00	1,468E+00	6,592E+01	4,471E-01			
Barium	µg	1,189E+02	x	1,276E-01	8,975E+01	8,015E-02	2,650E-01	5,439E-01	4,755E-01	2,741E+01	2,136E-01			
Benzene	mg	2,031E+01	x	9,355E-03	1,403E+01	8,660E-03	6,745E-02	1,121E-01	2,323E-01	5,728E+00	1,250E-01			
Benzene, 1,2-dichloro-	µg	2,088E+00	x	7,028E-04	1,417E+00	5,929E-04	5,486E-03	1,003E-02	7,997E-03	6,455E-01	3,391E-07			
Benzene, ethyl-	µg	2,554E+02	x	1,674E-01	1,713E+02	1,843E-01	4,441E+00	1,451E+00	6,455E+00	4,427E+01	2,706E+01			
Benzene, hexachloro-	ng	1,706E+02	x	1,933E+00	1,474E+02	3,400E-01	2,532E-01	4,764E-01	4,032E-01	1,919E+01	6,003E-01			
Benzene, pentachloro-	ng	1,262E+01	x	1,445E-01	1,109E+01	4,206E-01	9,205E-03	5,145E-02	3,508E-02	8,530E-01	1,302E-02			
Beryllium	µg	1,847E-01	x	2,788E-03	1,813E+01	1,031E-03	3,055E-03	6,270E-03	5,459E-03	3,225E-01	2,096E-03			
Butadiene	ng	1,122E+02	x	3,784E-02	7,640E+01	3,194E-02	2,897E-01	5,445E-01	8,297E-01	3,407E+01	1,144E-03			
Cadmium	µg	2,075E+02	x	8,855E-02	1,861E+02	2,175E-01	2,394E-01	4,750E-01	8,339E-01	1,897E+01	5,202E-01			
Carbon dioxide	mg	6,392E+02	x	x	x	6,392E+02	x	x	x	x	x			
Carbon dioxide, fossil	kg	1,764E+00	x	1,481E-03	1,306E+00	1,131E-03	1,303E-02	9,815E-03	7,153E-03	3,598E-01	6,642E-02			
Carbon dioxide, land transformation	kg	1,122E+00	x	3,782E-04	7,612E-01	3,189E-04	2,954E-03	5,400E-03	3,625E-03	3,476E-01	1,764E-07			

continua

Tabela A.3 – Emissões no ar na fase de produção da torneira convencional (continuação)

Substância	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Emissões no ar							transporte (caminhão)
					Latão	Cerâmica	Polioximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica		
Carbon disulfide	g	1,512E+00	x	5,411E-06	1,510E+00	1,563E-05	1,064E-05	4,010E-05	2,585E-05	1,190E-03	3,510E-06	
Carbon monoxide, fossil	g	7,266E+00	x	4,054E-03	5,343E+00	4,154E-03	1,922E-01	4,030E-02	3,181E-02	3,942E-01	1,257E+00	
Chloroform	µg	5,141E+00	x	7,742E-03	3,498E+00	1,599E-03	1,343E-02	2,577E-02	2,123E-02	1,573E+00	4,542E-04	
Chromium	mg	1,032E+01	x	2,084E-03	9,972E+00	8,199E-04	3,241E-03	8,975E-03	9,395E-03	3,244E-01	3,227E-03	
Chromium VI	µg	2,462E+02	x	5,418E-02	2,360E+02	2,283E-02	8,539E-02	2,455E-01	2,387E-01	9,441E+00	3,439E-02	
Cobalt	µg	2,663E+02	x	6,253E-02	2,565E+02	3,368E-02	1,155E-01	2,651E-01	5,884E-01	8,480E+00	2,892E-01	
Copper	mg	2,243E+00	x	1,107E-03	1,858E+00	2,912E-03	2,114E-02	7,602E-03	1,223E-02	2,108E-01	1,288E-01	
Dinitrogen monoxide	mg	1,728E+02	x	5,242E-02	1,388E+02	5,791E-02	2,935E-01	5,260E-01	9,552E-01	3,196E+01	1,456E-01	
Dioxin, 2,3,7,8	pg	3,755E+02	x	2,097E+00	2,975E+02	1,672E+00	5,720E-01	1,211E+00	1,896E+01	5,259E+01	8,327E-01	
Tetrachlorodibenzo-p-	ng	4,949E+01	x	3,341E-01	3,997E+01	2,133E-01	1,856E-01	5,173E-01	3,663E-01	7,072E+00	8,353E-01	
Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	ng	2,496E+00	x	2,207E-03	1,720E+00	2,113E-03	6,654E-03	1,954E-02	1,230E-02	7,298E-01	3,007E-03	
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	µg	5,030E+02	x	1,180E-01	3,273E+02	3,550E-01	2,151E+01	3,316E+00	2,486E+00	5,011E+00	1,429E+02	
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	ng	2,133E+00	x	3,017E-03	1,851E+00	2,651E-03	1,565E-03	6,573E-02	4,640E-02	1,617E-01	1,268E-03	

continua

Tabela A.3 – Emissões no ar na fase de produção da torneira convencional (continuação)

Substância	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Emissões no ar							transporte (caminhão)
					Latão	Cerâmica	Polioximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica		
Ethane, 1,2-dichloro-	µg	6,210E+01	x	1,324E-01	5,571E+01	7,103E-02	5,790E-02	7,932E-01	3,034E-01	4,926E+00	1,068E-01	
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	µg	1,107E+01	x	8,587E-03	7,631E+00	6,403E-03	2,992E-02	5,658E-02	3,909E-02	3,284E+00	1,343E-02	
Ethane, hexafluoro-, HFC-116	µg	5,350E+01	x	1,159E-02	4,884E+01	8,808E-02	3,692E-02	9,895E-02	1,577E-01	4,261E+00	4,699E-03	
Ethene	mg	1,847E+00	x	1,067E-01	1,482E+00	1,112E-03	9,838E-03	1,310E-02	1,660E-02	1,609E-01	5,639E-02	
Ethene, chloro-	µg	2,494E+01	x	9,028E-02	2,173E+01	4,688E-02	2,871E-02	2,023E-01	8,758E-02	2,724E+00	3,698E-02	
Ethene, tetrachloro-	ng	5,414E+00	x	5,048E-03	3,737E+00	4,765E-03	1,446E-02	4,299E-02	2,708E-02	1,575E+00	7,169E-03	
Ethylene oxide	µg	6,877E+00	x	2,613E-03	6,491E+00	1,024E-03	3,850E-03	1,573E-01	4,256E-02	1,628E-01	1,642E-02	
Formaldehyde	mg	1,272E+00	x	2,863E-03	9,830E-01	4,199E-03	2,402E-03	6,227E-03	3,990E-02	2,300E-01	2,979E-03	
Hydrogen chloride	mg	2,873E+01	x	4,119E-02	2,305E+01	1,326E-01	5,555E-02	1,565E-01	1,527E-01	5,054E+00	8,389E-02	
Hydrogen fluoride	mg	7,476E+00	x	8,383E-03	5,663E+00	7,676E-03	1,672E-02	3,566E-02	2,871E-02	1,701E+00	1,511E-02	
Hydrogen sulfide	mg	5,261E+00	x	5,451E-03	3,744E+00	4,038E-03	1,297E-02	2,502E-02	1,816E-02	1,446E+00	4,497E-03	
Lead	mg	6,176E+00	x	1,413E-03	5,946E+00	2,158E-03	3,025E-03	5,269E-03	1,028E-02	1,986E-01	8,898E-03	
m-Xylene	µg	1,157E+02	x	4,673E-02	6,479E+01	4,042E-02	2,476E-01	4,649E-01	2,140E+01	2,867E+01	2,631E-02	
Mercury	µg	3,980E+01	x	2,552E-01	3,205E+01	5,454E-02	1,254E-01	1,565E-01	2,705E-01	6,418E+00	4,715E-01	
Methane, biogenic	g	2,136E+01	x	9,021E-03	1,450E+01	6,084E-03	5,626E-02	1,029E-01	7,219E-02	6,620E+00	4,990E-05	
Methane, bromo-, Halon 1001	pg	5,018E-03	x	3,036E-05	3,307E-03	6,946E-05	5,287E-06	6,894E-04	3,563E-04	5,565E-04	3,716E-06	
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	µg	1,007E+01	x	5,444E-03	7,054E+00	7,225E-03	2,529E-02	4,880E-02	3,414E-02	2,891E+00	4,763E-03	

continua

Tabela A.3 – Emissões no ar na fase de produção da forneira convencional (continuação)

Substância	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Emissões no ar							transporte (caminhão)
					Latão	Cerâmica	Polioximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica		
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	µg	7,775E+00	x	4,618E-03	5,233E+00	5,355E-03	1,713E-01	1,028E-01	3,397E-02	1,149E+00	1,075E+00	
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	µg	8,469E+01	x	5,800E-02	5,829E+01	4,327E-02	2,189E-01	4,130E-01	2,817E-01	2,536E+01	2,258E-02	
Methane, dichloro-, HCC-30	µg	1,371E+00	x	8,577E-04	9,356E-01	4,400E-04	3,558E-03	6,807E-03	6,789E-03	4,172E-01	8,635E-05	
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	ng	8,487E+01	x	7,026E-01	5,969E+01	6,687E-02	2,004E-01	5,398E-01	5,886E-01	2,305E+01	3,026E-02	
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	pg	1,864E+01	x	4,003E+00	1,268E+01	2,026E-02	1,283E-02	4,357E-01	3,077E-01	1,161E+00	1,973E-02	
Methane, fóssil	g	2,890E+00	x	2,456E-03	2,037E+00	2,023E-03	2,356E-02	2,237E-02	1,056E-02	6,727E-01	1,188E-01	
Methane, monochloro-, R-40	ng	6,724E+01	x	6,224E-02	4,659E+01	8,147E-02	1,769E-01	5,226E-01	3,326E-01	1,939E+01	8,052E-02	
Methane, tetrachloro-, CFC-10	µg	3,276E+00	x	3,719E-03	3,009E+00	3,470E-03	2,684E-03	1,164E-02	2,065E-02	2,193E-01	5,459E-03	
Methane, tetrafluoro-, CFC-14	µg	4,801E+02	x	1,024E-01	4,384E+02	7,910E-01	3,312E-01	8,497E-01	1,390E+00	3,825E+01	4,136E-02	
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	pg	3,026E+01	x	6,498E+00	2,058E+01	3,290E-02	2,082E-02	7,073E-01	4,995E-01	1,884E+00	3,204E-02	

continua

Tabela A.3 – Emissões no ar na fase de produção da forneira convencional (continuação)

Substância	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Emissões no ar							transporte (caminhão)
					Latão	Cerâmica	Polioximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica		
Methane, trifluoro-, HFC-23	ng	5,931E+00	x	1,274E+00	4,034E+00	6,448E-03	4,082E-03	1,386E-01	9,789E-02	3,693E-01	6,279E-03	
Molybdenum	µg	1,910E+01	x	2,323E-02	1,391E+01	1,462E-02	6,240E-02	1,172E-01	2,650E-01	4,555E+00	1,577E-01	
Nickel	mg	1,498E+00	x	8,410E-04	1,320E+00	1,455E-03	2,682E-03	4,480E-03	1,152E-02	1,476E-01	9,506E-03	
Nitrogen oxides	g	1,314E+01	x	3,544E-03	1,060E+01	5,424E-03	2,526E-01	4,890E-02	4,818E-02	5,319E-01	1,651E+00	
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	µg	3,145E+02	x	2,373E-01	2,565E+02	3,859E-01	5,093E-01	1,514E+00	3,161E+00	5,177E+01	4,617E-01	
Particulates, < 2.5 µm	g	3,843E+00	x	4,918E-04	3,732E+00	2,991E-02	1,886E-03	2,163E-03	4,759E-03	6,230E-02	9,033E-03	
Particulates, > 2.5 µm, and < 10µm	g	3,195E+00	x	7,639E-04	3,140E+00	4,768E-04	1,049E-03	1,111E-03	1,275E-03	4,585E-02	4,389E-03	
Phenol	µg	4,870E+01	x	2,737E-02	4,246E+01	6,511E-01	2,726E-02	2,268E+00	2,050E-01	3,053E+00	8,742E-03	
Phenol, 2,4-dichloro-	ng	7,366E+02	x	2,484E-01	4,999E+02	2,095E-01	1,940E+00	3,546E+00	2,451E+00	2,283E+02	7,668E-04	
Phenol, pentachloro-	µg	5,263E+01	x	2,037E-02	3,577E+01	1,673E-02	1,390E-01	2,560E-01	1,725E-01	1,625E+01	6,568E-03	
Propylene oxide	µg	2,199E+00	x	6,571E-03	1,656E+00	4,114E-03	7,034E-03	2,930E-02	2,538E-02	4,495E-01	2,140E-02	
Selenium	µg	6,146E+01	x	6,543E-02	4,770E+01	8,825E-02	1,685E-01	2,967E-01	3,488E-01	1,238E+01	4,213E-01	
Sodium dichromate	µg	1,652E+01	x	2,914E-02	1,126E+01	7,835E-03	4,412E-02	7,957E-02	6,970E-02	5,016E+00	9,924E-03	
Styrene	µg	3,890E+00	x	1,197E-02	3,405E+00	1,048E-01	2,995E-03	3,492E-02	2,840E-02	2,991E-01	3,017E-03	
Sulfur dioxide	g	2,056E+00	x	2,953E-03	1,528E+00	2,206E-03	6,434E-03	1,430E-02	2,023E-02	4,651E-01	1,652E-02	
Sulfur hexafluoride	µg	1,357E+02	x	9,796E-02	9,288E+01	7,928E-02	3,686E-01	7,059E-01	4,766E-01	4,095E+01	1,369E-01	
Sulfur oxides	g	1,816E+01	x	x	x	x	x	x	x	x	x	
Thallium	µg	1,254E+00	x	6,786E-03	1,067E+00	7,951E-04	1,510E-03	3,062E-03	3,483E-03	1,710E-01	3,812E-04	

continua

Tabela A.3 – Emissões no ar na fase de produção da fornecira convencional (continuação)

Substância	Unidade	Total	Indús- tria	Emissões no ar							transporte (caminhão)
				Água tratada	Latão	Cerâmica	Polioxi- meti- leno	Borracha	Papelão	Energia elétrica	
Tin	µg	1,079E+02	x	5,025E-02	9,800E+01	1,258E-01	8,333E-02	2,135E-01	1,712E-01	9,218E+00	3,327E-02
Toluene	mg	2,311E+00	x	2,074E-03	1,592E+00	2,172E-03	2,919E-02	1,220E-02	6,468E-02	4,392E-01	1,695E-01
Vanadium	µg	6,031E+02	x	7,538E-01	4,692E+02	5,128E-01	2,415E+00	5,830E+00	3,301E+01	7,988E+01	1,156E+01
Xylene	mg	3,299E+00	x	3,773E-03	2,324E+00	2,745E-03	2,402E-02	1,851E-02	1,381E-02	7,980E-01	1,148E-01
Zinc	mg	1,983E+02	x	4,696E-03	1,979E+02	5,514E-03	1,042E-02	8,875E-03	7,747E-02	2,533E-01	5,504E-02

conclusão

Tabela A.4 – Emissões no ar no ciclo de vida da torneira convencional.

Emissões no ar					
Substância	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Acenaphthene	ng	1,910E+01	6,037E+00	1,305E+01	1,583E-02
Acrolein	µg	2,871E+00	9,462E-01	1,912E+00	1,226E-02
Ammonia	g	1,230E+00	1,080E+00	1,474E-01	2,567E-03
Antimony	µg	9,485E+01	4,209E+01	5,259E+01	1,708E-01
Arsenic	µg	9,012E+02	4,129E+02	4,853E+02	3,010E+00
Barium	µg	3,611E+02	1,189E+02	2,408E+02	1,437E+00
Benzene	mg	6,212E+01	2,031E+01	4,097E+01	8,412E-01
Benzene, 1,2-dichloro-	µg	6,657E+00	2,088E+00	4,569E+00	2,283E-06
Benzene, ethyl-	mg	1,061E+00	2,554E-01	6,233E-01	1,821E-01
Benzene, hexachloro-	ng	3,106E+02	1,706E+02	1,360E+02	4,040E+00
Benzene, pentachloro-	ng	1,925E+01	1,262E+01	6,539E+00	8,767E-02
Beryllium	µg	2,127E+01	1,847E+01	2,781E+00	1,410E-02
Butadiene	ng	3,533E+02	1,122E+02	2,411E+02	7,703E-03
Cadmium	µg	3,681E+02	2,075E+02	1,571E+02	3,501E+00
Carbon dioxide	g	2,638E+02	6,392E-01	2,631E+02	x
Carbon dioxide, fossil	kg	4,758E+00	1,764E+00	2,546E+00	4,471E-01
Carbon dioxide, land transformation	kg	3,582E+00	1,122E+00	2,460E+00	1,187E-06
Carbon disulfide	g	1,520E+00	1,512E+00	8,423E-03	2,362E-05
Carbon monoxide	mg	6,152E+01	x	6,152E+01	x
Carbon monoxide, fossil	g	1,852E+01	7,266E+00	2,790E+00	8,461E+00
Chloroform	µg	1,636E+01	5,141E+00	1,122E+01	3,057E-03
Chromium	mg	1,267E+01	1,032E+01	2,323E+00	2,172E-02
Chromium VI	µg	3,132E+02	2,462E+02	6,682E+01	2,315E-01
Cobalt	µg	3,699E+02	2,663E+02	1,016E+02	1,946E+00
Copper	mg	4,680E+00	2,243E+00	1,570E+00	8,669E-01
Dinitrogen monoxide	mg	4,083E+02	1,728E+02	2,345E+02	9,799E-01
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	pg	7,653E+02	3,755E+02	3,842E+02	5,605E+00
Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	ng	1,052E+02	4,949E+01	5,005E+01	5,622E+00
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	ng	7,681E+00	2,496E+00	5,165E+00	2,024E-02
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	mg	1,500E+00	5,030E-01	3,547E-02	9,620E-01
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	ng	3,286E+00	2,133E+00	1,144E+00	8,536E-03
Ethane, 1,2-dichloro-	µg	9,768E+01	6,210E+01	3,486E+01	7,189E-01

continua

Tabela A.4 – Emissões no ar no ciclo de vida da torneira convencional (continuação)

Emissões no ar					
Substância	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	µg	6,679E+01	1,107E+01	5,563E+01	9,039E-02
Ethane, hexafluoro-, HFC-116	µg	8,470E+01	5,350E+01	3,117E+01	3,163E-02
Ethene	mg	3,670E+00	1,847E+00	1,443E+00	3,796E-01
Ethene, chloro-	µg	4,502E+01	2,494E+01	1,983E+01	2,489E-01
Ethene, tetrachloro-	ng	1,661E+01	5,414E+00	1,115E+01	4,825E-02
Ethylene oxide	µg	8,140E+00	6,877E+00	1,152E+00	1,105E-01
Formaldehyde	mg	3,512E+00	1,272E+00	2,220E+00	2,005E-02
Hydrogen chloride	mg	9,908E+01	2,873E+01	6,978E+01	5,646E-01
Hydrogen fluoride	mg	2,408E+01	7,476E+00	1,651E+01	1,017E-01
Hydrogen sulfide	mg	1,571E+01	5,261E+00	1,042E+01	3,027E-02
Lead	mg	7,724E+00	6,176E+00	1,488E+00	5,989E-02
m-Xylene	µg	3,188E+02	1,157E+02	2,029E+02	1,771E-01
Mercury	µg	1,002E+02	3,980E+01	5,724E+01	3,174E+00
Methane	mg	4,411E+02	x	4,411E+02	x
Methane, biogenic	g	6,822E+01	2,136E+01	4,685E+01	3,359E-04
Methane, bromo-, Halon 1001	pg	8,982E-03	5,018E-03	3,939E-03	2,501E-05
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	µg	3,057E+01	1,007E+01	2,046E+01	3,206E-02
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	µg	3,767E+01	7,775E+00	2,265E+01	7,239E+00
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	µg	2,646E+02	8,469E+01	1,798E+02	1,520E-01
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	ng	1,656E+02	x	1,656E+02	x
Methane, dichloro-, HCC-30	µg	4,472E+00	1,371E+00	3,101E+00	5,812E-04
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	ng	5,125E+02	8,487E+01	4,275E+02	2,037E-01
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	µg	1,188E+00	1,864E-05	1,188E+00	1,328E-07
Methane, fossil	g	8,450E+00	2,890E+00	4,761E+00	7,996E-01
Methane, monochloro-, R-40	ng	2,050E+02	6,724E+01	1,372E+02	5,419E-01
Methane, tetrachloro-, CFC-10	µg	5,683E+00	3,276E+00	2,370E+00	3,674E-02
Methane, tetrafluoro-, CFC-14	µg	7,603E+02	4,801E+02	2,799E+02	2,784E-01
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	µg	1,229E+00	3,026E-05	1,229E+00	2,156E-07
Methane, trifluoro-, HFC-23	ng	8,587E+00	5,931E+00	2,614E+00	4,226E-02
Molybdenum	µg	6,957E+01	1,910E+01	4,941E+01	1,061E+00
Nickel	mg	3,157E+00	1,498E+00	1,595E+00	6,398E-02

continua

Tabela A.4 – Emissões no ar no ciclo de vida da torneira convencional (continuação)

Emissões no ar					
Substância	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Nitrogen oxides	g	2,850E+01	1,314E+01	4,245E+00	1,112E+01
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	µg	6,900E+02	3,145E+02	3,724E+02	3,108E+00
Particulates, < 10 um (mobile)	mg	1,583E+00	x	1,583E+00	x
Particulates, < 10 um (stationary)	mg	7,726E+01	x	7,726E+01	x
Particulates, < 2.5 um	g	4,345E+00	3,843E+00	4,409E-01	6,080E-02
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	g	3,549E+00	3,195E+00	3,245E-01	2,954E-02
Phenol	µg	7,064E+01	4,870E+01	2,188E+01	5,884E-02
Phenol, 2,4-dichloro-	µg	2,352E+00	7,366E-01	1,616E+00	5,161E-06
Phenol, pentachloro-	µg	1,677E+02	5,263E+01	1,150E+02	4,421E-02
Propylene oxide	µg	5,524E+00	2,199E+00	3,181E+00	1,440E-01
Selenium	µg	1,882E+02	6,146E+01	1,239E+02	2,836E+00
Sodium dichromate	µg	5,209E+01	1,652E+01	3,550E+01	6,679E-02
Styrene	µg	6,028E+00	3,890E+00	2,117E+00	2,031E-02
Sulfur dioxide	g	5,459E+00	2,056E+00	3,292E+00	1,112E-01
Sulfur hexafluoride	µg	4,264E+02	1,357E+02	2,898E+02	9,217E-01
Sulfur oxides	g	1,975E+01	1,816E+01	1,587E+00	x
Thallium	µg	2,795E+00	1,254E+00	1,539E+00	2,566E-03
Tin	µg	1,743E+02	1,079E+02	6,623E+01	2,239E-01
Toluene	mg	7,156E+00	2,311E+00	3,704E+00	1,141E+00
Vanadium	mg	3,332E+00	6,031E-01	2,651E+00	7,781E-02
Xylene	mg	1,103E+01	3,299E+00	6,959E+00	7,727E-01
Zinc	mg	2,006E+02	1,983E+02	1,900E+00	3,705E-01

conclusão

Tabela A.5 – Emissões na água na fase de produção da torneira convencional.

Substância	Unidade	Total	Indústria	Emissões na água									
				Água tratada	Latão	Cerâmica	Polioxi- metileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica	transporte (caminhão)		
Acenaphthene	ng	5,139E+01	x	3,852E-02	3,519E+01	3,819E-02	8,279E-01	5,562E-01	2,340E-01	9,534E+00	4,973E+00		
Acenaphthylene	ng	3,214E+00	x	2,409E-03	2,201E+00	2,388E-03	5,178E-02	3,478E-02	1,463E-02	5,962E-01	3,110E-01		
Antimony	mg	1,542E+02	x	1,193E-03	1,540E+02	3,709E-03	1,330E-03	9,902E-03	3,318E-03	1,379E-01	1,053E-03		
Arsenic, ion	mg	4,814E+02	x	9,676E-03	4,807E+02	5,741E-03	6,516E-03	1,705E-02	1,424E-02	6,663E-01	5,684E-03		
Barite	mg	4,527E+01	x	3,208E-02	3,185E+01	4,115E-02	1,227E-01	2,292E-01	1,772E-01	1,273E+01	9,707E-02		
Barium	mg	1,326E+02	x	2,553E-02	1,283E+02	3,572E-02	1,373E-01	1,296E-01	6,701E-02	3,203E+00	7,329E-01		
Benzene	mg	1,938E+00	x	6,501E-04	1,666E+00	1,105E-03	9,080E-03	3,993E-02	1,077E-02	1,589E-01	5,146E-02		
Benzene, 1,2-dichloro-	µg	9,883E+00	x	3,461E-03	6,734E+00	2,926E-03	2,570E-02	5,066E-02	4,287E-02	3,023E+00	8,506E-05		
Benzene, chloro-	µg	1,305E+02	x	4,672E-02	8,910E+01	3,953E-02	3,376E-01	6,931E-01	5,885E-01	3,970E+01	1,741E-03		
Benzene, ethyl-	µg	1,983E+02	x	1,486E-01	1,358E+02	1,474E-01	3,195E+00	2,147E+00	9,032E-01	3,679E+01	1,919E+01		
Beryllium	mg	6,291E+01	x	8,354E-04	6,279E+01	8,681E-04	1,161E-03	2,971E-03	2,019E-03	1,132E-01	1,323E-03		
Cadmium, ion	mg	3,087E+02	x	2,233E-03	3,085E+02	2,963E-03	2,395E-03	7,018E-03	8,069E-03	2,560E-01	1,461E-03		
Carbon disulfide	µg	1,192E+00	x	2,936E-04	8,362E-01	2,519E-04	2,244E-03	4,117E-03	8,534E-02	2,640E-01	4,446E-06		
Chloroform	ng	5,130E+02	x	1,824E-01	3,495E+02	1,508E-01	1,332E+00	2,610E+00	2,474E+00	1,567E+02	3,603E-03		
Chromium VI	mg	1,022E+02	x	3,167E-02	1,011E+02	8,136E-03	1,112E-02	2,577E-02	2,294E-02	9,634E-01	1,956E-02		
Chromium, ion	µg	7,159E+01	x	2,560E-01	5,420E+01	9,218E-02	5,655E-01	3,085E-01	5,313E-01	1,259E+01	3,053E+00		
Cobalt	mg	8,141E+02	x	1,641E-02	8,122E+02	1,288E-02	1,791E-02	4,787E-02	3,939E-02	1,745E+00	2,046E-02		
Copper, ion	g	2,407E+00	x	2,380E-05	2,404E+00	1,692E-04	2,696E-05	7,567E-05	9,524E-05	2,644E-03	2,993E-05		
Dichromate	µg	6,117E+01	x	2,499E-02	4,179E+01	2,108E-02	1,639E-01	2,955E-01	2,008E-01	1,864E+01	3,686E-02		
Ethane, 1,2-dichloro-	µg	1,560E+01	x	3,515E-03	1,319E+01	9,682E-03	1,963E-02	3,785E-02	1,214E-01	2,218E+00	5,181E-03		

continua

Tabela A.5 – Emissões na água na fase de produção da torneira convencional (continuação)

Emissões na água											
Substância	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Latão	Cerâmica	Polioximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica	transporte (caminhão)
Ethene	µg	5,076E+02	x	7,450E-02	4,849E+02	3,751E-01	2,385E-01	1,199E+01	3,216E+00	5,493E+00	1,277E+00
Ethene, chloro-	ng	2,898E+02	x	1,179E+00	2,485E+02	6,315E-01	3,640E-01	1,454E+00	8,199E-01	3,641E+01	3,633E-01
Ethylene oxide	ng	5,220E+02	x	2,369E-01	3,651E+02	2,882E-01	1,248E+00	3,770E+00	5,091E+00	1,462E+02	3,909E-02
Formaldehyde	µg	7,868E+01	x	1,529E-02	7,158E+01	7,037E-02	6,197E-02	1,878E+00	4,526E-01	4,461E+00	1,602E-01
Hydrogen sulfide	mg	1,144E+00	x	5,545E-01	3,089E-01	8,213E-04	1,029E-03	2,150E-03	1,668E-01	1,091E-01	6,812E-04
Lead	mg	2,375E+02	x	4,810E-02	2,369E+02	3,239E-02	5,447E-03	1,137E-02	2,692E-02	4,302E-01	1,192E-02
m-Xylene	ng	6,180E+02	x	2,093E-01	4,205E+02	1,849E-01	1,590E+00	3,033E+00	5,423E+00	1,870E+02	8,954E-04
Mercury	µg	7,815E+02	x	1,663E-01	7,661E+02	1,200E-01	1,603E-01	3,828E-01	2,989E-01	1,403E+01	2,736E-01
Methane, dichloro-, HCC-30	µg	9,773E+01	x	7,671E-02	6,804E+01	7,385E-02	9,032E-01	6,303E-01	4,298E-01	2,285E+01	4,720E+00
Molybdenum	mg	3,039E+02	x	3,341E-03	3,034E+02	4,101E-03	4,908E-03	1,275E-02	9,593E-03	4,842E-01	5,277E-03
Nickel	mg	1,869E+00		x	x	x	x	x	x	x	x
Nickel, ion	mg	4,366E+02	x	8,152E-02	4,305E+02	4,239E-02	6,067E-02	1,475E-01	1,228E-01	5,508E+00	9,232E-02
o-Xylene	pg	6,852E+02	x	4,146E+00	4,516E+02	9,485E+00	7,220E-01	9,414E+01	4,865E+01	7,599E+01	5,074E-01
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	µg	4,864E+01	x	4,128E-02	3,383E+01	3,658E-02	6,716E-01	4,694E-01	2,184E-01	9,431E+00	3,938E+00
Phenol	µg	7,728E+02	x	5,929E-01	5,349E+02	5,875E-01	1,118E+01	1,067E+01	3,512E+00	1,452E+02	6,620E+01
Propylene oxide	µg	5,288E+00	x	1,581E-02	3,981E+00	9,897E-03	1,692E-02	7,046E-02	6,103E-02	1,081E+00	5,149E-02
Selenium	mg	2,308E+02	x	2,170E-03	2,305E+02	2,792E-03	3,143E-03	8,427E-03	5,768E-03	3,113E-01	3,310E-03
Thallium	mg	2,870E+01	x	4,305E-04	2,868E+01	2,780E-04	2,338E-04	6,864E-04	4,677E-04	2,508E-02	1,376E-04
Tin, ion	mg	2,779E+02	x	3,409E-03	2,776E+02	8,672E-03	2,003E-03	6,372E-03	5,294E-03	2,147E-01	1,190E-03

continua

Tabela A.5 – Emissões na água na fase de produção da torneira convencional (continuação)

Emissões na água											
Substância	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Latão	Cerâmica	Polioximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica	transporte (caminhão)
Toluene	mg	1,033E+00	x	7,788E-04	7,082E-01	7,691E-04	1,622E-02	1,044E-02	4,742E-03	1,950E-01	9,695E-02
Tributyltin compounds	µg	1,678E+01	x	1,908E-02	1,200E+01	1,259E-02	1,491E-01	8,424E-02	6,850E-02	3,655E+00	7,861E-01
Vanadium, ion	mg	1,382E+02	x	2,580E-02	1,375E+02	6,037E-03	7,254E-03	1,736E-02	2,394E-02	6,848E-01	9,554E-03
Xylene	µg	8,186E+02	x	6,245E-01	5,614E+02	6,128E-01	1,278E+01	8,643E+00	3,745E+00	1,544E+02	7,637E+01
Zinc, ion	g	1,629E+01	x	2,041E-04	1,627E+01	2,168E-04	2,218E-04	4,790E-04	6,666E-04	1,734E-02	4,954E-04

conclusão

Tabela A.6 – Emissões na água no ciclo de vida da torneira convencional.

Emissões na água					
Substância	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Acenaphthene	ng	1,523E+02	5,139E+01	6,747E+01	3,347E+01
Acenaphthylene	µg	1,642E+01	3,214E-03	1,641E+01	2,093E-03
Antimony	mg	1,552E+02	1,542E+02	9,772E-01	7,090E-03
Arsenic, ion	mg	4,863E+02	4,814E+02	4,864E+00	3,826E-02
Barite	mg	1,707E+02	4,527E+01	1,248E+02	6,534E-01
Barium	mg	1,708E+02	1,326E+02	3,320E+01	4,933E+00
Benzene	mg	3,654E+00	1,938E+00	1,370E+00	3,464E-01
Benzene, 1,2-dichloro-	µg	3,128E+01	9,883E+00	2,140E+01	5,725E-04
Benzene, chloro-	µg	4,115E+02	1,305E+02	2,809E+02	1,172E-02
Benzene, ethyl-	µg	6,329E+02	1,983E+02	3,055E+02	1,292E+02
Beryllium	mg	6,372E+01	6,291E+01	8,016E-01	8,903E-03
Cadmium, ion	mg	3,106E+02	3,087E+02	1,819E+00	9,832E-03
Carbon disulfide	µg	3,061E+00	1,192E+00	1,868E+00	2,993E-05
Chloroform	µg	2,679E+00	5,130E-01	2,166E+00	2,425E-05
Chromium	µg	7,466E+02	x	7,466E+02	x
Chromium VI	mg	1,091E+02	1,022E+02	6,818E+00	1,316E-01
Chromium, ion	µg	1,812E+02	7,159E+01	8,909E+01	2,055E+01
Cobalt	mg	8,268E+02	8,141E+02	1,250E+01	1,377E-01
Copper, ion	g	2,426E+00	2,407E+00	1,908E-02	2,015E-04
Dichromate	µg	1,933E+02	6,117E+01	1,319E+02	2,481E-01
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	pg	2,875E+02	x	2,875E+02	x
Ethane, 1,2-dichloro-	µg	3,134E+01	1,560E+01	1,570E+01	3,487E-02
Ethene	µg	5,550E+02	5,076E+02	3,888E+01	8,596E+00
Ethene, chloro-	ng	5,512E+02	2,898E+02	2,590E+02	2,446E+00
Ethene, tetrachloro-	ng	4,560E+00	x	4,560E+00	x
Ethene, trichloro-	ng	2,890E+02	x	2,890E+02	x
Ethylene oxide	µg	1,557E+00	5,220E-01	1,034E+00	2,631E-04
Formaldehyde	µg	1,113E+02	7,868E+01	3,158E+01	1,078E+00
Hydrogen sulfide	mg	1,924E+00	1,144E+00	7,749E-01	4,585E-03
Lead	mg	2,411E+02	2,375E+02	3,490E+00	8,026E-02
m-Xylene	µg	1,942E+00	6,180E-01	1,324E+00	6,027E-06
Mercury	µg	8,829E+02	7,815E+02	9,949E+01	1,841E+00
Methane, dichloro-, HCC-30	µg	3,072E+02	9,773E+01	1,777E+02	3,177E+01
Methane, tetrachloro-, CFC-10	ng	6,971E+00	x	6,971E+00	x
Molybdenum	mg	3,076E+02	3,039E+02	3,698E+00	3,552E-02

continua

Tabela A.6 – Emissões na água no ciclo de vida da torneira convencional (continuação)

Emissões na água					
Substância	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Nickel	mg	1,869E+00	1,869E+00	x	x
Nickel, ion	mg	4,765E+02	4,366E+02	3,935E+01	6,214E-01
o-Xylene	ng	1,226E+00	6,852E-01	5,378E-01	3,415E-03
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	µg	1,668E+02	4,864E+01	9,161E+01	2,651E+01
Phenol	mg	2,246E+00	7,728E-01	1,027E+00	4,456E-01
Phthalate, dioctyl-	pg	1,554E+02	x	1,554E+02	x
Propylene oxide	µg	1,329E+01	5,288E+00	7,651E+00	3,466E-01
Selenium	mg	2,334E+02	2,308E+02	2,577E+00	2,228E-02
Thallium	mg	2,888E+01	2,870E+01	1,775E-01	9,260E-04
Tin, ion	mg	2,794E+02	2,779E+02	1,520E+00	8,009E-03
Toluene	mg	3,269E+00	1,033E+00	1,584E+00	6,526E-01
Tributyltin compounds	µg	5,089E+01	1,678E+01	2,882E+01	5,291E+00
Vanadium, ion	mg	1,435E+02	1,382E+02	5,239E+00	6,431E-02
Xylene	mg	2,603E+00	8,186E-01	1,270E+00	5,140E-01
Zinc, ion	g	1,642E+01	1,629E+01	1,235E-01	3,335E-03

conclusão

Tabela A.7 – Emissões no solo na fase de produção da torneira convencional.

Substância	Unidade	Total	Indústria	Emissões no solo									
				Água tratada	Latão	Cerâmica	Polioximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica	transporte (caminhão)		
2,4-D	µg	9,640E+02	x	3,250E-01	6,541E+02	2,741E-01	2,539E+00	4,639E+00	3,360E+00	2,987E+02	2,623E-03		
Aldrin	mg	1,485E+01	x	5,008E-03	1,008E+01	4,223E-03	3,912E-02	7,150E-02	4,786E-02	4,603E+00	6,935E-10		
Antimony	pg	9,331E+02	x	1,495E+01	8,807E+02	3,710E+00	2,652E-01	4,053E+00	3,440E+00	2,558E+01	3,183E-01		
Arsenic	mg	1,059E+00	x	3,580E-04	7,191E-01	3,021E-04	2,801E-03	5,103E-03	3,416E-03	3,282E-01	7,478E-05		
Atrazine	mg	3,896E+00	x	1,314E-03	2,644E+00	1,108E-03	1,026E-02	1,876E-02	1,256E-02	1,208E+00	1,819E-10		
Barium	mg	1,886E+00	x	1,500E-03	1,313E+00	2,153E-03	1,772E-02	1,223E-02	8,284E-03	4,375E-01	9,324E-02		
Benomyl	ng	2,623E+00	x	4,071E-04	8,664E-01	9,456E-04	3,446E-03	2,748E-03	1,622E+00	1,099E-01	1,672E-02		
Bentazone	ng	5,451E+01	x	1,177E-01	3,069E+01	1,492E-01	4,687E-02	2,897E-01	1,878E+01	4,369E+00	6,488E-02		
Cadmium	µg	1,364E+01	x	4,878E-03	9,258E+00	1,044E-02	5,147E-02	6,676E-02	5,284E-02	4,086E+00	1,115E-01		
Carbofuran	µg	1,438E+00	x	2,232E-04	4,750E-01	5,184E-04	1,889E-03	1,506E-03	8,893E-01	6,027E-02	9,169E-03		
Chlorothalomi	µg	8,036E+01	x	1,969E-02	6,058E+01	2,422E-03	4,040E-03	1,088E-02	1,931E+01	4,576E-01	1,007E-03		
Chromium	µg	1,289E+02	x	5,626E-02	8,795E+01	6,893E-02	5,408E-01	6,561E-01	4,685E-01	3,767E+01	1,469E+00		
Chromium VI	mg	2,347E+00	x	9,566E-04	1,604E+00	8,036E-04	6,290E-03	1,134E-02	7,704E-03	7,152E-01	1,415E-03		
Cobalt	µg	1,925E+00	x	1,015E-03	1,316E+00	2,011E-02	4,896E-03	9,165E-03	6,974E-03	5,666E-01	5,387E-04		
Copper	mg	1,571E+00	x	6,322E-04	1,074E+00	5,508E-04	5,236E-03	7,707E-03	5,424E-03	4,689E-01	8,326E-03		
Cypermethrin	ng	2,076E+02	x	3,252E-02	7,043E+01	7,447E-02	2,673E-01	2,155E-01	1,267E-02	8,567E+00	1,295E+00		
Glyphosate	mg	1,391E+00	x	4,860E-04	9,433E-01	3,989E-04	3,658E-03	6,684E-03	6,250E-03	4,298E-01	3,561E-05		
Lead	µg	1,134E+02	x	3,797E-02	7,666E+01	7,519E-02	9,414E-01	5,724E-01	4,561E-01	3,004E+01	4,568E+00		
Linuron	mg	3,248E+00	x	1,097E-03	2,204E+00	9,254E-04	8,553E-03	1,564E-02	1,075E-02	1,006E+00	9,795E-07		
Mercury	ng	3,849E+01	x	8,872E-03	2,995E+01	1,545E-02	3,009E-02	6,122E-02	5,007E+00	3,415E+00	7,071E-03		
Metolachlor	µg	5,955E+00	x	1,286E-02	3,353E+00	1,630E-02	5,121E-03	3,166E-02	2,052E+00	4,774E-01	7,089E-03		

continua

Tabela A.7 – Emissões no solo na fase de produção da torneira convencional (continuação)

Substância	Unidade	Total	Indústria	Emissões no solo								transporte (caminhão)
				Água tratada	Latão	Cerâmica	Polioximeti- leno	Borracha	Papelão	Energia elétrica		
Molybdenum	ng	4,095E+02	x	2,115E-01	2,879E+02	1,892E-01	1,009E+00	1,893E+00	1,474E+00	1,167E+02	1,176E-01	
Nickel	µg	5,509E+01	x	1,930E-02	3,736E+01	3,414E-02	3,461E-01	2,756E-01	2,687E-01	1,535E+01	1,436E+00	
Pirimidicarb	ng	5,156E+00	x	1,113E-02	2,903E+00	1,411E-02	4,434E-03	2,741E-02	1,776E+00	4,133E-01	6,137E-03	
Thiram	ng	4,653E+00	x	7,222E-04	1,537E+00	1,678E-03	6,114E-03	4,875E-03	2,878E+00	1,950E-01	2,967E-02	
Tin	µg	9,003E+02	x	3,036E-01	6,111E+02	2,561E-01	2,371E+00	4,334E+00	2,902E+00	2,790E+02	4,501E-05	
Vanadium	µg	4,082E+00	x	2,211E-03	2,790E+00	1,705E-03	1,073E-02	2,006E-02	1,415E-02	1,242E+00	1,143E-03	
Zinc	mg	1,408E+00	x	4,168E-04	9,295E-01	9,344E-04	4,829E-02	8,760E-03	9,729E-03	9,416E-02	3,162E-01	

conclusão

Tabela A.8 – Emissões no solo no ciclo de vida da torneira convencional.

Emissões no solo					
Substância	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
2,4-D	mg	3,078E+00	9,640E-01	2,114E+00	1,766E-05
Aldrin	mg	4,743E+01	1,485E+01	3,258E+01	4,668E-09
Antimony	ng	1,116E+00	9,331E-01	1,810E-01	2,142E-03
Arsenic	mg	3,384E+00	1,059E+00	2,324E+00	5,033E-04
Atrazine	mg	1,244E+01	3,896E+00	8,547E+00	1,225E-09
Barium	mg	5,610E+00	1,886E+00	3,097E+00	6,276E-01
Benomyl	ng	3,513E+00	2,623E+00	7,780E-01	1,126E-01
Bentazone	ng	8,586E+01	5,451E+01	3,092E+01	4,367E-01
Cadmium	µg	4,335E+01	1,364E+01	2,896E+01	7,503E-01
Carbofuran	µg	1,926E+00	1,438E+00	4,265E-01	6,171E-02
Chlorothalonil	µg	8,361E+01	8,036E+01	3,239E+00	6,776E-03
Chromium	µg	4,168E+02	1,289E+02	2,781E+02	9,889E+00
Chromium VI	mg	7,418E+00	2,347E+00	5,062E+00	9,524E-03
Cobalt	µg	5,990E+00	1,925E+00	4,061E+00	3,626E-03
Copper	mg	4,946E+00	1,571E+00	3,319E+00	5,604E-02
Cypermethrin	ng	2,769E+02	2,076E+02	6,063E+01	8,718E+00
Glyphosate	mg	4,433E+00	1,391E+00	3,042E+00	2,397E-04
Lead	µg	3,579E+02	1,134E+02	2,138E+02	3,075E+01
Linuron	mg	1,037E+01	3,248E+00	7,123E+00	6,593E-06
Mercury	ng	6,990E+01	3,849E+01	3,136E+01	4,760E-02
Metolachlor	µg	9,382E+00	5,955E+00	3,379E+00	4,771E-02
Molybdenum	µg	1,236E+00	4,095E-01	8,259E-01	7,917E-04
Nickel	µg	1,738E+02	5,509E+01	1,090E+02	9,667E+00
Pirimicarb	ng	8,122E+00	5,156E+00	2,925E+00	4,131E-02
Thiram	ng	6,233E+00	4,653E+00	1,380E+00	1,997E-01
Tin	mg	2,875E+00	9,003E-01	1,975E+00	3,030E-07
Vanadium	µg	1,288E+01	4,082E+00	8,790E+00	7,693E-03
Zinc	mg	4,239E+00	1,408E+00	7,033E-01	2,128E+00

APÊNDICE B

Entradas e saídas utilizadas na caracterização das categorias de impacto ambiental nas fases do ciclo de vida da torneira economizadora de água

Tabela B.1 – Consumo de água no ciclo de vida da torneira economizadora de água.

Fase	Subitem	Consumo de água (m³)
Produção	Processo industrial	0,015
	Latão (extração, beneficiamento e transporte)	0,025
	Aço inoxidável (extração, beneficiamento e transporte)	6,629E-04
	Polioximetileno (extração, beneficiamento e transporte)	7,624E-05
	Borracha (extração, beneficiamento e transporte)	0,005
	Papelão (extração, beneficiamento e transporte)	0,038
	Energia elétrica na indústria de metais sanitários	0,002
	transporte de caminhão(da indústria ao campus)	2,023E-04
Uso		23,254
Disposição final		0,001
Total		23,341

Tabela B.2 – Consumo de energia total no ciclo de vida da torneira economizadora de água.

Fase	Subitem	Consumo de energia total (MJ)
Produção	Consumo de água na indústria de metais sanitários	0,033
	Latão (extração, beneficiamento e transporte)	32,800
	Aço inoxidável (extração, beneficiamento e transporte)	0,340
	Polioximetileno (extração, beneficiamento e transporte)	0,177
	Borracha (extração, beneficiamento e transporte)	0,638
	Papelão (extração, beneficiamento e transporte)	5,654
	Processo industrial	15,447
	transporte de caminhão(da indústria ao campus)	0,819
Uso		75,479
Disposição final		5,157
Total		136,543

Emissões no ar											
Substância	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Latão	Aço inoxidável	Políoximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica	transporte (caminhão)
Acenaphthene	ng	6,276E+00	x	4,250E-03	3,965E+00	4,333E-02	1,193E-02	6,230E-02	2,169E-01	1,970E+00	2,513E-03
Acrolein	µg	1,001E+00	x	8,391E-04	6,360E-01	6,347E-03	1,912E-03	9,936E-03	5,541E-02	2,885E-01	1,947E-03
Ammonia	g	1,050E+00	x	8,590E-05	1,017E+00	4,876E-04	1,739E-04	8,374E-04	8,604E-03	2,217E-02	4,076E-04
Antimony	µg	4,265E+01	x	4,868E-02	3,326E+01	1,657E-01	4,744E-02	3,268E-01	1,234E+00	7,531E+00	2,712E-02
Arsenic	µg	4,213E+02	x	4,198E-01	3,291E+02	1,550E+00	4,672E-01	2,946E+00	1,585E+01	7,045E+01	4,779E-01
Barium	µg	1,232E+02	x	1,825E-01	8,638E+01	6,445E-01	1,974E-01	1,124E+00	5,132E+00	2,930E+01	2,282E-01
Benzene	mg	2,269E+01	x	1,338E-02	1,350E+01	1,347E-01	5,023E-02	2,316E-01	2,507E+00	6,122E+00	1,336E-01
Benzene, 1,2-dichloro-	µg	2,181E+00	x	1,005E-03	1,364E+00	1,518E-02	4,086E-03	2,072E-02	8,631E-02	6,899E-01	3,624E-07
Benzene, ethyl-	µg	3,184E+02	x	2,394E-01	1,649E+02	1,041E+00	3,307E+00	2,999E+00	6,966E+01	4,732E+01	2,892E+01
Benzene, hexachloro-	ng	1,717E+02	x	2,764E+00	1,418E+02	4,511E-01	1,886E-01	9,845E-01	4,352E+00	2,051E+01	6,416E-01
Benzene, pentachloro-	ng	1,232E+01	x	2,066E-01	1,068E+01	2,005E-02	6,856E-03	1,063E-01	3,786E-01	9,117E-01	1,392E-02
Beryllium	µg	1,788E+01	x	3,987E-03	1,745E+01	7,581E-03	2,275E-03	1,296E-02	5,892E-02	3,446E-01	2,240E-03
Butadiene	ng	1,211E+02	x	5,410E-02	7,353E+01	8,010E-01	2,158E-01	1,125E+00	8,955E+00	3,641E+01	1,223E-03
Cadmium	µg	2,107E+02	x	1,266E-01	1,791E+02	4,461E-01	1,783E-01	9,817E-01	9,000E+00	2,028E+01	5,560E-01
Carbon dioxide, fossil	kg	1,830E+00	x	2,117E-03	1,257E+00	8,459E-03	9,707E-03	2,029E-02	7,720E-02	3,845E-01	7,099E-02
Carbon dioxide, land transformation	kg	1,196E+00	x	5,408E-04	7,326E-01	3,919E-02	2,200E-03	1,116E-02	3,913E-02	3,715E-01	1,885E-07
Carbon disulfide	g	1,455E+00	x	7,737E-06	1,454E+00	2,798E-05	7,925E-06	8,287E-05	2,790E-04	1,272E-03	3,751E-06

continua

Tabela B.3 – Emissões no ar na fase de produção da torneira economizadora de água (continuação)											
Emissões no ar											
Substância	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Latão	Aço inoxidável	Polioximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica	transporte (caminhão)
Carbon monoxide, fossil	g	7,630E+00	x	5,797E-03	5,142E+00	1,482E-01	1,431E-01	8,330E-02	3,433E-01	4,213E-01	1,344E+00
Chloroform	µg	5,388E+00	x	1,107E-02	3,366E+00	3,697E-02	1,000E-02	5,326E-02	2,291E-01	1,681E+00	4,854E-04
Chromium	mg	1,168E+01	x	2,980E-03	9,598E+00	1,610E+00	2,414E-03	1,855E-02	1,014E-01	3,467E-01	3,448E-03
Chromium VI	µg	2,416E+02	x	7,747E-02	2,272E+02	1,059E+00	6,360E-02	5,073E-01	2,577E+00	1,009E+01	3,675E-02
Cobalt	µg	2,635E+02	x	8,941E-02	2,469E+02	1,994E-01	8,602E-02	5,479E-01	6,351E+00	9,064E+00	3,090E-01
Copper	mg	2,322E+00	x	1,582E-03	1,789E+00	4,957E-03	1,574E-02	1,571E-02	1,320E-01	2,253E-01	1,376E-01
Dinitrogen monoxide	mg	1,803E+02	x	7,496E-02	1,335E+02	7,514E-01	2,186E-01	1,087E+00	1,031E+01	3,416E+01	1,556E-01
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	pg	5,868E+02	x	2,999E+00	2,864E+02	3,282E+01	4,260E-01	2,503E+00	2,046E+02	5,620E+01	8,900E-01
Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	ng	5,272E+01	x	4,778E-01	3,847E+01	1,663E-01	1,382E-01	1,069E+00	3,953E+00	7,559E+00	8,927E-01
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	ng	2,637E+00	x	3,155E-03	1,656E+00	1,716E-02	4,955E-03	4,038E-02	1,328E-01	7,800E-01	3,214E-03
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	µg	5,231E+02	x	1,687E-01	3,150E+02	1,178E-01	1,602E+01	6,852E+00	2,683E+01	5,356E+00	1,527E+02
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	ng	2,602E+00	x	4,314E-03	1,782E+00	3,802E-03	1,165E-03	1,358E-01	5,008E-01	1,728E-01	1,355E-03
Ethane, 1,2-dichloro-	µg	6,426E+01	x	1,894E-01	5,362E+01	1,158E-01	4,313E-02	1,639E+00	3,275E+00	5,265E+00	1,142E-01

continua

Tabela B.3 – Emissões no ar na fase de produção da torneira economizadora de água (continuação)											
Emissões no ar											
Substância	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Latão	Aço inoxidável	Polióximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica	transporte (caminhão)
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	µg	1,152E+01	x	1,228E-02	7,344E+00	7,720E-02	2,229E-02	1,169E-01	4,219E-01	3,510E+00	1,435E-02
Ethane, hexafluoro-, HFC-116	µg	5,361E+01	x	1,657E-02	4,700E+01	1,002E-01	2,749E-02	2,045E-01	1,702E+00	4,554E+00	5,022E-03
Ethene	mg	2,029E+00	x	1,525E-01	1,427E+00	3,783E-03	7,327E-03	2,707E-02	1,791E-01	1,720E-01	6,027E-02
Ethene, chloro-	µg	2,544E+01	x	1,291E-01	2,091E+01	6,405E-02	2,138E-02	4,181E-01	9,452E-01	2,912E+00	3,953E-02
Ethene, tetrachloro-	ng	5,724E+00	x	7,218E-03	3,597E+00	3,702E-02	1,077E-02	8,885E-02	2,922E-01	1,683E+00	7,662E-03
Ethylene oxide	µg	7,233E+00	x	3,737E-03	6,247E+00	3,827E-03	2,867E-03	3,251E-01	4,593E-01	1,740E-01	1,755E-02
Formaldehyde	mg	1,650E+00	x	4,094E-03	9,460E-01	5,407E-03	1,789E-03	1,287E-02	4,306E-01	2,458E-01	3,184E-03
Hydrogen chloride	mg	2,987E+01	x	5,890E-02	2,219E+01	1,188E-01	4,137E-02	3,235E-01	1,648E+00	5,402E+00	8,965E-02
Hydrogen fluoride	mg	7,731E+00	x	1,199E-02	5,450E+00	3,998E-02	1,246E-02	7,370E-02	3,098E-01	1,818E+00	1,615E-02
Hydrogen sulfide	mg	5,453E+00	x	7,795E-03	3,604E+00	3,400E-02	9,657E-03	5,172E-02	1,959E-01	1,546E+00	4,806E-03
Lead	mg	6,075E+00	x	2,021E-03	5,723E+00	4,670E-03	2,253E-03	1,089E-02	1,109E-01	2,123E-01	9,510E-03
m-Xylene	µg	3,259E+02	x	6,681E-02	6,236E+01	6,740E-01	1,844E-01	9,609E-01	2,310E+02	3,064E+01	2,811E-02
Mercury	µg	4,206E+01	x	3,649E-01	3,085E+01	1,509E-01	9,337E-02	3,234E-01	2,920E+00	6,860E+00	5,039E-01
Methane, biogenic	g	2,223E+01	x	1,290E-02	1,395E+01	1,556E-01	4,190E-02	2,126E-01	7,791E-01	7,075E+00	5,333E-05
Methane, bromo-, Halon 1001	pg	9,112E+03	x	4,342E-05	3,183E-03	1,308E-05	3,938E-06	1,425E-03	3,845E-03	5,948E-04	3,971E-06
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	µg	1,045E+01	x	7,784E-03	6,789E+00	6,798E-02	1,883E-02	1,009E-01	3,685E-01	3,090E+00	5,091E-03

continua

Tabela B.3 – Emissões no ar na fase de produção da torneira economizadora de água (continuação)											
Emissões no ar											
Substância	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Latão	Aço inoxidável	Polioximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica	transporte (caminhão)
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	µg	8,154E+00	x	6,604E-03	5,036E+00	2,701E-02	1,276E-01	2,125E-01	3,666E-01	1,228E+00	1,149E+00
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	µg	8,796E+01	x	8,294E-02	5,610E+01	5,962E-01	1,630E-01	8,535E-01	3,040E+00	2,710E+01	2,413E-02
Methane, dichloro-, HCC-30	µg	1,447E+00	x	1,226E-03	9,005E-01	9,808E-03	2,650E-03	1,407E-02	7,327E-02	4,458E-01	9,229E-05
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	ng	9,128E+01	x	1,005E+00	5,745E+01	5,420E-01	1,493E-01	1,116E+00	6,352E+00	2,464E+01	3,234E-02
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	pg	2,345E+01	x	5,723E+00	1,220E+01	2,729E-02	9,554E-03	9,004E-01	3,320E+00	1,241E+00	2,109E-02
Methane, fossil	g	3,004E+00	x	3,512E-03	1,961E+00	1,582E-02	1,755E-02	4,623E-02	1,140E-01	7,190E-01	1,270E-01
Methane, monochloro-, R-40	ng	7,100E+01	x	8,900E-02	4,484E+01	4,559E-01	1,317E-01	1,080E+00	3,590E+00	2,072E+01	8,605E-02
Methane, tetrachloro-, CFC-10	µg	3,396E+00	x	5,318E-03	2,896E+00	5,157E-03	1,999E-03	2,406E-02	2,228E-01	2,344E-01	5,835E-03
Methane, tetrafluoro-, CFC-14	µg	4,809E+02	x	1,464E-01	4,219E+02	8,992E-01	2,467E-01	1,756E+00	1,500E+01	4,088E+01	4,421E-02
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	pg	3,806E+01	x	9,291E+00	1,981E+01	4,430E-02	1,551E-02	1,462E+00	5,390E+00	2,014E+00	3,424E-02

continua

Tabela B.3 – Emissões no ar na fase de produção da torneira economizadora de água (continuação)											
Emissões no ar											
Substância	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Latão	Aço inoxidável	Polioximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica	transporte (caminhão)
Methane, trifluoro-, HFC-23	ng	7,460E+00	x	1,821E+00	3,883E+00	8,683E-03	3,040E-03	2,865E-01	1,056E+00	3,947E-01	6,710E-03
Molybdenum	µg	1,097E+02	x	3,321E-02	1,338E+01	8,809E+01	4,647E-02	2,423E-01	2,860E+00	4,868E+00	1,685E-01
Nickel	mg	1,997E+00	x	1,203E-03	1,270E+00	4,222E-01	1,998E-03	9,258E-03	1,244E-01	1,578E-01	1,016E-02
Nitrogen oxides	g	1,347E+01	x	5,067E-03	1,020E+01	1,185E-01	1,881E-01	1,011E-01	5,200E-01	5,684E-01	1,765E+00
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	µg	3,418E+02	x	3,393E-01	2,468E+02	1,217E+00	3,793E-01	3,129E+00	3,411E+01	5,533E+01	4,935E-01
Particulates, < 2.5 µm	g	3,728E+00	x	7,032E-04	3,592E+00	1,465E-03	1,405E-03	4,471E-03	5,136E-02	6,659E-02	9,654E-03
Particulates, > 2.5 µm, and < 10µm	g	3,157E+00	x	1,092E-03	3,022E+00	6,374E-02	7,812E-04	2,296E-03	1,376E-02	4,900E-02	4,691E-03
Phenol	µg	5,116E+01	x	3,913E-02	4,086E+01	7,178E-02	2,030E-02	4,688E+00	2,212E+00	3,263E+00	9,343E-03
Phenol, 2,4-dichloro-	ng	7,661E+02	x	3,552E-01	4,812E+02	5,367E+00	1,445E+00	7,329E+00	2,645E+01	2,440E+02	8,195E-04
Phenol, pentachloro-	µg	5,471E+01	x	2,913E-02	3,443E+01	3,820E-01	1,036E-01	5,291E-01	1,862E+00	1,736E+01	7,019E-03
Propylene oxide	µg	2,456E+00	x	9,395E-03	1,593E+00	1,057E-02	5,239E-03	6,056E-02	2,739E-01	4,804E-01	2,287E-02
Selenium	µg	6,447E+01	x	9,356E-02	4,590E+01	2,910E-01	1,255E-01	6,131E-01	3,764E+00	1,323E+01	4,503E-01
Sodium dichromate	µg	1,732E+01	x	4,167E-02	1,084E+01	1,179E-01	3,286E-02	1,645E-01	7,522E-01	5,361E+00	1,061E-02
Styrene	µg	4,005E+00	x	1,712E-02	3,277E+00	7,033E-03	2,231E-03	7,217E-02	3,065E-01	3,197E-01	3,225E-03
Sulfur dioxide	g	2,428E+00	x	4,222E-03	1,471E+00	1,856E-01	4,792E-03	2,956E-02	2,183E-01	4,971E-01	1,766E-02
Sulfur hexafluoride	µg	1,413E+02	x	1,401E-01	8,938E+01	9,628E-01	2,745E-01	1,459E+00	5,144E+00	4,377E+01	1,463E-01
Sulfur oxides	g	1,941E+01	1,941E+01	x	x	x	x	x	x	x	x

continua

Tabela B.3 – Emissões no ar na fase de produção da torneira economizadora de água (continuação)

Substância	Unidade	Total	Indústria	Emissões no ar							
				Água tratada	Latão	Aço inoxidável	Polioximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica	transporte (caminhão)
Thallium	µg	1,269E+00	x	9,704E-03	1,027E+00	4,019E-03	1,125E-03	6,328E-03	3,759E-02	1,827E-01	4,074E-04
Tin	µg	1,068E+02	x	7,185E-02	9,431E+01	2,167E-01	6,206E-02	4,411E-01	1,848E+00	9,852E+00	3,556E-02
Toluene	mg	2,941E+00	x	2,966E-03	1,533E+00	1,033E-02	2,174E-02	2,522E-02	6,981E-01	4,694E-01	1,811E-01
Vanadium	µg	9,223E+02	x	1,078E+00	4,516E+02	1,878E+00	1,799E+00	1,205E+01	3,562E+02	8,537E+01	1,236E+01
Xylene	mg	3,441E+00	x	5,395E-03	2,236E+00	1,876E-02	1,789E-02	3,826E-02	1,490E-01	8,529E-01	1,227E-01
Zinc	mg	1,917E+02	x	6,714E-03	1,905E+02	5,954E-03	7,760E-03	1,834E-02	8,361E-01	2,707E-01	5,882E-02

conclusão

Tabela B.4 – Emissões no ar no ciclo de vida da torneira economizadora de água.

Emissões no ar					
Substância	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Acenaphthene	ng	1,589E+01	6,276E+00	9,602E+00	1,583E-02
Acrolein	µg	2,421E+00	1,001E+00	1,407E+00	1,226E-02
Ammonia	g	1,161E+00	1,050E+00	1,085E-01	2,567E-03
Antimony	µg	8,152E+01	4,265E+01	3,871E+01	1,708E-01
Arsenic	µg	7,816E+02	4,213E+02	3,572E+02	3,010E+00
Barium	µg	3,019E+02	1,232E+02	1,773E+02	1,437E+00
Benzene	mg	5,369E+01	2,269E+01	3,016E+01	8,412E-01
Benzene, 1,2-dichloro-	µg	5,544E+00	2,181E+00	3,363E+00	2,283E-06
Benzene, ethyl-	µg	9,593E+02	3,184E+02	4,588E+02	1,821E+02
Benzene, hexachloro-	ng	2,758E+02	1,717E+02	1,001E+02	4,040E+00
Benzene, pentachloro-	ng	1,722E+01	1,232E+01	4,813E+00	8,767E-02
Beryllium	µg	1,994E+01	1,788E+01	2,047E+00	1,410E-02
Butadiene	ng	2,986E+02	1,211E+02	1,775E+02	7,703E-03
Cadmium	µg	3,298E+02	2,107E+02	1,156E+02	3,501E+00
Carbon dioxide	g	1,937E+02	x	1,937E+02	x
Carbon dioxide, fossil	kg	4,151E+00	1,830E+00	1,874E+00	4,471E-01
Carbon dioxide, land transformation	kg	3,007E+00	1,196E+00	1,811E+00	1,187E-06
Carbon disulfide	g	1,462E+00	1,455E+00	6,200E-03	2,362E-05
Carbon monoxide	mg	4,528E+01	x	4,528E+01	x
Carbon monoxide, fossil	g	1,815E+01	7,630E+00	2,053E+00	8,461E+00
Chloroform	µg	1,365E+01	5,388E+00	8,257E+00	3,057E-03
Chromium	mg	1,342E+01	1,168E+01	1,710E+00	2,172E-02
Chromium VI	µg	2,910E+02	2,416E+02	4,918E+01	2,315E-01
Cobalt	µg	3,402E+02	2,635E+02	7,477E+01	1,946E+00
Copper	mg	4,344E+00	2,322E+00	1,156E+00	8,669E-01
Dinitrogen monoxide	mg	3,539E+02	1,803E+02	1,726E+02	9,799E-01
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo-p-	pg	8,753E+02	5,868E+02	2,828E+02	5,605E+00
Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	ng	9,519E+01	5,272E+01	3,684E+01	5,622E+00
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	ng	6,459E+00	2,637E+00	3,802E+00	2,024E-02
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	mg	1,511E+00	5,231E-01	2,610E-02	9,620E-01
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	ng	3,453E+00	2,602E+00	8,424E-01	8,536E-03

continua

Tabela B.4 – Emissões no ar no ciclo de vida da torneira economizadora de água (continuação)

Emissões no ar					
Substância	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Ethane, 1,2-dichloro-	µg	9,064E+01	6,426E+01	2,566E+01	7,189E-01
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	µg	5,255E+01	1,152E+01	4,094E+01	9,039E-02
Ethane, hexafluoro-, HFC-116	µg	7,659E+01	5,361E+01	2,294E+01	3,163E-02
Ethene	mg	3,471E+00	2,029E+00	1,062E+00	3,796E-01
Ethene, chloro-	µg	4,028E+01	2,544E+01	1,459E+01	2,489E-01
Ethene, tetrachloro-	ng	1,398E+01	5,724E+00	8,204E+00	4,825E-02
Ethylene oxide	µg	8,192E+00	7,233E+00	8,481E-01	1,105E-01
Formaldehyde	mg	3,304E+00	1,650E+00	1,634E+00	2,005E-02
Hydrogen chloride	mg	8,180E+01	2,987E+01	5,136E+01	5,646E-01
Hydrogen fluoride	mg	1,998E+01	7,731E+00	1,215E+01	1,017E-01
Hydrogen sulfide	mg	1,315E+01	5,453E+00	7,670E+00	3,027E-02
Lead	mg	7,230E+00	6,075E+00	1,095E+00	5,989E-02
m-Xylene	µg	4,754E+02	3,259E+02	1,493E+02	1,771E-01
Mercury	µg	8,736E+01	4,206E+01	4,213E+01	3,174E+00
Methane	mg	3,247E+02	x	3,247E+02	x
Methane, biogenic	g	5,672E+01	2,223E+01	3,448E+01	3,359E-04
Methane, bromo-, Halon 1001	pg	1,204E-02	9,112E-03	2,899E-03	2,501E-05
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	µg	2,554E+01	1,045E+01	1,506E+01	3,206E-02
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	µg	3,207E+01	8,154E+00	1,668E+01	7,239E+00
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	µg	2,204E+02	8,796E+01	1,323E+02	1,520E-01
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	ng	1,219E+02	x	1,219E+02	x
Methane, dichloro-, HCC-30	µg	3,730E+00	1,447E+00	2,282E+00	5,812E-04
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	ng	4,061E+02	9,128E+01	3,146E+02	2,037E-01
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	ng	8,744E+02	2,345E-02	8,744E+02	1,328E-04
Methane, fóssil	g	7,308E+00	3,004E+00	3,505E+00	7,996E-01
Methane, monochloro-, R-40	ng	1,726E+02	7,100E+01	1,010E+02	5,419E-01
Methane, tetrachloro-, CFC-10	µg	5,177E+00	3,396E+00	1,744E+00	3,674E-02
Methane, tetrafluoro-, CFC-14	µg	6,872E+02	4,809E+02	2,060E+02	2,784E-01
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	ng	9,044E+02	3,806E-02	9,043E+02	2,156E-04

continua

Tabela B.4 – Emissões no ar no ciclo de vida da torneira economizadora de água (continuação)

Emissões no ar					
Substância	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Methane, trifluoro-, HFC-23	ng	9,426E+00	7,460E+00	1,924E+00	4,226E-02
Molybdenum	µg	1,471E+02	1,097E+02	3,637E+01	1,061E+00
Nickel	mg	3,235E+00	1,997E+00	1,174E+00	6,398E-02
Nitrogen oxides	g	2,771E+01	1,347E+01	3,124E+00	1,112E+01
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	µg	6,190E+02	3,418E+02	2,741E+02	3,108E+00
Particulates, < 10 um (mobile)	mg	1,165E+00	x	1,165E+00	x
Particulates, < 10 um (stationary)	mg	5,687E+01	x	5,687E+01	x
Particulates, < 2.5 um	g	4,113E+00	3,728E+00	3,246E-01	6,080E-02
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	g	3,426E+00	3,157E+00	2,389E-01	2,954E-02
Phenol	µg	6,733E+01	5,116E+01	1,611E+01	5,884E-02
Phenol, 2,4-dichloro-	µg	1,955E+00	7,661E-01	1,189E+00	5,161E-06
Phenol, pentachloro-	µg	1,394E+02	5,471E+01	8,463E+01	4,421E-02
Propylene oxide	µg	4,942E+00	2,456E+00	2,342E+00	1,440E-01
Selenium	µg	1,585E+02	6,447E+01	9,117E+01	2,836E+00
Sodium dichromate	µg	4,352E+01	1,732E+01	2,613E+01	6,679E-02
Styrene	µg	5,584E+00	4,005E+00	1,558E+00	2,031E-02
Sulfur dioxide	g	4,962E+00	2,428E+00	2,423E+00	1,112E-01
Sulfur hexafluoride	µg	3,555E+02	1,413E+02	2,133E+02	9,217E-01
Sulfur oxides	g	2,058E+01	1,941E+01	1,168E+00	x
Thallium	µg	2,404E+00	1,269E+00	1,133E+00	2,566E-03
Tin	µg	1,558E+02	1,068E+02	4,875E+01	2,239E-01
Toluene	mg	6,809E+00	2,941E+00	2,726E+00	1,141E+00
Vanadium	mg	2,951E+00	9,223E-01	1,951E+00	7,781E-02
Xylene	mg	9,337E+00	3,441E+00	5,123E+00	7,727E-01
Zinc	mg	1,934E+02	1,917E+02	1,399E+00	3,705E-01

conclusão

Tabela B.5 – Emissões na água na fase de produção da torneira economizadora de água.

Emissões na água											
Substância	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Latão	Aço inoxidável	Polioximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica	transporte (caminhão)
Acenaphthene	ng	5,394E+01	x	5,507E-02	3,387E+01	2,241E-01	6,166E-01	1,149E+00	2,526E+00	1,019E+01	5,314E+00
Acenaphthylene	ng	3,373E+00	x	3,444E-03	2,118E+00	1,402E-02	3,856E-02	7,189E-02	1,579E-01	6,372E-01	3,324E-01
Ammonia	µg	8,530E+02	x	x	x	8,530E+02	x	x	x	x	x
Antimony	mg	1,485E+02	x	1,706E-03	1,482E+02	3,242E-03	9,907E-04	2,046E-02	3,581E-02	1,474E-01	1,126E-03
Arsenic, ion	mg	4,635E+02	x	1,384E-02	4,626E+02	1,566E-02	4,853E-03	3,525E-02	1,537E-01	7,121E-01	6,075E-03
Barite	mg	4,718E+01	x	4,587E-02	3,065E+01	2,992E-01	9,141E-02	4,737E-01	1,913E+00	1,360E+01	1,037E-01
Barium	mg	1,289E+02	x	3,651E-02	1,235E+02	7,531E-02	1,023E-01	2,678E-01	7,232E-01	3,423E+00	7,833E-01
Benzene	mg	2,038E+00	x	9,296E-04	1,603E+00	3,737E-03	6,763E-03	8,252E-02	1,162E-01	1,699E-01	5,500E-02
Benzene, 1,2-dichloro-	µg	1,037E+01	x	4,949E-03	6,481E+00	7,107E-02	1,914E-02	1,047E-01	4,626E-01	3,231E+00	9,091E-05
Benzene, chloro-	µg	1,372E+02	x	6,681E-02	8,575E+01	9,333E-01	2,514E-01	1,432E+00	6,351E+00	4,242E+01	1,861E-03
Benzene, ethyl-	µg	2,082E+02	x	2,126E-01	1,307E+02	8,649E-01	2,379E+00	4,436E+00	9,748E+00	3,932E+01	2,051E+01
Beryllium	mg	6,058E+01	x	1,194E-03	6,043E+01	2,662E-03	8,647E-04	6,141E-03	2,179E-02	1,210E-01	1,414E-03
Cadmium	ng	3,074E+02	x	x	x	3,074E+02	x	x	x	x	x
Cadmium, ion	mg	2,973E+02	x	3,192E-03	2,969E+02	6,020E-03	1,784E-03	1,450E-02	8,709E-02	2,736E-01	1,561E-03
Carbon disulfide	µg	2,025E+00	x	4,199E-04	8,048E-01	6,207E-03	1,671E-03	8,508E-03	9,211E-01	2,822E-01	4,752E-06
Chloroform	ng	5,409E+02	x	2,609E-01	3,364E+02	3,684E+00	9,922E-01	5,394E+00	2,670E+01	1,675E+02	3,850E-03
Chromium	µg	1,300E+01	x	x	x	1,300E+01	x	x	x	x	x
Chromium VI	mg	9,872E+01	x	4,529E-02	9,729E+01	2,588E-02	8,285E-03	5,326E-02	2,475E-01	1,030E+00	2,090E-02
Chromium, ion	µg	7,633E+01	x	3,661E-01	5,216E+01	2,959E-01	4,212E-01	6,375E-01	5,734E+00	1,345E+01	3,263E+00

continua

Tabela B.5 – Emissões na água na fase de produção da torneira economizadora de água (continuação)

Emissões na água											
Substância	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Latão	Aço inoxidável	Polioximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica	transporte (caminhão)
Cobalt	mg	7,842E+02	x	2,347E-02	7,817E+02	4,103E-02	1,334E-02	9,892E-02	4,252E-01	1,865E+00	2,186E-02
Copper	µg	1,720E+00	x	x	x	1,720E+00	x	x	x	x	x
Copper, ion	g	2,318E+00	x	3,404E-05	2,314E+00	6,215E-05	2,008E-05	1,564E-04	1,028E-03	2,825E-03	3,199E-05
Dichromate	µg	6,355E+01	x	3,573E-02	4,022E+01	4,381E-01	1,221E-01	6,106E-01	2,167E+00	1,992E+01	3,939E-02
Ethane, 1,2-dichloro-	µg	1,653E+01	x	5,026E-03	1,269E+01	5,215E-02	1,462E-02	7,823E-02	1,310E+00	2,371E+00	5,537E-03
Ethene	µg	5,338E+02	x	1,065E-01	4,667E+02	1,292E-01	1,776E-01	2,478E+01	3,471E+01	5,871E+00	1,365E+00
Ethene, chloro-	ng	2,932E+02	x	1,685E+00	2,392E+02	8,560E-01	2,711E-01	3,004E+00	8,849E+00	3,891E+01	3,883E-01
Ethylene oxide	ng	5,751E+02	x	3,388E-01	3,514E+02	3,436E+00	9,295E-01	7,791E+00	5,495E+01	1,562E+02	4,178E-02
Formaldehyde	µg	8,277E+01	x	2,186E-02	6,889E+01	1,049E-01	4,616E-02	3,882E+00	4,885E+00	4,768E+00	1,712E-01
Hydrogen sulfide	mg	3,016E+00	x	7,929E-01	2,973E-01	2,565E-03	7,666E-04	4,444E-03	1,801E+00	1,166E-01	7,280E-04
Lead	mg	2,289E+02	x	6,878E-02	2,280E+02	1,740E-02	4,057E-03	2,349E-02	2,906E-01	4,598E-01	1,274E-02
m-Xylene	ng	6,753E+02	x	2,993E-01	4,047E+02	4,397E+00	1,184E+00	6,269E+00	5,853E+01	1,999E+02	9,569E-04
Mercury	µg	7,573E+02	x	2,378E-01	7,373E+02	3,299E-01	1,194E-01	7,911E-01	3,226E+00	1,500E+01	2,924E-01
Methane, dichloro-, HCC-30	µg	1,022E+02	x	1,097E-01	6,549E+01	5,373E-01	6,727E-01	1,303E+00	4,638E+00	2,443E+01	5,045E+00
Molybdenum	mg	2,927E+02	x	4,778E-03	2,920E+02	3,479E-02	3,655E-03	2,636E-02	1,035E-01	5,175E-01	5,640E-03
Nickel	mg	2,045E+00	1,997E+00	x	x	4,766E-02	x	x	x	x	x
Nickel, ion	mg	4,222E+02	x	1,166E-01	4,143E+02	1,295E-01	4,519E-02	3,049E-01	1,326E+00	5,887E+00	9,867E-02
o-Xylene	ng	1,244E+00	x	5,929E-03	4,346E-01	1,787E-03	5,377E-04	1,946E-01	5,251E-01	8,122E-02	5,423E-04

continua

Tabela B.5 – Emissões na água na fase de produção da torneira economizadora de água (continuação)

Emissões na água											
Substância	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Latão	Aço inoxidável	Polioxímético	Borracha	Papelão	Energia elétrica	transporte (caminhão)
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	µg	5,096E+01	x	5,903E-02	3,256E+01	2,217E-01	5,002E-01	9,701E-01	2,357E+00	1,008E+01	4,209E+00
Phenol	µg	8,133E+02	x	8,478E-01	5,148E+02	3,413E+00	8,324E+00	2,205E+01	3,791E+01	1,552E+02	7,075E+01
Propylene oxide	µg	5,907E+00	x	2,260E-02	3,832E+00	2,541E-02	1,260E-02	1,456E-01	6,587E-01	1,155E+00	5,503E-02
Selenium	mg	2,223E+02	x	3,103E-03	2,218E+02	7,319E-03	2,341E-03	1,742E-02	6,225E-02	3,327E-01	3,538E-03
Thallium	mg	2,763E+01	x	6,155E-04	2,760E+01	5,896E-04	1,741E-04	1,418E-03	5,047E-03	2,680E-02	1,470E-04
Tin	µg	2,270E+00	x	x	x	2,270E+00	x	x	x	x	x
Tin, ion	mg	2,675E+02	x	4,875E-03	2,672E+02	5,047E-03	1,492E-03	1,317E-02	5,713E-02	2,294E-01	1,272E-03
Toluene	mg	1,084E+00	x	1,114E-03	6,816E-01	4,584E-03	1,208E-02	2,158E-02	5,118E-02	2,084E-01	1,036E-01
Tributyltin compounds	µg	1,744E+01	x	2,728E-02	1,155E+01	8,593E-02	1,111E-01	1,741E-01	7,393E-01	3,906E+00	8,401E-01
Vanadium, ion	mg	1,334E+02	x	3,689E-02	1,323E+02	1,610E-02	5,403E-03	3,588E-02	2,584E-01	7,319E-01	1,021E-02
Xylene	µg	8,593E+02	x	8,930E-01	5,403E+02	3,631E+00	9,521E+00	1,786E+01	4,042E+01	1,651E+02	8,162E-01
Zinc	µg	1,565E+01	x	x	x	1,565E+01	x	x	x	x	x
Zinc, ion	g	1,569E+01	x	2,918E-04	1,566E+01	4,078E-04	1,652E-04	9,899E-04	7,194E-03	1,854E-02	5,295E-04

conclusão

Tabela B.6 – Emissões na água no ciclo de vida da torneira economizadora de água.

Emissões na água					
Substância	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Acenaphthene	ng	1,371E+02	5,394E+01	4,967E+01	3,347E+01
Acenaphthylene	µg	1,209E+01	3,373E-03	1,208E+01	2,093E-03
Ammonia	µg	8,530E+02	8,530E+02	x	x
Antimony	mg	1,492E+02	1,485E+02	7,193E-01	7,090E-03
Arsenic, ion	mg	4,671E+02	4,635E+02	3,580E+00	3,826E-02
Barite	mg	1,397E+02	4,718E+01	9,185E+01	6,534E-01
Barium	mg	1,583E+02	1,289E+02	2,444E+01	4,933E+00
Benzene	mg	3,393E+00	2,038E+00	1,008E+00	3,464E-01
Benzene, 1,2-dichloro-	µg	2,612E+01	1,037E+01	1,575E+01	5,725E-04
Benzene, chloro-	µg	3,440E+02	1,372E+02	2,068E+02	1,172E-02
Benzene, ethyl-	µg	5,621E+02	2,082E+02	2,248E+02	1,292E+02
Beryllium	mg	6,118E+01	6,058E+01	5,900E-01	8,903E-03
Cadmium	ng	3,074E+02	3,074E+02	x	x
Cadmium, ion	mg	2,986E+02	2,973E+02	1,339E+00	9,832E-03
Carbon disulfide	µg	3,400E+00	2,025E+00	1,375E+00	2,993E-05
Chloroform	µg	2,135E+00	5,409E-01	1,594E+00	2,425E-05
Chromium	µg	5,625E+02	1,300E+01	5,495E+02	x
Chromium VI	mg	1,039E+02	9,872E+01	5,019E+00	1,316E-01
Chromium, ion	µg	1,625E+02	7,633E+01	6,557E+01	2,055E+01
Cobalt	mg	7,935E+02	7,842E+02	9,199E+00	1,377E-01
Copper	µg	1,720E+00	1,720E+00	x	x
Copper, ion	g	2,332E+00	2,318E+00	1,404E-02	2,015E-04
Dichromate	µg	1,609E+02	6,355E+01	9,708E+01	2,481E-01
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	pg	2,116E+02	x	2,116E+02	x
Ethane, 1,2-dichloro-	µg	2,812E+01	1,653E+01	1,155E+01	3,487E-02
Ethene	µg	5,710E+02	5,338E+02	2,862E+01	8,596E+00
Ethene, chloro-	ng	4,862E+02	2,932E+02	1,906E+02	2,446E+00
Ethene, tetrachloro-	ng	3,356E+00	x	3,356E+00	x
Ethene, trichloro-	ng	2,127E+02	x	2,127E+02	x
Ethylene oxide	µg	1,337E+00	5,751E-01	7,614E-01	2,631E-04
Formaldehyde	µg	1,071E+02	8,277E+01	2,324E+01	1,078E+00
Hydrogen sulfide	mg	3,591E+00	3,016E+00	5,704E-01	4,585E-03
Lead	mg	2,315E+02	2,289E+02	2,569E+00	8,026E-02
m-Xylene	µg	1,650E+00	6,753E-01	9,744E-01	6,027E-06
Mercury	µg	8,324E+02	7,573E+02	7,323E+01	1,841E+00
Methane, dichloro-, HCC-30	µg	2,648E+02	1,022E+02	1,308E+02	3,177E+01
Methane, tetrachloro-, CFC-10	ng	5,131E+00	x	5,131E+00	x

continua

Tabela B.6 – Emissões na água no ciclo de vida da torneira economizadora de água (continuação)

Emissões na água					
Substância	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Molybdenum	mg	2,954E+02	2,927E+02	2,722E+00	3,552E-02
Nickel	mg	2,045E+00	2,045E+00	x	x
Nickel, ion	mg	4,518E+02	4,222E+02	2,897E+01	6,214E-01
o-Xylene	ng	1,644E+00	1,244E+00	3,959E-01	3,415E-03
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	µg	1,449E+02	5,096E+01	6,743E+01	2,651E+01
Phenol	mg	2,015E+00	8,133E-01	7,563E-01	4,456E-01
Phthalate, dioctyl-	pg	1,144E+02	x	1,144E+02	x
Propylene oxide	µg	1,188E+01	5,907E+00	5,631E+00	3,466E-01
Selenium	mg	2,242E+02	2,223E+02	1,897E+00	2,228E-02
Thallium	mg	2,776E+01	2,763E+01	1,307E-01	9,260E-04
Tin	µg	2,270E+00	2,270E+00	x	x
Tin, ion	mg	2,686E+02	2,675E+02	1,119E+00	8,009E-03
Toluene	mg	2,902E+00	1,084E+00	1,166E+00	6,526E-01
Tributyltin compounds	µg	4,394E+01	1,744E+01	2,121E+01	5,291E+00
Vanadium, ion	mg	1,373E+02	1,334E+02	3,856E+00	6,431E-02
Xylene	mg	2,308E+00	8,593E-01	9,351E-01	5,140E-01
Zinc	µg	1,565E+01	1,565E+01	x	x
Zinc, ion	g	1,578E+01	1,569E+01	9,094E-02	3,335E-03

conclusão

Tabela B.7 – Emissões no solo na fase de produção da torneira economizadora de água.

Substância	Emissões no solo											transporte (caminhão)
	Unidade	Total	Indústria	Água tratada	Latão	Aço inoxidável	Polióximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica		
2,4-D	mg	1,004E+00	x	4,647E-04	6,295E-01	7,022E-03	1,891E-03	9,588E-03	3,626E-02	3,192E-01	2,804E-06	
Aldrin	mg	1,543E+01	x	7,160E-03	9,701E+00	1,082E-01	2,914E-02	1,478E-01	5,166E-01	4,920E+00	7,412E-10	
Antimony	pg	9,430E+02	x	2,138E+01	8,476E+02	6,013E-01	1,975E-01	8,375E+00	3,713E+01	2,733E+01	3,402E-01	
Arsenic	mg	1,101E+00	x	5,120E-04	6,920E-01	7,717E-03	2,086E-03	1,055E-02	3,687E-02	3,508E-01	7,992E-05	
Atrazine	mg	4,048E+00	x	1,878E-03	2,545E+00	2,839E-02	7,644E-03	3,877E-02	1,355E-01	1,291E+00	1,944E-10	
Barium	mg	1,972E+00	x	2,145E-03	1,264E+00	1,029E-02	1,320E-02	2,528E-02	8,941E-02	4,676E-01	9,965E-02	
Benomyl	ng	1,849E+01	x	5,821E-04	8,338E-01	2,584E-03	2,567E-03	5,679E-03	1,751E+01	1,175E-01	1,787E-02	
Bentazone	ng	2,379E+02	x	1,683E-01	2,953E+01	1,027E-01	3,491E-02	5,988E-01	2,027E+02	4,669E+00	6,934E-02	
Cadmium	µg	1,425E+01	x	6,975E-03	8,910E+00	9,607E-02	3,833E-02	1,380E-01	5,703E-01	4,367E+00	1,191E-01	
Carbofuran	µg	1,014E+01	x	3,191E-04	4,571E-01	1,417E-03	1,407E-03	3,113E-03	9,598E+00	6,441E-02	9,799E-03	
Chlorothalomi	µg	2,672E+02	x	2,816E-03	5,830E+01	1,076E-02	3,009E-03	2,249E-02	2,084E+02	4,891E-01	1,076E-03	
Chromium	µg	1,343E+02	x	8,045E-02	8,464E+01	8,856E-01	4,028E-01	1,356E+00	5,056E+00	4,026E+01	1,570E+00	
Chromium VI	mg	2,439E+00	x	1,368E-03	1,543E+00	1,681E-02	4,685E-03	2,343E-02	8,315E-02	7,643E-01	1,512E-03	
Cobalt	µg	1,983E+00	x	1,451E-03	1,267E+00	1,332E-02	3,646E-03	1,894E-02	7,228E-02	6,055E-01	5,757E-04	
Copper	mg	1,634E+00	x	9,040E-04	1,034E+00	1,102E-02	3,899E-03	1,593E-02	5,854E-02	5,012E-01	8,899E-03	
Cypermethrin	µg	1,447E+00	x	4,650E-05	6,778E-02	2,014E-04	1,991E-04	4,454E-04	1,368E+00	9,156E-03	1,384E-03	
Glyphosate	mg	1,462E+00	x	6,949E-04	9,078E-01	1,010E-02	2,724E-03	1,381E-02	6,746E-02	4,593E-01	3,806E-05	
Lead	µg	1,183E+02	x	5,430E-02	7,378E+01	7,063E-01	7,011E-01	1,183E+00	4,923E+00	3,211E+01	4,882E+00	
Linuron	mg	3,377E+00	x	1,568E-03	2,121E+00	2,366E-02	6,370E-03	3,231E-02	1,160E-01	1,076E+00	1,047E-06	
Mercury	ng	8,676E+01	x	1,269E-02	2,882E+01	8,030E-02	2,241E-02	1,265E-01	5,404E+01	3,650E+00	7,558E-03	

continua

Tabela B.7 – Emissões no solo na fase de produção da torneira economizadora de água (continuação)

Substância	Unidade	Total	Indústria	Emissões no solo										transporte (caminhão)
				Água tratada	Latão	Aço inoxidável	Polioximetileno	Borracha	Papelão	Energia elétrica				
Metolachlor	µg	2,599E+01	x	1,839E-02	3,227E+00	1,122E-02	3,814E-03	6,542E-02	2,215E+01	5,102E-01	7,576E-03			
Molybdenum	ng	4,256E+02	x	3,024E-01	2,771E+02	2,743E+00	7,517E-01	3,912E+00	1,591E+01	1,247E+02	1,257E-01			
Nickel	µg	5,801E+01	x	2,760E-02	3,596E+01	3,608E-01	2,578E-01	5,695E-01	2,900E+00	1,640E+01	1,535E+00			
Pirimidicarb	ng	2,250E+01	x	1,592E-02	2,794E+00	9,716E-03	3,302E-03	5,664E-02	1,917E+01	4,417E-01	6,559E-03			
Thiram	ng	3,280E+01	x	1,033E-03	1,479E+00	4,585E-03	4,554E-03	1,007E-02	3,106E+01	2,084E-01	3,171E-02			
Tin	µg	9,353E+02	x	4,341E-01	5,881E+02	6,560E+00	1,766E+00	8,956E+00	3,132E+01	2,982E+02	4,811E-05			
Vanadium	µg	4,249E+00	x	3,161E-03	2,685E+00	2,920E-02	7,989E-03	4,146E-02	1,527E-01	1,327E+00	1,222E-03			
Zinc	mg	1,495E+00	x	5,960E-04	8,946E-01	2,214E-03	3,597E-02	1,810E-02	1,050E-01	1,006E-01	3,379E-01			

conclusão

Tabela B.8 – Emissões no solo no ciclo de vida da torneira economizadora de água.

Emissões no solo					
Substância	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
2,4-D	mg	2,560E+00	1,004E+00	1,556E+00	1,766E-05
Aldrin	mg	3,941E+01	1,543E+01	2,398E+01	4,668E-09
Antimony	ng	1,078E+00	9,430E-01	1,332E-01	2,142E-03
Arsenic	mg	2,812E+00	1,101E+00	1,711E+00	5,033E-04
Atrazine	mg	1,034E+01	4,048E+00	6,291E+00	1,225E-09
Barium	mg	4,878E+00	1,972E+00	2,279E+00	6,276E-01
Benomyl	ng	1,917E+01	1,849E+01	5,727E-01	1,126E-01
Bentazone	ng	2,611E+02	2,379E+02	2,276E+01	4,367E-01
Cadmium	µg	3,631E+01	1,425E+01	2,132E+01	7,503E-01
Carbofuran	µg	1,051E+01	1,014E+01	3,140E-01	6,171E-02
Chlorothalonil	µg	2,696E+02	2,672E+02	2,384E+00	6,776E-03
Chromium	µg	3,488E+02	1,343E+02	2,047E+02	9,889E+00
Chromium VI	mg	6,174E+00	2,439E+00	3,726E+00	9,524E-03
Cobalt	µg	4,975E+00	1,983E+00	2,989E+00	3,626E-03
Copper	mg	4,133E+00	1,634E+00	2,443E+00	5,604E-02
Cypermethrin	µg	1,500E+00	1,447E+00	4,463E-02	8,718E-03
Glyphosate	mg	3,701E+00	1,462E+00	2,239E+00	2,397E-04
Lead	µg	3,064E+02	1,183E+02	1,574E+02	3,075E+01
Linuron	mg	8,620E+00	3,377E+00	5,243E+00	6,593E-06
Mercury	ng	1,099E+02	8,676E+01	2,308E+01	4,760E-02
Metolachlor	µg	2,852E+01	2,599E+01	2,487E+00	4,771E-02
Molybdenum	µg	1,034E+00	4,256E-01	6,079E-01	7,917E-04
Nickel	µg	1,479E+02	5,801E+01	8,023E+01	9,667E+00
Pirimicarb	ng	2,469E+01	2,250E+01	2,153E+00	4,131E-02
Thiram	ng	3,401E+01	3,280E+01	1,016E+00	1,997E-01
Tin	mg	2,389E+00	9,353E-01	1,454E+00	3,030E-07
Vanadium	µg	1,073E+01	4,249E+00	6,470E+00	7,693E-03
Zinc	mg	4,141E+00	1,495E+00	5,176E-01	2,128E+00

APÊNDICE C

**Resultados da caracterização das categorias de impacto ambiental nas
fases do ciclo de vida da torneira convencional**

Tabela C.1 – Acidificação no ciclo de vida da torneira convencional.

Acidificação						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Ammonia	Ar	kg SO ₂ eq	1,968E-03	1,728E-03	2,359E-04	4,107E-06
Nitrogen oxides	Ar	kg SO ₂ eq	1,425E-02	6,570E-03	2,122E-03	5,558E-03
Sulfur dioxide	Ar	kg SO ₂ eq	6,551E-03	2,467E-03	3,950E-03	1,335E-04
Sulfur oxides	Ar	kg SO ₂ eq	2,370E-02	2,179E-02	1,905E-03	x
Total	Ar	kg SO ₂ eq	4,647E-02	3,256E-02	8,213E-03	5,695E-03

Tabela C.2 – Potencial de aquecimento global no ciclo de vida da torneira convencional.

Potencial de aquecimento global (horizonte de 100 anos)						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Carbon dioxide	Ar	kg CO2 eq	2,638E-01	6,392E-04	2,631E-01	x
Carbon dioxide, fossil	Ar	kg CO2 eq	4,758E+00	1,764E+00	2,546E+00	4,471E-01
Carbon dioxide, land transformation	Ar	kg CO2 eq	3,582E+00	1,122E+00	2,460E+00	1,187E-06
Carbon monoxide	Ar	kg CO2 eq	9,658E-05	x	9,658E-05	x
Carbon monoxide, fossil	Ar	kg CO2 eq	2,907E-02	1,141E-02	4,380E-03	1,328E-02
Chloroform	Ar	kg CO2 eq	4,909E-07	1,542E-07	3,365E-07	9,171E-11
Dinitrogen monoxide	Ar	kg CO2 eq	1,208E-01	5,114E-02	6,942E-02	2,901E-04
Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Ar	kg CO2 eq	1,262E-08	5,939E-09	6,006E-09	6,746E-10
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Ar	kg CO2 eq	1,075E-09	3,494E-10	7,231E-10	2,833E-12
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Ar	kg CO2 eq	1,951E-03	6,539E-04	4,611E-05	1,251E-03
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Ar	kg CO2 eq	1,972E-08	1,280E-08	6,867E-09	5,122E-11
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Ar	kg CO2 eq	6,545E-04	1,085E-04	5,451E-04	8,858E-07
Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Ar	kg CO2 eq	1,008E-03	6,366E-04	3,710E-04	3,764E-07
Methane	Ar	kg CO2 eq	1,015E-02	x	1,015E-02	x
Methane, biogenic	Ar	kg CO2 eq	1,364E+00	4,273E-01	9,370E-01	6,718E-06
Methane, bromo-, Halon 1001	Ar	kg CO2 eq	4,491E-17	2,509E-17	1,969E-17	1,251E-19
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Ar	kg CO2 eq	3,974E-05	1,309E-05	2,660E-05	4,168E-08
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Ar	kg CO2 eq	2,599E-04	5,365E-05	1,563E-04	4,995E-05
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Ar	kg CO2 eq	4,498E-04	1,440E-04	3,056E-04	2,583E-07
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-13	Ar	kg CO2 eq	2,318E-06	x	2,318E-06	x

continua

Tabela C.2 – Potencial de aquecimento global no ciclo de vida da torneira convencional (continuação)

Potencial de aquecimento global (horizonte de 100 anos)						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Methane, dichloro-, HCC-30	Ar	kg CO2 eq	4,472E-08	1,371E-08	3,101E-08	5,812E-12
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Ar	kg CO2 eq	5,433E-06	8,997E-07	4,531E-06	2,159E-09
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Ar	kg CO2 eq	2,495E-07	3,914E-12	2,495E-07	2,789E-14
Methane, fossil	Ar	kg CO2 eq	1,944E-01	6,646E-02	1,095E-01	1,839E-02
Methane, monochloro-, R-40	Ar	kg CO2 eq	3,280E-09	1,076E-09	2,196E-09	8,671E-12
Methane, tetrachloro-, CFC-10	Ar	kg CO2 eq	1,023E-05	5,897E-06	4,266E-06	6,614E-08
Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Ar	kg CO2 eq	4,334E-03	2,737E-03	1,595E-03	1,587E-06
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Ar	kg CO2 eq	5,652E-06	1,392E-10	5,652E-06	9,919E-13
Methane, trifluoro-, HFC-23	Ar	kg CO2 eq	1,030E-07	7,117E-08	3,137E-08	5,071E-10
Sulfur hexafluoride	Ar	kg CO2 eq	9,467E-03	3,012E-03	6,434E-03	2,046E-05
Total	Ar	kg CO2 eq	1,034E+01	3,450E+00	6,410E+00	4,803E-01

conclusão

Tabela C.3 – Potencial de redução da camada de ozônio no ciclo de vida da torneira convencional.

Potencial de redução da camada de ozônio						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Ar	kg CFC-11 eq	8,449E-13	2,746E-13	5,682E-13	2,226E-15
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Ar	kg CFC-11 eq	2,958E-12	1,920E-12	1,030E-12	7,683E-15
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Ar	kg CFC-11 eq	5,677E-08	9,409E-09	4,728E-08	7,683E-11
Methane, bromo-, Halon 1001	Ar	kg CFC-11 eq	3,323E-18	1,857E-18	1,457E-18	9,254E-21
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Ar	kg CFC-11 eq	1,559E-07	5,136E-08	1,044E-07	1,635E-10
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Ar	kg CFC-11 eq	4,520E-07	9,331E-08	2,719E-07	8,687E-08
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Ar	kg CFC-11 eq	8,997E-09	2,879E-09	6,112E-09	5,167E-12
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Ar	kg CFC-11 eq	4,203E-10	6,960E-11	3,505E-10	1,670E-13
Methane, monochloro-, R-40	Ar	kg CFC-11 eq	4,100E-12	1,345E-12	2,745E-12	1,084E-14
Methane, tetrachloro-, CFC-10	Ar	kg CFC-11 eq	6,819E-09	3,931E-09	2,844E-09	4,409E-11
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Ar	kg CFC-11 eq	1,229E-09	3,026E-14	1,229E-09	2,156E-16
Total	Ar	kg CFC-11 eq	6,822E-07	1,610E-07	4,340E-07	8,716E-08

Tabela C.4 – Toxicidade humana no ciclo de vida da torneira convencional.

Toxicidade humana						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
2,4-D	Solo	kg 1,4-DB eq	1,447E-04	4,531E-05	9,936E-05	8,299E-10
Acenaphthene	Ar	kg 1,4-DB eq	1,092E-05	3,453E-06	7,462E-06	9,054E-09
Acenaphthene	Água	kg 1,4-DB eq	3,611E-05	1,216E-05	1,466E-05	9,288E-06
Acenaphthylene	Água	kg 1,4-DB eq	4,597E-03	7,604E-07	4,596E-03	5,809E-07
Acrolein	Ar	kg 1,4-DB eq	1,633E-07	5,384E-08	1,088E-07	6,977E-10
Aldrin	Solo	kg 1,4-DB eq	2,215E-01	6,936E-02	1,522E-01	2,180E-11
Ammonia	Ar	kg 1,4-DB eq	1,230E-04	1,080E-04	1,474E-05	2,567E-07
Antimony	Ar	kg 1,4-DB eq	6,364E-04	2,824E-04	3,529E-04	1,146E-06
Antimony	Água	kg 1,4-DB eq	7,976E-01	7,926E-01	5,023E-03	3,644E-05
Antimony	Solo	kg 1,4-DB eq	9,923E-09	8,295E-09	1,609E-09	1,905E-11
Arsenic	Ar	kg 1,4-DB eq	3,136E-01	1,437E-01	1,689E-01	1,047E-03
Arsenic	Solo	kg 1,4-DB eq	1,074E-01	3,364E-02	7,380E-02	5,554E-07
Arsenic, ion	Água	kg 1,4-DB eq	4,625E-01	4,578E-01	4,670E-03	3,648E-05
Atrazine	Solo	kg 1,4-DB eq	2,650E-04	8,299E-02	1,821E-04	2,608E-14
Barite	Água	kg 1,4-DB eq	7,721E-02	2,141E-02	5,548E-02	3,091E-04
Barium	Ar	kg 1,4-DB eq	2,730E-04	8,986E-05	1,821E-04	1,087E-06
Barium	Água	kg 1,4-DB eq	1,082E-01	8,377E-02	2,133E-02	3,116E-03
Barium	Solo	kg 1,4-DB eq	1,784E-03	5,998E-04	9,847E-04	1,996E-04
Benomyl	Solo	kg 1,4-DB eq	1,504E-12	1,122E-12	3,330E-13	4,818E-14
Bentazone	Solo	kg 1,4-DB eq	1,297E-09	8,230E-10	4,669E-10	6,594E-12
Benzene	Ar	kg 1,4-DB eq	1,180E-01	3,859E-02	7,785E-02	1,598E-03
Benzene	Água	kg 1,4-DB eq	6,123E-03	3,354E-03	2,142E-03	6,268E-04
Benzene, 1,2-dichloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	6,031E-08	1,891E-08	4,139E-08	2,068E-14
Benzene, 1,2-dichloro-	Água	kg 1,4-DB eq	2,768E-07	8,746E-08	1,894E-07	5,067E-12
Benzene, chloro-	Água	kg 1,4-DB eq	3,744E-06	1,188E-06	2,557E-06	1,066E-10
Benzene, ethyl-	Ar	kg 1,4-DB eq	1,032E-06	2,485E-07	6,064E-07	1,772E-07
Benzene, ethyl-	Água	kg 1,4-DB eq	4,473E-07	1,381E-07	2,034E-07	1,058E-07
Benzene, hexachloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	9,814E-04	5,389E-04	4,297E-04	1,277E-05
Benzene, pentachloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	7,872E-09	5,162E-09	2,675E-09	3,586E-11
Beryllium	Ar	kg 1,4-DB eq	4,828E-03	4,194E-03	6,313E-04	3,202E-06
Beryllium	Água	kg 1,4-DB eq	8,921E-01	8,807E-01	1,122E-02	1,246E-04
Butadiene	Ar	kg 1,4-DB eq	7,844E-07	2,491E-07	5,353E-07	1,710E-11
Cadmium	Ar	kg 1,4-DB eq	5,337E-02	3,009E-02	2,278E-02	5,077E-04

continua

Tabela C.4 – Toxicidade humana no ciclo de vida da torneira convencional (continuação)

Toxicidade humana						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Cadmium	Solo	kg 1,4-DB eq	8,262E-04	2,598E-04	5,663E-04	1,236E-07
Cadmium, ion	Água	kg 1,4-DB eq	7,114E-03	7,071E-03	4,255E-05	2,272E-07
Carbofuran	Solo	kg 1,4-DB eq	2,735E-06	2,042E-06	6,057E-07	8,763E-08
Carbon disulfide	Ar	kg 1,4-DB eq	3,664E-03	3,643E-03	2,030E-05	5,693E-08
Carbon disulfide	Água	kg 1,4-DB eq	7,438E-09	2,898E-09	4,540E-09	7,272E-14
Chloroform	Ar	kg 1,4-DB eq	2,078E-07	6,528E-08	1,425E-07	3,882E-11
Chloroform	Água	kg 1,4-DB eq	3,349E-08	6,412E-09	2,708E-08	3,031E-13
Chlorothalonil	Solo	kg 1,4-DB eq	7,859E-08	7,554E-08	3,045E-09	6,370E-12
Chromium	Solo	kg 1,4-DB eq	1,785E-03	5,611E-04	1,221E-03	3,226E-06
Chromium VI	Ar	kg 1,4-DB eq	1,074E+00	8,444E-01	2,292E-01	7,940E-04
Chromium VI	Água	kg 1,4-DB eq	3,732E-04	3,494E-04	2,332E-05	4,502E-07
Chromium VI	Solo	kg 1,4-DB eq	3,709E-03	1,174E-03	2,531E-03	4,762E-06
Chromium, ion	Água	kg 1,4-DB eq	5,846E-07	2,255E-07	3,149E-07	4,425E-08
Cobalt	Ar	kg 1,4-DB eq	6,473E-03	4,661E-03	1,778E-03	3,406E-05
Cobalt	Água	kg 1,4-DB eq	7,995E-02	7,873E-02	1,208E-03	1,332E-05
Cobalt	Solo	kg 1,4-DB eq	1,420E-05	4,602E-06	9,587E-06	8,666E-09
Copper	Ar	kg 1,4-DB eq	2,012E-02	9,645E-03	6,752E-03	3,728E-03
Copper	Solo	kg 1,4-DB eq	2,748E-05	8,848E-06	1,856E-05	7,608E-08
Copper, ion	Água	kg 1,4-DB eq	3,252E-03	3,226E-03	2,562E-05	2,703E-07
Cypermethrin	Solo	kg 1,4-DB eq	1,440E-06	1,079E-06	3,153E-07	4,533E-08
Dichromate	Água	kg 1,4-DB eq	3,190E-07	1,009E-07	2,176E-07	4,093E-10
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo -p-	Ar	kg 1,4-DB eq	1,477E-03	7,247E-04	7,416E-04	1,082E-05
Ethane, 1,1,1- trichloro-, HCFC- 140	Ar	kg 1,4-DB eq	1,260E-10	4,093E-11	8,471E-11	3,319E-13
Ethane, 1,1,1- trichloro-, HCFC- 140	Água	kg 1,4-DB eq	4,658E-12	x	4,658E-12	x
Ethane, 1,2- dichloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	6,652E-07	4,229E-07	2,374E-07	4,896E-09
Ethane, 1,2- dichloro-	Água	kg 1,4-DB eq	8,743E-07	4,353E-07	4,380E-07	9,728E-10
Ethene	Ar	kg 1,4-DB eq	2,338E-06	1,177E-06	9,193E-07	2,418E-07
Ethene	Água	kg 1,4-DB eq	3,630E-07	3,319E-07	2,543E-08	5,622E-09
Ethene, chloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	3,795E-06	2,103E-06	1,671E-06	2,098E-08
Ethene, chloro-	Água	kg 1,4-DB eq	7,992E-08	4,202E-08	3,755E-08	3,546E-10

continua

Tabela C.4 – Toxicidade humana no ciclo de vida da torneira convencional (continuação)

Toxicidade humana						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Ethene, tetrachloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	9,184E-11	2,994E-11	6,163E-11	2,668E-13
Ethene, tetrachloro-	Água	kg 1,4-DB eq	2,608E-11	x	2,608E-11	x
Ethene, trichloro-	Água	kg 1,4-DB eq	9,681E-09	x	9,681E-09	x
Ethylene oxide	Ar	kg 1,4-DB eq	1,148E-04	9,697E-05	1,625E-05	1,558E-06
Ethylene oxide	Água	kg 1,4-DB eq	1,775E-05	5,950E-06	1,179E-05	3,000E-09
Formaldehyde	Ar	kg 1,4-DB eq	2,918E-06	1,057E-06	1,845E-06	1,666E-08
Formaldehyde	Água	kg 1,4-DB eq	4,131E-09	2,919E-09	1,172E-09	4,000E-11
Glyphosate	Solo	kg 1,4-DB eq	6,587E-08	2,065E-08	4,522E-08	1,951E-12
Hydrogen chloride	Ar	kg 1,4-DB eq	4,954E-05	1,437E-05	3,489E-05	2,823E-07
Hydrogen fluoride	Ar	kg 1,4-DB eq	3,131E-03	9,718E-04	2,146E-03	1,323E-05
Hydrogen sulfide	Ar	kg 1,4-DB eq	3,457E-06	1,157E-06	2,293E-06	6,659E-09
Lead	Ar	kg 1,4-DB eq	3,607E-03	2,884E-03	6,949E-04	2,797E-05
Lead	Água	kg 1,4-DB eq	2,968E-03	2,922E-03	4,469E-05	1,015E-06
Lead	Solo	kg 1,4-DB eq	1,027E-03	3,239E-04	6,945E-04	9,076E-06
Linuron	Solo	kg 1,4-DB eq	1,753E-03	5,488E-04	1,204E-03	1,114E-09
m-Xylene	Ar	kg 1,4-DB eq	8,639E-09	3,135E-09	5,499E-09	4,798E-12
m-Xylene	Água	kg 1,4-DB eq	6,544E-10	2,083E-10	4,461E-10	2,031E-15
Mercury	Ar	kg 1,4-DB eq	6,023E-04	2,392E-04	3,440E-04	1,907E-05
Mercury	Água	kg 1,4-DB eq	1,264E-03	1,118E-03	1,434E-04	2,642E-06
Mercury	Solo	kg 1,4-DB eq	3,790E-07	2,279E-07	1,509E-07	2,818E-10
Methane, bromo-, Halon 1001	Ar	kg 1,4-DB eq	3,153E-15	1,761E-15	1,382E-15	8,779E-18
Methane, dichloro-, HCC-30	Ar	kg 1,4-DB eq	8,855E-09	2,715E-09	6,139E-09	1,151E-12
Methane, dichloro-, HCC-30	Água	kg 1,4-DB eq	5,653E-07	1,798E-07	3,270E-07	5,846E-08
Methane, tetrachloro-, CFC-10	Ar	kg 1,4-DB eq	1,250E-06	7,207E-07	5,214E-07	8,084E-09
Methane, tetrachloro-, CFC-10	Água	kg 1,4-DB eq	1,534E-09	x	1,534E-09	x
Metolachlor	Solo	kg 1,4-DB eq	1,070E-07	6,789E-08	3,852E-08	5,439E-10
Molybdenum	Ar	kg 1,4-DB eq	3,778E-04	1,037E-04	2,683E-04	5,764E-06
Molybdenum	Água	kg 1,4-DB eq	1,695E+00	1,674E+00	2,038E-02	1,957E-04
Molybdenum	Solo	kg 1,4-DB eq	7,627E-06	2,527E-06	5,096E-06	4,885E-09
Nickel	Ar	kg 1,4-DB eq	1,105E-01	5,242E-02	5,583E-02	2,239E-03
Nickel	Solo	kg 1,4-DB eq	4,274E-04	1,351E-04	2,903E-04	1,961E-06

continua

Tabela C.4 – Toxicidade humana no ciclo de vida da torneira convencional (continuação)

Toxicidade humana						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Nickel, ion	Água	kg 1,4-DB eq	1,578E-01	1,445E-01	1,303E-02	2,057E-04
Nitrogen oxides	Ar	kg 1,4-DB eq	3,420E-02	1,577E-02	5,094E-03	1,334E-02
o-Xylene	Água	kg 1,4-DB eq	5,213E-13	2,912E-13	2,286E-13	1,451E-15
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Ar	kg 1,4-DB eq	3,947E-01	1,799E-01	2,130E-01	1,778E-03
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Água	kg 1,4-DB eq	3,829E-02	1,076E-02	2,021E-02	7,316E-03
Particulates, < 10 um (mobile)	Ar	kg 1,4-DB eq	1,298E-06	x	1,298E-06	x
Particulates, < 10 um (stationary)	Ar	kg 1,4-DB eq	6,335E-05	x	6,335E-05	x
Particulates, < 2.5 um	Ar	kg 1,4-DB eq	3,563E-03	3,151E-03	3,616E-04	4,986E-05
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	Ar	kg 1,4-DB eq	2,910E-03	2,620E-03	2,661E-04	2,422E-05
Phenol	Ar	kg 1,4-DB eq	3,659E-08	2,523E-08	1,133E-08	3,048E-11
Phenol	Água	kg 1,4-DB eq	8,452E-08	2,917E-08	3,376E-08	2,159E-08
Phenol, 2,4-dichloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	2,242E-07	7,020E-08	1,540E-07	4,918E-13
Phenol, pentachloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	8,517E-07	2,674E-07	5,841E-07	2,246E-10
Phthalate, dioctyl-	Água	kg 1,4-DB eq	1,419E-13	x	1,419E-13	x
Pirimicarb	Solo	kg 1,4-DB eq	2,120E-10	1,346E-10	7,634E-11	1,078E-12
Propylene oxide	Ar	kg 1,4-DB eq	6,961E-06	2,771E-06	4,009E-06	1,815E-07
Propylene oxide	Água	kg 1,4-DB eq	3,507E-05	1,396E-05	2,020E-05	9,150E-07
Selenium	Ar	kg 1,4-DB eq	8,975E-03	2,932E-03	5,908E-03	1,353E-04
Selenium	Água	kg 1,4-DB eq	1,307E+01	1,293E+01	1,443E-01	1,248E-03
Sodium dichromate	Ar	kg 1,4-DB eq	7,084E-02	2,247E-02	4,828E-02	9,084E-05
Styrene	Ar	kg 1,4-DB eq	2,857E-10	1,844E-10	1,004E-10	9,626E-13
Sulfur dioxide	Ar	kg 1,4-DB eq	5,240E-04	1,974E-04	3,160E-04	1,068E-05
Sulfur oxides	Ar	kg 1,4-DB eq	1,896E-03	1,743E-03	1,524E-04	x
Thallium	Ar	kg 1,4-DB eq	1,208E-03	5,416E-04	6,649E-04	1,108E-06
Thallium	Água	kg 1,4-DB eq	6,498E+00	6,458E+00	3,994E-02	2,084E-04
Thiram	Solo	kg 1,4-DB eq	4,930E-11	3,680E-11	1,092E-11	1,580E-12
Tin	Ar	kg 1,4-DB eq	3,016E-07	1,867E-07	1,146E-07	3,874E-10
Tin	Solo	kg 1,4-DB eq	3,766E-05	1,179E-05	2,587E-05	3,969E-12

continua

Tabela C.4 – Toxicidade humana no ciclo de vida da torneira convencional (continuação)

Toxicidade humana						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Tin, ion	Água	kg 1,4-DB eq	4,834E-06	4,807E-06	2,630E-08	1,386E-10
Toluene	Ar	kg 1,4-DB eq	2,340E-06	7,559E-07	1,211E-06	3,730E-07
Toluene	Água	kg 1,4-DB eq	8,224E-07	2,559E-07	3,708E-07	1,957E-07
Tributyltin compounds	Água	kg 1,4-DB eq	1,258E-05	9,161E-07	1,138E-05	2,889E-07
Vanadium	Ar	kg 1,4-DB eq	2,079E-02	3,764E-03	1,654E-02	4,856E-04
Vanadium	Solo	kg 1,4-DB eq	2,383E-04	7,552E-05	1,626E-04	1,423E-07
Vanadium, ion	Água	kg 1,4-DB eq	4,536E-01	4,369E-01	1,656E-02	2,033E-04
Xylene	Água	kg 1,4-DB eq	9,168E-07	2,830E-07	4,153E-07	2,185E-07
Zinc	Ar	kg 1,4-DB eq	2,086E-02	2,062E-02	1,976E-04	3,853E-05
Zinc	Solo	kg 1,4-DB eq	4,923E-05	1,642E-05	3,185E-05	9,623E-07
Zinc, ion	Água	kg 1,4-DB eq	9,605E-03	9,519E-03	8,403E-05	2,070E-06
Total		kg 1,4-DB eq	2,699E+01	2,549E+01	1,454E+00	3,988E-02

conclusão

Tabela C.5 – Consumo de água no ciclo de vida da torneira convencional.

Fase	Consumo de água (m³)
Produção	0,045
Uso	31,593
Disposição final	0,001
Total	31,639

Tabela C.6 – Consumo de energia total no ciclo de vida da torneira convencional.

Fase	Consumo de energia total (MJ)
Produção	50,411
Uso	102,544
Disposição final	5,157
Total	158,113

APÊNDICE D

Resultados da caracterização das categorias de impacto ambiental nas fases do ciclo de vida da torneira economizadora de água

Tabela D.1 – Acidificação no ciclo de vida da torneira economizadora de água.

Acidificação						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Ammonia	Ar	kg SO ₂ eq	1,858E-03	1,680E-03	1,736E-04	4,107E-06
Nitrogen oxides	Ar	kg SO ₂ eq	1,385E-02	6,733E-03	1,562E-03	5,558E-03
Sulfur dioxide	Ar	kg SO ₂ eq	5,954E-03	2,914E-03	2,907E-03	1,335E-04
Sulfur oxides	Ar	kg SO ₂ eq	2,469E-02	2,329E-02	1,402E-03	x
Total	Ar	kg SO ₂ eq	4,636E-02	3,462E-02	6,045E-03	5,695E-03

Tabela D.2 – Potencial de aquecimento global no ciclo de vida da torneira convencional.

Potencial de aquecimento global (horizonte de 100 anos)						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Carbon dioxide	Ar	kg CO2 eq	1,937E-01	x	1,937E-01	x
Carbon dioxide, fossil	Ar	kg CO2 eq	4,151E+00	1,830E+00	1,874E+00	4,471E-01
Carbon dioxide, land transformation	Ar	kg CO2 eq	3,007E+00	1,196E+00	1,811E+00	1,187E-06
Carbon monoxide	Ar	kg CO2 eq	7,109E-05	x	7,109E-05	x
Carbon monoxide, fossil	Ar	kg CO2 eq	2,849E-02	1,198E-02	3,224E-03	1,328E-02
Chloroform	Ar	kg CO2 eq	4,094E-07	1,616E-07	2,477E-07	9,171E-11
Dinitrogen monoxide	Ar	kg CO2 eq	1,048E-01	5,337E-02	5,110E-02	2,901E-04
Ethane, 1,1-difluoro-, HFC-152a	Ar	kg CO2 eq	1,142E-08	6,327E-09	4,421E-09	6,746E-10
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Ar	kg CO2 eq	9,043E-10	3,692E-10	5,323E-10	2,833E-12
Ethane, 1,1,1,2-tetrafluoro-, HFC-134a	Ar	kg CO2 eq	1,965E-03	6,800E-04	3,394E-05	1,251E-03
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Ar	kg CO2 eq	2,072E-08	1,561E-08	5,054E-09	5,122E-11
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Ar	kg CO2 eq	5,150E-04	1,129E-04	4,012E-04	8,858E-07
Ethane, hexafluoro-, HFC-116	Ar	kg CO2 eq	9,114E-04	6,380E-04	2,730E-04	3,764E-07
Methane	Ar	kg CO2 eq	7,468E-03	x	7,468E-03	x
Methane, biogenic	Ar	kg CO2 eq	1,134E+00	4,446E-01	6,897E-01	6,718E-06
Methane, bromo-, Halon 1001	Ar	kg CO2 eq	6,018E-17	4,556E-17	1,450E-17	1,251E-19
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Ar	kg CO2 eq	3,321E-05	1,358E-05	1,958E-05	4,168E-08
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Ar	kg CO2 eq	2,213E-04	5,626E-05	1,151E-04	4,995E-05
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Ar	kg CO2 eq	3,747E-04	1,495E-04	2,249E-04	2,583E-07
Methane, chlorotrifluoro-, CFC-113	Ar	kg CO2 eq	1,706E-06	x	1,706E-06	x

continua

Tabela D.2 – Potencial de aquecimento global no ciclo de vida da torneira convencional (continuação)

Potencial de aquecimento global (horizonte de 100 anos)						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Methane, dichloro-, HCC-30	Ar	kg CO2 eq	3,730E-08	1,447E-08	2,282E-08	5,812E-12
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Ar	kg CO2 eq	4,305E-06	9,676E-07	3,335E-06	2,159E-09
Methane, dichlorofluoro-, HCFC-21	Ar	kg CO2 eq	1,836E-07	4,924E-12	1,836E-07	2,789E-14
Methane, fossil	Ar	kg CO2 eq	1,681E-01	6,908E-02	8,060E-02	1,839E-02
Methane, monochloro-, R-40	Ar	kg CO2 eq	2,761E-09	1,136E-09	1,616E-09	8,671E-12
Methane, tetrachloro-, CFC-10	Ar	kg CO2 eq	9,318E-06	6,112E-06	3,140E-06	6,614E-08
Methane, tetrafluoro-, CFC-14	Ar	kg CO2 eq	3,917E-03	2,741E-03	1,174E-03	1,587E-06
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Ar	kg CO2 eq	4,160E-06	1,751E-10	4,160E-06	9,919E-13
Methane, trifluoro-, HFC-23	Ar	kg CO2 eq	1,131E-07	8,952E-08	2,309E-08	5,071E-10
Sulfur hexafluoride	Ar	kg CO2 eq	7,893E-03	3,136E-03	4,736E-03	2,046E-05
Total	Ar	kg CO2 eq	8,811E+00	3,613E+00	4,718E+00	4,803E-01

Tabela D.3 – Potencial de redução da camada de ozônio no ciclo de vida da torneira economizadora de água.

Potencial de redução da camada de ozônio						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Ethane, 1,1,1-trichloro-, HCFC-140	Ar	kg CFC-11 eq	7,105E-13	2,901E-13	4,182E-13	2,226E-15
Ethane, 1,1,2-trichloro-1,2,2-trifluoro-, CFC-113	Ar	kg CFC-11 eq	3,107E-12	2,341E-12	7,581E-13	7,683E-15
Ethane, 1,2-dichloro-1,1,2,2-tetrafluoro-, CFC-114	Ar	kg CFC-11 eq	4,467E-08	9,791E-09	3,480E-08	7,683E-11
Methane, bromo-, Halon 1001	Ar	kg CFC-11 eq	4,453E-18	3,372E-18	1,073E-18	9,254E-21
Methane, bromochlorodifluoro-, Halon 1211	Ar	kg CFC-11 eq	1,303E-07	5,329E-08	7,682E-08	1,635E-10
Methane, bromotrifluoro-, Halon 1301	Ar	kg CFC-11 eq	3,848E-07	9,785E-08	2,001E-07	8,687E-08
Methane, chlorodifluoro-, HCFC-22	Ar	kg CFC-11 eq	7,495E-09	2,991E-09	4,499E-09	5,167E-12
Methane, dichlorodifluoro-, CFC-12	Ar	kg CFC-11 eq	3,330E-10	7,485E-11	2,580E-10	1,670E-13
Methane, monochloro-, R-40	Ar	kg CFC-11 eq	3,451E-12	1,420E-12	2,020E-12	1,084E-14
Methane, tetrachloro-, CFC-10	Ar	kg CFC-11 eq	6,212E-09	4,075E-09	2,093E-09	4,409E-11
Methane, trichlorofluoro-, CFC-11	Ar	kg CFC-11 eq	9,044E-10	3,806E-14	9,043E-10	2,156E-16
Total		kg CFC-11 eq	5,747E-07	1,681E-07	3,195E-07	8,716E-08

Tabela D.4 – Toxicidade humana no ciclo de vida da torneira economizadora de água.

Toxicidade humana						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
2,4-D	Solo	kg 1,4-DB eq	1,203E-04	4,719E-05	7,313E-05	8,299E-10
Acenaphthene	Ar	kg 1,4-DB eq	9,091E-06	3,590E-06	5,492E-06	9,054E-09
Acenaphthene	Água	kg 1,4-DB eq	3,284E-05	1,276E-05	1,079E-05	9,288E-06
Acenaphthylene	Água	kg 1,4-DB eq	3,384E-03	7,979E-07	3,383E-03	5,809E-07
Acrolein	Ar	kg 1,4-DB eq	1,377E-07	5,695E-08	8,008E-08	6,977E-10
Aldrin	Solo	kg 1,4-DB eq	1,841E-01	7,206E-02	1,120E-01	2,180E-11
Ammonia	Ar	kg 1,4-DB eq	1,161E-04	1,050E-04	1,085E-05	2,567E-07
Antimony	Ar	kg 1,4-DB eq	5,470E-04	2,862E-04	2,597E-04	1,146E-06
Antimony	Água	kg 1,4-DB eq	7,668E-01	7,631E-01	3,697E-03	3,644E-05
Antimony	Solo	kg 1,4-DB eq	9,587E-09	8,383E-09	1,184E-09	1,905E-11
Arsenic	Ar	kg 1,4-DB eq	2,720E-01	1,466E-01	1,243E-01	1,047E-03
Arsenic	Solo	kg 1,4-DB eq	8,927E-02	3,495E-02	5,432E-02	5,554E-07
Arsenic, ion	Água	kg 1,4-DB eq	4,443E-01	4,408E-01	3,437E-03	3,648E-05
Atrazine	Solo	kg 1,4-DB eq	2,202E-04	8,622E-05	1,340E-04	2,608E-14
Barite	Água	kg 1,4-DB eq	6,346E-02	2,232E-02	4,084E-02	3,091E-04
Barium	Ar	kg 1,4-DB eq	2,282E-04	9,313E-05	1,340E-04	1,087E-06
Barium	Água	kg 1,4-DB eq	1,002E-01	8,143E-02	1,570E-02	3,116E-03
Barium	Solo	kg 1,4-DB eq	1,551E-03	6,270E-04	7,248E-04	1,996E-04
Benomyl	Solo	kg 1,4-DB eq	8,206E-12	7,912E-12	2,451E-13	4,818E-14
Bentazone	Solo	kg 1,4-DB eq	3,942E-09	3,592E-09	3,437E-10	6,594E-12
Benzene	Ar	kg 1,4-DB eq	1,020E-01	4,311E-02	5,730E-02	1,598E-03
Benzene	Água	kg 1,4-DB eq	5,732E-03	3,528E-03	1,577E-03	6,268E-04
Benzene, 1,2-dichloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	5,023E-08	1,976E-08	3,047E-08	2,068E-14
Benzene, 1,2-dichloro-	Água	kg 1,4-DB eq	2,312E-07	9,181E-08	1,394E-07	5,067E-12
Benzene, chloro-	Água	kg 1,4-DB eq	3,131E-06	1,249E-06	1,882E-06	1,066E-10
Benzene, ethyl-	Ar	kg 1,4-DB eq	9,334E-07	3,098E-07	4,464E-07	1,772E-07
Benzene, ethyl-	Água	kg 1,4-DB eq	4,004E-07	1,449E-07	1,497E-07	1,058E-07
Benzene, hexachloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	8,716E-04	5,426E-04	3,163E-04	1,277E-05
Benzene, pentachloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	7,043E-09	5,039E-09	1,969E-09	3,586E-11
Beryllium	Ar	kg 1,4-DB eq	4,527E-03	4,059E-03	4,647E-04	3,202E-06
Beryllium	Água	kg 1,4-DB eq	8,565E-01	8,482E-01	8,260E-03	1,246E-04
Butadiene	Ar	kg 1,4-DB eq	6,628E-07	2,688E-07	3,940E-07	1,710E-11

continua

Tabela D.4 – Toxicidade humana no ciclo de vida da torneira economizadora de água (continuação)

Toxicidade humana						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Cadmium	Ar	kg 1,4-DB eq	4,783E-02	3,055E-02	1,676E-02	5,077E-04
Cadmium	Solo	kg 1,4-DB eq	6,883E-04	2,713E-04	4,169E-04	1,236E-07
Cadmium, ion	Água	kg 1,4-DB eq	6,839E-03	6,808E-03	3,132E-05	2,272E-07
Carbofuran	Solo	kg 1,4-DB eq	1,493E-05	1,439E-05	4,458E-07	8,763E-08
Carbon disulfide	Ar	kg 1,4-DB eq	3,522E-03	3,507E-03	1,494E-05	5,693E-08
Carbon disulfide	Água	kg 1,4-DB eq	8,262E-09	4,920E-09	3,342E-09	7,272E-14
Chloroform	Ar	kg 1,4-DB eq	1,733E-07	6,843E-08	1,049E-07	3,882E-11
Chloroform	Água	kg 1,4-DB eq	2,669E-08	6,761E-09	1,993E-08	3,031E-13
Chlorothalonil	Solo	kg 1,4-DB eq	2,534E-07	2,512E-07	2,241E-09	6,370E-12
Chromium	Solo	kg 1,4-DB eq	1,486E-03	5,842E-04	8,987E-04	3,226E-06
Chromium VI	Ar	kg 1,4-DB eq	9,981E-01	8,286E-01	1,687E-01	7,940E-04
Chromium VI	Água	kg 1,4-DB eq	3,552E-04	3,376E-04	1,716E-05	4,502E-07
Chromium VI	Solo	kg 1,4-DB eq	3,087E-03	1,219E-03	1,863E-03	4,762E-06
Chromium, ion	Água	kg 1,4-DB eq	5,150E-07	2,390E-07	2,318E-07	4,425E-08
Cobalt	Ar	kg 1,4-DB eq	5,954E-03	4,611E-03	1,308E-03	3,406E-05
Cobalt	Água	kg 1,4-DB eq	7,674E-02	7,583E-02	8,895E-04	1,332E-05
Cobalt	Solo	kg 1,4-DB eq	1,180E-05	4,739E-06	7,056E-06	8,666E-09
Copper	Ar	kg 1,4-DB eq	1,868E-02	9,982E-03	4,970E-03	3,728E-03
Copper	Solo	kg 1,4-DB eq	2,312E-05	9,386E-06	1,366E-05	7,608E-08
Copper, ion	Água	kg 1,4-DB eq	3,125E-03	3,106E-03	1,886E-05	2,703E-07
Cypermethrin	Solo	kg 1,4-DB eq	7,800E-06	7,523E-06	2,321E-07	4,533E-08
Dichromate	Água	kg 1,4-DB eq	2,655E-07	1,049E-07	1,602E-07	4,093E-10
Dioxin, 2,3,7,8 Tetrachlorodibenzo- p-	Ar	kg 1,4-DB eq	1,689E-03	1,133E-03	5,459E-04	1,082E-05
Ethane, 1,1,1- trichloro-, HCFC- 140	Ar	kg 1,4-DB eq	1,059E-10	4,325E-11	6,235E-11	3,319E-13
Ethane, 1,1,1- trichloro-, HCFC- 140	Água	kg 1,4-DB eq	3,429E-12	x	3,429E-12	x
Ethane, 1,2- dichloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	6,172E-07	4,376E-07	1,747E-07	4,896E-09
Ethane, 1,2- dichloro-	Água	kg 1,4-DB eq	7,845E-07	4,611E-07	3,224E-07	9,728E-10
Ethene	Ar	kg 1,4-DB eq	2,211E-06	1,292E-06	6,767E-07	2,418E-07
Ethene	Água	kg 1,4-DB eq	3,734E-07	3,491E-07	1,872E-08	5,622E-09

continua

Tabela D.4 – Toxicidade humana no ciclo de vida da torneira economizadora de água (continuação)

Toxicidade humana						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Ethene, chloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	3,396E-06	2,145E-06	1,230E-06	2,098E-08
Ethene, chloro-	Água	kg 1,4-DB eq	7,051E-08	4,251E-08	2,764E-08	3,546E-10
Ethene, tetrachloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	7,728E-11	3,165E-11	4,537E-11	2,668E-13
Ethene, tetrachloro-	Água	kg 1,4-DB eq	1,920E-11	x	1,920E-11	x
Ethene, trichloro-	Água	kg 1,4-DB eq	7,126E-09	x	7,126E-09	x
Ethylene oxide	Ar	kg 1,4-DB eq	1,155E-04	1,020E-04	1,196E-05	1,558E-06
Ethylene oxide	Água	kg 1,4-DB eq	1,524E-05	6,556E-06	8,680E-06	3,000E-09
Formaldehyde	Ar	kg 1,4-DB eq	2,746E-06	1,371E-06	1,358E-06	1,666E-08
Formaldehyde	Água	kg 1,4-DB eq	3,973E-09	3,071E-09	8,624E-10	4,000E-11
Glyphosate	Solo	kg 1,4-DB eq	5,500E-08	2,171E-08	3,328E-08	1,951E-12
Hydrogen chloride	Ar	kg 1,4-DB eq	4,090E-05	1,493E-05	2,568E-05	2,823E-07
Hydrogen fluoride	Ar	kg 1,4-DB eq	2,598E-03	1,005E-03	1,580E-03	1,323E-05
Hydrogen sulfide	Ar	kg 1,4-DB eq	2,894E-06	1,200E-06	1,687E-06	6,659E-09
Lead	Ar	kg 1,4-DB eq	3,377E-03	2,837E-03	5,115E-04	2,797E-05
Lead	Água	kg 1,4-DB eq	2,850E-03	2,816E-03	3,289E-05	1,015E-06
Lead	Solo	kg 1,4-DB eq	8,587E-04	3,384E-04	5,112E-04	9,076E-06
Linuron	Solo	kg 1,4-DB eq	1,457E-03	5,707E-04	8,861E-04	1,114E-09
m-Xylene	Ar	kg 1,4-DB eq	1,288E-08	8,832E-09	4,047E-09	4,798E-12
m-Xylene	Água	kg 1,4-DB eq	5,559E-10	2,276E-10	3,284E-10	2,031E-15
Mercury	Ar	kg 1,4-DB eq	5,251E-04	2,528E-04	2,532E-04	1,907E-05
Mercury	Água	kg 1,4-DB eq	1,192E-03	1,083E-03	1,055E-04	2,642E-06
Mercury	Solo	kg 1,4-DB eq	6,250E-07	5,136E-07	1,110E-07	2,818E-10
Methane, bromo-, Halon 1001	Ar	kg 1,4-DB eq	4,225E-15	3,198E-15	1,018E-15	8,779E-18
Methane, dichloro-, HCC-30	Ar	kg 1,4-DB eq	7,386E-09	2,866E-09	4,519E-09	1,151E-12
Methane, dichloro-, HCC-30	Água	kg 1,4-DB eq	4,872E-07	1,881E-07	2,407E-07	5,846E-08
Methane, tetrachloro-, CFC-10	Ar	kg 1,4-DB eq	1,139E-06	7,470E-07	3,838E-07	8,084E-09
Methane, tetrachloro-, CFC-10	Água	kg 1,4-DB eq	1,129E-09	x	1,129E-09	x
Metolachlor	Solo	kg 1,4-DB eq	3,252E-07	2,963E-07	2,835E-08	5,439E-10
Molybdenum	Ar	kg 1,4-DB eq	7,989E-04	5,956E-04	1,975E-04	5,764E-06
Molybdenum	Água	kg 1,4-DB eq	1,628E+00	1,613E+00	1,500E-02	1,957E-04
Molybdenum	Solo	kg 1,4-DB eq	6,381E-06	2,626E-06	3,751E-06	4,885E-09

continua

Tabela D.4 – Toxicidade humana no ciclo de vida da torneira economizadora de água (continuação)

Toxicidade humana						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Nickel	Ar	kg 1,4-DB eq	1,132E-01	6,989E-02	4,110E-02	2,239E-03
Nickel	Solo	kg 1,4-DB eq	3,582E-04	1,425E-04	2,137E-04	1,961E-06
Nickel, ion	Água	kg 1,4-DB eq	1,496E-01	1,398E-01	9,594E-03	2,057E-04
Nitrogen oxides	Ar	kg 1,4-DB eq	3,325E-02	1,616E-02	3,749E-03	1,334E-02
o-Xylene	Água	kg 1,4-DB eq	6,985E-13	5,288E-13	1,682E-13	1,451E-15
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Ar	kg 1,4-DB eq	3,541E-01	1,955E-01	1,568E-01	1,778E-03
PAH, polycyclic aromatic hydrocarbons	Água	kg 1,4-DB eq	3,345E-02	1,126E-02	1,488E-02	7,316E-03
Particulates, < 10 um (mobile)	Ar	kg 1,4-DB eq	9,554E-07	x	9,554E-07	x
Particulates, < 10 um (stationary)	Ar	kg 1,4-DB eq	4,663E-05	x	4,663E-05	x
Particulates, < 2.5 um	Ar	kg 1,4-DB eq	3,373E-03	3,057E-03	2,661E-04	4,986E-05
Particulates, > 2.5 um, and < 10um	Ar	kg 1,4-DB eq	2,809E-03	2,589E-03	1,959E-04	2,422E-05
Phenol	Ar	kg 1,4-DB eq	3,488E-08	2,650E-08	8,343E-09	3,048E-11
Phenol	Água	kg 1,4-DB eq	7,714E-08	3,070E-08	2,485E-08	2,159E-08
Phenol, 2,4-dichloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	1,864E-07	7,301E-08	1,133E-07	4,918E-13
Phenol, pentachloro-	Ar	kg 1,4-DB eq	7,081E-07	2,779E-07	4,299E-07	2,246E-10
Phthalate, dioctyl-	Água	kg 1,4-DB eq	1,044E-13	x	1,044E-13	x
Pirimicarb	Solo	kg 1,4-DB eq	6,445E-10	5,873E-10	5,619E-11	1,078E-12
Propylene oxide	Ar	kg 1,4-DB eq	6,227E-06	3,095E-06	2,951E-06	1,815E-07
Propylene oxide	Água	kg 1,4-DB eq	3,138E-05	1,559E-05	1,487E-05	9,150E-07
Selenium	Ar	kg 1,4-DB eq	7,559E-03	3,075E-03	4,349E-03	1,353E-04
Selenium	Água	kg 1,4-DB eq	1,255E+01	1,245E+01	1,062E-01	1,248E-03
Sodium dichromate	Ar	kg 1,4-DB eq	5,919E-02	2,356E-02	3,554E-02	9,084E-05
Styrene	Ar	kg 1,4-DB eq	2,647E-10	1,898E-10	7,386E-11	9,626E-13
Sulfur dioxide	Ar	kg 1,4-DB eq	4,764E-04	2,331E-04	2,326E-04	1,068E-05
Sulfur oxides	Ar	kg 1,4-DB eq	1,976E-03	1,863E-03	1,122E-04	x
Thallium	Ar	kg 1,4-DB eq	1,039E-03	5,480E-04	4,894E-04	1,108E-06
Thallium	Água	kg 1,4-DB eq	6,247E+00	6,217E+00	2,940E-02	2,084E-04
Thiram	Solo	kg 1,4-DB eq	2,691E-10	2,594E-10	8,036E-12	1,580E-12

continua

Tabela D.4 – Toxicidade humana no ciclo de vida da torneira economizadora de água (continuação)

Toxicidade humana						
Substância	Destino da emissão	Unidade	Total	Produção	Uso	Disposição final
Tin	Ar	kg 1,4-DB eq	2,696E-07	1,848E-07	8,434E-08	3,874E-10
Tin	Solo	kg 1,4-DB eq	3,129E-05	1,225E-05	1,904E-05	3,969E-12
Tin, ion	Água	kg 1,4-DB eq	4,647E-06	4,628E-06	1,936E-08	1,386E-10
Toluene	Ar	kg 1,4-DB eq	2,226E-06	9,619E-07	8,915E-07	3,730E-07
Toluene	Água	kg 1,4-DB eq	7,370E-07	2,684E-07	2,730E-07	1,957E-07
Tributyltin compounds	Água	kg 1,4-DB eq	9,615E-06	9,521E-07	8,374E-06	2,889E-07
Vanadium	Ar	kg 1,4-DB eq	1,842E-02	5,755E-03	1,218E-02	4,856E-04
Vanadium	Solo	kg 1,4-DB eq	1,984E-04	7,860E-05	1,197E-04	1,423E-07
Vanadium, ion	Água	kg 1,4-DB eq	4,339E-01	4,215E-01	1,219E-02	2,033E-04
Xylene	Água	kg 1,4-DB eq	8,211E-07	2,969E-07	3,057E-07	2,185E-07
Zinc	Ar	kg 1,4-DB eq	2,012E-02	1,993E-02	1,455E-04	3,853E-05
Zinc	Solo	kg 1,4-DB eq	4,364E-05	1,923E-05	2,344E-05	9,623E-07
Zinc, ion	Água	kg 1,4-DB eq	9,231E-03	9,167E-03	6,185E-05	2,070E-06
Total		kg 1,4-DB eq	2,575E+01	2,464E+01	1,070E+00	3,988E-02

conclusão

Tabela D.5 – Consumo de água no ciclo de vida da torneira economizadora de água.

Fase	Consumo de água (m³)
Produção	0,086
Uso	23,254
Disposição final	0,001
Total	23,341

Tabela D.6 – Consumo de energia total no ciclo de vida da torneira economizadora de água.

Fase	Consumo de energia total (MJ)
Produção	55,907
Uso	75,479
Disposição final	5,157
Total	136,543