

Ana Kelly Marinoski Ribeiro

Método para avaliação do impacto ambiental da implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em residências unifamiliares a partir da análise 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, Ph.D.

Florianópolis
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Ribeiro, Ana Kelly Marinoski

Método para avaliação do impacto ambiental da implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em residências unifamiliares a partir da análise do ciclo de vida / Ana Kelly Marinoski Ribeiro ; orientador, EneDir Ghisi - Florianópolis, SC, 2015.
276 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Inclui referências

1. Engenharia Civil. 2. Água pluvial. 3. Água cinza. 4. Análise de ciclo de vida. 5. Habitações residenciais unifamiliares. I. Ghisi, EneDir. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

Ana Kelly Marinoski Ribeiro

Método para avaliação do impacto ambiental da implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em residências unifamiliares a partir da análise do ciclo de vida

Esta Tese foi julgada adequada para obtenção do Título de “Doutor em Engenharia Civil”, e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil.

Florianópolis, 25 de novembro de 2015.

Prof. Glicério Trichês, Dr.
Coordenador do Curso

Prof. Eneir Ghisi, Ph.D.
Orientador ECV - UFSC

Banca Examinadora:

Prof. Asher Kiperstok, Ph.D.
Universidade Federal da Bahia

Prof. Nilo de Oliveira Nascimento, Dr.
Universidade Federal de Minas Gerais

Prof. Sebastião Roberto Soares, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Roberto Lamberts, Ph.D.
Universidade Federal de Santa Catarina

Prof. Antônio Edésio Jungles, Dr.
Universidade Federal de Santa Catarina

RESUMO

O objetivo deste trabalho é desenvolver e validar um método baseado na Análise de Ciclo de Vida (ACV) para quantificar e avaliar o impacto ambiental devido à implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em habitações residenciais unifamiliares. A primeira etapa do método é a definição do escopo do estudo, onde são determinadas a função e configuração dos sistemas, a unidade funcional e o horizonte de tempo da análise. Na etapa de diagnóstico de água e esgoto são analisados o consumo de água e a produção de esgoto na habitação, e estimados o potencial de economia de água potável e a redução de esgoto. A avaliação do impacto social é uma etapa opcional que visa analisar a aceitabilidade das fontes alternativas de água adotadas. No inventário são catalogados os dados de entrada e saída relacionados aos sistemas por meio de equações propostas para quantificação dos efeitos ambientais. Na fase de avaliação de impacto de ciclo de vida, os dados quantificados no inventário são traduzidos em impactos ambientais com o auxílio de programas computacionais específicos para ACV. Uma consulta a um painel de especialistas foi realizada para o aperfeiçoamento do método proposto, e para comprovar a aplicabilidade do método foi realizado um estudo de caso. Com a aplicação do método avaliou-se comparativamente os efeitos ambientais da implantação de um sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza em relação ao sistema hidráulico predial convencional de abastecimento de água potável. O desenvolvimento do estudo se deu por meio de levantamentos *in loco* em habitações de interesse social na região metropolitana de Florianópolis, sul do Brasil, e também parcialmente por meio de análise teórica. No estudo de caso, verificou-se que por meio da integração de aproveitamento de água pluvial e água cinza, o potencial médio de economia de água potável seria de 41,9%, enquanto o máximo potencial de economia, 53,4%. O potencial de economia de água potável obtido como o uso exclusivo de água cinza seria 19,4% do consumo total de água, e o potencial de redução de esgoto 40%. Na avaliação de impactos de ciclo de vida pelos métodos *ReCiPe H* e *CML 2 baseline 2000* gerenciados pelo programa *SimaPro, versão 7.3*, verificou-se que os efeitos ambientais mais significativos estavam relacionados à fase de operação dos sistemas. O método se mostrou válido e adequado para avaliação do impacto ambiental da implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza residenciais. As principais contribuições do método dizem respeito à

avaliação ambiental dos impactos de sistemas alternativos de água e à geração de subsídios para tomada de decisão, em diferentes níveis de atuação e por diferentes envolvidos no processo de inovação. Portanto, poderá servir como ferramenta de apoio a decisão para projetistas, empresários, pesquisadores e gestores do setor de abastecimento de água. Além disso, o método poderá contribuir para recomendação de potenciais medidas de mitigação de impactos ambientais. Também poderá contribuir para o desenvolvimento de políticas públicas específicas para incentivo do uso residencial de fontes alternativas de água.

Palavras-chave: água pluvial, água cinza, análise de ciclo de vida, impacto ambiental, habitações residenciais unifamiliares.

ABSTRACT

The objective of this study is to develop and validate a method by using the concepts of LCA to quantify and assess the environmental impact due to the implementation of integrated rainwater harvesting systems and greywater in houses. The first phase of the method is the definition of the scope of the study, where the function and configuration of the systems, the functional unit and the lifespan of the analysis are determined. At the phase of diagnosis of water and wastewater, the consumption of water and wastewater generation in the house are analysed, and the potential for potable water savings and wastewater reduction are estimated. The social impact assessment is an optional step that aims to examine the social acceptability of alternative water sources. In the inventory, input and output data related to the systems by means of equations to quantify the environmental effects are catalogued. In the life cycle impact assessment phase, data quantified in the inventory are converted into environmental impacts using specific computer programmes for LCA. A consultation with a panel of experts was conducted in order to improve the proposed method; and a case study was carried out to check the applicability of the method. By applying the proposed method the environmental effects of implementing a rainwater and greywater integrated system compared to a conventional water supply system was assessed. The development of the study was based on on-site survey in low-income houses in Florianópolis, Southern Brazil, and also on theoretical analysis. The average potential for potable water savings through the integrated use of rainwater and greywater in the case study was 41.9%, while the maximum potential savings was 53.4%. The potential for potable water savings obtained for the use of greywater was 19.4% of total water consumption, and the potential for wastewater reduction was 40%. The most significant environmental effects in the assessment of the life cycle by using the methods Recipe H and CML 2 baseline 2000 managed by software SimaPro version 7.3 were related to the operational phase. The method was valid and appropriate to assess the environmental impact of the implantation of integrated rainwater harvesting and residential greywater systems. The main contributions of the method are related to the environmental assessment of alternative water systems and generation of subsidies for decision making at different levels of action and different stakeholders in the innovation process. Therefore, it can serve as a decision support tool for designers, researchers and managers of the water supply sector. Furthermore, the method can contribute to the recommendation of potential mitigation of environmental impacts. It can

also contribute to the development of specific public policies to encourage residential use of alternative water sources.

Keywords: rainwater harvesting, greywater, life cycle assessment, environmental impact, houses.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, pela vida, saúde e por todas as coisas.

Aos meus pais e meu irmão que sempre me apoiaram.

Ao meu esposo pelo carinho e momentos alegres que proporciona.

Aos meus verdadeiros amigos e amigas, pela amizade.

Ao Professor Enedir por sua orientação e acompanhamento no decorrer deste trabalho.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite e pelas sugestões dadas.

Aos profissionais, pesquisadores e professores que integraram ao painel de especialistas.

Aos bolsistas de iniciação científica que auxiliaram nos levantamentos de campo.

Aos colegas Ulisses, Arthur e Abel pelo compartilhamento dos seus conhecimentos em importantes aspectos dessa tese.

Ao engenheiro Henrique do CICLOG (Grupo de Pesquisas em Avaliação do Ciclo de Vida) da UFSC, pelo suporte na utilização do *software* SimaPro.

Aos colegas pesquisadores do LabEEE (Laboratório de Eficiência Energética em Edificações) e aos demais colegas da pós-graduação, pela troca de conhecimento, convivência e por estarem sempre à disposição.

À Universidade Federal de Santa Catarina, ao programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, aos funcionários e professores do departamento.

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo custeio do estudo.

Enfim, agradeço a todos aqueles que contribuíram para o meu desenvolvimento e que me auxiliaram direta ou indiretamente neste trabalho.

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Consumo de água per capita em diferentes regiões.....	10
Figura 2.2 - Percentual de consumo mensal de água na amostra de residências pesquisadas no município de Feira de Santana, Bahia.	12
Figura 2.3 - Fatores que influenciam a aceitação pública do aproveitamento de água cinza.	23
Figura 2.4 - Avaliação de efluentes que seriam aceitos para fins de reuso de águas em residências localizadas na Bahia.	28
Figura 2.5 – (a) e (b) Projeto Torre Sustentável para habitações de baixa renda.....	36
Figura 2.6 - Esquema da estação de tratamento de água cinza.....	43
Figura 2.7 - Esquema do sistema de tratamento.....	45
Figura 2.8 – Sistema de reuso de água cinza em residência unifamiliar de baixo padrão.....	50
Figura 2.9 – Concepção do sistema de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto.	53
Figura 2.10 – Fases de uma ACV.	56
Figura 3.1 – Síntese das etapas do método proposto.....	79
Figura 5.1 – Localização das residências avaliadas.	117
Figura 5.2 – (a) e (b) Residências avaliadas na pesquisa.	117
Figura 5.3 –Fronteiras dos cenários (a) com sistema convencional (b) com sistema integrado.....	120
Figura 5.4 - Índice pluviométrico mensal médio, máximo e mínimo no período entre janeiro de 2002 e dezembro de 2011 em Florianópolis.....	131
Figura 5.5 – Aspectos e indicadores para avaliação de impactos sociais. .	134
Figura 5.6 – Índice de consumo de energia elétrica no sistema de tratamento e abastecimento de água e sistema de coleta e tratamento de esgoto de Florianópolis.	145
Figura 6.1 – Usos finais de água nas 48 residências avaliadas.....	156
Figura 6.2 – (a) e (b) Correlação entre consumo médio de água e renda das famílias.....	158
Figura 6.3 – Volume ideal do reservatório inferior e potencial de economia de água potável obtidos nas simulações no programa Netuno.	160
Figura 6.4 – Volume ideal do reservatório inferior e potencial de economia de água potável obtidos após a integração de água pluvial e água cinza. .	161
Figura 6.5 – Características socioeconômicas da amostra.	171
Figura 6.6 – Percentual de aceitabilidade social máxima e mínima de fontes alternativas de água.	173
Figura 6.7 – Resultados dos coeficientes de alteração definidos para a habitação avaliada.	178

Figura 6.8 - Efeitos ambientais normalizados observados nas fases do ciclo de vida do cenário com sistema convencional - método ReCiPe midpoint	183
Figura 6.9 - Efeitos ambientais normalizados observados nas fases do ciclo de vida do cenário com sistema integrado - método ReCiPe midpoint.	183
Figura 6.10 – Impactos ambientais normalizados do cenário com sistema convencional e cenário com sistema integrado pelo método ReCiPe midpoint.	184
Figura 6.11 – Parcela de contribuição de cada subsistema (pluvial e cinza) nos impactos ambientais normalizados do cenário com sistema integrado - método ReCiPe midpoint.	186
Figura 6.12 – Comparação dos cenários pelo método ReCiPe endpoint (dados normalizados).	188
Figura 6.13 – Comparação dos cenários pelo método ReCiPe endpoint (dados agregados).....	188
Figura 6.14 - Comparação dos cenários pelo método ReCiPe endpoint....	189
Figura 6.15 – Rede dos processos elementares para o cenário com sistema integrado pelo método ReCiPe endpoint.	190
Figura 6.16 – Rede dos processos elementares para o cenário com sistema convencional pelo método ReCiPe endpoint.....	191
Figura 6.17 – Impactos ambientais normalizados do cenário com sistema convencional e cenário com sistema integrado pelo método CML.	194
Figura 6.18 - Efeitos ambientais normalizados observados nas fases do ciclo de vida do cenário com sistema convencional pelo método CML.	195
Figura 6.19 - Efeitos ambientais normalizados observados nas fases do ciclo de vida do cenário com sistema integrado pelo método CML.	195
Figura 6.20 – Comparação dos impactos ambientais normalizados das categorias de impacto equivalentes entre os métodos ReCiPe e CML para o sistema convencional.....	196
Figura 6.21 – Comparação dos impactos ambientais normalizados das categorias de impacto equivalentes entre os métodos ReCiPe e CML para o sistema integrado.Figura 6.22– Comparação dos impactos ambientais da categoria Potencial de aquecimento global - métodos ReCiPe e CML.	197
Figura 6.23 – Comparação dos impactos ambientais da categoria Depleção da camada de ozônio entre os métodos ReCiPe e CML.....	197
Figura 6.24 – Comparação dos impactos ambientais da categoria Toxicidade humana entre os métodos ReCiPe e CML.....	198
Figura 6.25 – Comparação dos impactos ambientais da categoria Acidificação entre os métodos ReCiPe e CML.....	198
Figura 6.26 – Comparação dos impactos ambientais da categoria Ecotoxicidade dos solos entre os métodos ReCiPe e CML.....	199
Figura 6.27 – Comparação dos impactos ambientais da categoria Ecotoxicidade das águas potáveis entre os métodos ReCiPe e CML.....	199

Figura 6.28 – Comparação dos impactos ambientais da categoria Ecotoxicidade das águas marinhas entre os métodos ReCiPe e CML 200

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 - Consumo de água em habitações de interesse social nacionais e dados das amostras avaliadas.	14
Tabela 2.2 – Aceitação pública do aproveitamento de água cinza.....	24
Tabela 2.3 – Aceitação social de fontes alternativas de água no mundo.....	30
Tabela 2.4 – Aceitação social de fontes alternativas de água no Brasil.	31
Tabela 3.1 - Dados para a elaboração do inventário de ciclo de vida.	94
Tabela 4.1 – Síntese das sugestões verificadas no painel de especialistas e alterações do método.....	112
Tabela 5.1 – Procedimentos para elaboração do inventário e modelagem no SimaPro das etapas do ciclo de vida dos cenários comparados.	120
Tabela 5.2 – Componentes adotados para melhorar a qualidade da água pluvial.	124
Tabela 5.3 – Efeitos da implantação do sistema integrado e respectivos coeficientes de alteração.	140
Tabela 5.4 – Fator de avaliação multiplicativo relativo à escala da ocorrência do efeito da tecnologia sobre o indicador de impacto social. ...	141
Tabela 5.5 – Vida útil dos componentes dos sistemas e número de reposições ao longo do horizonte de tempo adotado de 20 anos.....	144
Tabela 5.6 – Distâncias consideradas entre a habitação modelo e fornecedor dos componentes empregados nas análises de ciclo de vida dos sistemas.	147
Tabela 5.7 – Categorias de impactos ambientais e respectivas unidades dos métodos ReCiPe e CML contempladas na análise do estudo de caso.....	151
Tabela 6.1 – Vazão média de água dos equipamentos e desvio padrão. ...	153
Tabela 6.2 – Consumo médio de água dos aparelhos sanitários que possuem ciclo e desvio padrão.	153
Tabela 6.3 – Consumo médio de água per capita por equipamento hidráulico.	154
Tabela 6.4 – Usos finais médios de água.	155
Tabela 6.5 – Variáveis de entrada para a simulação no programa Netuno.	159
Tabela 6.6 – Variáveis de entrada usadas na segunda simulação no programa Netuno.....	160
Tabela 6.7 – Economia média de água potável no horizonte de tempo. ...	161
Tabela 6.8 – Volume total de água potável consumido na habitação durante o horizonte de tempo em cada cenário de fornecimento de água.....	162
Tabela 6.9 – Resultados do volume ideal do reservatório inferior e superior e potencial de economia de água potável.	162
Tabela 6.10 – Volume total de esgoto gerado no horizonte de tempo por cenário de fornecimento de água.....	164
Tabela 6.11 – Consumo de energia para a operação dos sistemas no horizonte de tempo.....	165

Tabela 6.12 – Quantitativos e processos envolvidos na implantação, operação, manutenção e disposição final do sistema convencional.	166
Tabela 6.13 – Quantitativos e processos envolvidos na implantação, operação, manutenção e disposição final do subsistema pluvial.	167
Tabela 6.14 – Quantitativos e processos envolvidos na implantação, operação, manutenção e disposição final do subsistema cinza.	169
Tabela 6.15 – Respostas do questionário socioeconômico.	174
Tabela 6.16 – Correlação de Pearson entre Idade e Grau de instrução.	175
Tabela 6.17 – Correlação de Pearson entre a renda familiar e o número de habitantes.	175
Tabela 6.18 – Matriz de análise dos impactos sociais.	178
Tabela 6.19 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida para o cenário com sistema convencional pelo método ReCiPe midpoint.	180
Tabela 6.20 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida para o cenário com sistema integrado pelo método ReCiPe midpoint.	180
Tabela 6.21 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida pelo método ReCiPe midpoint - contribuição do subsistema pluvial no cenário com sistema integrado.	181
Tabela 6.22 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida pelo método ReCiPe midpoint - contribuição do subsistema cinza no cenário com sistema integrado.	182
Tabela 6.23 – Comparação entre os cenários em relação às categorias de impacto midpoint com sua contribuição nas categorias endpoint.	187
Tabela 6.24 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida para o cenário com sistema convencional pelo método CML.	192
Tabela 6.25 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida para o cenário com sistema integrado pelo método CML.	192
Tabela 6.26 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida da contribuição do subsistema pluvial no cenário com sistema integrado pelo método CML.	193
Tabela 6.27 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida contribuição do subsistema cinza no cenário com sistema integrado pelo método CML.	193
Tabela 6.28 - Síntese dos resultados das categorias de impacto mais afetadas.	201

LISTA DE SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ACV – Análise do Ciclo de Vida;
AICV – Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida;
ACVE – Análise de Ciclo de Vida Energético;
CO₂ – Dióxido de carbono;
CML – Centre of Environmental Science – Leiden University;
CFC – Clorofluorcarbonetos;
DB – Diclorobenzeno;
DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio;
DQO – Demanda Química de Oxigênio;
ETA – Estação de tratamento de água;
eq. – Equivalente;
ETE – Estação de tratamento de esgotos;
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia;
ISO – *International Organization for Standardization*;
LCA – *Life Cycle Assessment*;
MJ – Mega Joule;
NBR – Normas Brasileiras;
N – Nitrogênio;
NH₃ – Amônia;
N₂O – Óxido nitroso;
NO_x – Óxido de nitrogênio;
P – Fósforo;
PROCEL – Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica;
PVC – Policloreto de vinila;
SETAC – *Society of Environmental Toxicology and Chemistry*;
SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento;
SO_x – Óxido de enxofre;
U²³⁵ – Urânio;
UNEP – *United Nations Environmental Programme*.

SUMÁRIO

<i>RESUMO</i>	V
<i>ABSTRACT</i>	VII
<i>AGRADECIMENTOS</i>	IX
<i>LISTA DE FIGURAS</i>	XI
<i>LISTA DE TABELAS</i>	XV
<i>LISTA DE SIGLAS</i>	XVII
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 Justificativa.....	2
1.2 Objetivos.....	6
1.2.1 Objetivo geral.....	6
1.2.2 Objetivos específicos.....	6
1.3 Estrutura do trabalho.....	7
2 REVISÃO DE LITERATURA	9
2.1 Perfis de consumo de água.....	9
2.2 Usos finais de água.....	14
2.3 Fontes alternativas de água.....	18
2.3.1 Aceitação social de fontes alternativas de água.....	20
2.3.2 Aproveitamento de água pluvial.....	31
2.3.3 Aproveitamento de água cinza.....	38
2.3.4 Aproveitamento de água pluvial e água cinza integrados ...	47
2.4 A análise de ciclo de vida.....	55
2.4.1 Programas computacionais em estudos de ACV.....	57
2.4.2 Aplicações da ACV na área de sistemas hidráulicos prediais e gestão do uso da água.....	58
2.4.3 Limitações da ACV.....	66
2.5 Painel de especialistas.....	68
2.6 Avaliação de impactos sociais.....	71
2.7 Considerações sobre a revisão de literatura.....	74
3 MÉTODO PROPOSTO	77
3.1 Definição de objetivo e escopo.....	80
3.1.1 Identificação da função na comparação.....	81
3.1.2 Definição do horizonte de tempo.....	81
3.1.3 Definição da configuração do sistema.....	81
3.1.4 Definição da unidade funcional.....	82
3.1.5 Delimitação das fronteiras do sistema.....	83
3.1.6 Omissões de estágios do ciclo de vida, processos ou necessidades de dados.....	83
3.1.7 Critérios para a exclusão de aspectos ambientais.....	83
3.2 Diagnóstico: água e esgoto na habitação.....	84
3.2.1 Demanda de água.....	84

3.2.2	Indicador de consumo de água	85
3.2.3	Potencial de economia de água potável por meio de fontes alternativas	86
3.2.3.1	Aproveitamento de água pluvial	87
3.2.3.2	Aproveitamento de água cinza	87
3.2.3.3	Aproveitamento de água pluvial e água cinza integrados	88
3.2.4	Potencial de redução de esgoto.....	89
3.2.5	Dimensionamento dos reservatórios.....	90
3.2.5.1	Dimensionamento de reservatórios distintos de água pluvial e água cinza.....	91
3.2.5.2	Dimensionamento do reservatório de água pluvial misturada à água cinza	92
3.2.5.3	Dimensionamento do reservatório de água potável ...	92
3.3	Impactos sociais da adoção de fontes alternativas de água	93
3.4	Inventário de ciclo de vida	94
3.4.1	Quantificação das entradas	95
3.4.2	Quantificação das saídas.....	99
3.4.2.1	<i>Emissões atmosféricas</i>	99
3.4.2.2	<i>Emissões aquáticas</i>	100
3.4.2.3	<i>Emissões no solo</i>	100
3.5	Impactos ambientais.....	100
3.5.1	Categorias de impactos.....	100
3.5.2	Avaliação de impacto de ciclo de vida	103
3.5.3	Interpretação de impacto de ciclo de vida	103
3.6	Síntese do método proposto	104
4	REVISÃO E VALIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO POR MEIO DE CONSULTA A UM PAINEL DE ESPECIALISTAS	105
4.1	Painel de especialistas	105
4.1.1	Definição de objetivo e escopo.....	106
4.1.1.1	<i>Função do sistema e período de estudo</i>	106
4.1.1.2	<i>Unidade funcional</i>	107
4.1.1.3	<i>Definição das fronteiras dos sistemas</i>	107
4.1.1.4	<i>Diagnóstico de água e esgoto na habitação</i>	108
4.1.2	Análise do inventário.....	109
4.1.3	Avaliação de impacto	110
4.1.3.1	<i>Categorias de impacto</i>	110
4.1.3.2	<i>Interpretação dos impactos ambientais</i>	111
4.2	Síntese da consulta ao painel de especialistas	112
5	ESTUDO DE CASO - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO. 115	
5.1	Caracterização do objeto de estudo	116
5.2	Escopo.....	118
5.3	Concepção dos sistemas	121

5.3.1	Sistema convencional.....	122
5.3.2	Sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza	122
5.3.2.1	Subsistema pluvial.....	122
5.3.2.2	Subsistema cinza.....	125
5.4	Diagnóstico: água e esgoto na habitação.....	127
5.4.1	Demanda de água e usos finais de água	127
5.4.2	Indicador de consumo	129
5.4.3	Potencial de economia de água potável por meio de fontes alternativas.....	129
5.4.3.1	<i>Potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial</i>	130
5.4.3.2	<i>Potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água cinza</i>	132
5.4.3.3	<i>Potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento integrado de água pluvial e água cinza</i>	132
5.4.4	Volume ideal para os reservatórios	132
5.4.5	Potencial de redução de esgoto	133
5.5	Impactos sociais	134
5.5.1	Características socioeconômicas	135
5.5.2	Aceitação social de fontes alternativas de água.....	135
5.5.3	Indicadores de impacto social	137
5.5.4	Procedimentos de avaliação dos impactos sociais.....	139
5.5.5	Matriz de análise dos impactos sociais.....	141
5.6	Inventário de ciclo de vida	142
5.6.1	Pressupostos adotados	142
5.6.2	Vida útil dos componentes dos sistemas	143
5.6.3	Consumo de energia para a operação	144
5.6.4	Transporte de materiais e componentes do sistema.....	147
5.6.5	Destinação de componentes dos sistemas	148
5.7	Avaliação de impacto de ciclo de vida.....	148
5.8	Síntese do exemplo de aplicação do método proposto.....	152
6	RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO DE CASO.....	153
6.1	Diagnóstico: água e esgoto na habitação.....	153
6.1.1	Usos finais e demanda de água.....	153
6.1.2	Potencial de economia de água potável por meio de fontes alternativas.....	159
6.1.3	Volume ideal para os reservatórios	162
6.1.4	Potencial de redução de esgoto	163
6.2	Unidade funcional	164
6.3	Consumo de energia para a operação.....	164
6.4	Processos adotados na base de dados.....	165
6.5	Impactos sociais	171

6.5.1	Características socioeconômicas	171
6.5.2	Aceitação social de fontes alternativas de água.....	172
6.5.3	Matriz de análise dos impactos sociais	177
6.6	Impactos ambientais	179
6.6.1	Impactos ambientais avaliados pelo Método <i>ReCiPe</i>	179
6.6.1.1	<i>Categorias de impactos em nível midpoint</i>	180
6.6.1.2	<i>Categorias de impactos em nível endpoint</i>	186
6.6.2	Impactos ambientais avaliados pelo método <i>CML</i>	192
6.6.3	Comparação dos resultados obtidos nas categorias de impacto equivalentes dos métodos <i>ReCiPe</i> e <i>CML</i>	195
6.7	Interpretação dos impactos ambientais e recomendações	201
7	CONCLUSÕES	203
7.1	Limitações	205
7.2	Sugestões para trabalhos futuros	206
	REFERÊNCIAS	207
	APÊNDICE I	235
	APÊNDICE II	243
	APÊNDICE III	249
	APÊNDICE IV	252
	APÊNDICE V	253

1 INTRODUÇÃO

Durante décadas muitas nações não tiveram grandes preocupações com o meio ambiente, poluindo e esgotando diferentes recursos naturais. Conjuntamente com as mudanças climáticas globais, o cenário atual revela uma crise ambiental preocupante. Nesse contexto, os recursos hídricos são recursos a serem preservados, levando em conta a sua importância para a vida no planeta.

Notadamente as regiões de grande concentração populacional e também grandes áreas de plantações agrícolas acabam exercendo fortes pressões nos recursos hídricos, ocasionando uma redução gradual da qualidade e disponibilidade. Além disso, outro fator que contribui para que a água se torne cada dia um bem mais raro, é a fragilidade dos sistemas públicos de abastecimento que não acompanham o crescimento da população. Aliado a isso, em algumas regiões ocorrem constantes estiagens.

Em função da insuficiência do abastecimento de água é necessário que ocorra redução da demanda e crescimento da oferta de água. O ponto de partida para minimizar esse problema deve ser a conservação da água e a utilização de fontes alternativas.

Farrelly e Brown (2011) ressaltam que há uma ampla aceitação da necessidade de práticas mais sustentáveis relacionadas à água em centros urbanos. Com as atuais previsões de mudanças climáticas e a crescente demanda de água devido ao crescimento populacional e industrial, muitos pesquisadores incentivam melhorias no setor de gestão da água urbana, estimulando o desenvolvimento sustentável.

O uso de fontes alternativas de água é uma prática inserida nos conceitos do uso racional dos recursos hídricos, embora a maioria das políticas públicas do Brasil e de outros países ainda esteja em fase de adaptação a essa nova cultura de conservação de água (GONÇALVES; SILVA, 2012).

No âmbito das edificações, a minimização do consumo de água é um importante parâmetro indicativo da sustentabilidade. Neste contexto, o uso racional dos recursos naturais, sobretudo a água, vem se impondo como uma ação fundamental para o desenvolvimento sustentável. Assim, faz-se necessário avaliar soluções que tenham potencial para reduzir o consumo de água potável dos sistemas de abastecimento de água. Dentre essas soluções destacam-se o

aproveitamento de água pluvial e o aproveitamento de água cinza¹ como fontes alternativas de água.

Nota-se, em diversos estudos, que, através da implantação destas estratégias, expressiva quantidade de água potável pode ser economizada. No entanto, a implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial e aproveitamento de água cinza requer equipamentos e componentes adicionais, como motobombas, reservatórios de armazenagem de água, dispositivos e acessórios, e, em alguns casos, quantidades significativas de energia para o bombeamento e/ou tratamento da água. Assim, a seleção de materiais e equipamentos componentes de sistemas alternativos de água deve estar pautada na avaliação dos seus respectivos impactos ambientais.

De acordo com Crawford (2008), há uma gama de métodos disponíveis para avaliar os impactos ambientais de produtos ou sistemas. A Análise do Ciclo de Vida (ACV) é uma das metodologias mais difundidas para avaliar o impacto ambiental que um determinado produto ou processo tem em toda a sua vida (FINNVEDEN, 2009).

A metodologia da Análise do Ciclo de Vida destaca-se em auxiliar no fornecimento de informações ambientais de produtos e sistemas. A ACV ajuda a identificar oportunidades de melhoramento do desempenho ambiental considerando as várias fases de um sistema de produção. A ACV também pode ser utilizada para permitir um melhor entendimento de todo o sistema para produzir determinado produto e, conseqüentemente, aprimorá-lo, resultando na eficiência no uso dos recursos e na prevenção à poluição (CHEHEBE, 1998).

Diante deste contexto, para definir tais questões relativas à sustentabilidade de sistemas alternativos de água propõe-se um método de avaliação de impactos ambientais a partir da Análise do Ciclo de Vida.

1.1 Justificativa

Dentre os recursos naturais, a água é um elemento essencial para a promoção da vida, porém é um recurso limitado. Caso as tendências atuais de consumo elevado da água não se alterem, no futuro próximo as crises hídricas irão agravar-se significativamente.

¹ Água residuária oriunda dos efluentes de chuveiros, lavatórios, tanque e de máquina de lavar roupas. Após tratamento adequado, é destinada ao abastecimento de usos não potáveis.

O incremento de tecnologias adequadas para o uso racional da água nas edificações, por meio de sistemas alternativos de suprimento de água, visa contribuir para a conservação dos recursos hídricos e para a redução de encargos energéticos por metro cúbico de água. Porém, a instalação e funcionamento desses sistemas requerem o emprego de materiais extras, e, portanto, é necessário verificar a energia incorporada no ciclo de vida destes materiais.

A energia incorporada se refere à energia primária total consumida na extração da matéria-prima, fabricação, transporte, construção, manutenção, demolição e disposição final de um material/produto de construção. A análise da energia incorporada pode focar diferentes parâmetros de estudo, sendo comumente realizada do berço ao túmulo ou do berço ao berço, podendo, no entanto, ser realizada para avaliar somente uma fase do processo de fabricação (CALKINS, 2009).

O impacto da atividade humana e as alterações do equilíbrio do meio ambiente se tornaram uma preocupação global durante as últimas décadas. Devido a essa crescente preocupação em relação à conservação dos recursos naturais, a sociedade, de forma geral, exerce uma grande pressão de demanda por informações sobre aspectos ambientais de produtos ou sistemas.

De acordo com Koehler (2008), a consideração dos recursos hídricos em estudos de ACV em todos os setores da economia é de fundamental importância. Além disso, as implicações ambientais das estratégias para promover o uso racional da água necessitam ser verificadas (FIDAR et al., 2010).

Deste modo, a fim de avaliar o impacto global para obter estratégias de economia de água em uma edificação, a ACV é uma metodologia útil. A Análise do Ciclo de Vida permite avaliar não somente os impactos causados ao meio ambiente, como também identificar melhorias que deveriam ser inseridas para reduzir esses impactos. A ACV pode trazer benefícios aos setores público e privado por revelar previamente a emissão de poluentes e prever a introdução negativa de mercadorias (CONSOLI et al., 1993).

Por meio de estudos de ACV torna-se possível realizar uma análise da cadeia produtiva e uma melhor escolha de matérias-primas e fontes energéticas, além de possibilitar uma minimização mais eficiente de emissões e resíduos gerados.

O desenvolvimento de avaliações ambientais que permitam verificar o desempenho ambiental em todas as etapas do ciclo de vida dos componentes e equipamentos utilizados em estratégias para uso eficiente

da água contribui para redução dos impactos ambientais gerados pelas edificações.

Estratégias e alternativas para uso eficiente da água, como o aproveitamento de água pluvial e aproveitamento de água cinza, vêm sendo estudadas por muitos pesquisadores em diferentes países. Encontram-se na literatura especializada, por exemplo, estudos sobre aproveitamento de água pluvial em hotéis na China (DENG, 2003), escolas e residências em Taiwan (CHENG; HONG, 2004; CHENG, 2003, CHIU et al., 2009), residências unifamiliares e edifícios na Austrália (EROKSUZ; RAHMAN, 2010; BEAL et al., 2011; UMAPATHI et al., 2013), no Reino Unido (FEWKES, 1999; WARD et al., 2012) e na região do Mediterrâneo (FARRENY et al., 2011), residências unifamiliares no Brasil (HERNANDES et al., 2004; GONÇALVES, 2006; COHIM; GARCIA; KIPERSTOK, 2008, SOUZA; GHISI, 2012) dentre outros.

Sobre o aproveitamento de água cinza, isoladamente ou em combinação com água pluvial, também há trabalhos publicados que mostram o potencial de economia de água potável em diversas tipologias de edificações, tais como residências multifamiliares (NOLDE, 1999; GHISI; FERREIRA, 2007), em hotéis (MARCH et al., 2004) e em residências unifamiliares (DIXON et al., 1999; DIXON, 2000; AL-JAYYOUSI, 2003; GHISI; OLIVEIRA 2007; BERTRAND, 2008; LI et al., 2010; MOURAD et al., 2011; MUTHUKUMARAN, et al., 2011).

Há também estudos que abordam a qualidade de água cinza (MARCH et al. 2004; PETERS et al., 2006; O'TOOLEA et al., 2012) e a aceitação social de fontes alternativas de água (RYAN et al. 2009; DOMÈNECH; SAURI, 2010; MANKAD; TAPSUWAN, 2011; MUTHUKUMARAN et al., 2011; MANKAD, 2012).

Alguns estudos demonstram que a utilização de apenas uma fonte alternativa de água isoladamente, água cinza ou água pluvial, não é suficiente para abastecer a demanda residencial de água para fins não potáveis. Destaca-se que em muitas regiões onde ocorrem estiagens, a eficiência de sistemas de captação de água pluvial diminui, pois é altamente dependente da frequência e intensidade das chuvas (MUTHUKUMARAN et al., 2011). Em algumas edificações verifica-se que as áreas de captação são insuficientes para captar a água pluvial necessária para suprir a demanda existente (GHISI; FERREIRA, 2007). Nestes casos, o uso de água pluvial e água cinza poderia possibilitar o abastecimento completo da demanda de água não potável na edificação. Apesar da água cinza apresentar qualidade inferior à da água pluvial, a água cinza é gerada com maior regularidade, justificando-se a combinação destes tipos de águas.

Além disso, a produção de água cinza varia conforme os hábitos dos usuários quanto à utilização dos aparelhos sanitários (chuveiro, lavatório, tanque, lavadora de roupas), conforme o tipo de equipamento adotado (com ou sem dispositivos economizadores de água) e clima local. Qualquer mudança nos hábitos e costumes dos habitantes, do clima, ou trocas de equipamentos, influencia na quantidade de água cinza produzida (PETERS et al., 2006). Deste modo, por meio do uso de duas fontes alternativas de água é possível economizar maior volume de água potável em comparação com a economia média obtida com uso de apenas uma fonte alternativa de água isoladamente (GHISI; OLIVEIRA, 2007).

Os estudos existentes atualmente sobre sistemas de aproveitamento de água pluvial concentram-se principalmente em aspectos relacionados à viabilidade econômica para implantação (DOMÈNECH; SAURI, 2011; LIANG; VAN DIJK, 2011; ZHANG et al., 2009), à qualidade da água da chuva coletada (LEE et al., 2012; MENDEZ et al., 2011; MOON et al., 2012; SAZAKLI et al., 2007; ZHU et al., 2004); ao potencial de economia de água potável (GHISI et al., 2012; GHISI et al., 2009a; RAHMAN et al., 2012; SOUZA; GHISI, 2012; VILLARREAL; DIXON, 2005) e ao dimensionamento de reservatórios de armazenamento (APPAN, 1999; FEWKES; BUTLER, 1999; GHISI, 2010; HERRMANN; SCHMIDA, 2000; JONES; HUNT, 2010; CAMPISANO; MODICA, 2012). Existem poucos estudos sobre ACV de sistemas de aproveitamento de água pluvial e sistemas de aproveitamento de água cinza instalados em uma mesma edificação. No estudo de Morales-Pinzón et al. (2012), os autores concluíram que o fator determinante na viabilidade ambiental e concepção dos sistemas é a escala de implantação dos mesmos, sendo que a melhor opção é a escala bairro.

Nota-se que os estudos abordando fontes alternativas de água, na maioria das pesquisas existentes atualmente na literatura, em geral as análises realizadas são de ordem técnica ou econômica. As pesquisas são específicas e limitadas em estudos de casos, raramente abordam a integração de aproveitamento de água cinza e uso de água pluvial e seu impacto ambiental. Kim et al. (2007) ressaltam que a falta de informação útil sobre a utilização integrada dessas fontes alternativas de água dificulta a ampla aplicação destes sistemas.

A justificativa do tema desta pesquisa encontra-se na necessidade da avaliação detalhada de sistemas alternativos de água (água pluvial e água cinza) em edificações residenciais quanto ao aspecto ambiental.

Portanto, este trabalho contribui propondo um método baseado na Análise do Ciclo de Vida, para a avaliação do impacto ambiental

causado pela adoção de fontes alternativas de água em habitações residenciais unifamiliares.

As principais contribuições do método dizem respeito à avaliação ambiental dos impactos de sistemas alternativos de água e à geração de subsídios para tomada de decisão, em diferentes níveis de atuação e por diferentes envolvidos no processo de inovação. Deste modo, servirá como ferramenta de apoio à decisão para projetistas, empresários, pesquisadores e gestores do setor de abastecimento de água. Além disso, o método poderá contribuir para recomendação de potenciais medidas de mitigação de impactos ambientais. Também contribuirá para o desenvolvimento de políticas públicas específicas para incentivo do uso residencial de fontes alternativas de água.

1.2 *Objetivos*

1.2.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver e validar um método baseado na Análise de Ciclo de Vida para quantificar e avaliar o impacto ambiental devido à implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em habitações residenciais unifamiliares.

1.2.2 Objetivos específicos

Para atingir o objetivo geral, a pesquisa se desdobrará em etapas que visam:

- Verificar os impactos ambientais de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e aproveitamento de água cinza ao longo do ciclo de vida;
- Avaliar o potencial de economia de água potável com a instalação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e aproveitamento de água cinza;
- Realizar uma consulta a um painel de especialistas para validar o método proAposto;
- Verificar a aplicabilidade do método proposto por meio do desenvolvimento e avaliação de um estudo de caso;
- Verificar o impacto social da implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e aproveitamento de água cinza em habitações de interesse social (estudo de caso).

1.3 Estrutura do trabalho

A estrutura desta tese é composta pelos seguintes capítulos: introdução (presente capítulo), revisão de literatura, método proposto, exemplo de aplicação do método proposto - estudo de caso, resultados obtidos no estudo de caso e conclusões.

No primeiro capítulo está apresentada uma breve introdução ao tema, justificativa da pesquisa e os objetivos do trabalho.

O segundo capítulo apresenta uma revisão de literatura dos temas abordados na pesquisa. A discussão iniciada na introdução sobre o tema do trabalho é ampliada. Apresentam-se detalhadamente os estudos desenvolvidos pela comunidade acadêmica na linha de pesquisa desta tese. São apresentadas também aplicações da ACV em diferentes países no campo de sistemas hidráulicos prediais e de gestão do uso da água.

O terceiro capítulo concentra-se no desenvolvimento do método proposto no trabalho, utilizando a abordagem da metodologia da ACV. O método pretende quantificar e avaliar o impacto ambiental devido à implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial e água cinza em habitações residenciais unifamiliares. Descrevem-se neste capítulo os métodos utilizados para alcançar os objetivos do trabalho.

O quarto capítulo mostra a revisão e aperfeiçoamento do método proposto realizada com base nos resultados da consulta a um painel de especialistas.

O capítulo quinto apresenta a aplicação do método em um estudo de caso. Neste capítulo estão descritos todos os materiais, equipamentos, procedimentos e programas que foram utilizados para verificar a aplicabilidade do método proposto por meio de um estudo de caso, realizado em habitações de interesse social no sul do Brasil.

O sexto capítulo mostra os resultados obtidos da aplicação do método no estudo de caso. São apresentados dados obtidos no diagnóstico de água e esgoto, dados do inventário, dados referentes às características socioeconômicas das famílias avaliadas, e respectiva aceitação social das fontes alternativas de água. Por fim, são apresentados os impactos ambientais verificados.

O sétimo capítulo apresenta as principais conclusões obtidas, limitações da pesquisa e aspectos a explorar em pesquisas futuras.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Perfis de consumo de água

O perfil de consumo de água varia de acordo com os hábitos da população, o clima, a estação do ano, o dia da semana e a tipologia da edificação (ZHOU et al., 2002). Além disso, fatores como padrão econômico, aspectos culturais, número de habitantes da cidade, sistema de fornecimento, cobrança da água e também eficiência dos aparelhos sanitários influenciam no consumo de água.

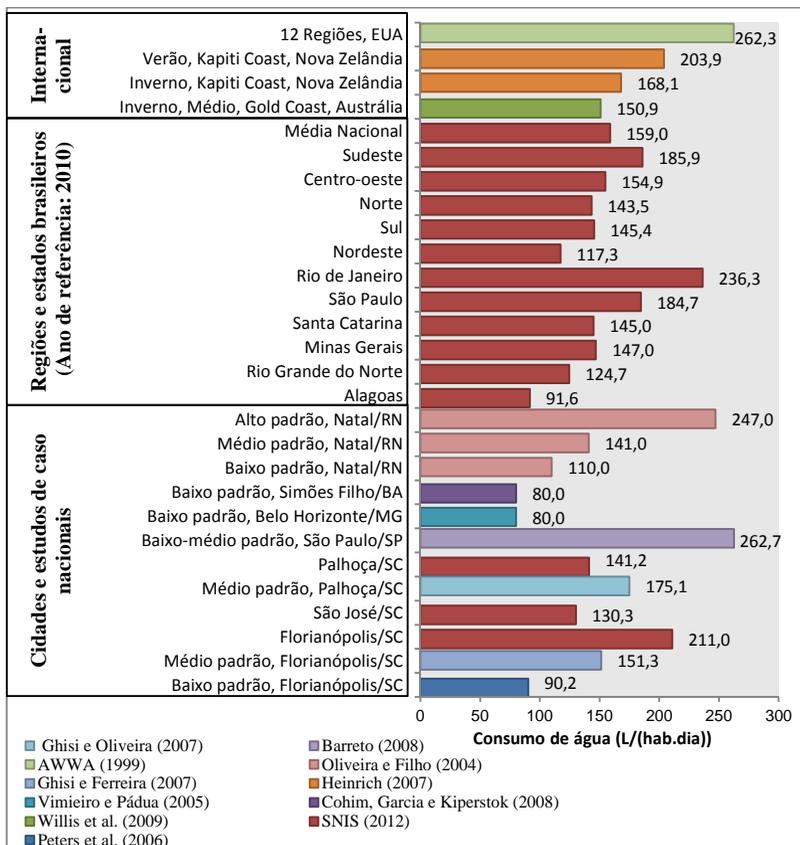
Cohim et al. (2008) corroboram afirmando que o consumo de água residencial apresenta correlação com a renda familiar. Almeida (2007) afirma que os perfis de consumo de água de residências localizadas em cidades grandes e em cidades pequenas são distintos, exemplificando como o hábito de realizar as refeições em casa, muito comum em cidades pequenas, reflete no maior consumo da água na pia de cozinha. Ao contrário, Romano, Salvati e Guerrini (2014) verificaram em um estudo sobre fatores determinantes da demanda de água residencial para as principais cidades italianas, que as cidades pequenas em termos de população foram caracterizadas por baixos níveis de consumo de água.

Sant'Ana (2011) realizou um estudo sobre o consumo de água para uso doméstico em residências brasileiras, com especial atenção para as diferentes faixas de renda e tipologias de habitação do Distrito Federal. A hipótese básica do estudo é que variáveis como renda familiar, tipologia da habitação e comportamento dos ocupantes afetam o consumo de água. Foram coletados dados primários sobre os indicadores anuais, mensais, semanais e diários de consumo de água em habitações de alta, média-alta, média-baixa e baixa renda. No geral, os resultados sugerem que há uma relação positiva entre renda familiar e consumo interno *per capita* de água, onde, quanto maior o nível de renda, maior a taxa de consumo *per capita* de água. Habitações de alta renda apresentaram consumo de água *per capita* significativamente maior quando comparadas com as faixas de renda mais baixas, o que sugere que essa diferença no consumo é baseada em padrões perdulários de consumo que a renda permite.

A Figura 2.1, obtida de estudo realizado por Vieira (2012), apresenta o consumo de água *per capita* em algumas regiões do mundo, estados brasileiros e em alguns estudos de casos nacionais. Observou-se nessa figura que o consumo médio de água no Brasil desconsiderando as perdas de água no sistema de distribuição, igual a 159,0 L/hab.dia (SNIS, 2012), é superior ao consumo dos moradores da cidade de Gold Coast na

Austrália (WILLIS et al., 2009). Contudo, o consumo médio brasileiro é inferior ao consumo em estudos realizados em regiões dos EUA (262,3 L/hab.dia (AWWA, 1999)) e da Nova Zelândia (entre 168,1 e 203,9 L/hab.dia (HEINRICH, 2007)).

Figura 2.1 - Consumo de água *per capita* em diferentes regiões.



Fonte: Adaptado de Vieira (2012).

O maior consumo *per capita* em nível nacional acontece na região Sudeste (185,9 L/hab.dia), onde o poder aquisitivo dos cidadãos e o desenvolvimento econômico são maiores. Observa-se que o menor consumo (117,3 L/hab.dia) ocorre na região Nordeste, onde existem algumas cidades com baixa disponibilidade hídrica.

Verificou-se, com base no Sistema Nacional de Informações

sobre Saneamento - SNIS, que as populações das cidades de São José, Palhoça e Florianópolis (região metropolitana de Florianópolis) consumiram 130,3, 157,6 e 137,1 L/hab.dia no ano de 2010, respectivamente (SNIS, 2012).

Em outro estudo realizado no Brasil, Almeida (2007) desenvolveu uma metodologia para caracterização qualitativa e quantitativa do consumo de água em residências localizadas em Feira de Santana, região semiárida da Bahia. Foi aplicado um questionário em 379 residências, com um erro amostral de 5%, para compreender o comportamento das pessoas, usos e costumes relativo ao consumo residencial de água. Os resultados da aplicação do questionário possibilitaram a identificação das principais características das famílias e, das residências, pois das 109 questões do questionário, 41 (37%) apresentam correlação significativa com o consumo. Assim sendo, foi investigada a correlação entre o consumo doméstico da água e as características da residência, onde se constatou que os fatores com maior correlação com o consumo doméstico de água são: número de moradores nas residências; número de dormitórios; quantidade de banheiros; número de aparelhos sanitários; e alguns comportamentos em relação à utilização da água, tais como: lavagem de mãos, banhos e descarga. Além disso, os resultados demonstraram que o consumo de água está diretamente relacionado com a renda familiar e com o número de moradores. Residências com mesmas características físicas (tamanho, número de equipamentos, etc.) podem ter diferentes consumos de água, dependendo do comportamento das pessoas que utilizam água.

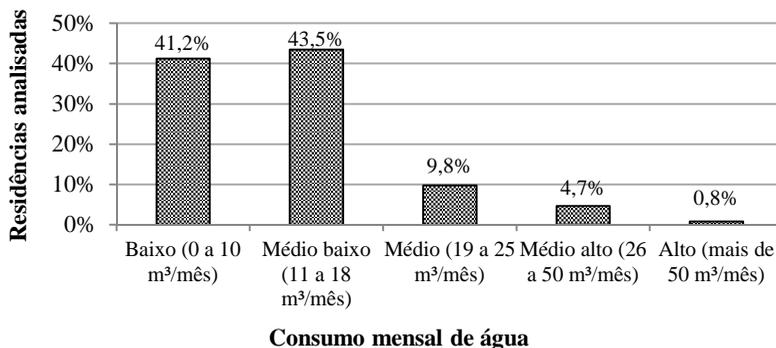
O consumo médio da população estudada na pesquisa de Almeida (2007) foi de 115 L/hab.dia. Verificou-se que cerca de 41% das residências avaliadas consomem até 10 m³/mês (Figura 2.2). Na amostra em estudo, o menor consumo foi de 2 m³/mês e o maior foi de 62 m³/mês. A média de consumo foi de aproximadamente 13 m³/mês, o desvio padrão foi de 7,67m³/mês e o consumo mais frequente observado na amostra em estudo foi de 10 m³. O levantamento dos dados identificou que o equipamento que mais demandou água foi a torneira da pia da cozinha, seguido pelo lavatório e pelo chuveiro. Destacou-se que a descarga da bacia sanitária, que na maioria das pesquisas é apresentada como o equipamento que mais consome água, nesta análise aparece entre os menores valores. De acordo com a autora, isso ocorreu devido ao tipo de descarga, forma de acionamento e costumes das famílias.

Serão destacados neste item alguns estudos nacionais a respeito de perfis de consumo de água em residências unifamiliares de interesse social. Além disso, em alguns estudos de casos, foi analisado como as

características socioeconômicas influenciam no consumo de água nas habitações.

Oliveira Junior et al. (2003) avaliaram perfis de consumo de água de 21 habitações de baixa renda localizadas em Pindamonhangaba, São Paulo, de modo a fornecer dados mais adequados para o dimensionamento dos reservatórios de água. Os valores encontrados na pesquisa demonstram que residências com consumo total similar possuem distribuições horárias ao longo do dia diferentes em termos de valor máximo consumido. Verificou-se também que, com a instalação de bacias sanitárias economizadoras, o consumo médio geral de uma das residências analisadas passou de 955 para 888 litros/dia, totalizando consumo médio mensal de 26,4 m³.

Figura 2.2 - Percentual de consumo mensal de água na amostra de residências pesquisadas no município de Feira de Santana, Bahia.



Fonte: Adaptado de Almeida (2007).

Dantas et al. (2006) analisaram os hábitos de consumo de água em 19 residências unifamiliares de interesse social em Itajubá, Minas Gerais. Os dados foram coletados através de entrevistas com os usuários. Também foram investigadas as manifestações patológicas nos equipamentos consumidores de água, de modo a identificar possíveis fontes de desperdícios. O indicador de consumo médio encontrado foi de 117 L/hab.dia (variando de 80 a 133 L/hab.dia), correspondendo a um consumo médio de 11,63 m³/mês.

Oliveira et al. (2006) também realizaram trabalho caracterizando o consumo de água em residências de interesse social. A metodologia utilizada foi a aplicação de questionários em 14 residências localizadas na cidade de Goiânia. O índice de consumo médio determinado foi de 95

L/hab.dia. Os autores também encontraram um grande índice de vazamento em bacias sanitárias, com valor médio superior a 20%.

Ywashima et al. (2006) caracterizaram o uso de água em 27 residências unifamiliares de interesse social localizadas na cidade de Paulínia - SP. Os dados foram levantados através de entrevistas com os usuários e observação das condições de operação dos aparelhos sanitários. Observou-se que o consumo mensal de água nas residências investigadas varia de 3 a 25 m³/mês, enquanto o indicador de consumo varia de 46 a 309 L/hab.dia. Os valores médios obtidos de consumo mensal e consumo *per capita* foram 12 m³ e 113 L/hab.dia, respectivamente. Verificou-se, também, que o número médio de habitantes por residência foi igual a quatro e a idade da maioria dos moradores encontra-se na faixa entre 16 e 59 anos, sendo que a idade média era 29 anos.

Cohim et al. (2009) na região metropolitana de Salvador, Bahia, avaliaram dez residências de um condomínio construído para população de baixa renda. As residências estudadas possuíam em média 3,3 habitantes, cuja idade média era 18 anos. Os níveis de escolaridade predominantes verificados foram o primeiro grau incompleto e o ensino médio completo. A renda familiar verificada era de até dois salários mínimos, sendo que a maioria (78%) possuía renda de até um salário mínimo. O consumo de água por habitante variou entre 74,34 e 85,99 L/hab.dia, com média de aproximadamente 80 L/hab.dia.

Em outro estudo realizado na Bahia, Garcia (2011) investigou como as características socioeconômicas influenciam no consumo de água em residências de baixa renda. Foram entrevistados por meio de um questionário semiestruturado contendo 45 questões, moradores de 147 domicílios localizados em uma região de baixa renda em Salvador. Constatou-se na pesquisa que, dos domicílios avaliados, 55% encontram-se na faixa de consumo até 10 m³/mês, onde é cobrada a tarifa mínima. O consumo mensal médio de água obtido foi de 10,6 m³. O consumo *per capita* ficou em torno de 101 litro/dia. Para a população avaliada, foi identificada associação significativa entre o consumo residencial de água e aspectos como: número de moradores, número de dormitórios e pontos internos de água e parcela da renda comprometida com o pagamento da conta de água. Uma das conclusões desse trabalho indicou que o valor fixo cobrado pela concessionária de água para o consumo até 10 m³ induz ao desperdício.

A Tabela 2.1 apresenta um resumo dos perfis de consumo de água verificados em pesquisas nacionais em diferentes amostras de habitações de interesse social. Alguns dados não foram fornecidos nestes estudos e estão representados na Tabela 2.1 por "--".

Tabela 2.1 - Consumo de água em habitações de interesse social nacionais e dados das amostras avaliadas.

Cidade/Estado	CP	CM	TA	N	I	Fonte
Pindamonhangaba/SP	--	26,4	21	--	--	Oliveira Júnior et al. (2003)
Itajubá/MG	117	11,6	19	--	--	Dantas et al. (2006)
Goiânia/GO	95	--	14	--	--	Oliveira et al. (2006)
Paulínia/SP	113	12	27	4	29	Ywashima et al. (2006)
Simões Filho/BA	80	--	10	3,3	18	Cohim et al. (2009)
Salvador/BA	101	10,6	147	--	--	Garcia (2011)
Florianópolis/SC	132,3	--	48	4	--	Marinoski et al. (2014)

CP = Consumo *per capita* médio (L/hab.dia); CM = Consumo médio (m³/mês); TA = Tamanho da amostra (habitações); N=Número médio de moradores (pessoas); I=Idade média (anos)

2.2 Usos finais de água

A análise dos usos finais de água consiste no levantamento da quantidade de água consumida em cada aparelho sanitário, levando-se em conta o consumo total de água da edificação analisada.

A identificação dos usos finais de água é útil para que possam ser caracterizadas e avaliadas ações para a redução da demanda de água e desperdícios gerados nas habitações, bem como as possíveis fontes alternativas de água. Também são essenciais para a identificação da parcela da demanda total que pode ser economizada através de fontes alternativas de água (GIURCO et al., 2008; WILLIS et al., 2013).

O desenvolvimento de estratégias eficientes para reduzir o consumo de água está vinculado à caracterização dos usos finais de água. A partir deste conhecimento é possível avaliar os principais aparelhos responsáveis pelo uso da água e priorizar o desenvolvimento de tecnologias para se gerar uma maior economia efetiva (ROCHA et al., 1998).

De acordo com Gonçalves (2006), a caracterização do consumo de água em uma residência é fundamental na determinação das ações prioritárias para conservação da água.

Garcia et al. (2010) afirmam que as ações de gestão da demanda e uso racional de água são mais eficientes de acordo com o público a que se destinam. Por isso, conhecer os fatores que interferem na demanda por água das comunidades, qual a sua percepção sobre a situação da água e a necessidade de usá-la de forma consciente, permitirá estabelecer

estratégias para implementação de uso racional.

Muitos estudos vêm sendo desenvolvidos em vários países, a fim de identificar os usos finais de água no setor residencial.

Uma pesquisa realizada pela *American Water Works Association* (AWWA) levantou o consumo e os usos finais de água em mais de 1.100 residências dos EUA e do Canadá, durante um período de três anos. A pesquisa diferenciou residências que utilizavam aparelhos economizadores de água de residências com aparelhos sanitários convencionais. Percebeu-se que mais da metade do consumo das residências pesquisadas (58% do consumo total) era usado em atividades externas. Com relação ao consumo interno, em residências com aparelhos convencionais, o maior consumo encontrado foi nas descargas de bacias sanitárias (76,1 L/hab.dia), seguido da máquina de lavar roupas (56,8 L/hab.dia) e do chuveiro (50,3 L/hab.dia). Em residências com aparelhos economizadores, as máquinas de lavar roupas lideraram o consumo (56,8 L/hab.dia), seguido de torneiras (41,3 L/hab.dia), chuveiro (37,9 L/hab.dia) e descargas de bacias sanitárias (36,3 L/hab.dia). O documento referente a este trabalho do qual se teve acesso não apresentava os percentuais de usos finais de todas as atividades levantadas pela pesquisa (AWWA, 1999).

Na região norte de Portugal, Matos et al. (2013) realizaram um estudo com o objetivo de caracterizar os usos finais de água. Foram monitoradas 52 residências habitadas por famílias com 1 a 5 habitantes, localizadas em três cidades com diferentes características sociodemográficas (Vila Real, Valpaços e Oporto). O trabalho permitiu uma melhor compreensão sobre a variação do consumo diário de água nos diferentes aparelhos sanitários. Este conhecimento poderá ser útil para avaliar alternativas disponíveis para minimizar o consumo de água potável nas edificações. Por fim, os autores concluíram que as características sociodemográficas afetam o consumo diário de água, porém este tema necessita de mais pesquisas, principalmente abordando a relação entre as características dos ocupantes (idade, renda, grau de instrução entre outros) e hábitos de uso final da água.

Na China, Fan et al. (2013) investigaram os padrões de uso de água por meio de uma pesquisa com 776 famílias localizadas em três distritos da bacia do rio Wei. Também foram avaliadas as práticas de conservação de água, as atitudes e os obstáculos para a conservação da água nas residências. O consumo diário de água para uso doméstico verificado foi de 70,2 litros per capita. Constatou-se que as famílias que apresentaram alto consumo de água consumiram maior volume para irrigação, limpeza de suas casas e quintais, e usam mais eletrodomésticos

e aparelhos que necessitam água. Verificou-se um total de 20 práticas de conservação da água utilizadas pelas famílias avaliadas. Além disso, foi verificado que os moradores preferiam implementar práticas de conservação de água de baixo custo, pois as preocupações econômicas são as principais razões para a economia de água. O conhecimento dos usos finais de água, das motivações e entraves para a conservação da água é essencial para o estabelecimento eficaz de políticas públicas.

Na Suécia, 20% da água potável utilizada em domicílios é destinada à descarga de bacias sanitárias, 15% para lavagem de roupas e 10% para lavagem de carros e outros tipos de limpeza (VILLARREAL; DIXON, 2005).

Também, em outros quatro países (Estados Unidos, Suíça, Colômbia e Reino Unido), dados levantados apontam a bacia sanitária como a principal fonte de consumo de água no meio doméstico, variando de 25% a 40% do consumo total, seguido de chuveiros, com usos finais variando de 17% a 37% (SABESP, 2003).

No Brasil, os estudos sobre os usos finais de água ainda são recentes, começando na década de 90 e ganhando mais força a partir de 2000. Neste período, foram realizados estudos em diversas tipologias de edificações, como residências unifamiliares (GHISI; OLIVEIRA, 2007; COELHO; GHISI, 2008; BARRETO; ROCHA, 1999), residências multifamiliares (GHISI; FERREIRA, 2007; SANCHEZ; PRADO, 2007), edifícios comerciais (PROENÇA; GHISI, 2009), prédios públicos (KAMMERS; GHISI, 2006) e edificações escolares (YWASHIMA, 2005; WERNECK et al., 2006; GHISI; MARINOSKI, 2008; SANT'ANA et al., 2012).

Dentre os diversos usos da água nas edificações residenciais, nota-se que nos estudos de consumo de água por usos finais apresentados na literatura nacional e internacional, a bacia sanitária e o chuveiro são os principais responsáveis pelo consumo de água (GHISI; OLIVEIRA, 2007; BARRETO; ROCHA, 1999; GHISI; FERREIRA, 2007; MANO; SCHMITT, 2004).

Segundo Oliveira et al. (2007), o consumo no chuveiro e na bacia sanitária são geralmente maiores que o consumo nos demais equipamentos devido ao longo período de utilização do primeiro e ao elevado consumo do segundo.

Com base na análise de usos finais de água, é possível investigar a demanda de água não potável das habitações em conjunto com os respectivos dados socioeconômicos das famílias analisadas. Assim, destacaram-se neste item alguns estudos nacionais que apresentam dados de usos finais de água em habitações unifamiliares de interesse social.

Em Florianópolis, Peters et al. (2006) realizaram uma pesquisa em uma habitação de interesse social com três habitantes. Constatou-se que 49% da demanda total poderia ser abastecida com água pluvial, e que a geração de água cinza poderia suprir 22% do consumo total de água destinado à descarga de bacias sanitárias. Em comparação com outros estudos nacionais avaliados, este estudo apresentou o maior potencial de substituição de água potável por pluvial.

Em outro estudo também em Salvador, Cohim, Garcia e Kiperstok (2008) verificaram por meio da análise de usos finais de água em habitações de baixa renda, que 21% da demanda poderia ser suprida por água cinza e 40% por água pluvial. A pia da cozinha representou maior contribuição para o consumo total de água. Possivelmente, a maior contribuição da pia indica que populações de baixa renda realizam com maior frequência refeições em seus domicílios.

Em São Paulo, Barreto (2008) realizou um estudo de usos finais de água em uma região de interesse social, cujo potencial de aproveitamento de água pluvial verificado foi igual a 39%, similar ao estudo de Cohim, Garcia e Kiperstok (2008). Porém, verificou-se que apenas 6% da demanda total poderia ser suprida por água cinza.

Cohim et al. (2009) no município de Simões Filho, região metropolitana de Salvador, Bahia, avaliaram os usos finais de água em dez residências de baixa renda. Os resultados da pesquisa indicaram que ocorre maior consumo na pia da cozinha (29%), seguido da bacia sanitária (23%) e do chuveiro (21%). A lavanderia e o lavatório representaram 17% e 10% do consumo de água, respectivamente. Os autores ressaltam que tais resultados diferem da maioria dos encontrados na literatura, que indicam a bacia sanitária e o chuveiro como principais aparelhos sanitários consumidores de água.

Os estudos apresentados demonstram a importância do conhecimento de dados relativos aos usos finais, pois possibilitam determinar os consumos específicos e atividades que utilizam maior quantidade de água, bem como estimar a demanda de água não potável. Também, esses dados permitem adotar estratégias e alternativas adequadas de redução do consumo e conservação da água.

Portanto, nota-se que ainda são poucos os estudos existentes, para as peculiaridades do tema, em habitações de interesse social. Assim, torna-se necessário conhecer de forma aprofundada os padrões de consumo de água nessa tipologia de edificação, pois há uma carência de dados publicados.

2.3 *Fontes alternativas de água*

Atualmente, vivencia-se a escassez de água em muitas regiões, principalmente devido às mudanças climáticas, ao crescimento da população urbana e ao desenvolvimento de diversas atividades econômicas.

Segundo Kundzewicz et al. (2007), as mudanças climáticas possuem implicações diversas quanto à disponibilidade de recursos hídricos nas diferentes regiões do planeta, tornando a questão do acesso à água cada vez mais complexa. Estima-se, por exemplo, que regiões áridas e semi-áridas enfrentem ainda mais escassez de água, enquanto o aumento do nível do mar provavelmente aumentará a salinidade de águas subterrâneas, diminuindo a disponibilidade de água doce.

Morales-Pinzón et al. (2012) salientam a necessidade de autoridades governamentais e instituições públicas e privadas implementar fontes alternativas de água para atender à crescente demanda de água nas cidades.

O uso de fontes alternativas de água tem se difundido e se consolidado como uma forma de mitigar os diversos problemas ambientais causados pelo aumento da demanda de água, pela falta de medidas de controle da poluição e de gestão ambiental em áreas urbanas e rurais.

As fontes alternativas de água diminuem o volume de água captada dos mananciais, diminuem a necessidade de extrações de água subterrânea, além de contribuírem para a redução na demanda de tratamento de esgoto e distribuição convencional de água pelas concessionárias (GONÇALVES; SILVA, 2012). Também contribuem para economia de energia e seu impacto na mudança climática.

O uso de fontes alternativas de água para usos não potáveis é importante para a preservação ambiental, no entanto, ressalta-se a responsabilidade e os riscos associados a sua aplicação (CBCS, 2012).

Além das implicações ambientais, o uso de fontes alternativas de água promove economia financeira, pois se constata que, em muitas regiões são elevados os custos relacionados a captação, tratamento, adução e distribuição de água. Além disso, devem-se considerar os custos relacionados a um grande volume de água desperdiçado em perdas na distribuição.

A utilização de fontes alternativas consta de utilizar fontes de água diferentes daquelas comumente usadas, enquanto as ações de uso racional são basicamente ações de combate ao desperdício quantitativo.

Dentre as principais fontes alternativas de água utilizadas destacam-se o aproveitamento de água pluvial e aproveitamento de água cinza (OLIVEIRA et al., 2007).

A água pluvial captada em telhados ou outras superfícies pode ser utilizada em bacias sanitárias, rega de jardins, lavagem de roupas, carros e áreas pavimentadas. No entanto, em alguns casos pode haver resistência por parte dos usuários em utilizar água pluvial para lavagem de roupa (ANAND; APUL, 2011; HURLIMANN, 2010; ZHANG et al., 2009). Além disso, a água pluvial pode ser utilizada também em várias atividades onde não se requer potabilidade nos setores industrial e agrícola. No setor industrial, pode ser utilizada para resfriamento evaporativo, climatização interna, lavanderia industrial, lavagem de maquinários, distribuição de caldeiras, lava jatos de veículos e limpeza industrial, entre outros. Na agricultura, vem sendo empregada principalmente na irrigação de plantações (MAY; PRADO, 2004).

O aproveitamento de água pluvial aplicado em larga escala como medida de controle de inundações e alagamentos apresenta impactos positivos na drenagem urbana.

Quando o sistema de aproveitamento de água pluvial é corretamente dimensionado e executado, propicia a obtenção de água de qualidade adequada aos usos previstos, preservando os recursos hídricos e reduzindo a demanda e o consumo de água potável.

A água de reuso é considerada um recurso hídrico alternativo e complementar. O aproveitamento de água cinza mostra-se uma forma eficaz de reduzir a demanda de água potável, quando a tecnologia funciona eficientemente (BERTRAND, 2008). No entanto, Hafner (2007) observa que a falta de uma regulação completa no Brasil é um grande entrave no desenvolvimento e aplicação das fontes alternativas de água. O reuso direto não potável foi regulamentado somente em 2005, pelo Conselho Nacional de Recursos Hídricos (CNRH) e, ainda, falta uma legislação que defina padrões de qualidade para utilização de água de reuso.

Especialmente em áreas com recursos hídricos escassos, com baixos índices pluviométricos ou que sofrem com prolongados períodos de estiagem, a água da chuva e a água cinza podem ser consideradas importantes fontes alternativas de água.

A dessalinização de água também é considerada como fonte alternativa de água, porém é utilizada principalmente em regiões onde a água doce é escassa ou de difícil acesso. De acordo com Souza (2006), a dessalinização em grande escala consome tipicamente grande quantidade de energia e depende de estações de produção caras e específicas. Essa

fonte de água é mais cara em relação à água de rios ou subterrânea. Além disso, a energia utilizada em sistemas de aproveitamento de água pluvial e de aproveitamento de água cinza é menos intensiva que a energia necessária para os processos de dessalinização de água.

Além das fontes alternativas de água supracitadas, ainda existem outras fontes como aproveitamento de água condensada proveniente de sistemas de resfriamento, geralmente utilizadas em edificações públicas, comerciais e industriais. Outra fonte alternativa comum em algumas regiões com presença de neve no inverno é a água proveniente do derretimento da neve (BUILDING GREEN, 2013).

No entanto, na presente pesquisa foram avaliadas como fontes alternativas de água para habitações residenciais apenas o aproveitamento de água pluvial e o aproveitamento de água cinza.

2.3.1 Aceitação social de fontes alternativas de água

Um importante aspecto a ser considerado é o impacto social da instalação de sistemas alternativos de água. A aceitação social do uso de fontes alternativas de água depende dos impactos sociais observados. Apesar de ser uma opção interessante do ponto de vista da preservação dos recursos hídricos, o uso de fontes alternativas de água depende de diversos fatores, dentre eles viabilidade técnica, econômica, ambiental, qualidade da água e aceitação social. Dependendo da qualidade da água das fontes alternativas, pode haver rejeição por parte dos usuários (SANTOS; FROEHNER, 2007).

A integração dos aspectos sociais na análise de sistemas alternativos de água é necessária para orientar o planejamento de cidades mais sustentáveis (ANGRILL et al., 2011). Porém, estudos voltados à mensuração de impactos sociais de intervenções implementadas e inovações tecnológicas são menos frequentes na literatura especializada quando comparados a outras dimensões, como a econômica e a ambiental (BONACELLI, 2003).

De acordo com Mancuso (2003), a aceitação pública do uso de fontes alternativas de água é o mais crucial dos elementos na determinação do sucesso de um programa de implantação de fontes alternativas. A experiência internacional tem mostrado que projetos podem ser tecnicamente viáveis (a água produzida comprovadamente segura), podem ser aceitos pelas agências oficiais do meio ambiente e de saúde pública e, ainda assim, não serem aceitos pelo público.

No caso da água cinza, Hafner (2007) corrobora afirmando que a aceitação ao reuso é proporcional ao contato do usuário com a água na

utilização. Além disso, os níveis de educação e de renda da população também influenciam, sendo em geral a aceitação crescente quanto maiores forem esses índices. Os programas de informação pública mostram-se importantes, servindo tanto na divulgação de tecnologias como aumentando o grau de confiança do usuário.

Em diversos países existem estudos desenvolvidos na área de aceitação social de fontes alternativas de água. Alguns desses estudos estão aqui apresentados em sequência regional.

Po et al. (2003) investigaram por que as pessoas acham lógico usar água cinza, mas continuam relutantes em usá-la na Austrália. Os autores apresentam diferentes fatores citados na literatura que podem influenciar o comportamento de aceitabilidade da comunidade em geral para com um sistema de aproveitamento de água cinza, dentre os quais se destacam:

- Sentimento de repulsa e nojo;
- Percepções de risco de contaminações associado ao uso de água cinza;
- Os usos específicos e as fontes de água cinza;
- Confiança e conhecimento;
- Questões ambientais;
- O custo da água cinza.

Ressaltou-se no estudo de Po et al. (2003) que muitas vezes as pessoas associam a água cinza ao sentimento de repulsa, definido como o desconforto emocional gerado pelo contato próximo com certos estímulos desagradáveis. Objetos que podem comumente provocar reações de repulsa ou nojo nas pessoas incluem excrementos, urina, saliva, sujeira e lama. Uma reação de nojo em usar água cinza é possivelmente gerada devido às partículas percebidas na água e medo de contágio ou contaminação pessoal.

Hurlimann e Mckay (2007) verificaram a aceitação de água cinza para fins não potáveis domésticos em uma comunidade urbana, no sul da Austrália. Foi utilizado um conjunto de análises para avaliar as preferências dos participantes com relação a vários parâmetros de água reciclada (cor, odor, teor de salinidade e preço) para vários usos (rega de jardins, lavagem de roupas e descarga de bacia sanitária). A análise foi utilizada para estimar a disposição do entrevistado a pagar para o aumento de qualidade para cada um dos parâmetros. Os resultados indicam que para rega de jardins, baixos níveis de salinidade é o atributo mais importante da água reciclada, para lavagem de roupas é a coloração da

água, e para vaso sanitário, um preço baixo foi o atributo mais importante. Os entrevistados estariam mais dispostos a pagar por um aumento na qualidade de água reciclada, quando utilizada para lavar roupas. Este estudo fornece informações importantes para as concessionárias de água reciclada e desenvolvedora de políticas de água, ajudando a alcançar uma maior viabilidade econômica para futuros projetos e satisfação das comunidades envolvidas.

Na Austrália, em um estudo realizado em Camberra e regiões circunvizinhas, Ryan et al. (2009) analisaram indicadores socioeconômicos e psicológicos do uso de fontes alternativas de água em jardins. Por meio de uma pesquisa via internet com 354 famílias, verificou-se a relação entre uso de água cinza e água pluvial com variáveis socioeconômicas, como idade, sexo, renda e educação e variáveis psicológicas. Os resultados mostraram que os moradores que utilizavam água pluvial armazenada em reservatórios para regar seus jardins tinham uma maior compreensão sobre fontes alternativas de água. Participantes do sexo feminino e moradores de baixa renda foram mais propensos a usar água cinza no jardim. Os participantes que irrigavam o jardim com água cinza eram mais predispostos a julgar como apropriados a captação de água pluvial e várias outras propostas de reuso de água. Além disso, constatou-se que os participantes não consideraram qualquer aspecto dos possíveis futuros sistemas alternativos de abastecimento de água isoladamente, mas com uma abordagem holística. Por fim, a pesquisa indicou que a demanda de água potável das residências poderia ser substancialmente reduzida por meio da instalação em grande escala de sistemas de aproveitamento de água cinza e/ou sistemas de aproveitamento de água pluvial.

Também na Austrália, Muthukumaran et al. (2011) realizaram uma pesquisa de opinião para obter uma visão da receptividade da comunidade para com o uso de água cinza. O resultado revelou uma alta aceitação de água cinza para usos como bacia sanitária e rega de jardins. Porém, verificou-se que a aceitação diminuiu significativamente para usos com maior contato pessoal, como para usos em limpeza doméstica.

Mankad e Tapsuwan (2011) realizaram uma análise com o objetivo de destacar os principais fatores sociais e econômicos que influem na aceitação e adoção de sistemas descentralizados de água na Austrália. Foi realizada uma revisão de literatura focada nas ciências sociais e relacionada a fontes alternativas de água para uso doméstico, com ênfase em pesquisas que examinam a aceitação de água descentralizada. Os pesquisadores relataram que a maioria das comunidades estava aberta a fontes alternativas de água para uso

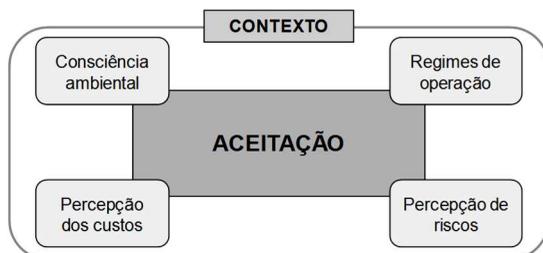
doméstico; no entanto, a aceitação era altamente dependente do nível de contato pessoal com a água. Constatou-se que aceitação e adoção de fontes alternativas de água foram influenciadas principalmente pela percepção de risco e pela cultura local.

Em outro estudo na Austrália, Mankad (2012) realizou uma revisão de literatura sobre a aceitação social do uso de fontes alternativas de água no meio urbano (água pluvial e água cinza). Os sistemas alternativos foram definidos como sistemas descentralizados de água. Neste estudo, foram feitas recomendações para promover a adoção de sistemas descentralizados, incentivando os pesquisadores a explorarem diferentes anseios da população que influenciam na tomada de decisões e aceitação social.

Outros estudos realizados na Austrália também abordaram a percepção dos usuários e aceitação social de fontes alternativas de água. Hurlimann et al. (2009), Dolnicar et al. (2010), Dolnicar et al. (2011), avaliaram a aceitação de água cinza e de água dessalinizada. Hurlimann e Dolnicar (2010) avaliaram a aceitação de reuso potável indireto. Mankad et al. (2013) analisaram a aceitação social da instalação de reservatórios de aproveitamento de água pluvial em edificações residenciais. Hurlimann e Dolnicar (2012) avaliaram como a mídia insere as informações referentes às fontes alternativas de água na sociedade australiana, e sua influência na aceitação pública dessas alternativas.

Na Espanha, Domènech e Saurí (2010) verificaram quatro fatores determinantes (Figura 2.3) para a aceitação pública do aproveitamento de água cinza: a consciência ambiental, os regimes de operação, a percepção de riscos para a saúde e a percepção dos custos. Além disso, os autores destacam que, melhorar o nível de conhecimento do funcionamento dos sistemas entre os usuários poderia reduzir o risco de rejeição social dessa tecnologia.

Figura 2.3 - Fatores que influenciam a aceitação pública do aproveitamento de água cinza.



Fonte: Adaptado de Domènech e Saurí (2010).

Nos Estados Unidos, Boyer et al. (2012) quantificaram os riscos e benefícios da adoção de diferentes fontes alternativas de água de acordo com a percepção de tomadores de decisão envolvidos no planejamento de abastecimento de água urbano. Os riscos e benefícios foram categorizados como impactos ecológicos, impactos econômicos e impactos na saúde humana. Os resultados mostraram que, para as fontes alternativas de água avaliadas, a aceitação social ocorre de acordo com o nível de impacto. Os impactos ecológicos apresentaram maior influência nas escolhas dos tomadores de decisão.

Uma pesquisa da opinião pública realizada na década de 80 nos Estados Unidos, concluiu que o reuso urbano não potável possui maior aceitação principalmente na irrigação, limpeza de ruas, produção de concreto, controle de poeira, recreação aquática, proteção a incêndio e descarga de bacias sanitárias (USEPA, 2004). Os resultados desta pesquisa estão reproduzidos na Tabela 2.2.

Tabela 2.2 – Aceitação pública do aproveitamento de água cinza tratada por finalidade nos Estados Unidos.

Uso	Sim (%)	Não (%)
Produção de concreto	90	10
Irrigação de campos de golfe	89	11
Limpeza de ruas	87	13
Irrigação de jardins residenciais	85	15
Irrigação de campos esportivos	84	16
Recreação aquática	84	16
Proteção a incêndio	84	16
Irrigação de grãos	82	18
Irrigação de parques	82	18
Controle de poeira	82	18
Descarga de bacia sanitária	80	20
Processos industriais	78	22
Lavagem de veículos	76	24
Fontes ornamentais	56	44
Reuso potável indireto	40	60
Irrigação de grãos para consumo humano	30	70
Reuso potável direto	18	82
Piscinas	15	85

Fonte: adaptado de USEPA (2004).

Alguns estudos investigaram a aceitação social de fontes alternativas de água em regiões com baixa disponibilidade hídrica. Na Síria, Mourad et al. (2011) analisaram a aceitação social do uso de água

cinza para abastecimento da descarga da bacia sanitária na cidade de Sweida. Os habitantes dessa região estão adaptados há décadas às condições de escassez de água. Devido ao fato de que a água da concessionária está disponível apenas uma vez por semana, cada família (em média de cinco habitantes) tem geralmente pelo menos um reservatório de 2 m³ de água para suprir a demanda de água semanal. A pesquisa mostrou que 83% dos entrevistados apoiaram a reutilização de água cinza tratada para descarga da bacia sanitária ou irrigação. Os outros 17% não estavam cientes de que o tratamento significa uma utilização segura da água. Cerca de 10% dos entrevistados já estavam usando água proveniente de lavanderia, sem qualquer tipo de tratamento, em irrigação ou na limpeza doméstica.

Na Cisjordânia, Nazer et al. (2010) realizaram uma avaliação do impacto social da adoção de uma série de opções de medidas de uso eficiente da água. Para abordar os aspectos sociais das opções, utilizou-se como unidade de impacto social a felicidade ou satisfação do usuário, expressa em sócio-pontos. O valor médio inicial de nível de felicidade de um palestino na Cisjordânia foi definido como 500 sócio-pontos. Um questionário foi concebido para quantificar a mudança nos sentimentos das pessoas em relação à situação antes e depois de adotar medidas para melhorar a disponibilidade de água. As opções de gestão da água mais socialmente aceitáveis foram a prevenção de vazamentos e o aproveitamento de água pluvial. A opção menos socialmente aceitável foi banheiro por compostagem. Os resultados mostraram que a presença dos participantes em oficinas explicativas antes do preenchimento do questionário, melhorou a conscientização sobre a conservação de água. Assim, concluiu-se que programas de sensibilização mais amplos poderiam ser muito úteis para conscientizar as pessoas sobre a importância do uso racional da água.

Nesta mesma linha de pesquisa, Siebel et al. (2007) afirmam que a produção de um produto quase sempre tem consequências não apenas em aspectos ambientais e financeiros, mas também pode afetar as pessoas diretamente influenciadas, ou seja, os usuários. Pode-se argumentar que uma redução na disponibilidade de água pode diminuir a qualidade de saúde ou pode prejudicar as relações sociais. Portanto, o nível de felicidade das pessoas envolvidas pode ser afetado. Por outro lado, o adequado abastecimento de água terá um impacto positivo sobre a qualidade da saúde física e social e, portanto, aumentar o nível de felicidade.

Em Israel, Friedler et al. (2006) realizaram uma pesquisa com 256 participantes para determinar a atitude do público israelense para com

várias opções de reuso de água urbana. A pesquisa incluiu 21 opções de reuso, que foram agrupadas em três categorias: baixo, médio e alto nível de contato. Os resultados mostraram que uma proporção elevada dos participantes apoiou o médio nível de contato com as seguintes opções de reuso: paisagismo (95%), descargas de bacias sanitárias (85%) e combate a incêndios (96%). Em opções de reuso com maior contato, como lavagem de roupa (38%) e recarga de aquífero potável (11%), verificou-se apoio inferior. Obteve-se apoio menor que o esperado nas opções de reuso com baixo nível de contato: 86% para irrigação de hortaliças, 62% para a recarga do aquífero para irrigação agrícola, e 49% para irrigação de pomares. Constatou que a razão mais importante para os entrevistados apoiarem o reuso de água é a economia de água gerada. Por fim, verificou-se que os adultos de meia idade em Israel podem ser mais favoráveis do que os jovens. Assim, as campanhas de incentivo devem concentrar-se na fração mais jovem da população adulta. A pesquisa revela a importância de gerar uma opinião pública positiva para projetos de reutilização de água.

Em Bangladesh, Karim et al. (2005) avaliaram a percepção e aceitação de diferentes sistemas de aproveitamento de água pluvial em uma área costeira através de um questionário. Um total de 168 pessoas escolhidas aleatoriamente foi entrevistado, representando diferentes grupos da população, como professores, fazendeiros e donas de casa. A partir do levantamento, verificou-se que a água pluvial é a fonte de água preferível para beber e cozinhar. Assim, vários entrevistados se declararam satisfeitos com os sistemas de aproveitamento de água pluvial, com o envolvimento da comunidade e usuários na operação e manutenção dos sistemas, o que indica alto interesse e aceitação dessa fonte alternativa na área de estudo. Os autores concluíram que devem ser tomadas medidas para mitigar os problemas de água potável através da instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial residencial e também através da instalação em base comunitária.

Em Omã, uma pesquisa realizada por Jamrah et al. (2004) mostrou que 84% dos entrevistados eram a favor do aproveitamento de água cinza tratada, 74% consideraram que a adoção de um sistema de aproveitamento de água cinza seria financeiramente vantajosa, 82% achavam que água cinza tratada pode ser utilizada para irrigação; 72% consideraram que água cinza tratada pode ser usada para bacias sanitárias e 42% afirmaram que a água cinza pode ser usada para lavar carros. No entanto, 61% consideraram que o aproveitamento de água cinza tratada pode levar à degradação ambiental e 47% acreditavam que utilizar essa água seria prejudicial para a saúde humana. Surpreendentemente, 16%

foram favoráveis à utilização de água cinza tratada para finalidades potáveis.

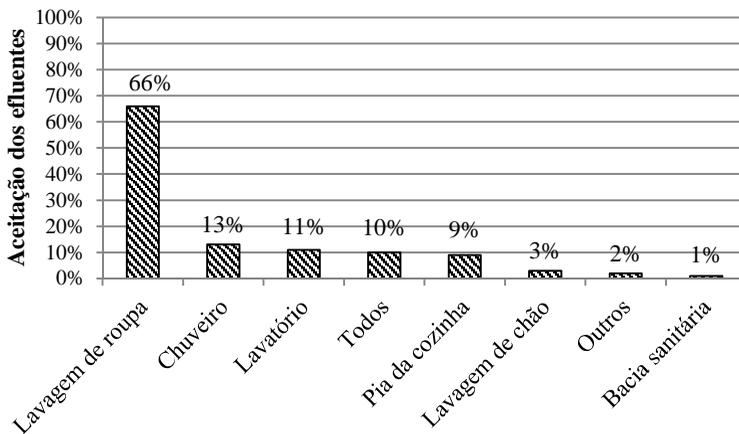
Em nível nacional, existem alguns estudos referentes à aceitação social de fontes alternativas de água, realizados em edificações residenciais de diferentes padrões. Dias et al. (2007) avaliaram o conhecimento e aceitação da população em relação à utilização de água pluvial em residências na cidade de João Pessoa, Paraíba. Foram realizadas 800 entrevistas em uma amostra significativa da área objeto de estudo. Os resultados mostraram que 66,1% da população têm conhecimento sobre a utilização de água pluvial, dos quais 54,37% a utilizam eventualmente. Observou-se que não há uma tendência de relação entre o conhecimento da utilização de água pluvial em residências e o nível de escolaridade, sendo que as classes que apresentaram maiores percentuais de conhecimento dessa técnica foram a “sem instrução” (79,4%) e a “superior incompleto” (84,4%). Do percentual que tem conhecimento da utilização de água pluvial em residências, 45,6% (30,2% do total) não utilizam essa técnica e 70,4% destes (21,2% do total) responderam que não a utilizam por não terem nenhum tipo de incentivo, 47,1% (14,2% do total) pela dificuldade de captação, 6,2% (1,9% do total) por não terem interesse, 1,7% (0,5% do total) pelo perigo de contaminação e 6,2% (1,9% do total) outras opções.

Martinetti et al. (2007) em São Carlos, São Paulo, analisaram 19 diferentes alternativas para o tratamento de efluentes sanitários sob o ponto de vista da sustentabilidade, permitindo que pessoas de várias classes sociais pudessem ter acesso às informações e fazer escolhas entre as alternativas. Constatou-se que, em se tratando de população de baixa renda, as variáveis mais impactantes na tomada de decisão são os custos, a área necessária para implantação do sistema, número de habitações atendidas, complexidade de operação e manutenção.

Na Bahia, Almeida (2007) realizou uma pesquisa de opinião por meio de questionários aplicados em 379 residências localizadas no município de Feira de Santana. O estudo tinha como objetivo caracterizar a população quanto ao perfil de consumo e de comportamento em relação à utilização da água e avaliar a aceitação da proposta de reuso de efluentes e uso de água pluvial. A maioria dos entrevistados (cerca de 90%) informou que acha importante utilizar água pluvial e água cinza como fontes alternativas de abastecimento; e 75% das pessoas afirmaram que utilizariam essas duas fontes alternativas de água. Em relação ao conhecimento referente ao uso de água pluvial ou de água cinza como fonte alternativa de abastecimento, a maioria dos entrevistados (cerca de 65%) respondeu que já tinham algum conhecimento sobre o assunto. A

fonte de informação mais mencionada foi a televisão (53%), em seguida, através de amigos e familiares (32%). A quase totalidade dos entrevistados (97%) considera importante o reúso da água e o uso da água pluvial atualmente como fontes alternativas de água. Os motivos mais relevantes para considerarem esta questão importante, foram: (I) a escassez de água na região, representando 34,7% dos entrevistados; (II) a economia de recursos financeiros com 31,4%; e (III) a conservação dos recursos naturais, com 18,5%. Além disso, foi questionado aos entrevistados se eles utilizariam água pluvial ou reúso de águas em sua residência, e a maioria informou que fariam uso dos dois tipos de fontes alternativas, e apenas cerca de 10% informaram que usariam somente água pluvial. A avaliação de quais efluentes seriam aceitos para reúso de águas encontra-se na Figura 2.4.

Figura 2.4 - Avaliação de efluentes que seriam aceitos para fins de reúso de águas em residências localizadas na Bahia.



Fonte: Adaptado de Almeida (2007).

Observou-se que a população está disposta a economizar, não necessariamente para a conservação dos recursos naturais, mas principalmente pela escassez hídrica na região e economia de recursos financeiros. Assim, nota-se que os resultados obtidos na pesquisa de Almeida (2007) diferiram dos encontrados por Garcia (2011) principalmente pelo fato que a região estudada por Almeida (2007) se situa no semiárido baiano, e, portanto, a escassez da água foi mais relevante na pesquisa que a questão financeira.

Com relação aos aspectos socioeconômicos avaliados no estudo de Almeida (2007), constatou-se que a renda familiar em mais de 70% das residências investigadas é de até cinco salários mínimos. Em relação às características das residências pesquisadas, a maior parte possui um pavimento, três quartos, um banheiro e uma cozinha. Quanto à faixa etária dos moradores, verifica-se idade média é de aproximadamente 32 anos, o que indica que o grupo estudado é composto em sua maioria por jovens. De acordo com a autora, estima-se que quanto mais jovem é a população, maiores são as chances de aceitação de mudanças de paradigmas, e conseqüentemente melhor assimilação de inovações em relação ao uso da água. Verificou-se que o nível de escolaridade predominante é o ensino médio completo (31,1%), em seguida o ensino fundamental incompleto representando (29,7%) e a terceira escolaridade mais frequente entre os moradores é ensino médio incompleto representado por 13,4%. Apenas 2,8% dos moradores possuem curso superior completo. Destacou-se que a baixa escolaridade pode ser uma barreira em relação à conscientização de uma população frente aos seus direitos e deveres na sociedade e de como seus atos influenciam o meio ambiente.

Com relação à aceitação do usuário de água de reuso, Cohim e Cohim (2007) ressaltaram a importância da origem da água a ser reusada. Foi apontado que há maior aceitação do usuário quando a água é oriunda da própria residência, em contraposição à possibilidade de esta ter origem em outras fontes, como bairros ou áreas públicas comunitárias.

De acordo com Jeffrey (2002), a aceitabilidade do aproveitamento de água cinza é fortemente influenciada pela finalidade da utilização da água. Por exemplo, o uso em campos de golfe, parques e indústria é relativamente bem aceito, mas a reutilização em residências é menos popular. Além disso, a aceitação é menor para os usos onde o contato com a água cinza é maior (máquinas de lavar roupa) que no caso dos usos em que o contato é mínimo, por exemplo, em bacias sanitárias.

Nardocci (2003) corrobora afirmando que os riscos à saúde humana e ao meio ambiente, associados ao reuso de água, são fatores que preocupam a sociedade. Esses são os principais motivos de resistência dos usuários quanto à implantação de sistemas de reuso em edificações residenciais. Portanto, é necessário equilibrar as relações riscos/benefícios e custo/eficácia das tecnologias de tratamento.

Nota-se, por meio dos estudos em diferentes países apresentados neste item, que em regiões com baixa disponibilidade hídrica há maior aceitação do uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis. No entanto, é notável que a consciência pública dos benefícios da adoção de fontes alternativas precisa ser ampliada.

Algumas das razões pela resistência em utilizar fontes alternativas de água verificadas nos estudos analisados são o desconhecimento da qualidade da água, o não incentivo das administrações públicas, o custo de implantação e manutenção de um sistema alternativo

As Tabelas 2.3 e 2.4 apresentam, respectivamente, uma síntese de estudos realizados sobre a aceitação social de fontes alternativas de água no mundo e no Brasil. Alguns dados não foram fornecidos nestes estudos e estão representados por "--".

Tabela 2.3 – Aceitação social de fontes alternativas de água no mundo.

	Fontes alternativas de água / Usos	Fatores para aceitação	Amostra	País	Fonte da literatura
Água cinza	--	Conforto emocional	--	Austrália	Po et al. (2003)
	Rega de jardins, lavação de roupas e bacia sanitária	--	--	Austrália	Hurlimann e Mckay (2007)
	Descarga de bacia sanitária e rega de jardins	--	--	Austrália	Muthukumaran et al. (2011)
	--	Conhecimento sobre os sistemas	--	Espanha	Domènech e Saurí (2010)
	Descarga de bacia sanitária e irrigação	Condições de escassez de água	--	Síria	Mourad et al. (2011)
	Paisagismo, bacia sanitária, combate a incêndios, lavagem de roupa e recarga de aquífero, irrigação	Nível de contato com a água, economia de água gerada	256 pessoas	Israel	Friedler et al. (2006)
	Lavar carros, descarga de bacia sanitária e irrigação	Economia financeira	--	Omã	Jamrah et al. (2004)
Água pluvial	--	Conscientização dos usuários	--	Cisjordânia	Nazer et al. (2010)
	Fins não potáveis domésticos	--	168 pessoas	Bangladesh	Karim et al. (2005)
Água cinza e água pluvial	Fins não potáveis domésticos	--	354 famílias	Austrália	Ryan et al. (2009)
	--	Nível de contato com a água	--	Austrália	Mankad e Tapsuwan (2011)
	--	Impactos ecológicos, econômicos e na saúde	--	Estados Unidos	Boyer et al. (2012)

Tabela 2.4 – Aceitação social de fontes alternativas de água no Brasil.

Fontes alternativas	Usos da água	Fatores importantes para aceitação	Tamanho da amostra	Fonte da literatura
Água pluvial	Usos domésticos	Incentivo, dificuldade de captação, perigo de contaminação	800 entrevistas	Dias et al. (2007)
Efluentes sanitários	Usos domésticos	Custos, área para implantação do sistema, complexidade de operação e manutenção	--	Martinetti et al. (2007)
Água pluvial e água cinza	Usos domésticos	Escassez de água na região, economia de recursos financeiros e conservação dos recursos naturais	379 residências	Almeida (2007)

Diante deste contexto, mostram-se necessárias mais pesquisas sobre a aceitação social de fontes alternativas de água. É fundamental a avaliação do comportamento dos usuários diante de programas de implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial e água cinza em habitações. Isso ajudará no desenvolvimento de políticas específicas para incentivo do uso residencial de fontes alternativas de água.

2.3.2 Aproveitamento de água pluvial

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial podem ser construídos visando objetivos distintos: suprimento da demanda de água para diferentes consumos com fins não potáveis, redução de alagamentos e recarga de lençóis freáticos (HERRMANN; SCHMIDA, 2000). Deste modo, os sistemas devem apresentar configurações adequadas à sua finalidade, elaboradas e executadas de forma prática para que o funcionamento seja eficiente.

Estudos realizados em diversos países apresentam os benefícios de sistemas de aproveitamento de água pluvial tanto na questão da drenagem urbana como também os benefícios relativos à economia de água potável e energia. Ainda são poucos os estudos abordando a questão ambiental relacionada à produção, instalação e operação dos componentes desses sistemas, os quais estão apresentados no item 2.4.1.

Na Alemanha, a eficiência de diferentes concepções de sistemas de aproveitamento de água pluvial foi avaliada por Herrmann e Schmida (2000), considerando aspectos hidrológicos e ambientais. Em duas residências experimentais, uma unifamiliar e outra multifamiliar, foram

realizadas simulações com diferentes áreas de telhado, para verificar o desempenho dos sistemas na redução do escoamento superficial para a drenagem urbana durante a ocorrência de chuvas intensas e a redução do consumo de água potável. Observou-se que quanto maior o consumo de água pluvial, menor a intensidade do escoamento superficial. Considerando o aspecto de drenagem urbana, verificou-se que o aproveitamento de água pluvial é mais eficiente quando aplicado em edifícios multifamiliares e em distritos mais populosos, onde a área de cobertura por pessoa é menor, facilitando o consumo de toda a água armazenada.

No Japão, Zaizen et al. (2000) relatam a experiência da captação de águas pluviais em três estádios. Os estádios de Tokyo, Fukuoka e Nagoya, possuem áreas de captação que variam de 16.000 a 35.000 m² e reservatórios para armazenamento da água captada com capacidade entre 1.000 e 1.800 m³. Aproximadamente 73% da água pluvial que escoar nos telhados é captada e usada para finalidades não potáveis, como rega de jardins e descarga de bacias sanitárias, representando 59% da água consumida nestes usos.

Em Taiwan, a água pluvial é amplamente reconhecida como uma fonte alternativa de água em função da escassez de água potável. Neste respeito, Liaw e Chiang (2014) avaliaram o potencial de aproveitamento de água pluvial no setor residencial do país. Foram usados três conceitos relevantes para a quantificação do potencial de aproveitamento de água pluvial: (I) potencial teórico, (II) potencial disponível e (III) potencial ambiental tolerável. O potencial teórico, que representa a captação de água pluvial máxima, considera apenas a precipitação pluviométrica, área de telhado, e coeficiente de escoamento superficial, sem considerar os impactos ambientais e econômicos a jusante. O potencial disponível reflete uma avaliação mais realista do potencial de água pluvial, pois considera a quantidade de água pluvial requerida por vários tipos de construção. Potencial ambiental suportável considera o impacto ambiental a jusante do aproveitamento de água pluvial e outros fatores. Para estimar o potencial de aproveitamento de água pluvial, foi proposto um quadro geral que consistia em zoneamento de precipitação, estimativa de área de telhado, percentual médio de uso total de água pluvial na determinação do volume ótimo, e o percentual da área total do telhado usado para cada zona de precipitação e região. Conclui-se que, os resultados deste estudo podem ajudar autoridades e urbanistas a definir políticas públicas nacionais para a gestão da água, buscando integrar sistemas de aproveitamento de água pluvial com sistemas de abastecimento de água existentes.

Também em Taiwan, Chiu et al. (2009) realizaram um estudo de caso na comunidade Hua-Chan, na cidade de Taipei. Foi analisada a aplicação de sistemas de aproveitamento de água pluvial em escala coletiva, com uma abordagem inovadora focada na economia de energia em comunidades montanhosas. Assim, para melhorar o planejamento do consumo de água e energia dessa comunidade, os autores propõem que sejam utilizadas fontes alternativas de água disponíveis no local, como água pluvial. Os resultados mostraram que o aproveitamento de água pluvial se torna economicamente viável quando a economia de energia e água é analisada em conjunto.

Na Austrália, Eroksuz e Rahman (2010) avaliaram o potencial de economia de água potável obtido por meio do aproveitamento de água pluvial em edificações multifamiliares na região de Sydney. Considerou-se a aplicação de água pluvial em descarga de bacias sanitárias, lavanderia e abastecimento dos usos finais que demandam água quente. Os principais dados utilizados no estudo incluem: 2.000 m² de área de cobertura; 2.000 m² de área verde; e 70 habitantes distribuídos em 27 apartamentos (2,6 habitantes por apartamento). A precipitação pluviométrica média da região é de aproximadamente 1.200 mm/ano. Os resultados indicaram potencial de economia com a utilização de água pluvial entre 49 e 53% da demanda total de água potável para o volume ideal de reservação calculado de 70 m³.

Em outro estudo realizado na Gold Coast, Austrália, Beal et al. (2011) avaliaram a média de consumo de água potável em 422 residências com reservatórios de água pluvial e 2993 sem reservatório. Em geral, as residências da Gold Coast com reservatório de água pluvial são unifamiliares térreas, sendo a precipitação média local de 1.285 mm/ano. O número de habitantes médio é igual a 3,2. Os sistemas de aproveitamento de água pluvial são compostos por área mínima de captação igual a 100 m², componente para o descarte de 2mm do escoamento inicial e reservatórios com volume mínimo iguais a 3 m³ (casas geminadas) e 5 m³ (casas individuais). A água pluvial é destinada para descarga de bacias sanitárias, bem como em lavadoras de roupas em 78% das habitações (22% da água é suprida pela concessionária de água quente). A diferença média entre a demanda de água para os dois grupos de habitações é de 41 L/hab.dia (25,8% da demanda total de água em edificações residenciais sem reservatórios de água pluvial). A economia de água potável obtida com o uso de água pluvial foi de 38,6%.

Também na Austrália, Gurung e Sharma (2014) desenvolveram uma metodologia para avaliar os custos da escala de projetos de sistemas de aproveitamento de água pluvial e identificar os principais contribuintes

para o custo total e do ciclo de vida do investimento. Diferentes layouts de habitação foram desenvolvidos, projetados e orçados para uma topografia plana, armazenamento centralizado e cenário de tratamento, variando de 4 a 576 casas. Uma avaliação econômica foi realizada usando o método do valor presente líquido. Os resultados mostram que os custos de unidades de armazenamento e tratamento são mais influentes para um grupo de menor número de famílias. Foi observada uma escala ideal entre 192 e 288 famílias. A análise mostrou que a topografia do terreno influencia no valor presente líquido geral.

Na Malásia, Chong et al. (2011) realizaram um estudo de viabilidade técnica e econômica de um sistema inovador que integra uso de energias renováveis - solar e eólica - e captação de água pluvial. Foi simulada a instalação desse sistema no topo de um edifício de 220 m de altura. A economia média mensal de água obtida através do aproveitamento de água pluvial utilizando uma área de captação de 700 m² foi de 143 m³/mês, que corresponde a 1025 kWh/ano de energia economizada em bombeamento de água (1,7 kWh/m³).

No México, Bocanegra-Martínez et al. (2014) criaram um modelo de otimização para a concepção de sistemas de captação de água pluvial residenciais. O modelo de otimização consiste em satisfazer as demandas internas de água e considera como função a minimização do custo total anual associado à água potável. Foi realizado um estudo de caso em um condomínio residencial na cidade de Morelia. A aplicação da abordagem de otimização mostrou que é possível satisfazer um significativo percentual da demanda residencial de água usando sistema de aproveitamento de água pluvial, diminuindo o custo associado ao tempo. Os resultados mostraram que o aproveitamento de água pluvial tem o potencial de reduzir o consumo de água potável até 87,6%. As soluções ótimas indicam a necessidade de armazenar água pluvial durante períodos chuvosos e usá-la durante períodos em que a disponibilidade de água potável é limitada e o seu custo é maior.

No Brasil, Ghisi e Schondermark (2013) realizaram uma análise de viabilidade de investimentos de sistemas de aproveitamento de água pluvial em cinco cidades no estado de Santa Catarina. Foram obtidos dados de precipitação diária, consumo médio de água, custos de reservatórios de água pluvial, custos de motobombas, e tarifas de água, esgoto e energia elétrica para as cinco cidades. Valores diferentes para a área do telhado, número de moradores, demanda de água potável, e a demanda de água pluvial foram analisados. Os períodos de retorno calculados para todas as cidades indicam que o aproveitamento de água pluvial é viável na maioria dos casos. A principal limitação encontrada

em relação à ocorrência de viabilidade foi o baixo consumo total na residência. Assim, pode-se afirmar que a viabilidade financeira depende diretamente do número de moradores e da demanda.

Souza e Ghisi (2012) avaliaram o potencial de economia de água potável, utilizando a água pluvial, bem como o dimensionamento de reservatórios de água pluvial em residências localizadas em cidades de 13 países diferentes. Foram considerados diferentes parâmetros (áreas de captação, número de residentes, demandas de água potável e pluvial) a fim de avaliar o impacto sobre o potencial de economia de água potável e dimensionamento dos reservatórios. A análise foi realizada utilizando o programa computacional Netuno, desenvolvido por Ghisi et al. (2013). Os resultados mostraram que o maior potencial de economia de água potável é obtido em cidades onde há precipitações constantes, o que nem sempre significa alta precipitação média anual. Cidades com períodos de estiagem bem definidos exigem maior capacidade do reservatório. No geral, observou-se que todos os parâmetros influenciam no dimensionamento do reservatório de armazenamento de água pluvial.

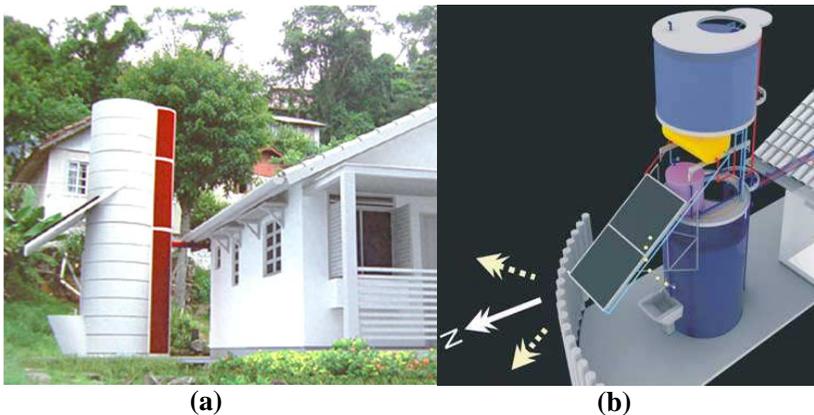
Rupp, Munarim e Ghisi (2011) realizaram comparações entre os métodos de dimensionamento de reservatório de água pluvial recomendados pela NBR 15527 (ABNT, 2007) e o programa computacional Netuno, proposto por Ghisi, Cordova e Rocha (2009), em edificações de cidades com intensidades pluviométricas distintas. Concluiu-se que, diante de um mesmo potencial de economia de água, os métodos Netuno e Prático Alemão foram os que apresentaram menores volumes dos reservatórios.

Ghisi (2006) avaliou o potencial de economia de água potável por meio do uso de água pluvial para as diversas regiões do país. Considerou-se a aplicação de água pluvial para o suprimento da demanda total *per capita* de água. A fim de se avaliar o potencial de economia em escala regional, obtiveram-se os índices pluviométricos, a demanda de água *per capita*, a população média das residências e a área de captação de água pluvial *per capita* para cada região brasileira. No estudo, desconsideraram-se perdas nos sistemas de aproveitamento de água pluvial. As regiões Sudeste e Nordeste apresentaram os menores potenciais de economia de água potável, 48 e 61%, respectivamente; enquanto as regiões Centro-oeste, Sul e Norte obtiveram potencial de economia de 74, 82 e 100%, respectivamente.

Triana, Andrade e Lamberts (2008) desenvolveram o projeto Torre Sustentável para Habitações de Baixa Renda (Figura 2.5). O projeto apresenta uma torre sustentável com múltiplos usos, composta por: reservatório elevado de água de abastecimento potável, sistema de

aproveitamento de água pluvial e coletor solar para aquecimento de água de banho. O sistema de aproveitamento de água pluvial possui um reservatório projetado para atender a demanda de água não potável correspondente a 17 dias sem chuva. Estima-se que para o regime pluviométrico de Florianópolis, o sistema de aproveitamento de água pluvial possa economizar anualmente até 80% da água consumida para fins não potáveis e 40% do consumo total de água utilizado na residência, considerando-se uma residência para 4 habitantes e área construída de 42 m². Assim, o reservatório de acumulação de água de chuva está equipado com dispositivos de descarte de sólidos, dispositivos de desvio de água dos primeiros escoamentos, conjunto de sucção com boia e peneira, sifão e freio.

Figura 2.5 – (a) e (b) Projeto Torre Sustentável para habitações de baixa renda.



Fonte: Triana, Andrade e Lamberts (2008).

Também no Brasil, Ghisi, Montibeller e Schmidt (2006) avaliaram o potencial de redução do consumo de água potável com o uso de água pluvial em 62 cidades do estado de Santa Catarina. Da mesma forma que no estudo de Ghisi (2006), considerou-se que a água pluvial poderia suprir a demanda total de água residencial. Para determinação do potencial de economia em cada cidade, obtiveram-se seus respectivos dados: índices pluviométricos, consumo de água potável *per capita*, população, número de residências, área de captação per capita e coeficiente de escoamento superficial. O potencial de economia de água potável calculado para as 62 cidades variou entre 34 e 92%, com média

igual a 69%.

Moruzzi, Oliveira e Carvalho (2008) estimaram o potencial de aproveitamento de água pluvial para descarga de bacias sanitárias em residências na cidade de Rio Claro, SP. Foram utilizados dados pluviométricos coletados durante o ano de 2003 na região. Consideraram-se três áreas de captação (80, 100 e 120 m²), quatro descartes do escoamento inicial de chuva (0, 1, 2 e 4 mm) e três populações residenciais (3, 4 e 5 habitantes/residência). Estimou-se a demanda de água pluvial assumindo-se 5 descargas/habitante.dia e 6 litros/descarga, e a oferta considerando-se o coeficiente de escoamento superficial igual a 0,8. Para residências menores, assumiram-se os seguintes parâmetros: três habitantes, área de captação de 80 m² (27 m²/habitante), reservatório de água pluvial de 0,5 m³ (0,17 m³/habitante) e 2 mm de descarte do escoamento inicial. O potencial de economia em bacias sanitárias estimado foi igual a 48,2% para as residências menores. Este percentual corresponde a aproximadamente 14% da demanda residencial de água em habitações onde o consumo em bacias sanitárias equivale a 30% do total.

Na Bahia, Cohim, Garcia e Kiperstok (2008) avaliaram a utilização de água pluvial em oito habitações de interesse social localizadas em Simões Filho, região metropolitana de Salvador. Verificou-se uma redução média de 13% do consumo total de água potável com a instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial para lavagem de roupas. Nas habitações estudadas residem em média 3,3 habitantes, que consomem aproximadamente 80 L/hab.dia. Deste consumo, 17% são destinados à lavagem de roupas. A área de captação média estimada das habitações foi 50 m². Cada sistema de aproveitamento de água pluvial instalado nas habitações era composto por reservatório elevado a 1,9 m com capacidade para 250 litros, o qual era alimentado diretamente pelos coletores de água pluvial. O sistema abastecia a lavanderia das habitações sem a necessidade de bombeamento. Não foram utilizados dispositivos para o descarte das primeiras águas de chuva. Monitorou-se a precipitação local no período de 12 meses de estudo através de um pluviômetro instalado em uma das habitações. Os registros pluviométricos indicaram precipitação igual a 1800 mm/ano, com 205 mm de chuva nos meses de agosto e setembro. Entre os estudos avaliados, essa pesquisa apresentou o menor aproveitamento de água pluvial, devido aos baixos índices pluviométricos verificados no período estudado.

Nota-se nos estudos avaliados que o potencial de aproveitamento de água pluvial varia em função da quantidade e distribuição ao longo do ano da precipitação local, da qualidade da água precipitada, das características da área de captação, do sistema hidráulico predial, dos

hábitos de consumo de água e do padrão de qualidade exigido para cada uso final.

Atualmente, ainda são poucos os estudos disponíveis na literatura abordando sobre aproveitamento de água pluvial em habitações de interesse social. Verifica-se que nessa tipologia de habitações alguns fatores de ordem técnica e econômica podem limitar a utilização de água pluvial. Dentre os fatores técnicos, destacam-se a elevada contribuição de fins potáveis (chuveiro e pia da cozinha), a menor relação entre a área de cobertura e o número de moradores e a limitação de espaço para instalação de reservatório de água pluvial. Os principais fatores econômicos são a cobrança de tarifa fixa aplicada para consumos até 10 m³ e a tarifação social, que assegura às populações de baixa renda o acesso altamente subsidiado à água potável. Porém, de acordo com Vieira (2012), o baixo padrão de consumo de água em habitações de interesse social possibilita o dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial menores.

2.3.3 Aproveitamento de água cinza

O aproveitamento de água cinza pode ser considerado como um dos usos de água residuária ou água de qualidade inferior tratada ou não. O artigo 2º da Resolução nº 54 do Conselho Nacional de Recursos Hídricos possui as seguintes definições referentes a reuso de água (CNRH, 2005).

I - Água residuária: esgoto, água descartada, efluentes líquidos de edificações, indústrias, agroindústrias e agropecuária, tratadas ou não;

II - Reuso de água: utilização de água residuária;

III - água de reuso: água residuária, que se encontra dentro dos padrões exigidos para sua utilização nas modalidades pretendidas;

IV - Reuso direto de água: uso planejado de água de reuso, conduzida ao local de utilização, sem lançamento ou diluição prévia em corpos hídricos superficiais ou subterrâneos;

Os sistemas de aproveitamento de água cinza variam significativamente em sua complexidade e tamanho, de pequenos sistemas com tratamento muito simples até sistemas de grande porte com complexos processos de tratamento. Entretanto, a maioria dos sistemas apresenta componentes e equipamentos comuns, tais como reservatórios, motobombas, sistema de distribuição da água tratada para os equipamentos e sistema de tratamento (ENVIRONMENT AGENCY, 2011).

A prática de aproveitamento de água cinza reduz a descarga de poluentes em corpos receptores, conservando os recursos hídricos para o abastecimento público e outros usos mais exigentes quanto à qualidade. Além disso, reduz os custos associados à poluição e contribui para a proteção do meio ambiente (CNRH, 2005).

Rodrigues (2005) destaca que o reuso de água atua em dois aspectos: (I) instrumento para redução do consumo de água (controle de demanda) e (II) recurso hídrico complementar. Além disso, o aproveitamento de água cinza também atua na minimização da produção de efluentes e redução da necessidade de tratamento de esgotos. Porém, a quantidade de água cinza gerada depende se a edificação possui equipamentos economizadores de água, bem como dos hábitos dos ocupantes.

O aproveitamento de água cinza proporciona a coleta e o tratamento de esgoto e o abastecimento de água para fins que não demandam água potável, incluindo: descarga de bacias sanitárias, irrigação e lavagem de pavimentos. Outros fins não potáveis que demandam padrão de qualidade superior (exemplo: lavagem de roupas) não podem ser abastecidos por esta fonte alternativa de água.

A água cinza composta por efluentes provenientes de tanques, banheiras, chuveiros, lavatórios e máquinas de lavar roupas (água cinza clara), apresenta melhor qualidade do que a água proveniente de bacias sanitárias (águas negras) e as de pias de cozinha (água cinza escura). Os elementos presentes na água cinza variam de acordo com os pontos de contribuição escolhidos, dependentes das diversas atividades domésticas associadas, variando de residência a residência, onde o estilo de vida, costumes, instalações e a quantidade de produtos químicos utilizados influenciam nessa qualidade. Assim, é possível segregar os efluentes de um conjunto de aparelhos sanitários, de acordo com as características físico-químicas e biológicas de seus efluentes em função dos usos pretendidos (ANDRADE; MARINOSKI, 2010a).

O tratamento de água cinza das edificações pode ser realizado por meio de zona de raízes, também denominado de leito cultivado construído ou *wetland*. Neste sistema biológico são utilizadas vegetações de áreas alagadas, resistentes aos sais das respectivas águas residuárias (macro e micronutrientes) e aclimatadas às condições locais. Neste sistema ocorrem operações de sedimentação e processos biológicos que promovem a redução de carga orgânica, principalmente processos aeróbios (PAULO et al., 2009).

Em locais sem viabilidade para a instalação de tratamento *in loco*, o reuso pode ser realizado armazenando-se água cinza em

reservatórios com volume inferior a 50 litros (DIXON, BUTLER e FEWKES, 1999). A água cinza tratada deteriora-se rapidamente no armazenamento. Isso ocorre porque esta água é rica em matéria orgânica, como partículas da pele, cabelo, sabão e detergentes. Isso proporciona condições ideais para a multiplicação de bactérias, resultando em problemas de odor e má qualidade da água. Água cinza também pode conter bactérias nocivas, que podem representar um risco para a saúde caso não haja um tratamento adequado ou ocorra uso impróprio (ENVIRONMENT AGENCY, 2011). Portanto, devido à presença de contaminantes presentes na água cinza, geralmente esta água é utilizada para finalidades menos restritivas, em termos de qualidade, que a da água pluvial.

Existem diversos estudos desenvolvidos em diversos países abordando sistemas de aproveitamento de água cinza em edificações residenciais. Encontram-se aqui apresentados alguns desses estudos em sequência internacional, e posteriormente nacional.

No Reino Unido, Dixon, Butler e Fewkes (1999) realizaram um estudo sobre aproveitamento de água cinza em 28 residências que possuíam ocupação média de 2,7 habitantes e consumo de água igual a 93,9 L/hab.dia. A concepção do sistema de reuso considera o armazenamento de efluentes dos lavatórios em reservatório pequeno para posterior descarga de bacias sanitárias. Sistemas pequenos de aproveitamento de água cinza, com volume de reservação inferior a 50 litros, requerem menor espaço para instalação e têm a vantagem de serem compactos. Destacou-se também que volumes menores de reservatórios reduzem o tempo de reservação, o que evita a deterioração da qualidade da água cinza. Como resultados, estimaram aproximadamente 6 e 10% de redução no consumo total de água potável através da instalação de reservatórios com volume entre 10 e 20 litros para o aproveitamento de água cinza. De acordo com autores, a simplicidade da tecnologia possibilita sua implantação de forma econômica. Por meio dos dados de usos finais de água obtidos, o potencial máximo de aproveitamento de água cinza é igual a 32% do consumo de água das residências; porém, seria necessário reservar em média 81 litros/dia.

No Japão, uma grande quantidade de municípios tem edifícios projetados para a coleta da água cinza, que depois de tratada é utilizada na descarga da bacia sanitária, gerando uma economia de até 30% no consumo (HESPANHOL, 2002).

Na Espanha, March et al. (2004) realizaram um estudo para avaliar o potencial de economia de água potável com a implantação de um sistema de aproveitamento de água cinza em um hotel. O hotel possuía

sistema segregador de água cinza dos lavatórios, dos chuveiros, da lavanderia e da piscina. Os processos de tratamento da água cinza utilizados foram: sedimentação e cloração, e posteriormente a água cinza tratada ficava reservada por um tempo médio de 38 horas, consumindo-se sempre água cinza com concentrações de cloro superiores a 1 mg/litro nas bacias sanitárias. Para se evitar tempo de reservação superior a 48 horas, a descarga de bacias sanitárias era acionada diariamente em quartos desocupados. A água cinza tratada mostrou-se própria para utilização, pois a análises da qualidade desta água apresentaram ausência de coliformes totais. O sistema de reuso do hotel analisado proporcionou economia média de 23% do consumo total de água, além disso, o sistema teve boa aceitação por parte dos hóspedes.

No Reino Unido, Liu et al. (2010) avaliaram o potencial de reuso de efluentes gerados em lavadoras de roupas, lavatórios, chuveiros e banheiras para descarga de bacias sanitárias em residências com três habitantes. O sistema estudado considerou o tratamento de efluentes em *wetland*, e o tempo máximo de reservação assumido foi igual a 48 horas para água cinza bruta e tratada. Para definir os usos finais e a frequência de uso dos aparelhos sanitários, utilizaram-se hidrômetros e *data loggers* que registram a vazão de uso dos equipamentos. O sistema empregado coleta dados por até duas semanas em intervalos de 1 segundo com precisão volumétrica igual a 10 ml. Com base nos resultados do estudo constatou-se que a oferta superou a demanda de água cinza em 28% da demanda total de água potável. Determinou-se o potencial de reuso em bacias sanitárias igual a 60%, a fim de se evitar tempo de reservação superior a 48 horas. Deste modo, obteve-se potencial de economia de água potável igual a 16,8% da demanda total. Por fim, os autores recomendam volumes de reservação pequenos (iguais ou menores a 200 litros) para água cinza bruta e tratada a fim de garantir a segurança sanitária. Recomendam também a utilização de desinfecção como cloração para tempos de detenção superiores a 48 horas.

Na Síria, Mourad et al. (2011) avaliaram o potencial de economia de água potável obtido com o aproveitamento de água cinza para abastecimento da descarga da bacia sanitária na cidade Sweida na parte sul do país. Foram realizadas entrevistas a fim de demonstrar a aceitação social, o consumo de água, bem como os usos finais de água. Para o tratamento da água cinza, foram propostos zona de raízes e biofiltro pré-fabricado. Os resultados mostraram que a produção média total de água cinza em uma área urbana típica síria foi de cerca de 46% do consumo total de água. Constatou-se que o uso de água cinza tratada para descarga da bacia sanitária economizaria cerca de 35% do consumo doméstico de

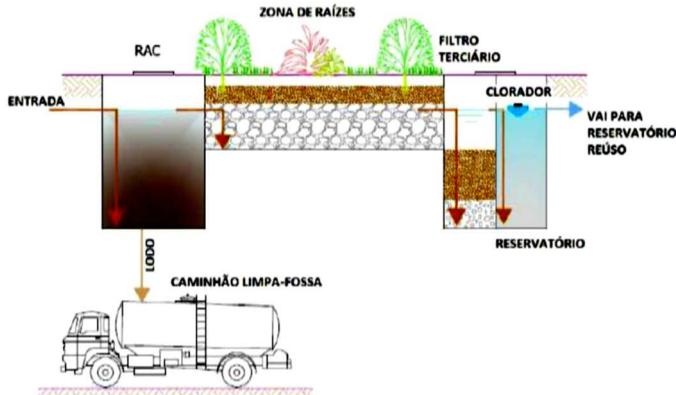
água potável. Por fim, os autores concluíram que muitas áreas sírias sofrem com a escassez de água potável e, portanto, a política de uso de fontes alternativas deve urgentemente ser proposta para superar este problema. Ressaltou-se também que o aproveitamento de água cinza é uma das melhores alternativas que deve ser recomendada pelas partes interessadas na sustentabilidade.

Na Austrália, Willis et al. (2011) avaliaram a redução do consumo de água potável através do aproveitamento de esgoto tratado na região de Pimpama Commera, Gold Coast. O abastecimento público de água nesta região é realizado por duas redes, uma rede de água potável e uma rede de água não-potável reciclada em sistema centralizado de tratamento e distribuição. A água proveniente da rede não-potável é utilizada para abastecer bacias sanitárias e irrigação paisagística. Com a implantação da rede não-potável, o consumo de água potável foi reduzido em 32,2%, além disso, houve significativo decréscimo da demanda de ponta de água potável. Os autores ressaltam que a redução da demanda de ponta permite o dimensionamento de redes de abastecimento de água menores.

No Brasil, Franci e Gonçalves (2012) realizaram um estudo de viabilidade econômica de um sistema de aproveitamento de água cinza em uma habitação de interesse social. Considerou-se uma habitação unifamiliar hipotética habitada por cinco pessoas com consumo *per capita* de água potável de 150 L/hab.dia e um coeficiente de retorno na produção de esgoto sanitário de 80%. Foi analisado um sistema de reuso composto por sistema hidrossanitário adequado para o reuso e estação de tratamento de água cinza. A estação de tratamento (Figura 2.6) é composta por processos de tratamento não mecanizados associados na seguinte sequência: peneira fina, reator anaeróbio compartimentado, *wetland* horizontal, filtro de areia terciário e cloração no reservatório inferior de água de reuso. De acordo com os autores, além da eficiência, este sistema destaca-se pelo baixo custo de implantação e pela reduzida demanda de operação e manutenção. Verificou-se que, devido ao sistema de tarifação social dos serviços de abastecimento de água e de esgotamento sanitário vigentes no Brasil, é inviável economicamente a adoção de sistemas de reuso para populações de baixa renda no país. Além disso, a tarifação mínima do consumo de água também inviabiliza a adoção desses sistemas. Por fim, concluiu-se que há necessidade de desenvolvimento de tecnologias apropriadas e de baixo custo para reuso em habitação de interesse social. Além disso, são necessárias políticas públicas compensatórias, para que se viabilize a popularização desta

importante prática de conservação de água e de redução de esgoto sanitário em áreas urbanas de baixa renda.

Figura 2.6 - Esquema da estação de tratamento de água cinza.



Fonte: Franci e Gonçalves (2012).

Paes et al. (2010) realizaram um trabalho na cidade de Cuiabá, Mato Grosso, onde foram monitoradas seis residências de médio padrão com sistema de reuso durante 15 meses. A pesquisa foi realizada em etapas, com início focado na educação ambiental em uma comunidade, seguido da implantação de um sistema de reuso de água nas residências selecionadas e monitoramento quantitativo e qualitativo da água. Por meio de dois hidrômetros em cada residência verificou-se a redução do consumo de água potável devido ao sistema de reuso. O sistema proposto consiste na separação da água de enxágue em máquina de lavar roupas, visando armazená-la e bombeá-la a um reservatório superior, e utilizá-la em descargas sanitárias, lavagem de pisos, umidificação de ambientes externos e rega de plantas. Para o monitoramento qualitativo, foram coletadas amostras da rede de abastecimento e de reuso para análises físicas e químicas. Em comparativo entre os resultados quantitativos, o consumo da água reusada em relação ao da água potável em cada residência variou de 7,9% a 26,4%. Sobre o aspecto qualitativo, foi observado de maneira geral o relativo acréscimo dos valores de cor, turbidez, sólidos totais dissolvidos, fósforo e pH.

Bazzarella (2005) monitorou o funcionamento de um sistema de aproveitamento de água cinza em um edifício da Universidade Federal do Espírito Santo durante 44 dias, tendo como o objetivo de diminuir a demanda de água potável e a geração de esgoto doméstico. O sistema

existente recolhia água dos lavatórios e chuveiros, que passava por uma ETAC (Estação de Tratamento de Água Cinza, com reator anaeróbio, filtro biológico aerado, filtro terciário e desinfecção com cloro) e abastecia as bacias sanitárias e mictórios da mesma edificação. Para aumentar a produção de água cinza (de forma a aproximá-la da produção de uma residência), uma máquina de lavar roupas foi instalada junto a um dos lavatórios, sendo acionada quase diariamente. Observou-se que, durante o período de monitoramento, em sete dias a quantidade de água cinza produzida não foi suficiente para abastecer o sistema. Observou-se também que a água proveniente da máquina de lavar roupas foi essencial no suprimento da demanda de água cinza do sistema. Sem a utilização da máquina de lavar roupas, o número de dias em que a demanda superaria a oferta de água cinza passaria de sete para 27 dias. A implantação do sistema diminuiu em torno de 42% a demanda de água potável (demanda total de 7.675 litros no período analisado), desconsiderando o consumo da máquina de lavar roupas. Considerando o consumo da máquina de lavar roupas, a redução na demanda de água potável foi igual a 37% (demanda total de 9.775 litros no período analisado).

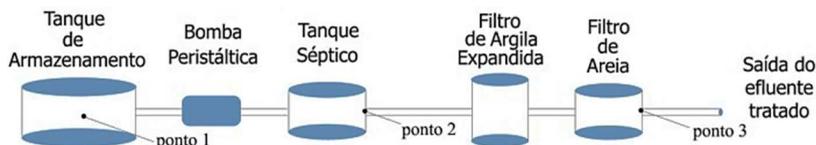
No estudo de Almeida (2007), já citado anteriormente, foi desenvolvida uma metodologia para caracterização qualitativa e quantitativa de produção de efluentes domésticos gerados em residências na cidade de Feira de Santana, Bahia. Os resultados gerais das análises químicas e físicas dos efluentes secundários das casas investigadas no estudo foram coerentes com a literatura, a saber: maior concentração de coliformes nos efluentes da pia da cozinha; maiores valores de sólidos totais e suspensos, além de nitrogênio, fósforo, potássio e DQO (Demanda Química de Oxigênio) no efluente de lavagem de roupa e pia de cozinha; maiores valores de cálcio e dureza no lavatório e; maiores valores de sódio nos efluentes de lavagem de roupa. Consequentemente, o efluente de lavagem de roupa é o menos recomendado para reuso na irrigação, devido aos altos valores de Razão de Adsorção de Sódio encontrados. A autora ressalta que, comparado com outros estudos no Brasil, os efluentes gerados por equipamentos encontrados diferem em alguns valores, o que indica que mais estudos são necessários. Identificou-se que as variações encontradas nas concentrações dos efluentes estão diretamente relacionadas com o comportamento do usuário. Deste modo, um sistema de reuso residencial depende dos padrões de comportamento. Por fim, concluiu-se que somente através de regras pré-estabelecidas com o objetivo de se reduzir as concentrações encontradas pode-se definir o reuso direto em descargas ou irrigação. Um exemplo de regra, seria reutilizar efluentes do lavatório e do chuveiro em

descargas e lavagens em geral apenas quando se restringir o uso do lavatório apenas para lavagem de mãos, rosto e escovação, além disso, as pessoas deveriam evitar urinar no momento do banho. Além disso, recomendou-se a troca de produtos comuns de limpeza por biodegradáveis, com baixa concentração de fósforo e cloro visando a melhoria das características dos efluentes destinados ao reuso.

Santos e Kotsuka (2009) analisaram os impactos sobre os sistemas convencionais do tratamento de esgoto e de fornecimento de água potável a partir da utilização de água cinza tratada (proveniente de chuveiros) para o abastecimento das bacias sanitárias. O local avaliado foi uma comunidade com 20.000 habitantes, com predomínio de edificações residenciais. Observou-se que a vazão do esgoto doméstico lançado na lagoa anaeróbia diminuiu 32%, na situação com aproveitamento de água cinza, pois uma parte da água anteriormente direcionada à estação de tratamento de esgoto passou a ser reutilizada na própria edificação. Quanto à Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) do esgoto sanitário, verificou-se um aumento de 17,8% com a utilização de água cinza nas edificações.

Santos et al. (2009) realizaram um estudo para a avaliação do desempenho de um sistema de tratamento de água cinza visando à redução da concentração de importantes poluentes físicos e químicos presentes na mesma. O sistema de tratamento era constituído de três unidades de tratamento operadas em série: um tanque séptico, um filtro de argila expandida e um filtro de areia. Três pontos de amostragem (Pontos 1, 2 e 3 ilustrados na Figura 2.7) foram aferidos e os parâmetros avaliados foram Turbidez, formas de Nitrogênio, Fósforo Total, Fosfato e Surfactantes. Os resultados indicaram que o sistema apresentou bom desempenho na remoção de Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK), Fosfato Total e Surfactantes. Constatou-se também um bom desempenho na remoção da cor aparente e do odor do efluente, características importantes na apresentação da água cinza aos usuários. Porém, a remoção de fósforo total não foi considerada significativa.

Figura 2.7 - Esquema do sistema de tratamento.



Fonte: Santos et al. (2009).

Reis et al. (2009) avaliaram a concepção de um sistema domiciliar de aproveitamento de efluentes provenientes de chuveiros, lavatórios, tanque e máquina de lavar roupas, implantado em uma residência unifamiliar em Goiânia, Goiás. Analisou-se a eficiência do sistema de tratamento constituído por um tanque de sedimentação, seguido por um filtro de brita e areia com recirculação e desinfecção por ultravioleta (UV). Os autores constataram que a água proveniente do sistema de reuso utilizada na irrigação do jardim da residência não ocasionou nenhum tipo de dano às plantas. Quanto ao sistema de tratamento, apesar da maioria dos parâmetros de qualidade da água de reuso não atenderem aos critérios sugeridos na literatura, o sistema mostrou uma evolução na melhora da qualidade da água durante os três meses de funcionamento, demonstrando que o filtro ainda se encontrava em fase de maturação. Verificou-se a necessidade de monitoramento dos padrões de qualidade da água de reuso pelo menos uma vez por mês devido à grande variação dos parâmetros avaliados.

Marinoski et al. (2014) verificaram em um estudo realizado em habitações interesse social na região da Grande Florianópolis, que a água cinza produzida a partir de efluentes dos chuveiros, lavatórios e lavadora de roupas poderia fornecer 23-32% da demanda total de água nas habitações estudadas.

Nota-se, nos estudos analisados neste item que, de forma geral, os principais aspectos abordados são o potencial de economia de água potável gerado pelo aproveitamento de efluentes e o nível de qualidade da água cinza. Na maioria dos estudos, constatou-se que a água cinza foi destinada ao abastecimento de descarga de bacias sanitárias e irrigação, e a oferta de água cinza superou a demanda. São raros os estudos enfocando o impacto ambiental de sistemas de aproveitamento de água cinza.

Além disso, verificou-se que ainda são poucas e insipientes as pesquisas deste tema realizadas em habitações de interesse social. Diversos fatores contribuem para isso, dos quais se destacam fatores de ordem técnica (restrição de área para implantação de sistemas de tratamento), os riscos à saúde, e, sobretudo, a viabilidade econômica. A viabilidade econômica é determinante na popularização da prática, pois se refere à incapacidade de pagamento dos custos de implantação, operação e manutenção de um sistema de aproveitamento de água cinza por famílias de baixa renda. Outro fator relevante é a falta de políticas públicas adequadas que incentivem um segmento populacional a ter acesso a essa tecnologia de conservação de água.

2.3.4 Aproveitamento de água pluvial e água cinza integrados

Alguns estudos, aqui apresentados em sequência regional, abordam a integração do aproveitamento de água pluvial e aproveitamento de água cinza em edificações. Dentre os temas abordados, destacam-se a qualidade da água aproveitada, o potencial de economia de água potável obtido e a redução de efluentes gerados.

Na Coreia, Kim et al. (2007) avaliaram opções de tratamento para a aproveitamento de água cinza e água pluvial em edifícios de escritórios. Experimentos laboratoriais foram realizados para avaliar a viabilidade de duas tecnologias de tratamento - meios filtrantes lignocelulose e membranas metálicas. Comparou-se a qualidade da água cinza com a água pluvial e também a qualidade da água cinza misturada com água pluvial. Observou-se que os meios filtrantes foram úteis para controlar as primeiras águas de chuva, mas não foram suficientes para produzir água adequada para usos não potáveis em edifícios de escritórios.

Na Irlanda, em um estudo realizado por Bertrand (2008), constatou-se que a combinação de aproveitamento de água cinza e aproveitamento de água pluvial contribui significativamente para a redução do volume de esgoto gerado e minimização de inundações. Verificou-se que as condições climáticas podem influenciar nos cenários de economia de água potável e redução de esgoto proporcionado por sistemas de aproveitamento de água pluvial, enquanto que o desempenho dos sistemas de aproveitamento de água cinza não é influenciado. Em condições extremas, a eficiência de sistemas de captação de água pluvial diminui, pois é altamente dependente da frequência e intensidade das chuvas.

Em outro estudo realizado na Irlanda, Li et al. (2010) verificaram que o aproveitamento de água pluvial e o de aproveitamento de água cinza doméstico podem desempenhar um papel muito importante na gestão da água naquele país. O uso de sistemas de aproveitamento de água pluvial e sistemas de aproveitamento de água cinza têm o potencial de fornecer entre 30% e 90% da água nas residências irlandesas. Esses sistemas em conjunto têm a possibilidade de fornecer até 94% da água doméstica. Além disso, a utilização de fontes alternativas de água pode contribuir para significativa economia de água potável, minimizar a pressão do fornecimento centralizado de água, reduzir perdas na rede e os custos de tratamento. No entanto, os autores ressaltam que as técnicas de integração e tratamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial e sistemas de aproveitamento de água cinza e seus custos de aquisição e instalação podem ser inviáveis para algumas famílias irlandesas.

Na Austrália, Muthukumaran, Baskaran e Sexton (2011) avaliaram o potencial de economia de água potável obtido em uma edificação residencial através da adoção de fontes alternativas de água (água pluvial e água cinza). Este estudo demonstrou que o uso combinado dessas fontes alternativas pode economizar até 77% do total de água potável em comparação com a média do uso da água em uma casa convencional utilizando exclusivamente o abastecimento de água potável. O aproveitamento de água pluvial proporcionou uma economia de 40% no uso total de água potável; deste total, 17,0% correspondem à economia em bacias sanitárias, 17,6%, em lavadoras de roupas, 0,8%, em lavadoras de louças e 4,6%, em jardins. Além da economia de água, observou-se devido ao uso de água cinza, uma significativa redução de efluentes gerados.

Nos Estados Unidos, Gardels (2011) desenvolveu um estudo para determinar a sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica de cinco projetos de sistemas de aproveitamento de água mais comumente empregados. Utilizou-se avaliações do ciclo de vida econômico de insumo-produto (*input-output*) e análises de custo/benefício. Os projetos de sistemas foram avaliados para quatro regiões daquele país, incluindo o Noroeste (Seattle), Sudoeste (Scottsdale), Centro-Oeste (Omaha) e Sudeste (Tampa). Os projetos analisados foram:

1. Sistema de aproveitamento de água cinza (sem tratamento da água) para irrigação de jardins em uma residência unifamiliar (Modelo 1);
2. Sistema de aproveitamento de água cinza com tratamento para abastecimento de descargas de bacias sanitárias e lavagem de roupas em uma residência unifamiliar (Modelo 2);
3. Sistema de aproveitamento de água cinza combinado com sistema de aproveitamento de água pluvial destinado ao abastecimento de descargas de bacias sanitárias e lavagem de roupas (água pluvial) e irrigação de jardins (água cinza) em uma residência unifamiliar (Modelo 3);
4. Sistema de aproveitamento de água pluvial destinado ao abastecimento de descargas de bacias sanitárias e lavagem de roupas em um complexo de apartamentos residenciais (Modelo 4);
5. Sistema de aproveitamento de água cinza combinado com sistema de aproveitamento de água pluvial para abastecimento de água com fins não potáveis em uma comunidade com 6.732 habitantes (Modelo 5).

Os resultados do estudo de Gardels (2011) indicaram que existem contrapartidas (*trade-offs*) em cada um dos modelos analisados. Os Modelos 1 e 5 tiveram os melhores resultados em termos de sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica (demonstraram redução de emissões de gases do efeito estufa e consumo energia). No entanto, com estes dois modelos, existem outros impactos ambientais para operação e manutenção dos sistemas adicionais. No geral, os Modelos 2 e 3 não foram ambientalmente sustentáveis e economicamente viáveis. O Modelo 4 obteve diversos resultados, com base na variação regional de preços e precipitação pluviométrica.

No Brasil, a Casa Eficiente, localizada em Florianópolis, é uma edificação que funciona como uma vitrine de tecnologias e ambiente para o desenvolvimento de atividades de pesquisa no âmbito da construção civil (ELETROSUL, 2012). A residência utiliza fontes alternativas de água por meio de um sistema de aproveitamento de água pluvial e um sistema de aproveitamento de água cinza. No projeto hidrossanitário da Casa Eficiente promoveu-se a segregação da água de acordo com a qualidade requerida para o uso:

- Água pluvial para fins não potáveis (água pluvial proveniente de áreas de captação de coberturas limpas – telhados – que não sejam utilizadas para circulação de pessoas ou animais domésticos);
- Água cinza para irrigação (água não potável constituída de água cinza clara – proveniente de banho, lavatório, tanque e máquina de lavar roupa e água pluvial proveniente de áreas de cobertura com telhado vegetado ou áreas utilizadas para circulação de pessoas ou animais domésticos).

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial e de aproveitamento de água cinza da Casa Eficiente possuem reservatórios distintos para armazenamento da água, que é usada no abastecimento de usos não potáveis. A água pluvial é utilizada em descarga de bacia sanitária e lavagem de roupa, enquanto a água cinza, após passar por tratamento biológico por zona de raízes, é encaminhada para uso paisagístico no lago decorativo, e irrigação dos jardins da casa (ANDRADE; MARINOSKI, 2010b).

Peters et al. (2006), em um estudo realizado em residência unifamiliar de baixo padrão localizada em Florianópolis, Santa Catarina, avaliaram o potencial de aproveitamento de água cinza combinada com

água pluvial (Figura 2.8) para abastecimento de descarga de bacia sanitária. A água cinza é proveniente dos efluentes de lavatório, chuveiro e tanque de lavar roupas. A sequência de tratamento da água cinza compreende uma caixa receptora dos efluentes, um filtro de pedra, caixa de passagem para desinfecção com pastilhas de cloro e reservatório de água cinza tratada.

Figura 2.8 – Sistema de aproveitamento de água cinza combinada com água pluvial em residência unifamiliar de baixo padrão.



a) Sistema de reuso água cinza.

b) Vista lateral do sistema

c) Reservatório superior de reuso e reservatório de água potável.

Fonte: Peters et al. (2006).

Os resultados obtidos no estudo de Peters et al. (2006) indicaram que a água pluvial possui qualidade superior à água cinza tratada. O volume necessário de água pluvial aproveitada para atender a demanda na bacia sanitária foi suficiente em todo o período de estudo, exceto no mês de junho onde foi utilizada uma parcela maior de água cinza. No entanto, a água cinza, por ter uma produção contínua, seria capaz de suprir toda a demanda das descargas nos períodos de estiagem, quando a água pluvial foi insuficiente para tal suprimento. A produção regular de água cinza na residência superou a demanda de água na bacia sanitária podendo ser utilizada também em outros usos não potáveis, tais como rega de jardim e lavagem de veículos, não havendo a necessidade de outra fonte

alternativa. Em termos percentuais, a produção de água cinza na residência foi cerca de 60% do total das águas residuárias geradas, enquanto que a demanda para a descarga da bacia sanitária foi de 22% deste total. Os autores concluíram que a mistura das águas (cinza e de chuva tratadas) promove uma redução da qualidade em relação à água pluvial armazenada na cisterna. A oferta das fontes alternativas de água supera a demanda para o reuso na descarga de bacia sanitária, podendo utilizar-se a água cinza somente para a descarga de bacia sanitária e a água pluvial para outros fins mais nobres como a lavagem de roupas.

Em um estudo realizado em Palhoça, no sul do Brasil, por Ghisi e Oliveira (2007), avaliou-se o potencial de economia de água potável obtido com o uso conjunto e isolado de água pluvial e água cinza em duas residências unifamiliares de médio padrão. Os resultados indicaram que para a utilização combinada de água pluvial e água cinza, o potencial de economia de água potável obtido foi de 36,6% (residência A) e 33,8% (residência B) considerando o abastecimento da bacia sanitária e lavadora de roupa com água não potável. Com o uso de água pluvial isoladamente, a economia de água potável na residência A seria de 35,5% e na residência B, 33,6%. Com o uso exclusivamente de água cinza, a economia de água potável é menor, 30,4% na residência A e 25,6%, na residência B.

Em Florianópolis, Ghisi e Ferreira (2007) avaliaram o potencial de economia de água potável de um condomínio residencial multifamiliar de médio padrão, com três blocos, através do aproveitamento de água pluvial e aproveitamento de água cinza, levando em conta o uso em conjunto e separadamente dessas duas técnicas. Considerou-se que a água não precisa ser potável para abastecimento de bacia sanitária, lavagem de roupas e limpeza. Respectivamente para os blocos A, B e C, residiam aproximadamente 36, 45 e 37 habitantes e consumia-se 179,1, 133,3 e 141,4 L/hab.dia. Os resultados mostraram que os maiores potenciais de economia de água potável foram obtidos para o uso combinado de água pluvial e água cinza, variando de 36,7% a 42,0% de economia. Com o uso exclusivo de água pluvial, a economia de água potável variou de 14,7% a 17,7%. Quando se considerou apenas o uso de água cinza, a economia de água variou de 28,7% a 34,8%. O baixo potencial de economia de água potável verificado com o uso exclusivo de água pluvial deve-se a pequena área de captação de água pluvial (apenas os telhados) considerada no estudo.

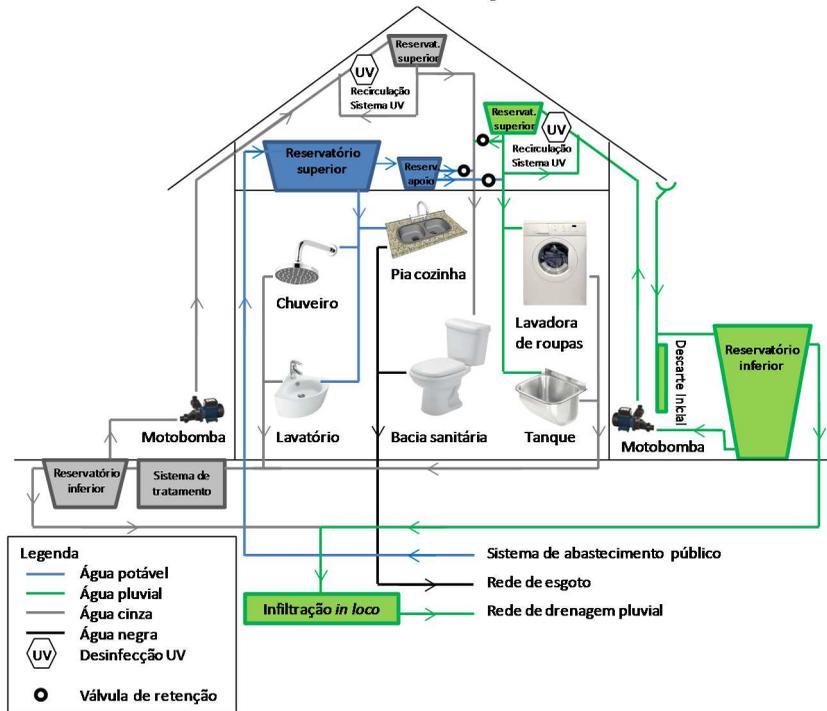
Proença et al. (2011) estimaram o potencial de economia de eletricidade em uma concessionária de água e esgoto, decorrente da redução do consumo de água potável nos setores residencial, comercial e

público na cidade de Florianópolis, setores representam 98,9% do consumo total de água na cidade. Foram consideradas três alternativas para economizar água potável, na seguinte ordem: substituição de bacias sanitárias convencionais por bacias sanitárias com descarga dual; aproveitamento de água cinza para suprir a demanda remanescente de água não potável após a instalação das bacias sanitárias com descarga dual; aproveitamento de água pluvial (caso a demanda de água não potável não tenha sido inteiramente atendida pelas alternativas anteriores). Os resultados obtidos indicaram que o maior potencial de economia de água potável pode ser obtido no setor público (60,3%), seguido pelo setor comercial (53,3%) e residencial (30,0%). Em média, o potencial de economia de água potável em Florianópolis resultou em 40,2% e a redução da produção de esgoto verificada foi de 17,7%. A economia de água potável estimada neste trabalho permitiria uma redução de 4,4 GWh/ano no consumo de eletricidade da cidade, o que representa aproximadamente 0,5% do consumo total de eletricidade de Florianópolis.

Vieira (2012) avaliou o potencial de economia de energia para operação de sistemas públicos de água e esgoto por meio do uso racional de água em habitações de interesse social em Florianópolis. O potencial de economia de energia em escala urbana com o uso racional de água em habitações de interesse social foi verificado para diferentes estratégias, considerando medidas, tais como: (i) instalação de equipamentos economizadores (bacias sanitárias de acionamento duplo e torneiras economizadoras no lavatório e na pia da cozinha); (ii) aproveitamento de água cinza do chuveiro, lavatório, lavadora de roupas e tanque para descarga de bacias sanitárias; e (iii) aproveitamento de água pluvial de coberturas para o abastecimento de lavadoras de roupas, tanques e bacias sanitárias. A maior intensidade energética média estimada foi para a estratégia que considera o uso de água pluvial sem outra medida para redução do consumo de água da rede pública - 0,86 kWh/m³ -; enquanto, a menor, foi para o uso de equipamentos economizadores combinado com água cinza - 0,41 kWh/m³. Observou-se que quanto maior a redução de efluentes destinados à rede pública de esgoto por uma estratégia, menor é a sua intensidade energética. Por outro lado, a economia de água potável não proporcionou redução significativa da intensidade energética das estratégias em relação aos sistemas públicos. O potencial de economia de energia gerado pelo aproveitamento de água cinza combinado com a instalação de equipamentos economizadores foi igual a 3,9 GWh/ano em escala urbana. A Figura 2.9 ilustra a concepção do sistema de

abastecimento de água e coleta e tratamento de esgoto avaliada no estudo de Vieira (2012).

Figura 2.9 – Concepção do sistema de abastecimento de água, coleta e tratamento de esgoto.



Fonte: Vieira (2012).

Pozzebon (2013) em sua dissertação de mestrado estudou a viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento de água pluvial e água cinza para consumo não potável na cidade de Santa Maria/RS. Para o dimensionamento dos reservatórios, considerou-se um edifício residencial multifamiliar com 4 pavimentos. Foram realizadas simulações do atendimento à demanda somente dos vasos sanitários ou destes somados a outros usos não potáveis (rega de gramado ou jardins, lavagem do condomínio e lavagem de carros). As simulações para a viabilidade técnica, econômica e social do sistema foram desenvolvidas para dois cenários: (I). Utilizando água da chuva para os usos não potáveis; (II). Utilizando a mistura de água da chuva mais água cinza para os usos não potáveis. O volume do reservatório de água da chuva ficou dimensionado

em 15 m³, garantindo o abastecimento de 33,55% da demanda. O reservatório de água da chuva misturado às águas cinzas foi dimensionado em 2,12 m³, atendendo a 100% da demanda. Quanto à viabilidade social, foi realizada uma pesquisa com pessoas de 200 domicílios para verificar o conhecimento e aceitabilidade dos sistemas por parte da população. Tanto o estudo do aproveitamento de água de chuva quanto o de água cinza demonstraram ser viáveis técnica, econômica e socialmente.

Ghisi, Rupp e Triska (2014) realizaram um estudo para classificar, com base em indicadores de consumo de energia e água e economia financeira, estratégias de economia de água potável: aproveitamento de água pluvial, reuso de água cinza, aparelhos economizadores de água, e as suas combinações. O método foi aplicado a uma escola na cidade de Florianópolis, Sul do Brasil. Os indicadores utilizados para classificar as estratégias foram: potencial de economia de água potável, índice entre economia de água potável e energia embutida ou o consumo total de energia, valor presente líquido, taxa interna de retorno, *payback* descontado, e o índice entre economia de água potável e os custos iniciais. Todas as estratégias e combinações foram viáveis economicamente. O uso de aparelhos eficientes foi a melhor estratégia para promover a economia de água e o reuso de água cinza apresentou os piores resultados.

Santos e Froehner (2007) caracterizaram água cinza e da chuva em algumas edificações residenciais localizadas em Curitiba, para apresentar seus respectivos potenciais de utilização, assim como apresentar um comparativo entre a qualidade da água pluvial e água cinza. Os parâmetros analisados foram temperatura, cor, turbidez, pH, cloro total, oxigênio dissolvido (OD), demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e demanda química de oxigênio (DQO). Os resultados obtidos destacam que no caso da água cinza, os parâmetros avaliados não atendem os critérios nacionais e internacionais para uso urbano apresentados em Sautchuk et al. (2005) e USEPA (2004). Assim sendo, para o uso adequado da água cinza analisada, faz-se necessário tratamento em nível primário, secundário e terciário, para remoção da matéria orgânica e dos microrganismos patogênicos. Com relação aos parâmetros físicos e químicos da água pluvial, foram observados reduzidos valores de cor, turbidez, DQO e DBO quando comparados aos valores encontrados para água cinza. No entanto, os valores de cor e turbidez da água pluvial ultrapassam os limites estabelecidos pelos critérios, impondo-se assim a necessidade de tratamento. No entanto, água pluvial apresentou melhores condições de aproveitamento, em termos qualitativos, que a água cinza.

Por fim, os autores ressaltaram que ambos os tipos de fontes alternativas de água requerem tratamento para o atendimento dos critérios de qualidade para o uso urbano, de maneira a minimizar os riscos à saúde pública.

Aguiar et al. (2009) desenvolveram um ensaio projetual com medidas de conservação e uso racional de água para o Núcleo de Saneamento Ecológico da Universidade Federal do Espírito Santo - UFES. Avaliou-se teoricamente a eficiência no consumo de água e na geração de águas residuárias do projeto proposto. No cenário economizador foi considerado o aproveitamento de água cinza e o aproveitamento de água pluvial para lavagem de área pavimentada e rega de jardim. Considerou-se para estimativa de produção de água cinza os consumos diários de torneiras de lavatório, torneiras de laboratório, torneira da copa e torneira de tanque. A água cinza foi segregada e direcionada para tratamento em um tanque de raízes. Como resultado, verificou-se que o uso de aparelhos economizadores (mictórios e sanitários secos) acrescentados ao aproveitamento de água cinza e o aproveitamento de água pluvial, atingiu uma economia de 73% no consumo diário de água potável no cenário economizador em relação ao cenário convencional.

Os estudos apresentados demonstraram que a utilização integrada de fontes alternativas de água pode contribuir para significativa economia de água potável, minimizar a pressão do fornecimento centralizado de água, reduzir perdas na rede e custos de tratamento. Observou-se também que os estudos apresentaram significativo potencial de redução de efluentes devido ao uso de água cinza. As pesquisas indicaram que a água pluvial possui qualidade superior à água cinza, e, portanto, a sua mistura com a água cinza promove uma redução da qualidade. Além disso, as condições climáticas podem influenciar na economia de água potável por aproveitamento de água pluvial, enquanto que o desempenho do aproveitamento de água cinza não é influenciado.

2.4 A análise de ciclo de vida

A metodologia da ACV tem sido desenvolvida por associações e tem sido largamente aceita pela indústria e comitês de normatização. Alguns desses comitês têm produzido guias para a realização de ACVs. Dentre esses comitês destacam-se o SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*), o UNEP (*United Nations Environmental Programme*) e a ISO (*International Organization for Standardization*).

A ACV é uma metodologia normatizada pela NBR ISO 14040

(ABNT, 2009a) e reconhecida para tomada de decisão ou escolha entre produtos ou sistemas que desempenhem a mesma função. De acordo a NBR ISO 14040, um estudo de ACV deve apresentar as seguintes fases: definição dos objetivos e escopo do estudo, análise do inventário, avaliação de impactos e interpretação dos resultados, conforme ilustrado na Figura 2.10.

Figura 2.10 – Fases de uma ACV.



As etapas do ciclo de vida de um produto podem ir desde a extração das matérias-primas para sua fabricação (“berço”), até a disposição final de seus resíduos em fim de vida (“túmulo”). Estágios intermediários podem ser definidos pelos processos de manufatura envolvidos até a saída do produto da fábrica, transporte ao local de uso e ainda, operação. Existe a possibilidade de reciclagem dos materiais com seu reaproveitamento no mesmo ciclo. Um estudo de ciclo de vida pode abranger todos esses estágios (do tipo *cradle-to-grave*, indo do berço ao túmulo) ou apenas parte deles.

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. Além disso, a metodologia da ACV pode ser utilizada para comparação entre produtos ou sistemas com funções equivalentes (RIBEIRO, 2003).

Como apoio à decisão, a ACV estabelece-se em geral como um procedimento comparativo. É sempre vinculada à função do produto ou serviço em estudo. Ou seja: comparam-se produtos ou serviços de mesmo uso decorrentes de processos diversos ou então, processos diferentes que resultam em produtos/serviços que cumpram a mesma função. A utilização de conceitos de ACV na avaliação de produtos da construção civil permite 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 analisado.

Utilizam-se métodos de avaliação de impactos para obter resultados ambientalmente relevantes. Estes métodos estão integrados nos *softwares* utilizados como suporte para ACV, contêm informações ambientais acerca de substâncias/recursos, e realizam as etapas da

avaliação de impactos utilizando fatores previamente definidos. Apresentam características individuais específicas e podem ser classificados em duas categorias de acordo com sua abordagem: *midpoint* (ponto médio) e *endpoint* (ponto final).

O *endpoint* é efeito final do sistema na área a ser protegida, enquanto *midpoint* são os efeitos intermediários, determinados em termos de indicadores. A diferença significativa entre as duas abordagens está na forma de comunicar os resultados de uma análise de impacto ciclo de vida e o nível de incerteza dos resultados.

De acordo com Cavalett et al. (2013), ao nível *midpoint* todas as substâncias referentes ao inventário do ciclo de vida são adequadamente agregadas em categorias de impacto de acordo com uma característica comum na cadeia de causa e efeito do mecanismo ambiental. Estas características não representam as consequências finais sobre o percurso ambiental das emissões listadas no inventário, mas são indicadores de impacto em potencial. A modelagem *endpoint* consiste basicamente em caracterizar a gravidade ou as consequências de categorias de impacto de ponto médio nas áreas de proteção a nível de ponto final. Esta caracterização, a nível *endpoint* exige modelar todos os mecanismos ambientais que conectam os resultados do inventário, com o respectivo impacto sobre as áreas de proteção, sendo, portanto, quantificadas as consequências (danos) finais das emissões (CAVALETT et al., 2013).

De acordo com Bare et al. (2000), devido ao fato dos métodos *endpoint* serem direcionados ao dano, são geralmente considerados mais compreensíveis para os tomadores de decisão, apresentando mais relevância na tomada de decisão, no entanto, possuem alta subjetividade. Os métodos *midpoint* apresentam menor subjetividade, mas também possuem menor relevância no suporte à tomada de decisão. As características mais relevantes em um método de AICV são suas categorias de impacto ambiental (ALVARENGA, 2010).

2.4.1 Programas computacionais em estudos de ACV

Diferentes ferramentas informatizadas baseadas em análise de ciclo de vida foram desenvolvidas especificamente para instrumentar a avaliação de desempenho ambiental de edificações, materiais e componentes de construção. De forma geral, essas ferramentas agregam bancos de dados para inventários de ciclo de vida e gerenciam modelos de análise de impacto de ciclo de vida (SOARES; SOUZA; PEREIRA, 2006).

O uso de programas computacionais visando auxiliar o desenvolvimento de estudos de ACV tem aumentado tendo em vista que a quantificação de impactos e os cálculos envolvidos em uma ACV podem ser muito complexos. A utilização de programas computacionais para apoio à ACV produz resultados com maior agilidade e confiabilidade.

Existem várias opções de programas no mercado, das quais podem ser citados *GaBi*, *TEAM*, *Umberto*, *OpenLCA* e *SimaPro*. Esses programas computacionais sofrem atualizações periódicas.

Com a crescente demanda para 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 e cabe a cada pesquisador verificar qual ferramenta computacional melhor se enquadra nos objetivos do estudo de ACV a ser desenvolvido (KALBUSCH, 2011).

2.4.2 Aplicações da ACV na área de sistemas hidráulicos prediais e gestão do uso da água

A Avaliação do Ciclo de Vida apresenta diversas possibilidades de aplicações. Apesar de a ACV ser utilizada principalmente para avaliar o desempenho ambiental de produtos, avaliações de sistemas de abastecimento de água e sistemas de tratamento de águas residuais têm demonstrado o potencial desta metodologia para a análise comparativa de serviços, processos e tecnologias. Na área de sistemas hidráulicos prediais e de gestão do uso da água, alguns estudos já foram desenvolvidos em diferentes países, e encontram-se apresentados neste item.

Morales-Pinzón et al. (2012) realizaram um estudo de potenciais impactos ambientais e uma análise financeira de sistemas de aproveitamento de água pluvial, implantados em diversas tipologias de habitação construídas em diferentes áreas urbanas na Espanha (total de 87 estudos de caso). A unidade funcional usada foi a coleta, armazenamento e fornecimento de 1 m³ de água pluvial para uso não potável em uma máquina de lavar roupas com uma demanda constante de 56 litros/ciclo (12.320 litros/ano para 220 ciclos) durante um período de 50 anos. Alguns resultados financeiros positivos deste estudo indicaram desempenho ambiental negativo em algumas configurações de sistemas. Foram analisados diferentes materiais de reservatórios de armazenamento de água pluvial, como concreto, fibra de vidro de poliéster, polietileno de alta densidade e aço. Constatou-se que alguns sistemas são equivalentes, pois um reservatório maior é compensado pelo menor impacto ambiental

dos materiais utilizados. Estes efeitos devem ser levados em conta no planejamento de futuros projetos de implantação de sistemas. Concluiu-se que o material utilizado para os reservatórios não é um fator relevante e a viabilidade financeira não necessariamente indica a viabilidade ambiental. O fator determinante na concepção dos sistemas é a escala de implantação dos mesmos, sendo que a melhor opção é a escala bairro.

Marinoski et al. (2012) avaliaram, por meio dos conceitos da ACV, a viabilidade ambiental da utilização de aproveitamento de água cinza e de água pluvial em edificações residenciais localizadas na região da Grande Florianópolis, Santa Catarina. Através do levantamento dos usos finais de água em vinte residências, estimaram-se os potenciais de economia de água potável ao se utilizar água pluvial e água cinza (isoladamente). Por meio de revisão da literatura e também de especificações técnicas de fabricantes, levantou-se a energia embutida na produção dos equipamentos e tubulações usados nos sistemas de aproveitamento de água pluvial e de aproveitamento de água cinza. A viabilidade ambiental destas estratégias foi avaliada através de um indicador que relaciona a energia embutida, a economia de água potável e o consumo de energia da concessionária de água e esgoto durante a vida útil do sistema. A escolha dos componentes demonstrou ser a variável com maior influência sobre a viabilidade ambiental das estratégias analisadas.

Kalbusch e Ghisi (2012) propuseram um método com base nos conceitos da ACV para quantificação do consumo energético de aparelhos sanitários. Essa quantificação permitiu a comparação entre o desempenho de diferentes aparelhos sanitários com base no consumo energético total. O método foi aplicado em um estudo de caso analisando dois modelos de torneira, uma convencional e outra com fechamento hidromecânico. Verificou-se que o consumo energético total no ciclo de vida das torneiras convencional e economizadora de água foi de respectivamente, 151,66 MJ e 127,58 MJ. A etapa de uso das torneiras apresentou peso preponderante nos resultados, com participação de 64,6% para a torneira convencional e 56,5% para a torneira com fechamento hidromecânico. O modelo de torneira economizadora de água mostrou-se a escolha viável quando comparada à torneira convencional, pois apresentou consumo energético menor no ciclo de vida.

Angrill et al. (2011) avaliaram diferentes soluções construtivas de sistemas de aproveitamento de água pluvial em regiões urbanas com diferentes densidades no Mediterrâneo, a fim de determinar a estratégia mais favorável ambientalmente. A unidade funcional adotada foi a coleta, armazenamento e fornecimento de 1 m³ de água pluvial por pessoa por

ano para ser utilizado em uso não potável em uma demanda constante para lavanderia. A quantificação dos impactos ambientais foi realizada através de uma ACV, usando o método de avaliação *CML* para a quantificação das categorias de impacto ambiental. Foram estimados os impactos ambientais relacionados aos sistemas de aproveitamento de água pluvial em dois modelos contrastantes de densidade urbana (difusa e compacta) para oito cenários diferenciados em termos de escala e de localização dos reservatórios de armazenamento. Os impactos ambientais associados aos modelos compactos de densidade urbana foram menores do que os dos modelos de densidade difusa. Os autores concluíram que o planejamento urbano deve considerar o projeto de infraestrutura de sistemas de aproveitamento de água pluvial utilizando critérios ambientais, além de econômico, social e fatores tecnológicos, ajustando os projetos para os potenciais usos em que a água pluvial se destina.

Marinoski (2010) desenvolveu um método para avaliar a viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial. Foram analisados dois cenários para a avaliação ambiental e econômica de sistemas em edificações: um cenário em que existe somente sistema hidráulico predial que utiliza água potável da rede pública, e outro cenário em que a edificação possui sistema hidráulico predial complementado por aproveitamento de água pluvial. O trabalho considerou as matérias-primas, a energia embutida, emissões e os resíduos gerados pelos principais equipamentos e componentes dos sistemas, em um horizonte de vinte anos.

Racoviceanu e Karney (2010) utilizaram uma metodologia híbrida baseada na ACV para avaliar estratégias de conservação de água residencial. A unidade funcional adotada foi 200 giga litros, que representa o volume anual de água potável por habitante da cidade de Toronto, fornecido em parâmetros necessários de qualidade e pressão. Foram analisados dois cenários de conservação de água relativos a um caso base: medidas de uso eficiente da água e aproveitamento de água pluvial. Verificou-se que ambas as estratégias conduziram a economias significativas de água, porém o consumo de energia e emissões de gases do efeito estufa variou de acordo com a delimitação das fronteiras do sistema.

Mahgoub et al. (2010) realizaram uma ACV com auxílio do software *SimaPro* para identificar os processos ambientalmente críticos do sistema urbano de água da cidade de Alexandria, no Egito. A pesquisa incluiu a avaliação de estações de tratamento de água (ETA), sistema de distribuição de água, sistema de coleta de esgoto e estações de tratamento de esgotos (ETE). A unidade funcional utilizada na análise foi um metro

cúbico de água potável ou tratamento de um metro cúbico de esgoto. O impacto ambiental das ETA e ETE foi verificado em Eco-Points/m³. O impacto ambiental das redes de distribuição de água e coleta de esgoto e dos diferentes componentes do sistema foi comparado em Eco-Points. Verificou-se que a maior parte do impacto ambiental dos diferentes elementos do sistema correspondeu às ETEs (68% do impacto total). O segundo elemento mais impactante foram as ETAs (18% do impacto total), principalmente devido ao uso de eletricidade gerada por combustíveis fósseis. O esgoto não tratado apresentou contribuição significativa para o impacto total do sistema (7% do impacto total). Por fim, conclui-se que os elementos mais problemáticos do sistema são as ETEs, pois representam maior impacto total devido à baixa eficiência de remoção de nutrientes. Além disso, o uso de energia elétrica gerada a partir de combustíveis fósseis é o principal responsável pelos impactos ambientais das ETAs e das redes de distribuição de água e coleta de esgoto.

Nazer et al. (2010) realizaram uma avaliação econômica, ambiental e social de uma série de opções de uso eficiente da água doméstico na Cisjordânia. Foram utilizados neste estudo, conceitos de avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV). Os resultados mostraram que a combinação de alternativas de gestão da água poderia reduzir o consumo de água em mais de 50%, diminuindo assim a pressão sobre os escassos recursos hídricos da região. As alternativas de gestão da água avaliadas foram torneiras com arejadores, chuveiros de baixa vazão, descargas dual, aproveitamento de água pluvial, reuso de água cinza e banheiros por compostagem.

Friedrich et al. (2009) realizaram avaliações ambientais de processos de tratamento de água no meio urbano na África do Sul, verificando que a maior parte dos impactos ambientais no tratamento de água é gerada pela utilização de energia elétrica. Assim, os autores propõem que o consumo de eletricidade de diferentes processos de tratamento e bombeamento da água possa ser utilizado como um indicador de impactos ambientais (kWh/m³). Sugerem-se ainda, para melhorar o desempenho ambiental global de sistemas urbanos de água, conservar os recursos hídricos, reduzindo perdas por vazamentos, reutilizando e aproveitando água de fontes alternativas, prevenindo a poluição e as emissões associadas à eletricidade utilizada na produção de água potável.

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. O impacto ambiental encontrado foi de 8,61 *milli-Eco-points*/m³ de água potável, após a avaliação do ciclo de vida de abordagem e avaliação de impacto com o método *Eco-Indicator 99*. O impacto financeiro obtido foi de 0,1345 Euros/m³. Os autores determinaram processos que podem ter os impactos ambientais e econômicos reduzidos por meio de mudanças sugeridas com o estudo de ACV.

Vince et al. (2008) apresentaram um método para avaliação do impacto ambiental da produção de água potável baseado em ACV. Os autores concluíram que a utilização de energia elétrica e de substâncias químicas para tratamento da água são os maiores geradores de impactos ambientais.

Lassaux, Renzoni e Germain (2007) avaliaram o impacto ambiental do uso da água na Bélgica desde a captação até o tratamento de esgotos gerados. Foi utilizado um método híbrido entre os propostos pelo *Eco-indicator 99* e pelo *CML*. As seguintes categorias de impacto ambiental foram consideradas: 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. Os resultados do estudo demonstraram que as etapas mais significativas para redução dos impactos ambientais são a de captação e tratamento de esgoto.

Racoviceanu et al. (2007) no Canadá quantificaram por meio de abordagem baseada na ACV a energia total consumida e as emissões de gases do efeito estufa em um sistema de tratamento de água convencional, típico de grandes centros urbanos da América do Norte. Foram avaliados três processos - produção de produtos químicos, operação da estação de tratamento e transporte de materiais - envolvidos na produção de água potável na cidade Toronto. O processo de operação do sistema de tratamento de água foi o maior contribuinte para o uso global de energia e geração de emissões de gases de efeito estufa, ao passo que foram considerados pequenos os impactos ambientais do transporte de produtos químicos. O bombeamento de água bruta e água tratada, diretamente relacionado com a demanda de água, foi o processo que apresentou intensivo consumo de energia e geração de gases de efeito estufa. Concluiu-se que uma melhor utilização da energia em infraestrutura de abastecimento de água poderia incluir a total automatização e otimização de sistemas de tratamento, aumento da eficiência do bombeamento, redução de energia e de resíduos dos sistemas de distribuição e monitoramento do consumo de eletricidade. Adicionalmente, minimizar

o uso de produtos químicos, respeitando os requisitos de potabilidade, diminuiria o impacto total do uso de energia e gases do efeito estufa, resultaria em um melhor desempenho ambiental do sistema.

Shimizu, Dejima e Toyosada (2013) avaliaram a energia consumida na operação de abastecimento de água e o fator de emissão de CO₂ da água de um edifício de vários andares no Japão. O fator de emissão de bombeamento obtido foi de 0,69 kg CO₂/m³. Essa operação acrescenta 16% ao fator de emissão de sistema de abastecimento de água e de esgoto. Fatores de emissão de CO₂ do uso de água pluvial e do uso de água cinza foram calculados para diferentes casos de distribuição de água no edifício. Os resultados indicaram que a utilização de água cinza aumenta as emissões de CO₂ em 62%, em comparação com o uso de água fornecida por abastecimento convencional.

Clarcke, Grant e Thornton (2009) avaliaram as emissões de CO₂ geradas na fase uso da água em residências no Reino Unido. Foi realizada uma relação da economia de água com a diminuição das emissões de CO₂. Destacou-se 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 residência.

Mithraratne e Vale (2007) analisaram a energia e emissões de CO₂ no ciclo de vida de sistemas de abastecimento de água com reservatórios de água pluvial para uso doméstico e urbano reticulado na Nova Zelândia. O estudo concluiu que em termos custos iniciais, os sistemas com reservatórios de água pluvial de plástico e de concreto são 124% e 61% mais caros, respectivamente, que o sistema reticulado. No entanto, os custos ao longo do ciclo de vida dos sistemas de aproveitamento de água pluvial são 61% e 70%, respectivamente, inferiores que o sistema reticulado. Em termos de emissões de CO₂, a seleção do reservatório é importante. As emissões poderiam ser reduzidas em 54% com o uso de um reservatório de água pluvial em concreto, em comparação com o sistema de fornecimento reticulado. No entanto, a utilização de um reservatório de plástico causaria emissões semelhantes ao do sistema de abastecimento reticulado.

Arpke and Hutzler (2006) realizaram uma ACV do consumo de água durante a vida operacional de quatro diferentes tipologias de edificações nos Estados Unidos (edifício de apartamentos, dormitório universitário, motel, e prédio de escritórios). O escopo da análise foi limitado para o desenvolvimento de uma ACV operacional. Assim, esta análise não inclui impactos relacionados com a fabricação, disposição, ou transporte de aparelhos sanitários, ou infraestrutura municipal (como

tratamento de água ou fabricação de tubulações). O sistema foi analisado ao longo de um período de 25 anos, porém este período não era necessariamente igual à vida útil do edifício, apenas um tempo em que o edifício estava sendo utilizado. Concluiu-se que o consumo de água dentro dos edifícios tem um impacto muito maior sobre o consumo de recursos que as fases de tratamento da água e esgoto. Das quatro diferentes tipologias de edificações avaliadas, o edifício de apartamentos tem o maior consumo de energia (em tratamento de água, tratamento de esgoto, e para aquecimento de água) por volume de água utilizado, enquanto que o edifício de escritórios apresentou o menor consumo. Da mesma forma, a pontuação calculada na ACV para o edifício de apartamentos é tipicamente maior que dos outros três tipos de edificações. Da mesma forma que as estações de tratamento de água, a quantidade de energia consumida por unidade de volume de água tratada em uma estação de tratamento de esgoto é dependente das técnicas de tratamento utilizadas e do tamanho da estação.

Filion et al. (2004) realizaram uma Análise de Ciclo de Vida Energético (ACVE) para quantificar o consumo de energia nas fases de fabricação, utilização e disposição final das tubulações de um sistema de distribuição de água. As formulações simples são desenvolvidas para estimar a energia necessária para descarte e reciclagem de tubos de uma vez que seu período de serviço expirou. A metodologia ACVE foi aplicada para quantificar os gastos de energia em quatro cenários de vida útil para tubulações de distribuição de água na cidade de Nova York (10, 20, 50, e 100 anos de frequência para a substituição das tubulações). Os resultados mostraram que um período de substituição de tubo de aproximadamente de 50 anos obteve o menor consumo energético total nas três fases da vida.

Grant e Hallmann (2003), na Austrália, avaliaram o impacto ambiental e os impactos econômicos de um reservatório doméstico de água urbana através da ACV. Os resultados deste estudo sugerem que, em termos de energia e de materiais, os processos de fabricação e operação de sistemas de aproveitamento de água pluvial têm mais impactos do que um sistema de abastecimento de água convencional, especialmente quando são necessárias motobombas.

No Brasil, Taborianski (2002) avaliou a contribuição das diversas formas de aquecimento de água (aquecedores elétricos, a gás ou solares) para o efeito estufa, por meio da ACV. Verificou-se no estudo que os aquecedores elétricos necessitam da energia elétrica fornecida por usinas termoeletricas, hidrelétricas ou nucleares destacando-se, no Brasil, as hidrelétricas. Os aquecedores a gás utilizam combustíveis fósseis que

produzem poluentes como os óxidos de nitrogênio, monóxidos de carbono, dióxidos de carbono, compostos orgânicos voláteis e partículas. Os aquecedores solares utilizam a energia limpa do sol. Os resultados mostram que, para os parâmetros adotados, dentre os sistemas analisados os aquecedores elétricos são os que consomem mais energia elétrica e emitem mais poluentes durante seu ciclo de vida.

Em um estudo realizado na Austrália por Pullen (1999), foram apontadas questões ambientais que devem ser levadas em conta quando se pretende substituir equipamentos, citando como exemplo a infraestrutura de saneamento urbana. Neste trabalho, analisou-se a demanda de energia (energia operacional e embutida) da infra-estrutura sanitária de um bairro de 450 domicílios. Foram consideradas as estruturas de distribuição de água, sistemas de esgoto e de drenagem pluvial. As informações sobre a energia operacional foram fornecidas pela concessionária de energia elétrica local, enquanto a energia embutida foi calculada com base nos tipos e quantidade de materiais constituintes dos sistemas. Comparando a energia embutida de reservatórios de água pluvial com a energia embutida no sistema público de distribuição de água, verificou-se que o custo energético de sistemas individuais de água pode ser maior ou menor do que o custo do sistema público. Isso porque o reservatório de água pluvial apresentou uma energia embutida variando entre 0,3 e 1,0 GJ/ano (dependendo do material e da capacidade do tanque), enquanto o sistema público apresentou uma energia embutida de 0,7 GJ/ano por domicílio.

Crettaz et al. (1999) na Suíça, quantificaram os impactos ambientais do uso de água potável e de água pluvial para descargas de bacias sanitárias com auxílio da metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida (ACV). A unidade funcional utilizada foi consumo de água em descarga de bacias sanitárias por pessoa por dia. Foram analisados diferentes cenários de sistemas e identificados os seus principais impactos. Cenários com abastecimento de água convencional apresentaram um menor requerimento energético e cargas ambientais mais baixas do que os cenários com aproveitamento de água pluvial. As análises de sensibilidade indicaram que o aproveitamento de água pluvial é energeticamente favorável apenas quando a energia requerida para o fornecimento de água é extremamente elevada (superior a $0,8 \text{ kWh/m}^3$) assumindo um complexo tratamento de água potável. Assim, a energia necessária para as instalações adicionais não é compensada pela redução no consumo de água potável fornecida pelo sistema de abastecimento de água convencional. O estudo revela ainda que bacias sanitárias com baixo consumo de água devem ser promovidas devido a reduções significativas

no consumo de energia e emissões de poluentes. Concluiu-se que a combinação de abastecimento de água convencional com baixo consumo de água é vantajosa para amenizar problemas ambientais.

Os estudos analisados demonstraram que até o momento são escassas as pesquisas abordando o impacto ambiental da integração de aproveitamento de água cinza e aproveitamento de água pluvial em edificações residenciais. No geral, as análises realizadas são de ordem qualitativa, técnica ou econômica. As pesquisas são específicas e limitadas em estudos de casos, e não apresentam métodos de avaliação que possam ser aplicados em outras edificações.

2.4.3 Limitações da ACV

A metodologia da ACV, embora seja atualmente considerada por muitos como adequada e confiável para a avaliação de impactos ambientais, apresenta algumas limitações. De acordo com a NBR ISO 14040, entre as limitações presentes na técnica de ACV, incluem-se as seguintes:

- A natureza das escolhas e suposições feitas na ACV (por exemplo, o estabelecimento de fronteiras do sistema, seleção das fontes de dados e categorias de impacto) pode ser subjetiva;
- Os modelos usados para análise de inventário ou para avaliar impactos ambientais são limitados pelas suas suposições e podem não estar disponíveis para todos os impactos potenciais ou aplicações;
- Os resultados dos estudos de ACV enfocando questões globais ou regionais podem não ser apropriados para aplicações locais;
- A exatidão dos estudos de ACV pode ser limitada pela acessibilidade ou disponibilidade de dados pertinentes, ou pela qualidade de dados;
- A falta de dimensões espaciais e temporais dos dados do inventário usados para avaliar o impacto introduz incertezas nos resultados.

De acordo com Guinée et al. (2001) são limitações da metodologia da ACV:

- A ACV não pode definir onde os impactos localizados irão ocorrer. O mesmo ocorre com o fator tempo;

- A ACV focaliza as características físicas das atividades industriais e de outros processos econômicos, mas não inclui mecanismos de mercado ou efeitos secundários no desenvolvimento tecnológico;
- Em geral, essa metodologia trata todos os processos envolvidos como lineares, ambos na economia e no meio ambiente, o que nem sempre ocorre;
- Apesar de ser uma metodologia baseada na ciência, ela envolve a adoção de um número de técnicas assumidas e de valores escolhidos, que podem levar a resultados diferentes conforme o padrão estabelecido;
- Os dados necessários podem não estar sempre disponíveis ou disponíveis em níveis de blocos, sem serem individuais para os processos constituintes.

A mais significativa dessas limitações é a incompletude e a falta de confiabilidade associados com as atuais fontes de dados. Algumas limitações ocorrem na fase de avaliação de impactos, especialmente na ponderação, através de uma escala de importância, que busca um indicador único de desempenho ambiental para o produto ou serviço. Os indicadores devem servir para comprovar as variações nos impactos causadas pelas mudanças de processo, auxiliando os tomadores de decisão a seguir opções tecnológicas consideradas ambientalmente mais compatíveis.

A interpretação das etapas de uma ACV pode resultar em análises discrepantes, notadamente quanto ao peso atribuído aos itens de impacto ambiental e a natureza de dados do inventário. Por isso, é importante que os estudos de ACV deixem claro qual é o limite do sistema e o que realmente está sendo considerado, para que não ocorram distorções nos resultados, especialmente quando utilizados dados comparativos (ABNT, 2009a).

Embora de grande utilidade para avaliação ambiental, os estudos de ACV requerem tempo e recursos consideráveis para a sua execução (CHEHEBE, 1998). Uma dificuldade existente na metodologia da ACV é a grande quantidade de dados necessários para se realizar a análise.

Hendrickson et al. (2006) salientam que, na prática, o processo completo de uma ACV é muito demorado e caro. Em alguns casos, os dados relevantes, ou processos específicos podem ser difíceis de encontrar. Diversos programas computacionais com bases de dados do ciclo de vida de materiais e processos têm sido desenvolvidos para

realização de ACVs. O *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) também desenvolveu um banco de dados de inventário de ciclo de vida que está disponível para uso público (NREL, 2012).

Apesar das limitações, a ACV tem sido largamente empregada como ferramenta de avaliação ambiental em pesquisas e nos diversos setores.

2.5 *Painel de especialistas*

A consulta a um painel de especialistas é um dos recursos metodológicos que podem ser utilizados para auxiliar na tomada de decisão em análises de ciclo de vida e fundamentar os juízos de valor em várias de suas etapas metodológicas (CURRAN, 2008).

Um painel de especialistas também pode ser acionado quando um novo domínio de pesquisa está sendo estabelecido e não se conta com informações anteriores sobre o assunto. Também pode ser utilizado como um meio para coleta de dados ou para o estabelecimento de bases para a investigação em pesquisa qualitativa.

A utilização da opinião de especialistas é frequente em estudos qualitativos e exploratórios, procedimento válido e útil quando os objetivos do estudo assim o exigem (HERNÁNDEZ-SAMPIERI, FERNÁNDEZ-COLLADO; BAPTISTA-LUCIO, 2006).

Para Taylor et al. (1987), essa técnica de pesquisa pressupõe, mesmo que às vezes de modo não explícito, uma habilidade “superior” por parte dos especialistas, que deteriam um conhecimento mais “objetivo” do assunto estudado, e cujo treinamento específico lhes asseguraria realizar avaliações “válidas”. Por outro lado, nessa concepção clássica do que seja o painel de especialistas, o público leigo não teria a capacidade intrínseca para a tarefa, estando mais vulnerável a influências emocionais e produzindo reações subjetivas.

Um painel de especialistas pode ser utilizado em uma pesquisa tanto para a coleta de dados em si, quanto para o estabelecimento das diretrizes de investigação. Recorre-se aos especialistas no caso de investigação para calibrar ou validar procedimentos, seja tomando sua avaliação como um parecer final, seja analisando criticamente suas opiniões, aceitando-as ou refutando-as em função dos objetivos do estudo (WORTMAN, 2001).

O painel de especialistas pode fazer parte de um estudo em dois momentos distintos: (I) como parte de uma fase preliminar, em que contribui para o estabelecimento de bases para a investigação; ou (II) como parte da coleta de dados propriamente dita, seja como estratégia

única de investigação, ou, como é cada vez mais comum, combinada com outras (QUIVY; CAMPENHOUDT, 1998).

Alguns métodos de aquisição de conhecimento dos especialistas foram descritos por Soares (1994) e Wortman (2001):

- Método *Ad Hoc*: tipo de painel onde os especialistas são confrontados em encontros face a face para analisar questões específicas (WORTMAN, 2001);

- Método *Delphi*: neste método não há encontros face a face e os contatos são feitos de forma anônima através de um mediador (DALKEY, 1969). Este procedimento reduz os riscos de dominância de um membro específico no painel. O conhecimento adquirido pode ser agregado por métodos quantitativos (WORTMAN, 2001). É definido, de modo geral, como uma atividade interativa desenhada para combinar opiniões de um grupo de especialistas para obtenção de consenso. Baseia-se em um processo de comunicação grupal de maneira a permitir que indivíduos, como um todo, possam lidar com um problema complexo. Além de buscar o consenso, os estudos Delphi também pretendem alcançar uma previsão de futuro, com base em um método qualitativo e ou quantitativo de coleta de opiniões e dados fundamentados no conhecimento de um grupo específico de pessoas especializadas no tema estudado (OLIVEIRA, 2008).

- Análise de documentos: revisão sistemática qualitativa de documentos publicados por especialistas sobre o assunto em questão. Uma vez que se baseia em evidências comprovadas pelos especialistas e não em sua opinião, evitam-se as subjetividades dos outros métodos. Entretanto, “documentos fornecem informações valiosas sobre o conhecimento do conteúdo, mas eles raramente podem transmitir experiência” (SOARES, 1994). Pode empregar técnicas de metanálise, onde o conhecimento é sumarizado empregando-se métodos quantitativos (WORTMAN, 2001), procedimento comum em pesquisas sobre estudos clínicos nas áreas da saúde.

Um ponto determinante em um painel de especialistas é a escolha dos participantes. O resultado do estudo depende do conhecimento e da cooperação dos especialistas participantes, sendo essencial a participação de pessoas que possam contribuir com ideias valiosas. Logo, identificar os especialistas potenciais é uma das principais tarefas.

Os especialistas são fontes de conhecimento para processamento de informações. Eles reduzem um problema complexo em subproblemas mais simples, ao mesmo tempo aproximando os fenômenos observados a situações conhecidas, mais objetivas e válidas, mesmo que recorrendo a

considerações empíricas (por vezes intuitivas), incertas ou incompletas (SOARES, 1994).

O especialista representa uma perspectiva bem específica sobre determinado assunto, a ser integrada com outras visões sobre o tema, e não implicando em palavra final ou definitiva a respeito do mesmo. Destaca-se o caráter coletivo da iniciativa, que reúne várias pessoas consideradas capazes para o tratamento das questões envolvidas no objetivo do estudo, geralmente implicando a análise de tema complexo e controverso. É exatamente essa competência de seus membros o que caracteriza o painel de especialistas como uma técnica de pesquisa (PINHEIRO; FARIAS; ABE-LIMA, 2013).

Discordâncias entre público e especialistas, assim como entre os próprios especialistas, podem ser entendidas como julgamentos diferentes, em geral baseados em diferenças terminológicas, mas também em conflitos de interesses e de valores (BONNES; BONAIUTO, 1995). Além disso, alerta-se que existe o risco de que o ponto de vista de um especialista mais influente seja dominante no painel.

De acordo com Wortman (2001), a ausência de imparcialidade dos membros no painel de especialistas também é um problema a ser enfrentado. Essa situação pode ocorrer mesmo na análise de documentos, onde a omissão ou seleção de alguns documentos pode influenciar na resposta à questão colocada.

Recomenda-se que os membros selecionados para um painel de especialistas não sejam defensores enfáticos de uma ou outra visão das questões avaliadas, sobretudo quando os pontos de vista não estão sujeitos à comprovação factual. Além disso, algumas orientações quanto à composição e equilíbrio entre os membros devem ser seguidas. Na definição do painel, a composição refere-se aos conhecimentos e experiências necessários para o estudo. O equilíbrio diz respeito à representação de diferentes pontos de vista sobre o objeto de estudo (ROYAL SOCIETY OF CANADA, 2010). Quanto ao número de membros necessários para realizar um painel de especialistas, a literatura não apresenta consenso.

O pesquisador tem como papel o de moderador e animador das reflexões. O agrupamento das questões e comentários que apresentam consenso e, simultaneamente, a provocação de novas discussões nos itens onde há ausência de respostas ou comentários, destacam-se como principais atividades do pesquisador. Com o progresso das discussões, a função do pesquisador fica gradualmente mais ágil visto que as discussões tendem a focar somente nos pontos onde ainda não se tem convergência entre especialistas (DAROS, 2013).

2.6 Avaliação de impactos sociais

Um aspecto importante a ser considerado diante da instalação de sistemas alternativos de água é o seu impacto social. A aceitação pública do uso de fontes alternativas de água é o mais crucial dos elementos na determinação do sucesso de um programa de implantação de fontes alternativas (SANTOS; FROEHNER, 2007, MANCUSO, 2003). A integração dos aspectos sociais na análise de sistemas alternativos de água é necessária para orientar o planejamento de cidades mais sustentáveis (ANGRILL et al., 2011). Porém, estudos voltados à mensuração de impactos sociais de intervenções implementadas e inovações tecnológicas são menos frequentes na literatura especializada quando comparados a outras dimensões, como a econômica e a ambiental (BONACELLI, 2003).

A dimensão social é parte indissociável das metodologias desenvolvidas para a avaliação dos impactos provocados pelas inovações tecnológicas. Assim, é importante identificar como e onde as tecnologias interferem no processo de produção e, a partir daí, saber como provocam modificações em diferentes aspectos da organização social, objetivando a mensuração da eficiência e o incremento do impacto social positivo (YEGANIANTZ; MACEDO, 2002).

A avaliação de impactos sociais consiste na avaliação de um empreendimento sobre o meio antrópico, ou seja, sobre as pessoas, sobre a população, sobre a comunidade do entorno. Assim, todas as questões que afetam as pessoas, direta ou indiretamente, são pertinentes para a avaliação de impactos sociais. Esta avaliação inclui os processos de análise, monitoramento e gestão das consequências sociais, pretendidas e não pretendidas, positivas e negativas, de intervenções idealizadas (políticas, programas, planos, projetos) e inclui quaisquer processos de mudança social provocados por essas intervenções. O seu objetivo primordial é contribuir para a existência de um ambiente biofísico e humano mais sustentável e equitativo (IAIA, 2006).

De acordo com Burdge e Vanclay (1996), a avaliação do impacto social pode ser definida como o processo de estimar, com antecedência, as consequências sociais que possam acompanhar de ações políticas específicas ou desenvolvimento de projetos. Impactos sociais incluem todas as consequências sociais para as populações humanas de todas as ações públicas ou privadas, que alteram as formas pelas quais as pessoas vivem, trabalham, se relacionam, se organizam para atender às suas necessidades.

A preocupação central da avaliação de impactos sociais não é apenas a identificação ou mitigação de efeitos negativos, mas sim o comprometimento para com o desenvolvimento e melhora da qualidade de vida. A boa prática dessa avaliação considera que os impactos sociais, econômicos e ambientais estão interligados. A mudança em qualquer destes domínios implica mudanças nos outros. Assim, deve-se conseguir compreender os mecanismos pelos quais as alterações em um domínio desencadeiam impactos em outros domínios, bem como as consequências que se propagam no interior de cada domínio ou nele se repercutem de forma iterativa.

Identificar os impactos antecipadamente pode permitir tomar melhores decisões sobre quais as intervenções que devem continuar a ser desenvolvidas e qual o modo como deverão ser concretizadas. Além disso, permite programar medidas para mitigar os efeitos negativos e maximizar os benefícios de uma intervenção específica idealizada ou das ações com ela relacionadas.

O desenvolvimento do bem-estar social da comunidade deve ser explicitamente reconhecido como um objetivo das intervenções planejadas e, como tal, deve constituir um indicador a considerar em qualquer forma de avaliação. Contudo, a questão da distribuição diferencial dos impactos pelos diferentes grupos sociais e, particularmente, o impacto suportado pelos grupos sociais mais vulneráveis, deve constituir sempre uma preocupação central.

Goyal e Bhushan (2005) afirmam que os impactos sociais desempenham um papel importante na eventual adoção/implementação de tecnologias como o aproveitamento de água pluvial, porém, esses aspectos são ignorados pelos planejadores, engenheiros e construtores.

Atualmente, ainda são poucos os estudos que abordam a avaliação social da implantação de fontes alternativas de água. Na Índia, Goyal e Bhushan (2005) relataram os benefícios sociais obtidos como o aproveitamento de água pluvial em algumas comunidades daquele país. Verificou-se que o aproveitamento de água pluvial tem fortalecido as comunidades para trabalhar em conjunto para o desenvolvimento sustentável. Porém, os autores relatam que, apesar dos benefícios, também há desvantagens, como o elevado custo inicial, qualidade da água incerta e falta de conhecimento dos moradores. Por isso, é importante que sejam realizadas melhorias na tecnologia, principalmente para reduzir os custos de instalação.

No meio rural, Naggur (2006) realizou um estudo abordando os impactos sociais do aproveitamento de água pluvial em propriedades no

Sudão. De acordo com autor, os impactos sociais da captação de água pluvial rural poderiam ser os seguintes:

- Fornecer fonte confiável e sustentável de água;
- Criar novas oportunidades para a utilização da água disponível (cultivo e pecuária);
- Criação de mais empregos e, conseqüentemente, mais renda;
- Redução da migração de populações rurais para as áreas urbanas;
- Reforço do abastecimento de água e saneamento em áreas rurais;
- Segurança alimentar e a redução da pobreza;
- Desenvolvimento mais global para a área rural.

Naggar (2006) ainda salientou os benefícios do uso de água da chuva em áreas rurais. Como as fontes tradicionais estão localizadas distantes das comunidades agrícolas, a coleta e armazenamento de água pluvial próxima às casas, aldeia, campo ou pastagens pode aumentar consideravelmente a acessibilidade e reduzir os custos de tubulações e bombeamento para grandes distâncias. Ajuda também a reduzir a dependência de grandes projetos de recursos hídricos e exploração de águas subterrâneas, e diminui o uso de água potável para a irrigação.

Em áreas urbanas, Domènech e Saurí (2011) realizaram um estudo para analisar o uso da água pluvial nos dois tipos principais de construções (multifamiliares e unifamiliares) predominantes na Região Metropolitana de Barcelona. Analisou-se as práticas e percepções sociais dos usuários, economia de água potável e os custos econômicos. Verificou-se que os principais impedimentos para a adoção de aproveitamento de água pluvial eram os altos custos de investimento, principalmente em residências unifamiliares, os custos de manutenção em edifícios multifamiliares, a falta de conhecimento sobre o sistema e falta de sentimento de posse. De acordo com os autores, estes resultados podem ser parcialmente comparáveis aos resultados de uma pesquisa realizada na Austrália, onde os profissionais identificaram os resultados de saúde pública, responsabilidades de gestão, regulação e processos de aprovação, investimento inicial e custos de manutenção como as principais barreiras para implementar tecnologias descentralizadas de água no país (BROWN, 2009).

É evidente que o conhecimento dos impactos sociais da adoção de fontes alternativas de água precisa ser ampliado. São necessárias mais

pesquisas sobre a aceitação social de fontes alternativas, bem como características socioeconômicas dos usuários, incentivando o uso de fontes alternativas de água em habitações.

2.7 Considerações sobre a revisão de literatura

Tendo em vista que a escassez dos recursos hídricos é um assunto de grande relevância na atualidade e que a cada dia ganha mais importância nas discussões mundiais, é necessário que pesquisas sobre fontes alternativas de água sejam desenvolvidas, aperfeiçoadas e difundidas.

Abordaram-se aspectos a respeito da análise dos usos finais de água em habitações residenciais. Esses dados são importantes para que possam ser adotadas estratégias adequadas de redução do consumo e conservação da água de acordo com a tipologia de edificação.

Comprovou-se com os estudos apresentados que o uso eficiente da água por meio da adoção de fontes alternativas em habitações residenciais pode reduzir a necessidade de investimento em infraestrutura dos setores de abastecimento de água e saneamento. Através dos programas habitacionais, existem oportunidades para construção de habitações mais eficientes. Entretanto, é preciso ter conhecimento sobre quais estratégias apresentam os maiores benefícios a fim de maximizar a eficiência hídrica nessas habitações, bem como para os sistemas públicos de água e esgoto.

A integração de aproveitamento de água pluvial e água cinza se destaca por contribuir significativamente para economia de água potável como também para a redução do volume de esgoto gerado na edificação. A utilização de apenas uma fonte alternativa isoladamente, em alguns casos, não é suficiente para o abastecimento completo da demanda de água não potável devido a áreas de captação e a frequência/intensidade das chuvas insuficientes. Além disso, o uso exclusivo de água pluvial não reduz a geração de esgotos, apenas diminui o consumo de água potável. Assim, a integração do aproveitamento de água pluvial e água cinza possibilita múltiplos benefícios.

Neste contexto, as fontes alternativas de água vêm sendo crescentemente estudadas no mundo. Porém, verificou-se, por meio da revisão de literatura, que na maioria das pesquisas existentes atualmente, em geral as análises abordam aspectos técnicos, qualitativos ou econômicos.

Alguns estudos com aplicações da ACV na área de sistemas hidráulicos prediais e de gestão do uso da água, desenvolvidos em

diferentes países, foram apresentados na revisão de literatura. Porém, ainda são escassas as pesquisas abordando o impacto ambiental da integração de aproveitamento de água pluvial e aproveitamento de água cinza em edificações residenciais ao longo do ciclo de vida. Além disso, as pesquisas existentes não apresentam métodos bem definidos de avaliação ambiental que possam ser aplicados em edificações residenciais.

Notou-se também por meio dos estudos em diferentes países, que a aceitação social da adoção de fontes alternativas precisa ser ampliada, principalmente em regiões onde não há escassez de água. Assim, mostram-se necessárias mais pesquisas sobre o impacto social de fontes alternativas de água. Isso irá auxiliar no desenvolvimento de políticas públicas para incentivo da aplicação residencial de fontes alternativas de água.

Deste modo, a revisão de literatura apresentou temas concernentes ao estudo, que servirão como embasamento para a elaboração deste trabalho, bem como para demonstrar o seu ineditismo.

3 MÉTODO PROPOSTO

Neste capítulo é apresentado o método baseado na Análise de Ciclo de Vida para quantificar e avaliar o impacto ambiental devido à implantação de sistemas integrados² de aproveitamento de água pluvial e água cinza em habitações residenciais.

As análises sugeridas neste método deverão ser realizadas para a instalação integrada de sistema de aproveitamento de água pluvial com sistema de aproveitamento de água cinza em residências unifamiliares. Essa integração ocorre da seguinte forma: em uma mesma residência, existem os dois sistemas supracitados interligados de modo que em casos de insuficiência de uma fonte de água (pluvial ou cinza), a demanda por água não potável remanescente poderá ser suprida com a água do outro sistema.

Objetiva-se, por meio da aplicação deste método, avaliar comparativamente o impacto ambiental devido à implantação de um sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza em relação ao sistema hidráulico predial convencional de abastecimento de água potável. Logo, dois cenários de fornecimento de água são avaliados na comparação proposta: um cenário em que a habitação apresenta um sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza – “cenário com sistema integrado”, e um segundo cenário em que a habitação apresenta apenas abastecimento de água potável – “cenário com sistema convencional”. Portanto, deve-se realizar uma comparação dos efeitos ambientais, por categoria de impacto, acumulados ao longo do ciclo de vida em cada um dos cenários supracitados.

A análise de ciclo de vida proposta envolve a comparação entre sistemas hidráulicos prediais diferentes, porém com uma mesma função, a saber, promover o abastecimento de água na edificação. Deve-se, então, definir e quantificar as características de desempenho e promover a equivalência entre os sistemas analisados. Tais comparações são estabelecidas tendo-se como base uma mesma função, relacionada à determinada unidade funcional e exercida durante determinado período (SOARES; SOUZA; PEREIRA, 2006).

O processo de comparação baseia-se nos princípios da ACV, seguindo, tanto quanto possível, a estrutura metodológica prescrita na

² Nomeou-se como “sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza” a instalação integrada de um sistema de aproveitamento de água pluvial com um sistema de aproveitamento de água cinza em uma residência.

série de normas ISO 14040 (ABNT, 2009a, 2009b). Estão contempladas no método as seguintes etapas obrigatórias de uma análise de ciclo de vida: I) definição de objetivo e escopo; II) análise de inventário; e III) avaliação de impacto de ciclo de vida.

No escopo do estudo define-se a função do sistema, e também o horizonte de tempo da análise. A unidade funcional, determinada de acordo com a função do sistema, fornece uma referência adequada para relacionar as entradas e saídas. A definição das fronteiras dos sistemas específica em quais fases do ciclo de vida deve-se realizar a análise.

O método permite avaliar o armazenamento de água pluvial e água cinza separadamente em reservatórios distintos ou no mesmo reservatório, onde ocorre mistura da água pluvial com a água cinza. Essa decisão deverá ser tomada pelos projetistas e especificada no escopo do estudo, levando em conta a qualidade da água requerida para os usos não potáveis abastecidos por tais fontes alternativas. No entanto, destaca-se que a mistura das águas (cinza e pluvial) promove uma redução da qualidade em relação à água pluvial isoladamente.

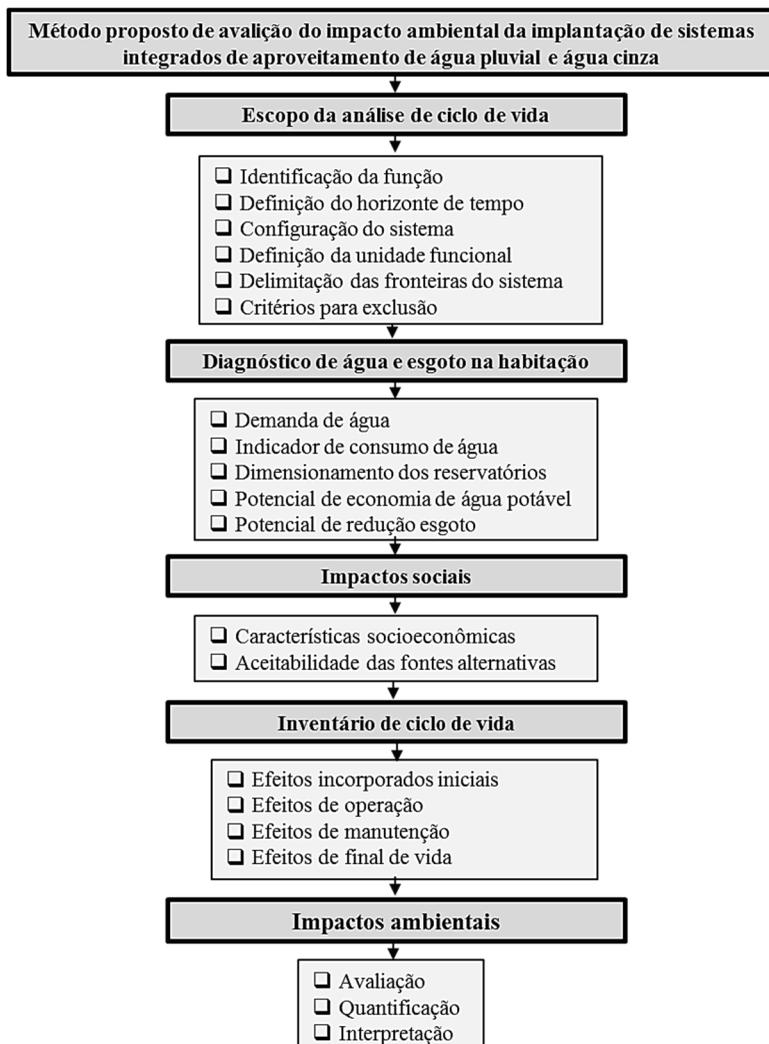
O diagnóstico de água e esgoto consiste em uma análise do consumo de água e geração de esgoto na habitação avaliada, levando em conta diversos parâmetros construtivos e de ocupação da residência. Engloba também uma estimativa do potencial de economia de água potável e redução de esgoto obtido com a instalação de um sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza.

A avaliação do impacto social é uma etapa opcional que visa analisar o contexto do local em que se deseja implementar o sistema integrado, de forma a interpretar a aceitabilidade social das fontes alternativas que serão adotadas.

No inventário são catalogados os dados de entrada e saída reportados ao sistema integrado e ao sistema hidráulico predial convencional de abastecimento de água potável. Utilizam-se bases de dados confiáveis para elaborar o inventário de ciclo de vida em ambos os cenários avaliados relacionado aos efeitos incorporados iniciais dos materiais empregados nos sistemas, aos efeitos de manutenção e aos efeitos de final de vida (resultantes da destinação de materiais para disposição final). Os efeitos de operação são calculados com base no consumo de energia para o funcionamento dos sistemas nos cenários avaliados. Os efeitos de manutenção estão relacionados às novas entradas e saídas de materiais por conta da substituição e manutenção de componentes dos sistemas. Os “efeitos” supracitados abrangem as repercussões ou impactos ambientais relacionados ao ciclo de vida, ou etapas do ciclo de vida, dos sistemas.

As análises ambientais de cada um dos cenários comparados (“cenário com sistema integrado” e “cenário com sistema convencional”) são realizadas por meio de equações propostas nesse método para estimar os efeitos avaliados. A Figura 3.1 apresenta uma síntese das etapas do método proposto.

Figura 3.1 – Síntese das etapas do método proposto.



Tendo em vista que um estudo de ACV demanda grande quantidade de dados, verificou-se a necessidade de aplicação de programas computacionais especializados e bases de dados para dar suporte à avaliação dos cenários, identificando e coletando dados com qualidade apropriada. Assim, escolheu-se para o presente trabalho a utilização do *System for Integrated Environmental Assessment of Products - SimaPro* versão 7.3 (PRÉ CONSULTANTS, 2012).

O *SimaPro* é uma ferramenta computacional que combina bases de dados para inventários de ciclo de vida e modelos de avaliação de impacto. Esse programa permite a modelagem de produtos e sistemas a partir de uma perspectiva de ciclo de vida, podendo ser utilizado para cálculo de impacto ambiental de produtos ou serviços, e determinação de indicadores de desempenho (PRÉ CONSULTANTS, 2012). O programa possui uma interface gráfica, uma base de dados, um processador de informações e um mecanismo de relatório. O processador de informações é alimentado com dados primários e dados genéricos de base de dados de materiais, produtos químicos, energia, transporte, resíduos e processos de transformação. Esse processador gera uma saída que é um inventário de ciclo de vida, que pode ser a entrada de uma ferramenta computacional para a avaliação de impacto (ROMEU; SILVA, 2013).

Todos os cálculos de caracterização das cargas ambientais no inventário de ciclo de vida são realizados com suporte do *SimaPro*, bem como a agregação dos resultados da análise de impacto de ciclo de vida. Optou-se por utilizar o programa *SimaPro* por apresentar flexibilidade de manipulação, adaptabilidade a diversos objetivos e possibilidade de utilização de variados métodos de avaliação de impactos. Outras ferramentas computacionais poderão ser utilizadas nas análises ambientais, desde que contemplem as categorias de impacto avaliadas no método proposto. Contudo, ressalta-se que o uso de ferramentas diferentes pode levar a resultados ligeiramente divergentes.

3.1 Definição de objetivo e escopo

O método proposto aplica-se à avaliação do impacto ambiental da implantação de sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza em edificações residenciais unifamiliares. O método poderá ser aplicado em habitações em etapa de projeto ou já construídas, em diferentes cenários e/ou configurações.

3.1.1 Identificação da função na comparação

A função para comparação dos sistemas foi definida como o fornecimento de água para usos não potáveis em edificações residenciais. Os componentes dos sistemas analisados devem possuir qualidade para realizar a função determinada.

Considerou-se que as fontes alternativas de água avaliadas – água pluvial e água cinza – somente podem prover água com qualidade adequada para os usos que não demandam água potável. Tanto o sistema convencional como o sistema integrado e seus subsistemas individualmente podem fornecer água para abastecimento de usos não potáveis, como por exemplo descargas de bacias sanitárias.

3.1.2 Definição do horizonte de tempo

A definição de um horizonte de tempo para a utilização dos sistemas especifica um período de referência indicando o tempo em que o sistema será utilizado.

Essa definição poderá ser realizada tendo em vista a durabilidade dos equipamentos e componentes dos sistemas. Entretanto, não é mandatória a definição de um horizonte de tempo idêntico à vida útil do sistema. Todas as análises propostas no método serão realizadas em relação ao horizonte de tempo definido.

3.1.3 Definição da configuração do sistema

A configuração do sistema integrado deverá ser definida pelos projetistas levando em conta a qualidade da água requerida para abastecimento dos usos não potáveis da habitação. Deve-se definir se ocorrerá mistura da água pluvial com a água cinza ou não.

A instalação de alguns dos componentes de cada subsistema depende da configuração definida pelos projetistas do sistema avaliado. Por exemplo, em sistemas com reservatório elevado poderá não ser necessário utilizar equipamentos para o recalque de água, e a distribuição da água aos pontos de consumo poderá ocorrer por gravidade. Portanto, é importante que cada subsistema seja analisado com suas particularidades.

O sistema integrado pode ser desmembrado em dois subsistemas, nomeados como “subsistema pluvial” e “subsistema cinza”. Essa simplificação permite avaliar a economia de água potável de cada fonte alternativa. O “subsistema pluvial” (referente ao desempenho do

aproveitamento de água pluvial) caracteriza-se de acordo com as suas principais funções e seus respectivos componentes:

- Captação/coleta (tubos e conexões);
- Tratamento (dispositivos de descarte e tratamento de água pluvial);
- Armazenamento (reservatórios);
- Recalque (motobombas);
- Distribuição (tubos, conexões).

O “subsistema cinza” (aproveitamento de água cinza) caracteriza-se por:

- Coleta (tubos e conexões);
- Tratamento (sistema de tratamento de água cinza);
- Armazenamento (reservatórios);
- Recalque (motobombas);
- Distribuição (tubos, conexões).

O sistema hidráulico predial convencional de abastecimento de água potável caracteriza-se de acordo com as suas principais funções e seus respectivos componentes:

- Armazenamento (reservatórios);
- Distribuição (tubos, conexões);
- Recalque (motobombas).

3.1.4 Definição da unidade funcional

A unidade funcional representa o desempenho quantificado como uma unidade de referência em um estudo de ACV, permitindo análise e comparação entre diferentes sistemas. A 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.

A unidade funcional proposta para a comparação entre o sistema convencional e o sistema integrado é o volume total de água consumido na habitação durante o horizonte de tempo definido. Unidade funcional similar foi adotada no estudo de Racoviceanu e Karney (2010) descrito no item 2.4.2.

3.1.5 Delimitação das fronteiras do sistema

As fronteiras do sistema estabelecem o que será considerado no âmbito do estudo e o que será excluído. A fronteira do sistema deve compreender, no mínimo: I) Produção dos materiais e componentes para os sistemas, incluindo extração de matérias-primas, processamento e transporte; II) Reposição de componentes ao longo da vida útil dos sistemas; III) Uso de energia para operação dos sistemas; IV) Destinação final dos componentes ao fim da vida útil dos sistemas.

A fase de produção envolve a extração de materiais e seu beneficiamento de modo a possibilitar a fabricação dos componentes. A fase de uso engloba os impactos gerados pela operação do sistema e eventual manutenção e troca de componentes e a fase de disposição final, os impactos relativos ao descarte.

Pode-se considerar no estudo todas as etapas do ciclo de vida, desde a extração das matérias-primas (“berço”) até a disposição final (“túmulo”) ou “do berço ao portão” (até o portão de saída da fábrica).

Por ser uma metodologia interativa, a ACV pode requerer que os limites inicialmente estabelecidos para o sistema sejam reavaliados e modificados para atender aos objetivos traçados previamente para o estudo. Assim, poderá ser realizado um refinamento das fronteiras do sistema.

3.1.6 Omissões de estágios do ciclo de vida, processos ou necessidades de dados

Como se trata de uma análise comparativa, todos os processos elementares³ idênticos entre os cenários comparados podem ser ignorados na análise do ciclo de vida. Assim sendo, propõe-se ignorar na análise os aparelhos sanitários, pois estão presentes em igual quantidade nos dois cenários da comparação.

3.1.7 Critérios para a exclusão de aspectos ambientais

Deve-se aplicar critérios de exclusão de aspectos ambientais pouco significativos ou irrelevantes visando o refinamento do inventário de ciclo de vida, pois não é possível e nem prático considerar todos os

³ Processo elementar é definido como o menor elemento considerado na análise de inventário do ciclo de vida para o qual dados de entrada e saída são quantificados (ANBT, 2009a).

aspectos ambientais contidos em um sistema de produto. Assim sendo, critérios de exclusão de aspectos ambientais podem ser de duas naturezas: quantitativos ou de relevância ambiental. De acordo com o critério quantitativo devem ser excluídos do sistema os fluxos de matéria ou energia cuja contribuição cumulativa em termos da massa ou energia total que entra, ou sai, no sistema seja inferior a determinada percentagem limite.

O critério de exclusão inicial das entradas proposto neste método é da ordem de 1% em termos de massa (IBICT, 2009). Ou seja, podem ser excluídos do inventário de ciclo de vida todos os materiais que contribuem com menos de 1% da massa total de materiais, desde que observadas sua relevância ambiental. O critério de corte deve ser reduzido, caso necessário, para expressar nos resultados da análise de ciclo de vida as entradas que, embora sua massa não contribua com mais de 1% para o sistema, produzam impacto ambiental significativo (MUNARIM, 2014).

3.2 *Diagnóstico: água e esgoto na habitação*

Neste diagnóstico são obtidas as variáveis necessárias para o dimensionamento adequado do sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza, especificando assim os volumes ideais (volumes ótimos) dos reservatórios de água.

Também se verifica o potencial de economia de água potável e de redução de geração de esgoto decorrentes do uso das fontes alternativas de água, dados requeridos para estimar os efeitos de operação.

Portanto, o diagnóstico deve ser realizado previamente à etapa de avaliação de impacto ambiental, pois as informações obtidas são indispensáveis para elaboração do inventário, simulação no programa computacional SimaPro e realização dessa avaliação.

3.2.1 Demanda de água

A norma brasileira NBR 15527 (ABNT, 2007) especifica que o projetista de um sistema de aproveitamento de água pluvial deve definir a demanda de água potável a ser substituída. Assim, esse método propõe que um levantamento dos usos finais de água deverá ser realizado na habitação em que se deseja implantar o sistema integrado a fim de determinar a demanda de água não potável (demanda de água pluvial e demanda de água cinza).

A determinação dos usos finais de água em edificações já construídas deve ser realizada preferencialmente por monitoramento *in loco* com sensores adequados. Como última opção, sugere-se a realização de entrevistas com os usuários (médias de frequência e tempo de uso da água) juntamente com medições de vazões dos aparelhos sanitários. Recomenda-se neste método que, quando houver uma diferença significativa (maior que 20%) entre o consumo medido na habitação e o levantamento de usos finais de água, devem-se revisar os dados sujeitos a maior probabilidade de incertezas como as respostas dos usuários, eventuais desperdícios, vazamentos e perdas na rede.

Para residências na fase de projeto, é possível obter dados de usos finais de água disponíveis na literatura técnica da área, apropriados ao padrão construtivo em estudo. Além disso, esses dados devem ser de regiões próximas ao local avaliado, pois devido às diferentes condições climáticas, aspectos sociais, econômicos e culturais podem ocorrer variações de consumo de água.

Por fim, deve-se definir, de acordo com a qualidade requerida para a finalidade da água, quais serão os usos finais que poderão ser abastecidos por água pluvial e/ou por água cinza. Além disso, é necessário determinar quais aparelhos hidráulico-sanitários serão considerados como fontes de água cinza. A qualidade da água não potável aproveitada deve ser adequada ao atendimento das demandas, garantindo sempre a segurança sanitária dos usuários.

3.2.2 Indicador de consumo de água

O indicador de consumo de água expressa o consumo de água por habitante. Deve-se verificar o consumo diário de água por morador a fim de que se possa dimensionar os reservatórios de água e determinar o potencial de economia de água potável obtido por meio da adoção de um sistema integrado.

Em edificações em fase de projeto, deve-se buscar na literatura técnica o indicador de consumo de água referente à tipologia de edificação avaliada.

Em edificações existentes faz-se necessário primeiramente obter um histórico do consumo de água local e do número de consumidores (população fixa e flutuante). O histórico do consumo de água pode ser solicitado à companhia de saneamento básico que presta serviços à cidade em que se localiza a edificação, ou através de leituras do hidrômetro. Sugere-se obter dados de consumo de água e dos consumidores por um período mínimo de 12 meses, para verificação da sazonalidade no

consumo. Assim, com base nestes dados, calcula-se um indicador de consumo na habitação que apresenta a relação entre o volume de água consumido em um determinado período e o número de consumidores desse mesmo período, de acordo com a Equação 3.1.

$$IC = \frac{C_{\text{água}}}{AG_c \times n_{\text{dias}}} \quad [\text{Eq. 3.1}]$$

Onde:

IC	é igual ao indicador de consumo de água na habitação (L/hab.dia);
$C_{\text{água}}$	é igual ao consumo de água no período avaliado (L/período);
AG_c	é igual ao número de consumidores (habitantes);
n_{dias}	é igual ao número de dias do período (dias).

3.2.3 Potencial de economia de água potável por meio de fontes alternativas

O potencial de economia de água potável obtido com a instalação de um sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza é estimado por meio de equações baseadas nos dados verificados nos levantamentos de usos finais de água, no indicador de consumo de água e no dimensionamento dos reservatórios.

O máximo potencial de economia de água potável proporcionado por um sistema integrado é igual à demanda de água não potável da residência avaliada. Ressalta-se que a definição dos usos com finalidades não potáveis deverá ocorrer de acordo com a qualidade da água requerida na residência avaliada.

O potencial de economia de água é estimado primeiramente para cada subsistema, ou seja, para cada fonte alternativa de água, e posteriormente para o sistema integrado. Isso permitirá avaliar o potencial de atendimento total da demanda de água não potável por meio de apenas uma das fontes alternativas de água, tendo em vista que existe a possibilidade de ocorrer falhas no fornecimento de uma dessas fontes.

O potencial total de economia devido à integração do aproveitamento de água pluvial e água cinza será verificado somando-se os respectivos potenciais de cada fonte de água.

3.2.3.1 Aproveitamento de água pluvial

Para estimar o potencial de economia de água potável obtido exclusivamente por meio do aproveitamento de água pluvial sugere-se o uso do programa Netuno (GHISI; CORDOVA, 2014) indicado para simular o dimensionamento ideal do reservatório de armazenamento de água pluvial e seu respectivo potencial de economia.

3.2.3.2 Aproveitamento de água cinza

Para definir o potencial de economia de água potável obtido por meio do aproveitamento de água cinza verifica-se primeiramente a geração de efluentes em aparelhos sanitários que podem ofertar água cinza. Em geral, a produção de água cinza em residências unifamiliares ocorre em chuveiros, lavatórios, lavadora de roupas e tanques. A geração de água cinza em habitações é calculada através da Equação 3.2.

$$G_{cinzabruta} = \sum_{i=1}^n g_{n_i} \quad [\text{Eq. 3.2}]$$

Onde:

$G_{cinza\ bruta}$ é a geração de água cinza bruta (L/dia);
 g é a geração de efluentes em aparelhos sanitários que podem ofertar água cinza (L/dia).
 n é o número de aparelhos sanitários que podem ofertar água cinza na edificação.

Posteriormente deve-se verificar a oferta média de água cinza após o tratamento da água. Assumiu-se neste método que o efluente de água cinza passará por sistema de tratamento *in situ*. Considerou-se que o sistema de tratamento é aberto e, assim, pode apresentar perdas e ganhos de água devido à evapotranspiração e à precipitação atmosférica. As frações de água acrescida por precipitação e perdida por evapotranspiração devem ser consideradas à água cinza gerada nos aparelhos sanitários. Para o cálculo da oferta média de água cinza utiliza-se a Equação 3.3.

$$O_{cinza} = G_{cinza\ bruta} \times (1 + p - et) \quad [\text{Eq. 3.3}]$$

Onde:

O_{cinza}	é a oferta média de água cinza (L/dia);
$G_{\text{cinza bruta}}$	é a geração de água cinza bruta (L/dia);
p	é a fração de água acrescida ao sistema devido à precipitação (adimensional);
et	é a fração de água perdida no sistema devido à evapotranspiração (adimensional).

Quando a oferta de água cinza superar a demanda, considera-se o potencial de economia de água potável com o uso de água cinza igual à demanda; em casos opostos, assume-se o potencial de economia de água potável igual à oferta. Assim, quando a demanda encontrada for maior que a oferta, considera-se o volume máximo a ser reutilizado igual à produção média de água cinza calculada durante os meses do ano.

3.2.3.3 Aproveitamento de água pluvial e água cinza integrados

O cálculo do potencial de economia de água potável proveniente da integração do aproveitamento de água pluvial e água cinza deverá ser realizado comparando-se a demanda de água não potável e a oferta de água cinza com a oferta de água pluvial da residência.

O projetista poderá definir qual tipo de água (pluvial ou cinza) terá uso prioritário no sistema integrado. Assim, caso opte-se pelo abastecimento prioritário dos usos não potáveis por água cinza, a demanda a ser suprida com água pluvial após o atendimento da demanda por água cinza é calculada de acordo com a Equação 3.4. A demanda de água não potável da residência é obtida por meio do levantamento de usos finais de água, onde é verificado o percentual de usos com fins não potáveis.

$$D_{\text{pluvial}} = D_{\text{npot}} - V_{\text{cinza}} \quad [\text{Eq. 3.4}]$$

Onde:

D_{pluvial}	é a demanda de água não potável a ser suprida com água pluvial (L/dia);
D_{npot}	é a demanda de água não potável da residência (L/dia);
V_{cinza}	é o volume de água que poderia ser abastecido com água cinza (L/dia);

Após verificar o valor da demanda de água não potável a ser suprida com água pluvial por meio da Equação 3.4, deve-se realizar uma

simulação computacional para obter o potencial de economia de água obtido com o aproveitamento de água pluvial.

Caso seja definido o abastecimento dos usos não potáveis prioritariamente por água pluvial, a demanda de água não potável a ser suprida com água cinza será calculada de acordo com a Equação 3.5.

$$D_{cinza} = D_{npot} - V_{pluvial} \quad [\text{Eq. 3.5}]$$

Onde:

D_{cinza} é a demanda de água não potável a ser suprida com água cinza (L/dia);

D_{npot} é a demanda de água não potável da residência (L/dia);

$V_{pluvial}$ é o volume de água que poderia ser abastecido com água pluvial (L/dia);

Para definir o volume de água que poderia ser abastecido com água pluvial deve-se primeiramente realizar uma simulação computacional para verificar o potencial de economia de água obtido com o aproveitamento de água pluvial.

Para estimar o potencial total de economia de água obtido por meio da integração das duas fontes alternativas, soma-se o potencial de economia obtido com uso de água pluvial ao potencial de economia decorrente do uso de água cinza.

3.2.4 Potencial de redução de esgoto

Considerou-se que o volume total de esgoto gerado na habitação corresponde ao volume total de água (potável e não potável) consumido em cada cenário. Somente o aproveitamento de água cinza atua na minimização da produção de efluentes e redução da necessidade de tratamento de esgotos. O aproveitamento de água pluvial não apresenta potencial de redução de efluentes domésticos, pois apenas substitui a utilização de água potável por pluvial, não alterando a quantidade de esgoto gerado.

O potencial de redução de esgoto devido ao aproveitamento de água cinza é avaliado neste método com base nos dados de usos finais de água, considerando o potencial de economia de água potável com o aproveitamento de água cinza e as perdas no sistema de tratamento (Equação 3.6).

$$E_{\text{esg}} = \frac{E_{\text{água}} + \left(p * \sum_{i=1}^n ES_{\text{produtor } i} \right)}{P_{\text{esg}}} \quad [\text{Eq. 3.6}]$$

Onde:

E_{esg}	é o potencial de redução de efluentes domésticos com o reuso de água cinza (adimensional);
$E_{\text{água}}$	é o potencial de economia de água potável com o reuso de água cinza (m ³ /mês);
p	é a perda de água por evapotranspiração no tratamento de água cinza (adimensional);
ES_{produtor}	é o volume de água cinza produzido em aparelhos sanitários (m ³ /mês);
P_{esg}	é o volume total de esgoto produzido sem a adoção de aproveitamento de água cinza (m ³ /mês).
n	é o número de aparelhos sanitários que podem ofertar água cinza na edificação.

3.2.5 Dimensionamento dos reservatórios

É importante dimensionar adequadamente o volume dos reservatórios de armazenamento de água, tendo em vista que, em geral, a estrutura de habitações unifamiliares não é dimensionada para suportar grandes cargas.

O dimensionamento do reservatório é um dos pontos críticos na implantação de um sistema, pois este não pode ser superdimensionado, evitando gastos desnecessários, e nem subdimensionado a ponto de comprometer a eficiência do sistema (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011).

Antes de realizar o dimensionamento dos reservatórios de armazenamento de água deve-se verificar as definições existentes no escopo do estudo referentes à concepção do sistema. Quando estiver especificado no escopo que o armazenamento de água pluvial e água cinza ocorre separadamente, deve-se dimensionar reservatórios distintos para cada fonte alternativa de água, conforme proposto no item 3.2.5.1. Caso esteja definido que haverá mistura da água pluvial com a água cinza, deve-se dimensionar o volume ideal de reservatório para essa combinação, de acordo com o exposto a frente no item 3.2.5.2. No que tange ao dimensionamento do reservatório de água potável, deverá ser dimensionado conforme sugerido no item 3.2.5.3.

Além disso, para a correta definição da demanda de água não potável de cada fonte alternativa, deve-se verificar qual fonte alternativa de água terá uso prioritário no sistema integrado.

3.2.5.1 Dimensionamento de reservatórios distintos de água pluvial e água cinza

Quando o armazenamento de água pluvial e água cinza ocorrer sem mistura das águas, ou seja, cada tipo de água em um reservatório exclusivo, deve-se ser dimensionar reservatórios distintos de armazenamento para cada fonte alternativa de água.

Pode-se dimensionar os reservatórios de armazenamento de água pluvial por meio de simulação computacional ou de acordo com os diferentes métodos propostos pela norma NBR 15527 observando que há trabalhos que comprovam que alguns dos métodos são inadequados para dimensionamento (RUPP; MUNARIM; GHISI, 2011; BEZERRA et al. 2010).

No caso de simulação computacional, sugere-se o uso do programa Netuno desenvolvido por Ghisi e Cordova (2014) para simular o dimensionamento ideal do reservatório de armazenamento de água pluvial e seu respectivo potencial de economia. De acordo com Rupp, Munarim e Ghisi (2011), o programa Netuno utiliza um método cujo dimensionamento se ajusta de modo mais racional quando comparado aos métodos da NBR 15.527 (ABNT, 2007) em função da demanda de água pluvial e dos regimes de precipitação. Nenhum dos métodos da NBR 15.527 fornece o potencial de economia de água potável em função do volume do reservatório de água pluvial.

O volume do reservatório superior de água pluvial poderá ser definido como o volume imediatamente superior à demanda diária de água pluvial da habitação.

Para o dimensionamento do reservatório de armazenamento de água cinza verifica-se, por meio dos dados de usos finais de água da habitação, a demanda diária total de água cinza na habitação. O volume do reservatório inferior e superior de água cinza deve ser determinado de modo a suprir totalmente essa demanda diária.

Caso ocorra insuficiência de uma fonte de água (pluvial ou cinza), a demanda por água não potável remanescente poderá ser suprida com a água do outro sistema, por meio de uma separação atmosférica de no mínimo 5 cm entre o tubo de alimentação (acima do extravasor) de água potável e o reservatório de água pluvial, conforme exigido pela NBR 5626 (ABNT, 1998).

3.2.5.2 Dimensionamento do reservatório de água pluvial misturada à água cinza

Quando estiver definido no escopo do estudo que a água pluvial e a água cinza serão armazenadas no mesmo reservatório, deve-se dimensionar o volume desse reservatório considerando a demanda total de água para usos não potáveis. No entanto, ressalta-se que em função da redução da qualidade da água, os usos em que se admite a mistura água pluvial e cinza não são os mesmos adotados para análise do uso de água pluvial armazenada isoladamente.

Primeiramente deve-se verificar o percentual de oferta de água cinza, verificado no levantamento dos usos finais de água. Se a oferta de água cinza for inferior à demanda total de água não potável, diminui-se da demanda total de água não potável a oferta de água cinza, e utiliza-se esse valor como demanda de água pluvial para dimensionar do reservatório ideal de armazenamento de água pluvial por meio de simulação.

O volume ótimo do reservatório de água pluvial misturada à água cinza será igual ao volume obtido na simulação do reservatório ideal de armazenamento de água pluvial adicionando-se o volume referente à oferta média de água cinza, verificado na Equação 3.3 do item 3.2.3.2.

Se a oferta de água cinza for superior à demanda total de água não potável, não haverá a demanda remanescente para ser suprida com água pluvial.

3.2.5.3 Dimensionamento do reservatório de água potável

O volume do reservatório de água potável poderá ser dimensionado para suprir a demanda de água residencial total seguindo as normas locais vigentes para definição do volume de reserva. Em caso de falhas do sistema de abastecimento por fontes alternativas de água ou estiagens prolongadas, o sistema de abastecimento de água potável suprirá a demanda de água pluvial e/ou de água cinza.

Contudo, pode-se optar por dimensionar o volume do reservatório de água potável visando suprir exclusivamente a demanda de água potável da residência, ou seja, desconta-se a demanda de água abastecida por fontes alternativas.

3.3 *Impactos sociais da adoção de fontes alternativas de água*

Previamente à etapa de avaliação de impactos ambientais notou-se a necessidade de avaliar o impacto social decorrente da instalação do sistema alternativo de água na habitação avaliada, porém essa etapa proposta é opcional.

As características socioeconômicas dos entrevistados podem influenciar a percepção e atitude em relação à utilização de fontes alternativas de água. Além disso, sabe-se que a aceitação social do uso de fontes alternativas de água depende dos impactos sociais observados. A aceitação da implantação de fontes alternativas de água nas habitações também pode ser uma medida importante para promover a economia de água potável, pois de nada adianta todo o planejamento e investimento em uma tecnologia que não seja aceita pelos usuários. Portanto, constatou-se a importância de identificar e analisar o contexto do local em que se deseja implementar o sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza, de forma a conseguir interpretar as reações suscitadas e avaliar plenamente os impactos ambientais.

A primeira etapa da avaliação sugerida consiste no levantamento das características socioeconômicas da(s) família(s) em que será instalado o sistema integrado. A segunda etapa consiste na avaliação da aceitabilidade social de fontes alternativas de água. Estas etapas podem ser realizadas por meio de avaliações de campo e entrevistas com os moradores, com auxílio de questionários estruturados. Os dados de aceitação de água pluvial e uso de água cinza poderão ser correlacionados com o número de ocupantes da habitação, a renda total e *per capita*, idade e grau de instrução. Na terceira etapa, os impactos sociais poderão ser traduzidos em indicadores explicativos dos impactos sociais. Os indicadores dos impactos sociais decorrentes da aplicação de sistemas alternativos de água em residências unifamiliares são índices explicativos dos impactos sociais observados. Recomenda-se contemplar por meio dos indicadores supracitados aspectos relativos à qualidade de vida, sob a perspectiva do bem-estar dos moradores. Após essas etapas, sugere-se a proposição de estratégias para aumentar a aceitação social das fontes alternativas de água analisadas, de medidas mitigadoras dos impactos negativos observados, e de medidas para potencializar os impactos positivos.

Para correta definição dos efeitos da implantação do sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza é necessário que previamente tenha sido realizado o diagnóstico de água e esgoto na edificação.

3.4 *Inventário de ciclo de vida*

No inventário deve-se catalogar os dados de entrada e saída reportados ao sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza e ao sistema hidráulico predial convencional de abastecimento de água potável. A elaboração do inventário inclui a obtenção dos dados e os procedimentos de cálculo para quantificar as entradas e saídas relevantes em cada um dos processos unitários que fazem parte dos sistemas analisados. Nesta etapa ocorre um balanço de todos os fluxos elementares que entram e saem do sistema ao longo de todo o ciclo de vida. Os fluxos elementares são fluxos energéticos e de materiais que procedem da natureza (como por exemplo, petróleo, água, etc.) sem nenhuma transformação prévia realizada pelo ser humano, ou que vão diretamente para o meio ambiente.

No quesito transporte, definem-se valores médios para cada categoria de material, considerando a distância entre as jazidas e fabricantes e o local da habitação.

Os conjuntos de dados requeridos para a elaboração do inventário de ciclo de vida estão apresentados na Tabela 3.1.

Tabela 3.1 - Dados para a elaboração do inventário de ciclo de vida.

Efeitos ambientais	Dados requeridos
Efeitos incorporados iniciais	Quantitativos de materiais utilizados nos sistemas; incluindo fabricação e transporte de componentes
Efeitos de operação	Energia consumida para a operação dos sistemas no horizonte de tempo
Efeitos de manutenção	Quantitativos de materiais utilizados na manutenção dos sistemas; incluindo fabricação e transporte de componentes
Efeitos de final de vida	Quantitativos de materiais destinados para disposição final, incluindo transporte

A coleta dos dados para a elaboração do inventário poderá ser realizada através de banco de dados, pesquisas junto a fabricantes e/ou literatura específica. As entradas e saídas devem apresentar unidades compatíveis para possibilitar adições nas diversas fases do ciclo de vida ou comparações entre estas.

Os dados devem ser analisados, validados, relacionados à unidade funcional e tratados de modo a serem convertidos nos impactos propriamente ditos (agregação dos dados).

Todos os dados apresentados no inventário devem ser referenciados. Com relação à qualidade, os dados devem preferencialmente ser atuais e refletir a realidade nacional. Assim, os dados das bases utilizadas deverão ser confrontados com aqueles já levantados na literatura científica e modificados de acordo com a realidade tecnológica e a matriz energética nacional. Além disso, podem-se realizar projeções futuras de alguns dados.

3.4.1 Quantificação das entradas

A quantificação das entradas e das saídas no ciclo de vida dos sistemas comparados é realizada de acordo com as equações propostas neste capítulo, bem como com o auxílio de programas computacionais específicos para o desenvolvimento de estudos de ACV. Esses programas possuem inventários de materiais e processos na forma de bases de dados, acoplado com ferramentas de cálculo de impactos ambientais. Além disso, alguns programas têm flexibilidade de permitir a adaptação da base de dados para o estudo de ACV realizado.

Deve-se modelar no programa escolhido o “cenário com sistema integrado” (subsistema pluvial e subsistema cinza) e o “cenário com sistema convencional”. Durante a inserção dos dados no programa, é necessária uma correspondência adequada entre os materiais selecionados para o estudo e os materiais fornecidos pela base de dados. Assim, são inseridas no programa as entradas de matérias-primas e energia obtidas em banco de dados embutidos no mesmo e como resultados, o programa indica as saídas em forma de emissões no solo, na água e no ar. As equações propostas para quantificação dos efeitos ambientais de cada sistema foram fundamentadas no estudo realizado por Munarim (2014).

Os efeitos ambientais totais do cenário com sistema integrado, de acordo com a categoria de impacto avaliada, são definidos pela Equação 3.7. Os efeitos ambientais totais do cenário com sistema convencional, por categoria de impacto, são dados pela Equação 3.8.

$$EAT_{si} = EI_{si} + EM_{si} + EO_{si} + EF_{si} \quad [\text{Eq. 3.7}]$$

Onde:

EAT_{si} são os efeitos ambientais totais do sistema integrado;

EI_{si} são os efeitos incorporados iniciais do sistema integrado;

EM_{si} são os efeitos de manutenção do sistema integrado;

EO_{si} são os efeitos ambientais de operação do sistema integrado;
 EFV_{si} são os efeitos de final de vida do sistema integrado.

$$EAT_{sc} = EI_{sc} + EM_{sc} + EO_{sc} + EF_{sc} \quad [\text{Eq. 3.8}]$$

Onde:

EAT_{sc} são os efeitos ambientais totais do sistema convencional;
 EI_{sc} são os efeitos incorporados iniciais do sistema convencional;
 EM_{sc} são os efeitos de manutenção do sistema convencional;
 EO_{sc} são os efeitos ambientais de operação do sistema convencional;
 EFV_{si} são os efeitos de final de vida do sistema convencional.

Os efeitos incorporados iniciais do sistema integrado, em cada categoria de impacto, são definidos pela Equação 3.9. De maneira análoga, os efeitos incorporados iniciais do sistema convencional, em cada categoria de impacto, são dados pela Equação 3.10.

$$EI_{si} = EIM_{si} \quad [\text{Eq. 3.9}]$$

Onde:

EI_{si} são os efeitos incorporados iniciais do sistema integrado;
 EIM_{si} são os efeitos incorporados nos materiais utilizados na implantação do sistema integrado, incluindo fabricação e transporte de componentes;

$$EI_{sc} = EIM_{sc} \quad [\text{Eq. 3.10}]$$

Onde:

EI_{sc} são os efeitos incorporados iniciais do sistema convencional;
 EIM_{sc} são os efeitos incorporados nos materiais utilizados na implantação do sistema convencional, incluindo fabricação e transporte de componentes;

Ao longo da vida útil dos sistemas hidráulico-prediais são

necessárias manutenções e trocas de equipamentos e componentes. Para calcular o número de vezes que os componentes devem ser trocados ao longo da vida útil de cada sistema avaliado utiliza-se a Equação 3.11.

$$n_r = \frac{H}{VU_{comp}} - 1 \quad [\text{Eq. 3.11}]$$

Onde:

n_r é o número de vezes que os componentes devem ser trocados ao longo do horizonte de tempo de utilização do sistema avaliado (vezes/ horizonte de tempo);
 H é o horizonte de tempo de utilização do sistema avaliado;
 VU_{comp} é a vida útil de cada componente substituível ou manutenível do sistema avaliado.

Os efeitos de manutenção de cada sistema, tanto no cenário com sistema integrado quanto no cenário com sistema convencional, para cada categoria de impacto, resultam da Equação 3.12.

$$EM = \sum_{i=1}^n (EI_{c_i} \times n_r) \quad [\text{Eq. 3.12}]$$

Onde:

EM são os efeitos de manutenção do sistema avaliado;
 EI_c são os efeitos incorporados iniciais nos materiais de cada componente substituível ou manutenível do sistema avaliado;
 n_r é o número de vezes que os componentes devem ser trocados ao longo do horizonte de tempo de utilização do sistema avaliado (vezes/tempo).

Os efeitos relacionados ao uso de energia para operação do sistema avaliado são calculados, em ambos os cenários, para cada categoria de impacto, de acordo com a Equação 3.13. A energia de operação engloba em cada cenário: (I) energia por metro cúbico de água potável fornecido; (II) energia para o recalque de água em configurações onde há necessidade de bombeamento; (III) energia para o funcionamento do sistema de desinfecção de água, como, por exemplo, em sistemas de desinfecção ultravioleta (quando necessário); (IV) energia para a coleta e tratamento do esgoto gerado (centralizado e descentralizado).

O consumo de energia para fornecimento de água potável e também a energia para coleta e tratamento do esgoto em cada cenário é calculado com base na unidade funcional proposta no item 3.1.4, e no potencial de redução de esgoto (item 3.2.4).

$$EO = O \times H \quad [\text{Eq. 3.13}]$$

Onde:

- EO são os efeitos ambientais de operação do sistema avaliado;
 O são os efeitos ambientais relacionados ao consumo anual total de energia para operação do sistema avaliado;
 H é o tempo de utilização do sistema avaliado.

Os efeitos de final de vida do sistema, em cada categoria de impacto, são definidos pela Equação 3.14. O consumo de energia na fase de disposição final dos componentes dos sistemas engloba a energia na fase de desconstrução e a energia para o transporte até o local de descarte final. O cenário de fim de vida deve considerar, no mínimo, os efeitos ambientais relacionados ao transporte dessa massa de materiais a um aterro sanitário, um aterro de materiais inertes, uma usina de processamento, etc. Nesta fase deve-se definir o tipo de disposição final a ser adotada: descarte (em aterro ou por processo de incineração) ou reciclagem de materiais. Todos os materiais resultantes das trocas ou substituições devem ser analisados como se fossem encaminhados para disposição final. Se a disposição final for realizada em aterro, é considerada apenas a energia relativa ao transporte, pois o simples descarte não produz um consumo de energia direto. No caso de descarte por incineração, o consumo de energia do processo de incineração deve ser considerado, além da respectiva energia de transporte.

$$EF = ED + ET + \sum_{i=1}^n (EFV_i \times n_{r_i}) \quad [\text{Eq. 3.14}]$$

Onde:

- EF são os efeitos de final de vida do sistema analisado;
 ED são os efeitos da energia na fase de desconstrução;
 ET são os efeitos do transporte de componentes até o local de descarte final;

EFV	são os efeitos de final de vida de cada componente substituído ou reparado do sistema avaliado;
n_r	é o número de vezes que cada componente deve ser trocado ao longo do tempo de utilização do sistema avaliado (vezes/tempo).

A unidade de cada um dos termos das Equações 3.7 a 3.14 é relacionada à unidade da categoria de impacto e de dano que estiver sendo avaliado, elencadas no item 3.5.1. Os resultados de cada categoria de impacto analisada são normalizados em termos percentuais em relação aos impactos ambientais totais, em cada categoria. Os dados da avaliação de impacto de ciclo de vida são exportados do programa e tratados em planilha eletrônica.

3.4.2 Quantificação das saídas

Propõem-se a utilização das emissões disponíveis na base de dados do *Ecoinvent*⁴ para a quantificação das saídas referentes às emissões atmosféricas, emissões aquáticas e emissões no solo ao longo do ciclo de vida dos componentes dos sistemas. As emissões são avaliadas nas fases de produção, uso e disposição final dos componentes.

3.4.2.1 Emissões atmosféricas

A quantificação de emissões de gases para a atmosfera leva em consideração as contribuições nas diversas fases do ciclo de vida dos componentes dos sistemas. Para quantificar as emissões atmosféricas geradas na fase de produção dos componentes, é necessário verificar a massa dos materiais, as distâncias referentes ao transporte (desde o local de extração de matéria-prima até a indústria).

Na fase de produção devem ser quantificadas as emissões atmosféricas geradas na manufatura e distribuição do equipamento. Também devem ser computadas as emissões atmosféricas na fase de uso do sistema.

⁴ A base *Ecoinvent*[®] apresenta conjuntos de dados de inventários de ciclo de vida nas áreas de agricultura, fornecimento de energia, transporte, bicompostíveis, biomateriais, produtos químicos, materiais de construção, materiais de embalagem, metais básicos e preciosos, processamento de metais, tecnologia de informação e eletrônica, além de resíduos de tratamento.

Devem ser verificadas as emissões atmosféricas associadas aos processos de disposição final relacionadas à quantidade de material e às respectivas distâncias de transporte.

3.4.2.2 Emissões aquáticas

As emissões aquáticas decorrentes dos processos de extração e beneficiamento da matéria-prima (produção) dos materiais componentes devem ser consideradas. As emissões aquáticas decorrentes dos processos de disposição final por reciclagem ou descarte são verificadas.

3.4.2.3 Emissões no solo

Na quantificação das emissões de substâncias para o solo, levam-se em consideração as contribuições nas diversas fases do ciclo de vida (produção, uso e disposição final) dos equipamentos.

Se a opção de disposição final for a reciclagem dos materiais, deve ser verificada a quantidade de material enviado para reciclagem em ciclo aberto para excluir os materiais já considerados na fase de produção. As emissões no solo associadas na fase de desconstrução/desinstalação devem ser incluídas nessa análise.

3.5 Impactos ambientais

Após a elaboração do inventário, o passo seguinte é a análise de impacto do ciclo de vida. Nessa fase, as cargas ambientais compiladas no inventário são agregadas e caracterizadas em termos de impactos ambientais potenciais por categorias de impacto.

3.5.1 Categorias de impactos

A seleção das categorias de impacto a serem consideradas dependem do objetivo do estudo. Dentre as diversas categorias para a quantificação dos impactos ambientais no ciclo de vida dos sistemas, serão avaliadas neste método as categorias de impactos ambientais prioritárias para o contexto da análise. Assim, as categorias contempladas na análise são categorias de danos relativas à saúde humana, à qualidade dos ecossistemas e aos recursos: potencial de aquecimento global/mudanças climáticas, depleção da camada de ozônio, radiação ionizante, acidificação, eutrofização, ecotoxicidade, toxicidade humana,

transformação do ambiente natural, depleção de recursos minerais, depleção de recursos fósseis e esgotamento de mananciais. As categorias de impacto supracitadas foram escolhidas por serem as categorias mais utilizadas em pesquisas realizadas na área da construção civil (CYBIS; SANTOS, 2000; SCHEUER et al., 2003; ARENA; ROSA, 2003, ZHANG et al., 2006; BLENGINI, 2008; KOFOWOROLA; GHEEWALA, 2008; ORTIZ et al., 2009; KALBUSCH, 2011).

Na categoria **Mudanças climáticas (Potencial de aquecimento global)** são avaliadas as emissões por ação antrópica no ar de gases, como CO, CO₂, CH₄ e N₂O, em kg de CO₂ equivalente que contribuem para mudanças climáticas (absorvem a radiação infravermelha emitida pela Terra, concentrando calor na atmosfera). As Mudanças climáticas provocam uma série de mecanismos ambientais que afetam tanto a saúde humana como os ecossistemas.

Na categoria **Depleção da camada de ozônio** (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.

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 categoria de **Radiação ionizante** descreve os danos à saúde humana relacionados com os lançamentos de material radioativo para o meio ambiente em kg de urânio (U²³⁵) equivalente.

Na categoria de impacto ambiental **Acidificação** são avaliadas as emissões atmosféricas de gases, como NH_x, NO_x e SO_x (óxidos de amônia, nitrogênio e enxofre), que contribuem para modificações na acidez da água e do solo, em kg de SO₂ equivalente (GUINÉE, 2001).

A categoria **Ecotoxicidade** (das águas marinhas, das águas potáveis e dos solos) abrange os efeitos químicos e biológicos sobre os ecossistemas aquáticos e terrestres, quando da liberação de substâncias tóxicas para o ar, água, solo e cadeias alimentares. Os efeitos são calculados com base em dados de toxicidade para organismos terrestres e aquáticos como micro-organismos, plantas, algas, anfíbios, moluscos, crustáceos, peixes e uma diversidade de plantas. Esta contaminação é consequência dos usos de pesticidas, herbicidas, poluição atmosférica e também em algumas regiões de chuva ácida.

A categoria **Eutrofização** (de águas marinhas e de águas potáveis) caracteriza-se pelo enriquecimento da água em nutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P) que podem causar uma indesejável mudança na composição de espécies nos ecossistemas e uma redução na diversidade ecológica.

Nas águas superficiais a mudança na gama de espécies é geralmente evidente pelo rápido crescimento das algas, o que pode levar a um déficit de oxigênio, com os consequentes efeitos na flora e fauna.

A categoria de **Transformação do ambiente natural** (m²) caracteriza-se pelo dano aos ecossistemas calculado de acordo com o tempo necessário para restaurar a área transformada para um tipo de uso da terra com uma diversidade similar.

A categoria **Depleção de recursos minerais** está relacionada ao decréscimo na concentração de recursos minerais como o urânio, alumínio, cromo, cobre, manganês, mercúrio, níquel, zinco, ferro, dentre outros, enquanto que a classe **Depleção de recursos fósseis** reporta-se, exclusivamente, à utilização de recursos não renováveis como o petróleo, o carvão mineral, o gás natural e o urânio (usado em usinas nucleares). A categoria **Esgotamento de mananciais** refere-se à depleção dos recursos hídricos, em m³ de água.

A categoria **Depleção de recursos abióticos** está relacionada à extração de minerais e combustíveis fósseis. O fator depleção abiótica é determinado para cada extração de minerais e combustíveis fósseis (kg equivalentes de antimônio/kg extração) com base em reservas de concentração e taxa de acumulação.

Um programa computacional adequado deverá ser escolhido para quantificar os impactos ambientais das categorias de impacto de acordo com o método de cálculo selecionado. Para o relacionamento dos fluxos elementares a essas categorias, poderão ser utilizados os métodos de cálculo disponíveis, como: *ReCiPe*, *CML 2 baseline 2000*, *CML 2001*, *Eco-indicator 99*, *Ecological Scarcity 2006*, *EDIP*, *Impact 2002+*, dentre outros.

Os métodos de cálculo de impacto ambiental são compostos por conjuntos de procedimentos com a finalidade de identificar, prognosticar e interpretar os efeitos e impactos sobre o meio ambiente decorrentes dos sistemas propostos. Saade et al. (2014) enfatizam a importância de cautela na escolha do método, e de conhecimento acerca da metodologia adotada em cada modelo de avaliação de impactos. Silva (2012) ressalta que a utilização de mais de um método na avaliação de impactos é importante, pois permite verificar se os resultados obtidos variam conforme o método adotado, e quais as diferentes conclusões percebidas. Se utilizados de forma comparativa, os métodos devem possuir categorias de impactos similares.

3.5.2 Avaliação de impacto de ciclo de vida

Na fase de avaliação dos impactos ambientais as entradas e saídas identificadas no inventário são traduzidas em impactos que refletem o perigo das substâncias sobre os ecossistemas, saúde humana e esgotamento dos recursos ao ambiente. Deste modo, realiza-se uma associação dos dados do inventário com categorias de impactos ambientais específicos e de indicadores (ABNT, 2009a).

Esta fase da avaliação do ciclo de vida é dirigida à compreensão e à avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais de um sistema. Os fluxos de materiais e energia, identificados durante o inventário de ciclo de vida, são associados a impactos ambientais.

3.5.3 Interpretação de impacto de ciclo de vida

Na fase de interpretação dos impactos ambientais, será realizada a comparação dos efeitos ambientais – por categoria de impacto – acumulados ao longo do ciclo de vida analisado em cada um dos cenários. Os impactos ambientais do sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza serão comparados ao cenário da residência com sistema de abastecimento convencional de água potável da rede pública.

As interpretações devem identificar as principais fases do ciclo de vida que contribuem para os impactos ambientais.

Serão analisados os resultados, identificados os problemas mais relevantes e as limitações. A análise compreende: categorias de impacto mais afetadas; componentes mais impactantes; o processo com menor impacto ambiental potencial. Também serão dadas recomendações para a análise completa, proposição de melhorias, bem como indicações para a minimização de impactos ambientais potencialmente gerados pelo sistema.

Caso seja necessário, a fase de interpretação poderá envolver o processo iterativo de análise crítica e revisão do escopo da ACV. Deverão ser informadas as suposições e limitações associadas com a interpretação dos resultados, relacionadas tanto à metodologia quanto aos dados.

No próximo capítulo (Capítulo 4) será apresentada a revisão e aperfeiçoamento do método proposto com base em uma consulta a um painel de especialistas. No Capítulo 5, será apresentado um estudo de caso realizado para comprovar a aplicabilidade do método proposto.

3.6 *Síntese do método proposto*

O método proposto tem como função avaliar comparativamente os efeitos ambientais da implantação de um sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza em relação ao sistema hidráulico predial convencional de abastecimento de água potável.

A primeira etapa do método é a definição do escopo do estudo, onde são determinadas a função e configuração dos sistemas, a unidade funcional e o horizonte de tempo da análise.

Na etapa de diagnóstico de água e esgoto são analisados o consumo de água e a produção de esgoto na habitação, e estimados o potencial de economia de água potável e a redução de esgoto.

A avaliação do impacto social é uma etapa opcional que visa analisar a aceitação das fontes alternativas de água adotadas.

No inventário são catalogados os dados de entrada e saída relacionados aos sistemas por meio de equações propostas para quantificação dos efeitos ambientais.

Na fase de avaliação de impacto de ciclo de vida, os dados quantificados no inventário são traduzidos em impactos ambientais com o auxílio de programas computacionais específicos para ACV.

Por fim, na fase de interpretação dos impactos ambientais, são identificadas as principais fases do ciclo de vida responsáveis pela maior parcela de danos ambientais e são propostas melhorias para minimizar os respectivos impactos.

4 REVISÃO E VALIDAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO POR MEIO DE CONSULTA A UM PAINEL DE ESPECIALISTAS

Neste capítulo será apresentada a revisão, aperfeiçoamento e validação do método proposto com base na consulta a um painel de especialistas.

Uma síntese das sugestões verificadas no painel de especialistas e as alterações realizadas no método proposto estão apresentadas no final deste capítulo, na Tabela 4.1.

4.1 Painel de especialistas

Para comprovar a efetividade e validar o método proposto nesta tese realizou-se uma consulta a um painel de especialistas com base no Método *Delphi*, na qual, a exemplo do método Delphi (DALKEY, 1969), as opiniões de um grupo de especialistas são coletadas por meio de questionários.

O critério de seleção dos participantes do painel foi primariamente a qualificação nas áreas de instalações hidráulicas prediais e/ou sustentabilidade, tendo em vista que as soluções avaliadas preconizam a sustentabilidade. Prezou-se pela formação de uma equipe que contemplasse profissionais de áreas ligadas à temática da pesquisa. Deste modo, foram convidados para participar no painel de especialistas profissionais (arquitetos e engenheiros) atuantes na área de instalações prediais, sustentabilidade, desenvolvimento de projetos e pesquisas. Ressalta-se que não há consenso na literatura quanto ao número de membros necessários para realizar um painel de especialistas.

Os especialistas foram abordados por e-mail, sendo-lhes preliminarmente apresentados os objetivos do tema da pesquisa e as etapas da consulta. Deste modo, os especialistas foram convidados a avaliar o método proposto por meio de leitura de uma síntese do mesmo e preenchimento de um questionário de análise (Apêndice I).

No total, foram convidados dezesseis especialistas, dos quais, onze aceitaram participar do painel. No entanto, apenas seis especialistas efetivamente responderam o questionário enviado. Os especialistas que permitiram divulgar o nome como participante deste painel foram: Cássia Maria Lie Ugaya, Daniel Richard Sant'Ana, Marcio Antônio Nogueira Andrade e Nádia Bernardi Bonumá. Dos dezesseis especialistas convidados, apenas dois não aceitaram participar do painel e três não responderam o e-mail de convite.

O desenvolvimento do painel de especialistas ocorreu em uma etapa de avaliação utilizando-se parcialmente da lógica do Método Delphi. Foi solicitado aos especialistas, após terem realizado a leitura da síntese do método proposto, responderem ao questionário de análise bem como registrarem os seus comentários/sugestões. O propósito do questionário é consultar diferentes especialistas quanto à pertinência dos pressupostos e premissas adotados no método proposto, tendo em vista que a elaboração do escopo de uma ACV envolve a tomada de decisões de caráter subjetivo e a consideração de uma série de pressupostos e premissas.

Os especialistas responderam a onze questões que abordavam diferentes pontos do método proposto (definição de objetivo e escopo, função do sistema, período de estudo, unidade funcional e fronteiras dos sistemas). Com base nas respostas dos especialistas, o método proposto foi aprimorado e revisado.

As respostas dos especialistas participantes do painel ao questionário de análise foram avaliadas de acordo com quesitos propostos e foram discutidas com base nos conceitos obtidos na revisão da literatura. Tanto as respostas quanto os comentários e sugestões dados nos questionários foram tratadas de forma anônima para preservar a opinião dos especialistas. Também, foi utilizado o gênero masculino para se referir aos especialistas para manter o anonimato dos participantes. As afirmações entre aspas neste capítulo foram retiradas dos comentários expostos no questionário.

4.1.1 Definição de objetivo e escopo

4.1.1.1 Função do sistema e período de estudo

A primeira questão proposta para avaliação no questionário trata da definição de objetivo e escopo da ACV. A maioria dos especialistas concordou que a função do sistema - fornecimento de água para usos não potáveis - é adequada ao método proposto.

Todos os especialistas acharam adequado que o horizonte de tempo da ACV deverá ser definido de acordo com a vida útil dos componentes do sistema. Também concordaram que a reposição dos equipamentos e componentes que tenham a vida útil inferior ao horizonte de tempo de utilização do sistema deverá ser contabilizada na avaliação dos impactos ambientais.

Um especialista concordou parcialmente neste quesito e questionou como será contabilizada a reposição dos equipamentos que

possuem vida útil inferior ao período de estudo. Neste respeito, a Equação 3.11 apresentada no item 3.4.1 define o cálculo do número de vezes que os componentes devem ser trocados ao longo do horizonte de tempo definido.

4.1.1.2 Unidade funcional

A unidade funcional inicialmente proposta no método e analisada pelos especialistas foi o volume total de água potável consumido na edificação durante o tempo de vida útil dos sistemas. Essa unidade funcional foi aceita por todos os especialistas participantes do painel. No entanto, três especialistas concordaram parcialmente com essa unidade proposta e expuseram algumas sugestões e também questionamentos.

Foi sugerido por um especialista apresentar a definição do fluxo de referência. Para outro especialista seria importante salientar porque não se escolheu como unidade funcional o volume total de água potável juntamente com não potável consumido na edificação. Essas sugestões mostraram-se pertinentes e, portanto, foram incluídas no método.

Contudo, outro especialista comentou que “o volume total de água não potável consumida não leva em conta as condicionantes locais, como por exemplo: quadros de escassez relativa e políticas tarifárias”. Como o método proposto tem por objetivo avaliar o impacto ambiental dos sistemas integrados, não se mostrou pertinente considerar políticas tarifárias de água e esgoto. Por outro lado, a condicionante local de quadros de escassez de água é considerada no método dentro da etapa em que se avalia a precipitação pluviométrica da região em que a residência se localiza.

Por fim, após a revisão do método, a unidade funcional adotada foi o volume total de água consumido na habitação durante o horizonte de tempo definido.

4.1.1.3 Definição das fronteiras dos sistemas

Quanto à definição das fronteiras dos sistemas, todos os especialistas concordaram com a proposição apresentada no método, a qual define que todas as etapas do ciclo de vida deverão ser consideradas na análise.

Foi recomendado por um especialista que a definição das fronteiras dos sistemas deve ser devidamente justificada. Assim, foi acrescentado ao método que qualquer decisão de omitir entradas e saídas

ou etapas do ciclo de vida da análise deverá ser justificada.

4.1.1.4 Diagnóstico de água e esgoto na habitação

A proposta da elaboração de um diagnóstico de água e esgoto na habitação previamente à avaliação de impacto ambiental resultou em opiniões divididas entre os especialistas. Neste diagnóstico serão obtidas as variáveis necessárias para o dimensionamento adequado do sistema, levando em conta diversos parâmetros construtivos e de ocupação. A maior parte dos especialistas considerou adequada essa proposição.

Foi sugerido por um dos especialistas que, além de variáveis da construção (tipologia) e ocupação, seria interessante verificar como variáveis socioeconômicas e climáticas afetam o consumo de água e a geração de esgoto. Não se mostrou pertinente considerar variáveis socioeconômicas e climáticas no método proposto, pois tornaria a análise muito ampla, excedendo as possibilidades e objetivos deste trabalho. Porém, essas variáveis poderão ser verificadas, caso surja a necessidade, diretamente pelos usuários do método proposto.

Outro especialista sugeriu que o procedimento de diagnóstico não precisaria necessariamente ser definido como uma etapa isolada, estando dentro da fase de escopo da ACV. Relembrou do caráter interativo da ACV, proporcionando este momento de diagnóstico e adequação dos parâmetros e variáveis. Essa sugestão não se mostrou pertinente, pois o diagnóstico de água e esgoto consiste em uma importante etapa, na qual são obtidas as variáveis necessárias para o adequado dimensionamento do sistema.

Nenhum dos especialistas discordou da proposição de que o potencial de economia de água deverá ser estimado primeiramente para cada subsistema e posteriormente para o sistema integrado.

Foi sugerido aprimorar a caracterização da água cinza, utilizando segregação entre água cinza "escura" e "clara". No entanto, o método já propõe que seja definida pelo projetista a caracterização da água cinza levando em conta a qualidade da água requerida para os usos não potáveis. Em residências unifamiliares, adota-se em geral o uso de água cinza clara proveniente de efluentes de chuveiros, lavatórios, lavadora de roupas e tanques.

Quanto à proposição que o sistema integrado seja desmembrado em dois subsistemas (“subsistema pluvial” e “subsistema cinza”) a maioria dos participantes do painel de especialistas concordou. Essa simplificação permite avaliar a economia de água potável de cada fonte alternativa. Além disso, apresentaram-se nesta questão as possíveis

configurações de um sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza em residências unifamiliares.

Foi recomendado por um dos especialistas incluir na configuração do sistema integrado o uso de um dispositivo de alimentação de água potável (por meio de separação atmosférica) em um dos reservatórios não potáveis de subsistemas pluviais e cinzas. Essa recomendação visa garantir o abastecimento contínuo de água em fins não potáveis (especialmente em usos internos). Além do consumo energético, esse dispositivo faz uso de uma válvula solenoide. Outro especialista sugeriu a seguinte configuração do sistema integrado: captação/coleta (área de captação, dispositivos de proteção como as grelhas, calhas, condutores verticais e horizontais, conexões); tratamento (dispositivos de descarte de sólidos como folhas e gravetos, dispositivos de desvio de água dos primeiros escoamentos, sistema de desinfecção água pluvial, e demais dispositivos de proteção sanitária, quando necessários); armazenamento (reservatórios); recalque; distribuição (tubos, conexões). Sugeriu-se também adicionar dispositivos de uso restrito e a sinalização do sistema (pinturas para identificação, placas de advertência), “que são indispensáveis para a segurança de sistemas de aproveitamento de água de pluvial”. As sugestões supracitadas se mostraram pertinentes e, portanto, foram incluídas no método proposto.

Além disso, foi recomendado incluir componentes que contribuem para o uso eficiente da água de chuva (como os componentes que promovem baixo consumo de água), “pois é importante atuar não apenas na gestão da oferta, mas também da gestão da demanda de água, mesmo que seja na demanda de água de chuva para fins não potáveis”. Apesar de essa sugestão ser interessante para maximizar a economia de água potável, preferiu-se não incluir equipamentos economizadores de água no método proposto em função da complexidade da análise e por não se enquadrar nos objetivos propostos.

4.1.2 Análise do inventário

A maior parte dos especialistas concordou com a utilização de bases de dados internacionais no inventário de ciclo de vida, dada a inexistência, até o momento, de uma base de dados brasileira. Entretanto, um especialista discordou do pressuposto porque as bases de dados internacionais para o inventário de ciclo de vida não refletirão a realidade brasileira, pois as matrizes energéticas são distintas. Ressaltou-se que esse procedimento poderia conduzir a erros. Sugeriu-se que talvez fosse melhor propor um método simplificado, mas com dados nacionais.

Assim, foi alertado pelo especialista para as possíveis imprecisões desse procedimento diante das diferenças tecnológicas e, inclusive, diante da grande variação encontrada em processos já estudados no Brasil.

Neste sentido, ressalta-se que o método proposto é flexível, pois os dados das bases utilizadas são confrontados com aqueles já levantados na literatura científica nacional e modificados de acordo com a realidade tecnológica e a matriz energética brasileira. Deste modo, quando disponibilizada, a base de dados brasileira poderá ser incorporada no procedimento. Porém, a utilização de dados de origem prioritariamente nacional esbarra na falta de robustez dos mesmos, visto que em alguns casos não há explicitação clara do método de cálculo.

4.1.3 Avaliação de impacto

4.1.3.1 Categorias de impacto

Foi solicitado aos especialistas que indicassem quais categorias de impacto ambiental estavam familiarizados ou desconheciam. Alguns indicaram não ter familiaridade com várias das 23 categorias de impacto apresentadas no questionário.

Dois especialistas responderam estar familiarizado com todas as categorias. Outro especialista não estava familiarizado com apenas duas categorias: transformação do ambiente natural e esgotamento de mananciais. Porém, é importante ressaltar que os especialistas que conheciam todas as categorias de impacto citadas no questionário possuem ampla experiência na área de ACV.

Quanto aos grupos de categorias de impacto considerados mais adequados para a comparação do desempenho ambiental em edificações, a um especialista comentou que “a ponderação é uma questão controversa. Todas as categorias são relevantes e não há consenso científico acerca deste ponto”. Foi questionado aos especialistas se era adequada a escolha das categorias de impacto ambientais avaliadas no método proposto. A maior parte dos especialistas considerou apropriada a escolha das categorias de impacto. Sugeriu-se repensar se a categoria Eutrofização de águas potáveis não seria também relevante ao estudo. Outro especialista considera que a categoria de impacto Danos à diversidade dos ecossistemas também seria válida para o estudo. As sugestões acima mostraram-se pertinentes, e a categoria de impacto Eutrofização de águas potáveis foi adicionada no método proposto.

Além disso, um especialista ressaltou o caráter iterativo da ACV, “o que possibilita uma primeira análise dos impactos identificados e a posterior inserção de outras categorias de impacto”.

Questionou-se se as categorias de impacto apresentadas na questão 09 do questionário (Apendice I) são de razoável compreensão pelos projetistas, profissionais de arquitetura, engenharia e construção, pesquisadores e gestores do setor de abastecimento de água e passíveis de serem incorporadas em políticas públicas para o setor da construção civil.

Para um especialista, as categorias de impacto apresentadas no método não são de razoável compreensão para a maioria dos profissionais. Em contrapartida, outro especialista considerou que “a maioria das categorias são de conhecimento geral dos envolvidos (como mudanças climáticas e redução da camada de ozônio), contudo, categorias como Acidificação e Toxicidade humana podem não ser de fácil compreensão”.

Conforme explanado anteriormente, as categorias de impacto foram escolhidas por serem as categorias mais utilizadas na área da construção civil. Além disso, essas categorias foram consideradas relevantes para o contexto deste estudo, de acordo com os objetivos definidos no escopo deste método.

Após a consulta ao painel de especialistas e revisão do método, as categorias selecionadas foram: Potencial de aquecimento global/Mudanças climáticas; Potencial de redução da camada de ozônio/Depleção da camada de ozônio; Toxicidade humana; Radiação ionizante, Transformação do ambiente natural, Acidificação; Eutrofização; Ecotoxicidade e Depleção de recursos.

4.1.3.2 Interpretação dos impactos ambientais

Foi proposto que os impactos ambientais do sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza serão comparados ao sistema convencional de distribuição de água da residência. Assim, serão dadas recomendações, proposição de melhorias, bem como indicações para a minimização de impactos ambientais potencialmente gerados pelo sistema.

Na avaliação deste quesito, não houve discordância quanto à proposta. No entanto, um dos especialistas sugeriu focar o estudo também em “outras tipologias de edificações e incluir nessa comparação, tipologias não residenciais, que resultariam em subsistemas não potáveis de maior escala”. Visto que o método proposto objetiva ser aplicado

apenas em residências unifamiliares, essa sugestão não se mostrou pertinente.

4.2 Síntese da consulta ao painel de especialistas

Após a consulta ao painel de especialistas foram realizadas algumas alterações e melhorias no método proposto. Uma síntese das sugestões verificadas no painel de especialistas e as alterações realizadas no método proposto encontram-se na Tabela 4.1.

O próximo capítulo apresenta um exemplo de aplicação do método já com as alterações sugeridas pelo painel de especialistas.

Tabela 4.1 – Síntese das sugestões verificadas no painel de especialistas e alterações do método.

Aspecto	Sugestões/recomendações dadas pelos especialistas	Status	Método revisado
Definição de objetivo e escopo	<i>Unidade funcional:</i> Apresentar a definição do fluxo de referência.	Sugestão incluída	Fluxo de referência é definido como a medida das saídas de processos em um dado sistema de produto, requeridas para realizar a função expressa pela unidade funcional (ABNT, 2009a). Ou seja, dada uma determinada unidade funcional, a quantidade de produto necessária para realizar a função definida deve ser medida, e o resultado dessa medição é chamado fluxo de referência.
	<i>Unidade funcional:</i> Salientar porque não se escolheu como unidade funcional o volume total de água (potável juntamente com não potável) consumido na edificação.	Sugestão incluída	A escolha da unidade funcional ocorreu de forma que permitisse comparar os dois cenários avaliados no método: cenário com sistema integrado e cenário com sistema convencional. A unidade funcional adotada foi o volume total de água consumido na habitação durante o horizonte de tempo definido.
	“O volume total de água não potável consumida não leva em conta as condicionantes locais, como por exemplo: quadros de escassez relativa e políticas tarifárias”.	Sugestão pertinente mas não incluída	Como o método proposto tem por objetivo avaliar o impacto ambiental dos sistemas integrados, não se mostrou pertinente considerar políticas tarifárias de água e esgoto. Por outro lado, a condicionante local de quadros de escassez de água é considerada no método dentro da etapa em que se avalia a precipitação pluviométrica da região em que a residência se localiza.
	<i>Fronteiras dos sistemas:</i> A definição das fronteiras dos sistemas deve ser devidamente justificada.	Sugestão incluída	Foi acrescentado ao método que qualquer decisão de omitir entradas e saídas ou etapas do da análise de ciclo de vida deverá ser justificada.

Tabela 4.1 – Síntese das sugestões verificadas no painel de especialistas e alterações do método (continuação).

Aspecto	Sugestões/recomendações dadas pelos especialistas	Status	Método revisado
Diagnóstico de água e esgoto na habitação	Além de variáveis da construção (tipologia) e ocupação, seria interessante verificar como variáveis socioeconômicas e climáticas afetam o consumo de água e a geração de esgoto.	Sugestão não pertinente	Não se mostrou pertinente considerar no método proposto variáveis socioeconômicas e climáticas em função tornar a análise muito ampla, excedendo as possibilidades e objetivos deste trabalho. Porém, essas variáveis poderão ser verificadas, caso surja a necessidade, diretamente pelos usuários do método proposto.
	O procedimento de diagnóstico não precisaria necessariamente ser definido como uma etapa isolada, estando dentro da fase de escopo da ACV.	Sugestão não pertinente	O diagnóstico de água e esgoto deverá ser realizado em uma etapa isolada, pois consiste em uma análise em que são obtidas as variáveis necessárias para o adequado dimensionamento do sistema.
	Aprimorar a caracterização da água cinza, utilizando segregação entre água cinza "escura" e "clara".	Sugestão não pertinente	O método propõe que seja definida pelo projetista a caracterização da água cinza levando em conta a qualidade da água requerida para os usos não potáveis. Em residências unifamiliares, adota-se em geral o uso de água cinza clara proveniente de efluentes de chuveiros, lavatórios, lavadora de roupas e tanques.
	Incluir na configuração do sistema o uso de um "dispositivo de alimentação de água potável (por meio de separação atmosférica) em um dos reservatórios não potáveis dos subsistemas pluviais e cinzas. Além do consumo energético, esse dispositivo faz uso de uma válvula solenoide".	Sugestão incluída	O "subsistema pluvial" e também o "subsistema cinza" apresentam armazenamento de água em reservatórios com dispositivo de alimentação de água potável por meio de separação atmosférica e válvula solenoide.
	Incluir componentes que contribuem para o uso eficiente da água de chuva (como os componentes que promovem baixo consumo de água).	Sugestão não pertinente	Apesar de essa sugestão ser interessante para maximizar a economia de água potável, preferiu-se não incluir equipamentos economizadores de água no método proposto em função da complexidade da análise.
	Sugeriu-se a seguinte configuração do sistema integrado: captação/coleta (área de captação, dispositivos de proteção como as grelhas, calhas, condutores verticais e "horizontais", conexões); tratamento (dispositivos de descarte de sólidos como folhas e gravetos, dispositivos de desvio de água dos primeiros escoamentos, sistema de desinfecção água pluvial, e demais dispositivos de proteção sanitária, quando necessários); armazenamento (reservatórios); recalque; distribuição (tubos, conexões). Adicionar dispositivos de uso restrito e a sinalização do sistema (pinturas para identificação, placas de advertência), que são indispensáveis para a segurança de sistemas de aproveitamento de água de pluvial".	Sugestão incluída	O "subsistema pluvial" caracteriza-se de acordo com as suas principais etapas e seus respectivos componentes: Captação/coleta (área de captação, dispositivos de proteção, calhas, condutores verticais e "horizontais" e conexões); Tratamento (dispositivos de descarte de sólidos, dispositivos de desvio de água dos primeiros escoamentos, sistema de desinfecção água pluvial, e demais dispositivos de proteção sanitária, quando necessários); Armazenamento (reservatórios e dispositivo de alimentação de água potável (por meio de separação atmosférica) e válvula solenoide); Recalque; Distribuição (tubos, conexões, dispositivos de uso restrito e a sinalização do sistema). O "subsistema cinza" caracteriza-se por: Coleta (tubos e conexões); Tratamento (sistema de tratamento de água cinza); Armazenamento (reservatórios, dispositivo de alimentação de água potável por meio de separação atmosférica e válvula solenoide); Recalque; Distribuição (tubos, conexões, dispositivos de uso restrito e a sinalização do sistema).

Tabela 4.1 – Síntese das sugestões verificadas no painel de especialistas e alterações do método (*continuação*).

Aspecto	Sugestões/recomendações dadas pelos especialistas	Status	Método revisado
Análise do inventário	<p>Propor um método simplificado, mas com dados nacionais, devido as possíveis imprecisões desse procedimento diante das diferenças tecnológicas e, inclusive, diante da grande variação encontrada em processos já estudados no Brasil.</p>	Sugestão não pertinente	<p>O método proposto é flexível, e possibilita adaptar os processos constituintes dos inventários modelados. Os dados das bases utilizadas poderão ser confrontados com aqueles já levantados na literatura científica nacional e modificados de acordo com a realidade tecnológica e a matriz energética brasileira. Deste modo, quando disponibilizada, a base de dados brasileira poderá ser incorporada no procedimento. Isso juntamente com a confiabilidade das informações justifica a utilização de bases de dados, mesmo que inseridas em cenário estrangeiro.</p>
Avaliação de impacto	<p>Categorias de impacto ambiental: Repensar se a categoria eutrofização de águas potáveis não seria também relevante ao estudo. A categoria de impacto “danos à diversidade dos ecossistemas” também seria válida para o estudo. Categorias como acidificação e toxicidade humana podem não ser de fácil compreensão”.</p>	Sugestão incluída	<p>As categorias de impacto supracitadas foram escolhidas por serem as categorias mais utilizadas em pesquisas realizadas na área da construção civil (CYBIS; SANTOS, 2000; SCHEUER et al., 2003; ARENA; ROSA, 2003; ZHANG et al., 2006; BLENGINI, 2008; KOFOWOROLA; GHEEWALA, 2008; ORTIZ et al., 2009; KALBUSCH, 2011). As categorias sugeridas foram consideradas relevantes para o contexto deste estudo, de acordo com os objetivos definidos no escopo deste método.</p>
Interpretação dos impactos	<p>Focar o estudo também em “outras tipologias de edificações e incluir nessa comparação, tipologias não residenciais, que resultariam em subsistemas não potáveis de maior escala”.</p>	Sugestão não pertinente	<p>Visto que o método proposto objetiva ser aplicado apenas em residências unifamiliares, essa sugestão não se mostrou pertinente.</p>

5 ESTUDO DE CASO - EXEMPLO DE APLICAÇÃO DO MÉTODO PROPOSTO

Neste capítulo estão descritos todos os materiais, equipamentos, procedimentos e programas utilizados para verificar a aplicabilidade do método proposto por meio de um estudo de caso realizado em habitações de interesse social no sul do Brasil.

Devido às definições feitas no escopo do estudo de caso, foi necessário incluir no Capítulo 5 algumas equações para a análise de usos finais de água e dimensionamento da área superficial do sistema de tratamento da água cinza. Ressalta-se que essas equações adicionadas no estudo de caso não se encontram apresentadas no método proposto, pois abordam particularidades definidas no estudo de caso.

A escolha dessa tipologia de habitação se deve ao fato que ainda são poucos os estudos sobre sistemas alternativos de água em habitações de interesse social no país (PETERS et al., 2006; COHIM; GARCIA; KIPERSTOK, 2008; FRANCI; GONÇALVES, 2012; VIEIRA, 2012; GARCIA et al., 2013).

Atualmente, a população de baixa renda no Brasil é de 44 milhões de pessoas, que equivale a 22,9% da população (IBGE, 2010). Com o aumento do poder aquisitivo das populações de baixa renda poderá ocorrer uma elevação da demanda de água nas cidades. Com o desenvolvimento de novas políticas públicas habitacionais, o uso racional de água em habitações de interesse social tem potencial para reduzir a demanda nos sistemas públicos de água e esgoto.

A implantação de ações para uso racional da água em habitações de baixa renda mostra-se um desafio, pois, em habitações de interesse social, alguns fatores podem limitar a utilização de água pluvial. Dentre estes fatores, destacam-se a elevada contribuição de fins potáveis (principalmente do chuveiro e da pia da cozinha), a menor relação entre a área de cobertura e o número de moradores e a limitação de espaço para instalação do reservatório de água pluvial e de sistema de tratamento de água cinza *in situ*. Os aspectos econômicos, como os custos da instalação do sistema e a tarifa mínima de água, também são importantes para esta parcela da população, podendo representar um desestímulo ao uso eficiente da água.

5.1 Caracterização do objeto de estudo

O desenvolvimento do estudo de caso se deu por meio de levantamentos *in loco* em habitações de interesse social na região da grande Florianópolis e também parcialmente por meio de análise teórica.

As habitações participantes da pesquisa se localizam nos bairros Jardim Eldorado e Jardim Aquarius no município de Palhoça e no bairro Vargem Grande, em Florianópolis. A população amostrada reproduz as características dos bairros em que se localizam.

A região estudada localiza-se no litoral de Santa Catarina, no sul do Brasil. Florianópolis possui um clima temperado úmido de acordo com classificação de Köppen (PEEL; FINLAYSON; MCMAHON, 2007), com verões quentes e temperaturas médias anuais variando de 16 °C a 25 °C. Segundo a NBR 15220-3 (ABNT, 2005b), Florianópolis enquadra-se na zona bioclimática 3. Apresenta precipitação pluviométrica média de 1400 mm ao ano.

Os levantamentos *in loco* foram realizados para a determinação dos usos finais de água e análise da aceitabilidade de fontes alternativas de água. Os usos finais de água foram levantados em 48 habitações por meio de entrevistas com os moradores e análise dos aparelhos sanitários existentes. O levantamento da aceitação social de fontes alternativas de água foi realizado por meio de entrevistas com moradores de 44 habitações.

Foram estudadas amostras distintas de habitações em cada análise devido à disponibilidade dos moradores em cada habitação e das dificuldades relacionadas à qualidade dos dados. No entanto, todas as residências avaliadas nesta pesquisa estão localizadas na mesma região de estudo.

A Figura 5.1 apresenta a localização das residências avaliadas neste estudo. Os círculos vermelhos mostram os bairros onde se localizam as residências. A Figura 5.2 apresenta duas habitações participantes na pesquisa.

Os dados dos levantamentos *in loco* foram obtidos por meio de pesquisas realizadas em uma rede de pesquisa financiada pela Financiadora de Estudos e Projetos – FINEP – na Chamada Pública Saneamento Ambiental e Habitação do edital 07/2009. A referida rede de pesquisa teve como objetivo geral desenvolver tecnologias inovadoras para uso racional de água, geração de energia renovável e aumento da eficiência energética em habitações de interesse social. A UFSC atuou juntamente com outras sete instituições nessa rede de pesquisa.

Figura 5.1 – Localização das residências avaliadas.**Figura 5.2 – (a) e (b) Residências avaliadas na pesquisa.**

(a)

(b)

As famílias moradoras nas habitações selecionadas para o estudo atenderam ao menos um dos seguintes critérios:

- Preferencialmente, possuir renda familiar igual ou inferior a 3 salários mínimos ($3 \times \text{R\$ } 622,00 = \text{R\$ } 1,866,00$ – abril de 2012);
- Residir em área de interesse social (ex.: área de interesse social (favelas) ou rua com diversas residências de baixa renda);
- Possuir residência financiada pelo programa Minha

Casa Minha Vida (BRASIL, 2011) ou outro programa habitacional público para famílias de baixa renda.

Para representar de modo geral todas as residências analisadas, foi definida uma habitação modelo. Assumiu-se como área construída e área de cobertura dessa habitação a média das áreas encontradas nas habitações estudadas (59,0 e 78,0 m², respectivamente). Para a ocupação da habitação modelo, adotou-se o número mediano de residentes verificado nas famílias da amostra pesquisada, igual a quatro moradores.

Assim, as análises propostas no método para avaliação ambiental de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza foram aplicadas de forma teórica à habitação modelo. Considerou-se que a residência modelo está localizada no Bairro Vargem Grande – norte da ilha de Florianópolis. No Apêndice II encontram-se apresentadas a planta baixa da habitação modelo, vista frontal, planta de distribuição hidráulica e planta de cobertura para ambos os cenários avaliados neste estudo.

5.2 *Escopo*

A função do sistema foi definida como o fornecimento de água para fins não potáveis em edificações residenciais.

As análises realizadas consideraram o período de 20 anos como horizonte de tempo, conforme analisado em outras pesquisas na área de sistemas hidráulicos prediais (CHIU et al., 2009; PROENÇA et al., 2011; VIEIRA, 2012). A reposição dos equipamentos e componentes que tenham a vida útil inferior ao horizonte de tempo adotado foi contabilizada na avaliação.

A unidade funcional adotada foi o volume total de água consumido na habitação durante o horizonte de tempo de estudo.

Definiu-se que o armazenamento de água pluvial e água cinza ocorrem separadamente em reservatórios distintos, onde não há mistura da água pluvial com a água cinza. Quanto a utilização de fontes alternativas de água (água pluvial e água cinza), definiu-se que são destinadas exclusivamente para o abastecimento de usos finais não potáveis. Se considerará o uso de água pluvial para o suprimento da demanda dos seguintes fins: irrigação de jardim, lavação de calçadas e automóveis (torneira externa), limpeza geral (torneira do tanque) e lavação de roupas (máquina de lavar). Será considerado o uso de água cinza exclusivamente em bacias sanitárias, porém, caso esta fonte não seja suficiente para suprir toda a demanda deste aparelho sanitário, poderá ser utilizada água pluvial.

Definiu-se que o “subsistema cinza” possui abastecimento auxiliar primário por água pluvial e secundário por água potável. Considerou-se também que o sistema de abastecimento de água pluvial possui abastecimento auxiliar por água potável.

Assumiu-se que os efluentes de água cinza passam por tratamento *in situ* em sistema de *wetland*. Dentre as tecnologias para o tratamento de água cinza *in situ*, *wetlands* geralmente apresentam desempenho superior, pois possuem elevada eficiência de tratamento, pouca necessidade de manutenção, e consumo de energia elétrica reduzido ou inexistente (WINWARD et al., 2008; PAULO et al., 2012). Além disso, é um tratamento biológico, sem agentes químicos ou equipamentos mecânicos e, ainda, sem produção de odores desagradáveis nem aerossóis. Portanto, esta tecnologia possui maior viabilidade para o tratamento de água cinza em habitações de interesse social.

O tratamento da água para uso doméstico não potável é realizado visando alcançar características de qualidade compatível com os usos desejados. A Norma Brasileira NBR 15527 (ABNT, 2007) relativa ao aproveitamento pluvial estabelece que os padrões de qualidade “devem ser fixados pelo projetista”. No que se refere à qualidade microbiológica da água, uma referência razoavelmente adequada é a resolução Conama 274/2000 que estabelece a qualidade da água para contato de toda superfície do corpo humano com a água por tempo prolongado (BRASIL, 2000).

As fronteiras do sistema iniciam-se na extração da matéria-prima para a manufatura dos componentes e terminam no descarte após a vida útil dos mesmos. Portanto, considerou-se no estudo todas as etapas do ciclo de vida, desde a extração das matérias-primas (“berço”) até a disposição final (“túmulo”). A Figura 5.3 apresenta as fronteiras do sistema convencional e as fronteiras do sistema integrado.

A sequência de procedimentos para a realização do inventário e entrada no *SimaPro* de cada uma das etapas do ciclo de vida analisado para aplicação do método está sumarizada na Tabela 5.1.

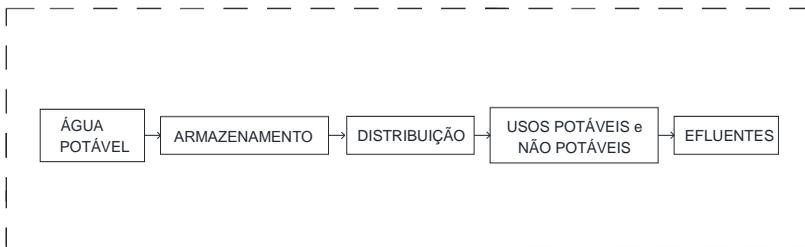
Na etapa do inventário, foram quantificados os insumos do sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza para a implantação teórica na habitação modelo. Também foi elaborado o inventário para o cenário em que a habitação modelo conta apenas com o sistema hidráulico predial com abastecimento de água potável da rede pública para permitir a comparação dos impactos ambientais dos sistemas. Em cada cenário foram consideradas as entradas e saídas de matéria e energia relacionadas aos principais materiais componentes dos sistemas.

Tabela 5.1 – Procedimentos para elaboração do inventário e modelagem no *SimaPro* das etapas do ciclo de vida dos cenários comparados.

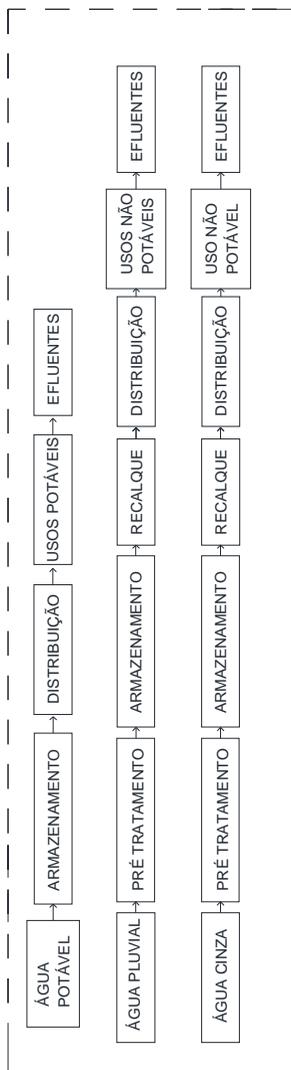
Efeitos ambientais	Etapas do inventário	Cenário com sistema convencional	Cenário com sistema integrado
Efeitos incorporados iniciais (EI)	Quantitativos de materiais Cargas ambientais	Projetos do sistema hidráulico predial Base <i>Ecoinvent</i> ®	Projetos do sistema hidráulico predial Base <i>Ecoinvent</i> ®
Efeitos de operação (EO)	Energia consumida para a operação Cargas ambientais	Calculada de acordo com a concepção do sistema Base <i>Ecoinvent</i> ®	Calculada de acordo com a concepção do sistema Base <i>Ecoinvent</i> ®
Efeitos de manutenção (EM)	Quantitativos de materiais Cargas ambientais	Projetos do sistema hidráulico predial Base <i>Ecoinvent</i> ®	Projetos do sistema hidráulico predial Base <i>Ecoinvent</i> ®
Efeitos de final de vida (EFV)	Quantitativos de materiais Cargas ambientais	Projetos do sistema hidráulico predial Base <i>Ecoinvent</i> ®	Projetos do sistema hidráulico predial Base <i>Ecoinvent</i> ®
Efeitos totais (EAT)	Quantitativos de materiais Cargas ambientais	Projetos do sistema hidráulico predial Base <i>Ecoinvent</i> ®	Projetos do sistema hidráulico predial Base <i>Ecoinvent</i> ®

As análises de ciclo de vida dos cenários comparados são realizadas com apoio do *SimaPro*, versão 7.3., por meio da licença gratuita *Faculty* disponibilizada para fins educacionais aos pesquisadores do LabEEE – Laboratório de Eficiência Energética em Edificações da Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC. Todos os cálculos de caracterização das cargas ambientais no inventário de ciclo de vida são efetuados com suporte do programa, assim como a agregação dos resultados da análise de impacto de ciclo de vida.

Figura 5.3 –Fronteiras dos cenários (a) com sistema convencional (b) com sistema integrado.



(a) cenário com sistema convencional



(b) cenário com sistema integrado

5.3 *Concepção dos sistemas*

Os componentes constituintes dos sistemas avaliados foram definidos tendo em vista a aplicação em habitações de interesse social.

Portanto, buscou-se selecionar materiais mais acessíveis financeiramente e mais amplamente disponíveis no mercado.

5.3.1 Sistema convencional

Para a concepção do sistema convencional considerou-se que os sistemas são indiretos, e o sistema de abastecimento de água é público, ou seja, proveniente da concessionária de água local. Assim, o abastecimento do reservatório de água potável ocorre por pressão da rede pública e não necessita de motobombas.

Os materiais constituintes do sistema são: tubulações, registros, conexões em policloreto de vinila (PVC). O reservatório de água potável adotado é fabricado em polietileno linear de alta densidade (PEAD).

5.3.2 Sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza

A concepção do sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza apresenta os componentes necessários para instalação e funcionamento do “subsistema pluvial e do “subsistema cinza”.

Os componentes que apresentam os mesmos materiais constituintes e existem nos dois subsistemas são: reservatórios superior e inferior em polietileno de alta densidade (PEAD), tubulações e conexões em policloreto de vinila (PVC) e motobombas.

5.3.2.1 Subsistema pluvial

O “subsistema pluvial” é composto por um reservatório inferior de acumulação não enterrado, um reservatório superior apoiado em estrutura adequada, conjunto motobomba, dispositivo de descarte de sólidos, dispositivo de descarte do escoamento inicial, freio d’ água, sistema de desinfecção por clorador flutuante, válvulas de retenção, conjunto mangueira boia, realimentador (inclui válvula solenoide e eletroboia de nível), sifão extravasor (sifão ladrão), tubulações, conexões, dispositivos de uso restrito e sinalização do sistema.

Foi observado que a NBR 5626 (ABNT, 1998) exige uma separação atmosférica de no mínimo 5 cm entre o tubo de alimentação de água potável e o reservatório de água pluvial.

Considerou-se para o “subsistema pluvial”, que a água pluvial proveniente de coberturas após cloração é adequada para o abastecimento de lavadora de roupa, tanque, torneira externa e bacia sanitária.

Assumiu-se que o abastecimento de água pluvial possui abastecimento auxiliar por água potável, proveniente da concessionária de água. Desta forma, quando faltar água pluvial no reservatório inferior, e o nível mínimo do reservatório for atingido, sendo este regulado pela boia de fundo, a chave desta boia impedirá o funcionamento da motobomba. Para não faltar água nos pontos de consumo não potável com a diminuição do nível de água do reservatório superior de água pluvial, uma chave de nível – que comanda uma válvula solenoide – possibilita o abastecimento suplementar proveniente do sistema de abastecimento de água potável.

Foram adotadas motobombas para uso residencial, constituídas dos seguintes componentes: bocais flangeados com rosca, corpo da bomba, rotor semi-aberto e placa de fundo fabricados em ferro fundido, selo mecânico de aço inox e carbetto de silício, motor elétrico (SCHNEIDER, 2015).

Os tubos de água não potável apresentaram cores diferentes para identificação, conforme recomendado na NBR 15.527 (ABNT, 2007). As torneiras que utilizarem água pluvial deverão ser do tipo “acesso restrito” e identificados com placa de advertência com a inscrição “Água não potável”.

A Tabela 5.2 apresenta os componentes adotados para melhorar a qualidade da água pluvial, bem como uma descrição da função e dos materiais em que estes são fabricados.

O conjunto mangueira boia adotado compreende uma boia de polietileno (diâmetro 200mm), filtro-cesta (peneira de latão), válvula anti-retorno com bico de encaixe, conector angular para tubos 1" (conexões de latão com borracha de vedação), braçadeiras e anel em aço inox, mangueira de silicone espiralada de 2,5 metros. O peso total do conjunto é 3,2 kg (3P TECHNIK, 2015).

O realimentador compreende uma válvula solenóide (voltagem 110v ou 220v), uma eletroboia de nível e um registro de latão. O peso total do conjunto é 1,5 kg (3P TECHNIK, 2015).

Para a desinfecção da água pluvial e também da água cinza foram adotados cloradores de pastilhas flutuantes, por ser considerados cloradores mais simples e baratos, usados comumente em piscinas, cisternas e caixas de água.

As válvulas de retenção são utilizadas com o objetivo de evitar conexão cruzada e consequente contaminação da água do reservatório de água potável por fontes não potáveis, e garantir que a água potável será utilizada somente em eventos com falta de fontes alternativas.

Tabela 5.2 – Componentes adotados para melhorar a qualidade da água pluvial.

 <p>Filtro 3P Rainus</p>	<p>O dispositivo de descarte de sólidos Filtro 3P Rainus é indicado para áreas de captação com até 70 m². Este filtro é instalado no tubo de descida de água pluvial da residência. Ele retira de forma eficaz os detritos da água de chuva e sua instalação e manutenção são simples. O material da carcaça é o ABS (Acrilonitrila Butadieno Estireno) e a tela é em aço inox (3P Technik, 2015).</p>
 <p>Dispositivo de desvio de água dos primeiros escoamentos</p>	<p>Para o desvio de água dos primeiros escoamentos foi adotado um dispositivo volumétrico de baixo custo similar ao avaliado no estudo de Andrade e Marinoski (2010b), confeccionado com tubos e conexões de PVC e um recipiente de PEAD (bombona). O reservatório de desvio de água utilizado foi uma bombona de 70 litros com tampa de fechamento hermético, com anel de vedação e com cinta metálica. Seu princípio de funcionamento é baseado no armazenamento da água do primeiro escoamento, que é desviada para a bombona. Com este reservatório de desvio é possível desviar até 2 mm de água das primeiras chuvas.</p>
 <p>Freio d'água</p>	<p>O freio d'água reduz o turbilhonamento e levantamento das partículas decantadas dentro do reservatório inferior. Impede perturbação da água evitando assim sedimentação destes resíduos depositados no fundo. Ao mesmo tempo o freio d'água assegura que a água armazenada seja constantemente oxigenada garantindo que esta água permaneça fresca por mais tempo. É fabricado em polietileno pelo sistema de rotomoldagem (3P Technik, 2015).</p>
 <p>Sifão extravasor</p>	<p>O sifão extravasor (ou sifão ladrão) serve para extravasar o excesso de água do reservatório e impedir a passagem de odores e objetos estranhos, insetos e roedores para o reservatório inferior. Deve ficar localizado a uns 20 cm da borda superior do reservatório. É fabricado em polietileno pelo sistema de rotomoldagem (3P Technik, 2015).</p>
 <p>Realimentador</p>	<p>O realimentador tem por finalidade manter o abastecimento de água do subsistema pluvial com água potável na falta de água de chuva. O seu funcionamento ocorre através de uma válvula solenoide comandada por uma boia de nível, que libera a entrada de água da rede para que o sistema não entre em colapso. A boia de nível deve ser regulada para funcionamento somente quando o reservatório estiver em níveis baixos, quando a bomba que recalca a água pluvial não é mais acionada (3P Technik, 2015).</p>

Tabela 5.2 – Componentes adotados para melhorar a qualidade da água pluvial (Continuação)

 <p>Conjunto mangueira boia</p>	<p>O conjunto mangueira boia fica suspenso pouco abaixo da superfície da água, no ponto onde a água está mais limpa. Nesta posição, a água é captada. A mangueira fica conectada a uma motobomba de recalque na parte superior do reservatório inferior, sendo que a boia está regulada para manter a válvula sempre a no máximo 15 cm abaixo da superfície. Desta maneira evita-se que a água captada venha com impurezas do fundo ou da superfície do reservatório, assim garantindo que esta seja a mais limpa possível. A boia de nível detecta o baixo nível de água do reservatório e aciona a válvula solenoide que se abre permitindo a entrada de água da fonte complementar (3P Technik, 2015).</p>
 <p>Clorador</p>	<p>O clorador flutuante utiliza pastilhas de cloro que ficam alocadas dentro do dispositivo clorador, e flutua proporcionando manutenção permanente da água reservatório inferior de água pluvial e do reservatório inferior de água cinza. É fabricado em poliestireno (PS) (CMBAQUA, 2015)</p>

5.3.2.2 Subsistema cinza

O “subsistema cinza” apresentou o reservatório inferior sob o solo, reservatório superior apoiado em estrutura, conjunto motobomba, sistema de tratamento por *wetland* (filtro de zona de raízes), sistema de desinfecção com clorador flutuante, válvulas de retenção, conjunto mangueira boia, realimentador, tubulações, conexões, alimentação de água potável por meio de separação atmosférica.

Os componentes: clorador flutuante, válvula de retenção, conjunto mangueira boia, realimentador, motobomba foram adotados iguais aos empregados na concepção do “subsistema pluvial”, descritos no item 5.3.2.1.

Para o “subsistema cinza”, assumiu-se a produção de água cinza em chuveiro, lavatório, lavadora de roupas e tanque; enquanto, seu aproveitamento para abastecer a bacia sanitária. Além disso, determinou-se que o “subsistema cinza” possui abastecimento auxiliar primário por água pluvial e secundário por água potável.

Assumiu-se que o excesso de água pluvial coletada e de água cinza tratada é direcionado ao sistema de drenagem pluvial urbana. Ressalta-se que em áreas de encostas não se deve infiltrar no solo o excesso de água pluvial captada e água cinza tratada.

Definiu-se que os efluentes do chuveiro, lavatório, lavadora de roupas e tanque passariam por tratamento e em seguida reutilizar-se-ia o efluente tratado para descarga de bacias sanitárias.

A sequência de tratamento da água cinza compreende uma caixa receptora dos efluentes, sistema de *wetland*, reservatório inferior para desinfecção com pastilhas de cloro e reservatório superior de água cinza tratada.

Foi definido o tratamento de água cinza em sistema de *wetland* subsuperficial de fluxo vertical, o qual apresenta elevada eficiência de tratamento e, conseqüentemente, menor área de implantação para o tratamento de efluentes (HOFFMAN; PLATZER, 2010). Em habitações de interesse social, a área do lote pode inviabilizar a instalação de sistemas de tratamento por *wetland*, mas os sistemas verticais são compactos, ocupando uma pequena área. Além disso, podem ser integrados ao paisagismo das habitações, possibilitando seu uso em locais destinados ao jardim.

A eficiência de *wetlands* construídas depende principalmente do tempo de detenção hidráulico, da temperatura e da carga de poluentes. Quanto menor o tempo de detenção, menor a área requerida para instalação do sistema (ROUSSEAU et al., 2008). Calculou-se a área superficial *wetland* de acordo com dimensionamento proposto na Equação 5.1.

$$A_{wetland} = \frac{G_{cinza_bruta} \times T_h \times (1 + p - et)}{I_{vazios} \times H} \quad [\text{Eq. 5.1}]$$

Onde:

$A_{wetland}$	é a área superficial da <i>wetland</i> construída (m ²);
$G_{cinza\ bruta}$	é a geração de água cinza bruta (L/dia);
T_h	é o tempo de detenção hidráulica (dia);
p	é a fração de água acrescida ao sistema devido à precipitação (adimensional);
et	é a fração de água perdida do sistema devido à evapotranspiração (adimensional);
I_{vazios}	é o índice de vazios do meio filtrante (adimensional);
H	é a altura útil do sistema de <i>wetland</i> (mm).

Adotou-se as características do sistema de tratamento por *wetland* subsuperficial de fluxo vertical calculado no estudo de Vieira (2012), também realizado em habitações de interesse social. As

características adotadas foram: (i) tempo de detenção hidráulica igual a 2 dias (medida conservadora); (ii) índice de vazios do meio filtrante igual a 40%; (iii) altura útil do sistema igual a 50 cm; (iv) taxa de perdas por evapotranspiração igual a 10% do volume do afluente; e (v) taxa de ganhos por precipitação igual a 5% do volume do afluente. A taxa de ganhos por precipitação foi calculada com base na área superficial dos sistemas e dados de precipitação em Florianópolis.

No tratamento no sistema de *wetland* os efluentes entram em contato com as raízes de uma espécie vegetal que apresenta a característica de liberar oxigênio por suas raízes, possibilitando o desenvolvimento de bactérias hospedeiras que fornecem nutrientes para estes vegetais, reduzindo a carga orgânica do efluente, principalmente de nutrientes como nitrogênio e fósforo. Considerou-se que o sistema de tratamento utiliza espécie nativa de junco (*Zizanopsis bonariensis brás*).

Para a construção das paredes da *wetland* (60 cm de altura) foram utilizados tijolos maciços (dimensões de cada tijolo: 10,5x5,5x21,5 cm e peso: 2,1 kg), argamassa de assentamento (2cm de espessura) e argamassa com impermeabilizante. Para a base de concreto (5 cm de altura) usou-se concreto simples com impermeabilizante e para o leito filtrante foram usadas camadas intercaladas de brita nº 2 e areia média. Assumiu-se a densidade do concreto simples igual a 2.400 kg/m³.

5.4 Diagnóstico: água e esgoto na habitação

5.4.1 Demanda de água e usos finais de água

Para definir a demanda de água não potável a ser adotada para a análise da habitação modelo, os usos finais das 48 habitações avaliadas foram levantados por meio de entrevistas com os moradores acerca das rotinas de uso de cada equipamento hidráulico e por meio de medições ou estimativas da vazão de cada um dos equipamentos. Os usos finais de água foram classificados em usos potáveis e não potáveis.

A vazão de cada equipamento foi levantada por três medições consecutivas, determinando-se o volume total de água obtido em certo intervalo de tempo cronometrado. Ressalta-se que a operação de cada equipamento foi realizada pelo próprio usuário da residência, em condições normais de uso. A vazão de bacias sanitárias com válvulas de descarga foi considerada igual aos valores sugeridos pela NBR 5626 (ABNT, 1998). O volume médio por ciclo de uso de bacias sanitárias equipadas com caixas de descarga e máquinas de lavar foi assumido igual aos valores apresentados pelos fabricantes e no catálogo PROCEL

(Programa Nacional de Conservação de Energia Elétrica).

Os procedimentos para a determinação da vazão média são mostrados na Equação 5.2. Os equipamentos caracterizados por tempo de uso são: chuveiro, lavatório, pia da cozinha, torneira externa e tanque. Os equipamentos caracterizados por ciclo são: bacias sanitárias e lavadora de roupas. As bacias sanitárias com válvulas de descarga foram incluídas como equipamentos que possuem ciclo em função da vazão ter considerada igual aos valores sugeridos pela NBR 5626 (ABNT, 1998).

$$Q_{ij} = \sum_{k=0}^3 \frac{q_{ijk}}{3} = \sum_{k=0}^3 \frac{V_{ijk}}{3 \times t_{ijk}} \quad [\text{Eq. 5.2}]$$

Onde:

- Q_{ij} é a vazão de cada equipamento i (litros/s) em cada habitação j ;
- q_{ijk} é a vazão (litros/s) em cada uma das três medições k , de cada equipamento i em cada habitação j ;
- V_{ijk} é o volume (litros) em cada uma das medições k , de cada equipamento i e em cada habitação j ;
- t_{ijk} é o tempo (segundos) cronometrado de cada medição k , em cada equipamento i e em cada habitação j .

O padrão de uso foi estimado por períodos, onde foi respeitada a forma de uso de cada equipamento. Foram definidos períodos por ciclo ou por tempo de uso, em relação a um perfil diário. Ou seja, é definido um perfil diário de 0 a 23 horas para cada um dos equipamentos em cada uma das habitações. Esse perfil é caracterizado por recorrência diária (todos os dias do mês), recorrência durante os dias úteis da semana (5 vezes por semana), recorrência aos finais de semana (2 vezes por semana) ou recorrência em base mensal (inserindo o número de vezes que o perfil diário é efetuado no mês).

Ressalta-se que o perfil diário é caracterizado pelo tempo de uso ou pelo volume de água, dependendo da forma de uso do equipamento.

Para fins de cálculo, os resultados do padrão de uso de cada equipamento e em cada habitação foram resumidos em horas de uso por mês, para os equipamentos de uso horário, e em volume total por mês, para os equipamentos de ciclo. A partir dos valores de vazão e tempo de uso, calcula-se o consumo de água mensal ($\text{m}^3/\text{mês}$) de cada equipamento em cada habitação. Os usos finais são calculados por meio da Equação 5.3.

$$UF_i = \frac{100 \times V_i}{\sum_{i=1}^n V_i} \quad [\text{Eq. 5.3}]$$

Onde:

- UF_i é o uso final (%) de cada equipamento *i* em uma habitação;
- V_i é o volume consumido (m³/ mês) do equipamento *i* em uma mesma habitação;
- n* é o número de equipamentos em uma mesma habitação.

Para generalizar a amostra, foram determinados intervalos de confiança de 90% para a média dos usos finais, por meio do teste-t de *Student* e *n*-1 graus de liberdade, onde *n* é o número de equipamentos *i* na amostra, calculado com o *software* Minitab 16 (MINITAB, 2010).

5.4.2 Indicador de consumo

O indicador de consumo de água foi calculado conforme a Equação 3.1 proposta no método. Assim, foi verificado o consumo médio de água *per capita* para duas faixas de renda das famílias avaliadas na pesquisa: renda de até três salários mínimos e renda entre três e cinco salários mínimos.

Ressalta-se que para pertencer a segunda faixa de renda supracitada, a família avaliada deveria residir em área de interesse social ou possuir residência financiada por programa habitacional público para famílias de baixa renda.

5.4.3 Potencial de economia de água potável por meio de fontes alternativas

O potencial de economia de água potável com o aproveitamento de água pluvial para o suprimento da demanda dos usos não potáveis da habitação modelo foi verificado por meio de estudo teórico, através do levantamento de informações em campo e simulações computacionais.

O potencial de economia originado pelo aproveitamento de água cinza foi verificado para abastecer exclusivamente a demanda das bacias sanitárias também por meio de estudo teórico. Não foi realizado experimento *in loco*.

5.4.3.1 *Potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial*

O potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial foi indicado por meio de simulação computacional no programa Netuno Versão 4.

O programa Netuno determina o potencial de economia de água para diferentes volumes de reservação. Permite simular o funcionamento diário de um sistema de aproveitamento de água pluvial residencial. No sistema simulado, deve-se inserir dados de precipitação pluviométrica diária da cidade e o volume de água pluvial escoado pela área de cobertura é calculado. Considera-se que a água pluvial é armazenada em reservatório inferior e por meio de motobombas recalca-se a água pluvial para o reservatório superior, o qual distribui a água por gravidade para os usos não potáveis, de acordo com a demanda diária de água pluvial.

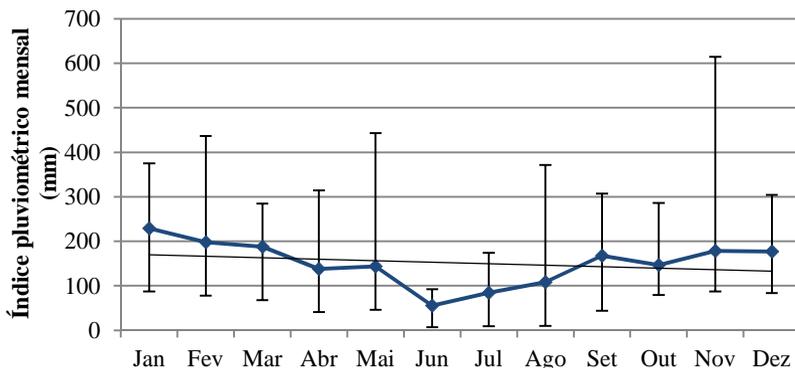
Os dados de entrada do programa Netuno versão 4.0 são: precipitação com resolução temporal diária, área de captação, demanda total diária de água *per capita* (indicador de consumo de água), número de habitantes, demanda de água pluvial, coeficiente de aproveitamento, descarte de escoamento inicial e volume do reservatório superior. Os principais dados de saída do programa são o potencial de economia de água potável, volume ideal do reservatório e número de dias que o sistema atende à demanda de água pluvial.

Utilizou-se uma série histórica de dez anos de precipitação com resolução temporal diária para a cidade de Florianópolis, correspondente ao período de janeiro de 2002 a dezembro de 2011. A Figura 5.4 ilustra os índices pluviométricos mensais neste período. Estes dados foram obtidos junto ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Simulações realizadas com séries históricas iguais ou superiores a dez anos não apresentam diferenças significativas para os resultados referentes ao potencial de uso de água pluvial (GHISI; CARDOSO; RUPP, 2012).

Foi adotado o valor de 0,80 para o coeficiente de escoamento superficial, verificado de acordo com o material das coberturas (telhas de fibrocimento) da maioria das residências avaliadas.

Assumiu-se o descarte de 2 mm iniciais de precipitação conforme indicado para o dispositivo volumétrico de desvio de água dos primeiros escoamentos adotado e também conforme recomendado pela NBR 15.527 (ABNT, 2007). Esse descarte inicial objetiva evitar a entrada excessiva de poeira, folhas e detritos, bem como outros poluentes atmosféricos.

Figura 5.4 - Índice pluviométrico mensal médio, máximo e mínimo no período entre janeiro de 2002 e dezembro de 2011 em Florianópolis.



Fonte: Adaptado de INMET, (2012).

Adotou-se como área de captação da habitação modelo a área média de cobertura das residências avaliadas, igual a 78 m².

A demanda total de água potável *per capita* e o percentual da demanda total a ser substituído por água pluvial foram verificados com base nos dados obtidos no diagnóstico de água (indicador de consumo e usos finais de água). Os usos não potáveis abastecidos por água pluvial são: irrigação de jardim, lavagem de calçadas e automóveis (torneira externa), limpeza geral (torneira do tanque) e lavagem de roupas (máquina de lavar).

Considerou-se o volume do reservatório superior como sendo o volume do reservatório disponível no mercado igual ou imediatamente acima da demanda diária de água pluvial.

Para demonstrar as variações nos resultados dos usos finais de água das habitações da amostra estudada, foram realizadas simulações para os limites máximos, médios e mínimos de demanda de água pluvial (percentual da demanda total a ser substituída por água pluvial). Quanto às demais variáveis de entrada do programa Netuno (descarte escoamento inicial, coeficiente de escoamento, área de captação, demanda total de água e número de moradores), estas foram utilizadas sem variações.

O volume ideal do reservatório inferior para captação de água pluvial foi determinado pelo programa Netuno quando o volume subsequente apresentou acréscimo inferior a 2 %/m³ para o atendimento da demanda de água.

5.4.3.2 *Potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água cinza*

Para a avaliação do potencial de economia de água obtido com o uso de água cinza, considerou-se a produção de água cinza a partir de efluentes da lavadora de roupas, tanque, chuveiro e lavatório, e seu consumo após tratamento para abastecimento da descarga de bacias sanitárias.

A geração de água cinza foi calculada através das equações apresentadas no item 3.2 do método proposto.

5.4.3.3 *Potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento integrado de água pluvial e água cinza*

O potencial de economia de água através da integração entre água cinza e água pluvial foi calculado considerando o abastecimento da bacia sanitária com água cinza, e o abastecimento da lavadora de roupa, tanque e torneira externa com água pluvial. Quando a oferta de água cinza foi inferior à demanda de água em bacia sanitária, assumiu-se seu abastecimento prioritariamente com o uso de água pluvial.

Desta forma, após calcular o potencial de economia de água obtido com o uso de água cinza por meio das Equações 3.2 e 3.3, verificou-se a demanda de água não potável a ser suprida com água pluvial após o atendimento da demanda por água cinza, de acordo com a Equação 3.4. Posteriormente, foi realizada nova simulação computacional no programa Netuno para obter o potencial de economia de água respectivo ao aproveitamento de água pluvial.

O potencial total de economia devido à integração do aproveitamento de água pluvial e água cinza foi verificado somando-se os respectivos potenciais de cada fonte de água.

5.4.4 *Volume ideal para os reservatórios*

Para assegurar melhor qualidade da água aproveitada, definiu-se neste estudo que não haverá mistura da água pluvial com cinza. Portanto, serão dimensionados reservatórios distintos de armazenamento e abastecimento de água.

O volume do reservatório inferior de armazenamento de água pluvial foi indicado por meio de simulação computacional no programa Netuno. O volume do reservatório superior de água pluvial foi definido

como o volume comercial imediatamente superior à demanda diária de água pluvial da habitação.

O reservatório inferior de água cinza foi dimensionado para o suprimento da demanda diária de água cinza, ou seja, demanda para abastecer a bacia sanitária da residência. O volume do reservatório superior é igual ao volume do reservatório inferior de água cinza, pois considerou-se o armazenamento da demanda diária de água cinza em ambos os reservatórios. Ao se adotar o volume do reservatório igual à demanda diária, a garantia de abastecimento é de quase 100%, devido ao volume de água cinza produzido ser sempre maior que a demanda consumida e não sazonal. Foram adotados volumes comerciais para os reservatórios inferior e superior.

Com relação à definição do volume para o reservatório de água potável, a NBR 5626 (ABNT, 1998) estabelece que o volume de água reservado para uso doméstico deve ser, no mínimo, o necessário para atender 24 horas de consumo normal da edificação. Assim, para o cenário em que a habitação modelo não utiliza fontes alternativas de água (usa apenas água potável da rede pública), foi adotado o volume comercial para o reservatório de água potável visando suprir o dobro da demanda diária de água potável, a fim de evitar problemas decorrentes de deficiências no abastecimento público.

Em períodos de estiagem a água de chuva armazenada no reservatório inferior de armazenamento de água pluvial pode ser insuficiente para suprir o reservatório superior, que precisa ser alimentado pelo reservatório de água potável. Deste modo, no cenário em que a habitação modelo apresenta o sistema integrado, foi adotado um reservatório de água potável com volume suficiente para suprir completamente a demanda diária de água potável da habitação modelo.

5.4.5 Potencial de redução de esgoto

O potencial de redução de efluentes foi calculado de acordo com a Equação 3.6 do método proposto, quando há o aproveitamento de água cinza. Calculou-se esse potencial considerando o potencial de economia de água potável com o aproveitamento de água cinza e as perdas no sistema de tratamento.

O aproveitamento de água pluvial não apresenta potencial de redução de efluentes domésticos.

5.5 Impactos sociais

A avaliação de impactos sociais envolveu as etapas sugeridas no método proposto. A primeira e a segunda etapa dessa avaliação ocorreram por meio de levantamentos de dados *in loco* em habitações de interesse social. Enquanto a terceira e quarta etapas, foram realizadas de forma teórica.

A primeira etapa da avaliação consistiu no levantamento das características socioeconômicas das famílias participantes da pesquisa. A segunda etapa tratou da avaliação da aceitabilidade social de fontes alternativas. Estas etapas foram realizadas por meio de avaliações de campo e entrevistas com os moradores, com auxílio de questionários estruturados. Na terceira etapa, os impactos sociais foram traduzidos em doze indicadores explicativos dos impactos sociais.

No item 5.5.3 estão descritos cada um dos indicadores de impactos sociais. Esses indicadores foram agrupados em cinco aspectos essenciais de consideração, conforme mostra a Figura 5.5.

Figura 5.5 – Aspectos e indicadores para avaliação de impactos sociais.



Por fim, na quarta e última etapa, os indicadores foram avaliados em uma matriz de análise dos impactos sociais e então foi verificado o índice geral de impacto social.

5.5.1 Características socioeconômicas

Realizou-se a caracterização socioeconômica de cada morador nas habitações avaliadas com auxílio de questionário aplicado em entrevistas. Os dados levantados foram: nome, sexo, data de nascimento ou idade, naturalidade, escolaridade, tempo que reside no local, profissão e renda mensal.

Com base nos dados de cada membro pertencente à família avaliada foi possível definir um perfil socioeconômico familiar, e assim investigar a influência na aceitação de fontes alternativas na habitação.

Os dados socioeconômicos foram apresentados em forma de médias entre as habitações pesquisadas e foram utilizados na análise de aceitação de fontes alternativas. Além disso, foram abordadas neste questionário questões referentes às características gerais da habitação, conforme indicado no Quadro 1.

Quadro 1 - Características gerais da habitação

1. *Ocupação da residência (pelo morador):* () *alugada - R\$ _____,*
() *cedida,* () *própria:* () *sem financiamento;* () *com financiamento*
2. *A Medição de água é feita com:* () *hidrômetro comunitário,*
() *hidrômetro individualizado,* () *sem hidrômetro.*
3. *Falta água no Verão?* () *sempre,* () *as vezes,* () *raramente,* () *nunca.*
4. *Falta água no Inverno?* () *sempre,* () *as vezes,* () *raramente,* () *nunca.*
5. *Existem vazamentos de água na residência?* () *muitos,* () *alguns,*
() *poucos,* () *nenhum. Há quanto tempo? ____ (meses).*
6. *Esgoto da residência:* () *tratamento local (Ex. Fossa séptica),*
() *sem tratamento,* () *rede pública.*
7. *A qualidade da água do abastecimento público é geralmente:* () *muito boa,* () *boa,* () *regular,* () *ruim,* () *muito ruim.*
8. *O/A senhor/a considera a tarifa de ÁGUA cara?* () *Não,* () *Sim.*
9. *Conhece Tarifa Social para água?* () *Não,* () *Sim.*

5.5.2 Aceitação social de fontes alternativas de água

O levantamento da aceitação social de fontes alternativas de água foi verificado por meio de entrevistas com moradores de 44 habitações de interesse social.

Com auxílio de questionário estruturado, avaliou-se a aceitação do entrevistado primeiramente quanto ao uso de água pluvial captada da cobertura da habitação para fins potáveis e não potáveis, respectivamente. Salientou-se durante as entrevistas que, o primeiro escoamento no início

das chuvas, o qual contém maior concentração de impurezas do telhado e da atmosfera, não é coletado para uso.

Avaliou-se também a aceitação do aproveitamento de água cinza tratada (águas derivadas de chuveiros, lavatórios e lavadora de roupas). Após a apresentação do termo “água cinza”, explicou-se ao morador que o reuso é realizado após o tratamento da água em *wetlands* (filtros de areia com plantas filtrantes), seguido por desinfecção através de cloração, bem como que a água tratada é destinada ao uso para fins não potáveis (lavar pisos, carro e roupas, irrigação de jardim e descarga de bacias sanitárias).

Informou-se aos entrevistados as diferentes opções de áreas de captação da água pluvial residenciais: cobertura/telhados, lajes, terraços, sacadas e calçadas. Também, constaram nos questionários quais aparelhos sanitários produzem água cinza e qual o tipo de tratamento considerado para o aproveitamento de água cinza.

Foi avaliada a aceitação do aproveitamento de água pluvial e água cinza em pequena escala (própria família), bem como em grande escala (comunidade/bairro), ou seja, proveniente da própria residência e de residências vizinhas, respectivamente. As questões aplicadas nas entrevistas estão indicadas no Quadro 2.

Quadro 2 – Aceitação de fontes alternativas de água.

1. Aproveitaria a **ÁGUA PLUVIAL** para: () beber, () lavar louças, () lavar as mãos e () banho.

2. Aproveitaria a **ÁGUA PLUVIAL** para: () lavar carro, () lavar piso externo, () lavar piso interno, () lavar roupas, () regar jardim e () descarga.

3. Se **ÁGUA CINZA** (água derivada dos banhos, lavagem de mãos e de roupas) de sua residência for tratada - filtrada em um tanque de areia com plantas filtrantes e, posteriormente, clorada, o Sr/Sra. utilizaria a água tratada para: () lavar piso externo, () lavar piso interno, () regar jardim, () descarga.

4. Aproveitaria **ÁGUA CINZA** tratada proveniente de outras residências para: () lavar piso externo, () lavar piso interno, () regar jardim, () descarga.

Os dados de aceitação de água pluvial e uso de água cinza foram correlacionados com o número de ocupantes em cada habitação, a renda total e *per capita*, idade e grau de instrução, através da correlação de *Pearson*.

As correlações foram determinadas com o software *MiniTab 16* (MINITAB, 2010), onde o coeficiente de *Pearson* mede o grau de

correlação linear entre duas variáveis. O valor-p é a probabilidade de se rejeitar a hipótese nula, ou seja, é a probabilidade de se rejeitar a hipótese que o coeficiente de correlação seja nulo. Como o tamanho da amostra (n=44) é pequeno e a variabilidade dos dados é grande, essa probabilidade de aceitar a hipótese de correlação foi avaliada em situações de 90% de confiabilidade.

A renda familiar foi considerada como uma variável contínua, assim como o grau de instrução médio, a idade média, a renda *per capita* e o número de habitantes. As variáveis de aceitação foram consideradas como variáveis discretas, com valores 0 (não utilizaria) e 1 (utilizaria). No total, foram utilizadas 5 variáveis contínuas e 22 variáveis discretas de aceitação de fontes alternativas, como mostra o Quadro 3.

Quadro 3 – Aceitação – Variáveis utilizadas no estudo de correlação de Pearson.

Variáveis	Descrição	Tipo
Renda familiar (R\$)	Renda total da residência	Contínua
Número de moradores	Número total de moradores	Contínua
Renda per capita (R\$)	Renda total dividida pelo número de moradores	Contínua
Idade	Idade média dos moradores	Contínua
Grau de instrução*	Grau de instrução médio dos moradores	Contínua
Aceitação de água pluvial em fins potáveis		Discreta
Aceitação de água pluvial em fins não potáveis	Aceitação de uso em vários aparelhos sanitários e em várias situações	Discreta
Aceitação de água cinza da própria residência		Discreta
Aceitação de água cinza de outra residência		Discreta

*A escolaridade individual de cada morador foi definida em 9 níveis, variando de 0 (analfabeto) e 9 (superior completo). Para generalizar a habitação, foi feita a média entre os valores.

5.5.3 Indicadores de impacto social

Os indicadores dos impactos sociais decorrentes da aplicação de sistemas alternativos de água em residências unifamiliares são índices explicativos dos impactos sociais observados.

Foram propostos doze indicadores agrupados em cinco aspectos de consideração, a saber: I) Saúde; II) Economia; III) Valorização do imóvel; IV) Custos; e V) Conhecimento técnico. Cada um desses aspectos e seus

respectivos indicadores e escala de ocorrência estão descritos na sequência.

A escala da ocorrência do indicador explicita o espaço geográfico no qual ocorre a alteração, conforme a situação específica de aplicação do sistema alternativo de água. A escala pode ser:

- Pontual: quando os efeitos do sistema se restringem apenas ao ponto de sua ocorrência ou à residência na qual esteja ocorrendo a alteração;
- Local: quando os efeitos se fazem sentir externamente à residência, porém confinados aos limites do local em avaliação;
- No entorno: quando os efeitos se fazem sentir além dos limites da residência.

O aspecto Saúde engloba a análise de três indicadores: Qualidade da água aproveitada, Efluentes gerados, Saúde ambiental e pessoal. O indicador *Qualidade da água* refere-se ao nível de segurança e riscos para saúde em função da qualidade da água pluvial captada e da água cinza tratada. Este indicador aplica-se em escala de ocorrência local. O indicador *Efluentes gerados* considera a redução de esgoto gerado na residência em função apenas do aproveitamento de água cinza, pois o uso de água pluvial não altera o volume de efluentes, apenas substitui água potável por pluvial. Avalia a emissão de poluentes, sejam atmosféricos, hídricos ou para o solo. O volume de água cinza não reutilizada será infiltrado no terreno ou destinado ao sistema de drenagem de água pluvial, porém com menor carga de poluentes devido ao tratamento da água cinza. Neste indicador, verifica-se a escala de ocorrência no entorno. O indicador *Saúde ambiental e pessoal* inclui os impactos no bem-estar físico, mental e social de todas as pessoas avaliadas e também de outros envolvidos, como vizinhos, visitantes. Refere-se às condições de saneamento básico e de saúde dos moradores. Aplica-se à escala de ocorrência local.

O aspecto Economia refere-se à análise de três indicadores: Economia de água potável, Redução das perdas de água, e Redução das contas de água e esgoto. O indicador *Economia de água potável* considera a redução do consumo de água potável verificada na residência após a implantação do sistema, em escala de ocorrência pontual. O indicador *Redução das perdas de água* refere-se às perdas de água evitadas no sistema público de abastecimento de água em função da redução no consumo de água potável. Aplica-se à escala de ocorrência no entorno. O

indicador *Redução das contas de água e esgoto* leva em conta a economia financeira gerada com o aproveitamento de água pluvial e água cinza nas faturas cobradas pela concessionária de água. Esse indicador aplica-se apenas à escala de ocorrência pontual.

O aspecto Valorização do imóvel inclui os indicadores: Benfeitorias e Marketing ambiental. O indicador *Benfeitorias* considera o suprimento complementar de água para fins não potáveis como um diferencial que valoriza a residência, ou seja, um reforço no abastecimento de água, muito importante em regiões com restrições e racionamento de água. Aplica-se à escala de ocorrência pontual. O indicador *Marketing ambiental* considera a alteração no valor do imóvel devido à existência de sistemas de aproveitamento de água pluvial e água cinza, cuja escala de ocorrência é pontual.

O aspecto Custos inclui os indicadores: Investimento inicial e Custos de manutenção e operação. O indicador *Investimento inicial* refere-se ao valor monetário investido para a instalação do sistema, em que a escala de ocorrência é pontual. O indicador *Custos de manutenção e operação* considera os gastos com trocas e reparos de equipamentos e componentes do sistema, bem como os gastos relacionados ao seu funcionamento (energia elétrica, cloro, etc.). Apresenta escala de ocorrência pontual.

O aspecto Conhecimento técnico inclui os indicadores: Confiança do usuário e Programas de incentivo. O indicador *Confiança do usuário* analisa a confiança dos moradores no sistema instalado, ou seja, a certeza do seu correto funcionamento integralmente, possibilitando abastecimento adequado dos usos de água requeridos. Com a ampliação do conhecimento de como funciona o sistema, ocorrerá um aumento na confiança dos usuários. Aplica-se a escala de ocorrência pontual. O indicador *Programas de incentivo* trata de programas públicos de divulgação e conscientização do uso tecnologias de redução do consumo de água. A escala de ocorrência desse indicador é no entorno.

5.5.4 Procedimentos de avaliação dos impactos sociais

O procedimento de avaliação dos impactos sociais se fundamentou parcialmente na metodologia utilizada no Sistema *Ambitec-Social* - Sistema de Avaliação de Impacto Social da Inovação Tecnológica Agropecuária (RODRIGUES et al., 2003; RODRIGUES et al., 2005).

Para correta definição dos efeitos da implantação do sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza e definição de

seus respectivos coeficientes de alteração é necessário que já tenha sido realizado o diagnóstico de água e esgoto na edificação.

A avaliação dos impactos sociais envolve uma entrevista aplicada ao usuário responsável, ou seja, morador da residência em que o sistema integrado seria instalado. A entrevista é dirigida à obtenção do coeficiente de alteração em consequência da instalação do sistema, para cada um dos indicadores de impacto, conforme avaliação do usuário. Na entrevista, é solicitado ao morador que indique a direção (aumenta, diminui, ou permanece inalterado) dos coeficientes de alteração para cada indicador de impacto social, de acordo com a Tabela 5.3. No entanto, essa etapa ocorreu de forma teórica, tendo como base os resultados obtidos no diagnóstico de água e esgoto da habitação modelo e nos levantamentos socioeconômico e de aceitação social de fontes alternativas de água.

Tabela 5.3 – Efeitos da implantação do sistema integrado e respectivos coeficientes de alteração.

Efeito da tecnologia	Coefficiente de alteração
Grande aumento	+3
Moderado aumento	+1
Inalterado	0
Moderada diminuição	-1
Grande diminuição	-3

Fonte: Adaptado de Rodrigues et al. (2005).

O sistema de pontuação utilizado reflete a avaliação sobre a alteração do indicador. A alteração refere-se ao desempenho da atividade desenvolvida com a instalação do sistema integrado em comparação à atividade antes da adoção do sistema. Os coeficientes de alteração serão inseridos na matriz de análise dos impactos sociais.

Os fatores para avaliação da escala de ocorrência são fixos (Tabela 5.4), não podendo ser modificados pelo usuário e expressam um valor proporcionalmente maior quando a tecnologia afeta um espaço ou um ambiente que extrapola os limites da edificação (RODRIGUES et al., 2005).

Os resultados dos indicadores de impactos sociais foram calculados por meio da matriz de análise dos impactos sociais. Assim foi possível verificar os índices parciais e totais de impacto social da adoção de um sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza.

Tabela 5.4 – Fator de avaliação multiplicativo relativo à escala da ocorrência do efeito da tecnologia sobre o indicador de impacto social.

Escala da ocorrência	Fator de avaliação
Pontual	1
Local	2
Entorno	5

Fonte: Adaptado de Rodrigues et al. (2005).

A análise e interpretação dos impactos sociais foram realizadas com base nos valores dos indicadores. Esta avaliação deverá possibilitar a proposição de medidas mitigadoras dos impactos observados, permitindo a recomendação de alternativas para minimizar os impactos negativos e potencializar os impactos positivos.

A composição do índice geral de impacto social envolveu a análise da importância do indicador por meio da definição dos pesos relativos. A atribuição de pesos destaca a importância do indicador de impactos sociais com relação aos demais, sendo este, um processo subjetivo.

Para realizar a definição dos pesos relativos dos indicadores foi preciso primeiramente investigar o perfil socioeconômico familiar e o nível de aceitação de fontes alternativas na habitação.

Os pesos relativos definidos para os indicadores podem ser alterados pelo avaliador de acordo com o contexto analisado, desde que o total seja igual à unidade 1 (um).

Por fim, os indicadores foram considerados em seu conjunto para composição do índice geral de impacto social e posteriormente os resultados finais da avaliação de impacto social foram expressos graficamente. A escala padronizada no método variou entre -15 e +15, normalizada para todos os indicadores individualmente e para o índice geral de impacto social.

5.5.5 Matriz de análise dos impactos sociais

A última etapa consistiu na construção de uma matriz de análise dos indicadores de impacto social do sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza.

Com base nos resultados do diagnóstico de água e esgoto realizado para a habitação modelo e nas demais análises inseriram-se na matriz os valores referentes aos coeficientes de alteração, escala da ocorrência dos mesmos e o peso relativo de cada indicador.

A inserção dos coeficientes de alteração obtidos nos levantamentos de dados na matriz de análise resultou nos índices de impacto social do

sistema integrado. Os índices de impacto foram obtidos em procedimentos de avaliação por fatores relativos à escala da ocorrência da alteração e ao peso relativo do indicador.

Ressalta-se que, coeficientes de alteração e peso relativo dos indicadores são definidos pelo usuário (morador) ou avaliador e variam de acordo com o caso analisado e também conforme a percepção do usuário. Logo, nesses valores existe subjetividade.

Os resultados finais da avaliação de impacto foram expressos em um índice geral de impacto social, que envolve avaliação dos pesos relativos do indicador. Para facilitar a visualização, os resultados foram apresentados graficamente após análise dos coeficientes de alteração obtidos.

5.6 *Inventário de ciclo de vida*

Nesta etapa foi elaborado o inventário do ciclo de vida do sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza e do sistema convencional de abastecimento de água potável, ambos para a implantação teórica na habitação modelo.

Neste item estão catalogados os dados de entrada e saída reportados aos sistemas estudados nas etapas do ciclo de vida (extração e processamento de matérias-primas, transporte, instalação, utilização, e disposição final).

A massa dos componentes e equipamentos dos sistemas avaliados foi obtida por meio de especificações técnica de fabricantes, e em alguns casos, revisão da literatura (CMBAQUA, 2015; FORTLEV, 2014; 3P TECHNIK, 2015; SCHNEIDER, 2015; TIGRE, 2015; TAVARES, 2006). O Apêndice III apresenta os quantitativos (especificações, quantidades e massa) dos componentes constituintes dos sistemas.

5.6.1 Pressupostos adotados

Alguns pressupostos foram necessários para possibilitar a elaboração do inventário de ciclo de vida dos sistemas avaliados neste estudo de caso e encontram-se descritos neste item.

Os metais sanitários, calhas, tubos e conexões para condução de água quente não foram avaliados porque estão presentes em igual quantidade nos dois cenários da comparação.

As conexões e os condutores verticais e horizontais usados para coleta de água pluvial e para condução dos efluentes (água cinza) são todos fabricados em PVC e foram adicionados ao total de tubulações e

conexões do subsistema pluvial e do subsistema cinza na função “distribuição”.

Desconsiderou-se as instalações elétricas usadas para a instalação das motobombas, conjunto mangueira boia, realimentador.

As motobombas disponíveis no mercado apresentam diversas opções de materiais para composição das suas peças (corpo da bomba, rotor, parafusos, arruelas, etc.), das quais se destacam os seguintes metais: ferro fundido, ferro fundido nodular e ferro fundido nodular temperado, bronze, alumínio e aço inox (SCHNEIDER, 2015; FAMAC, 2013). Para motobombas analisadas no estudo, considerou-se apenas ferro fundido como material constituinte. Os demais materiais constituintes das motobombas foram excluídos das análises tendo em vista o critério de exclusão inicial das entradas proposto no método, da ordem de 1% em termos de massa.

Os materiais indisponíveis na biblioteca de inventários *Ecoinvent*® e não documentados na literatura nacional foram substituídos por processos similares.

5.6.2 Vida útil dos componentes dos sistemas

A vida útil é usualmente definida como o período de tempo durante o qual os componentes mantêm condições satisfatórias de uso, atendendo as finalidades esperadas em projeto. De acordo com NBR 15.575-6 (ABNT, 2013), os equipamentos que compõem os sistemas prediais hidráulicos devem manter a capacidade funcional para a vida útil de projeto, desde que respeitados os requisitos de manutenção e conservação. No entanto, a vida útil dos componentes pode variar de acordo com as matérias-primas escolhidas, as condições de uso dos equipamentos, presença ou ausência de manutenção adequada, condições climáticas locais e desenvolvimento de novas tecnologias.

Considerou-se o tempo de vida útil de motobombas, tubulações/conexões e reservatórios de armazenamento de água igual a 12, 50, 65 anos, respectivamente (ROEBUCK et al., 2011). A vida útil de componentes e dispositivos para melhorar a qualidade da água variou entre 3 e 50 anos, de acordo com informações fornecidas pelos fabricantes. Para os componentes do sistema de tratamento por *wetland* considerou-se a vida útil de 60 anos tendo como referência a durabilidade do concreto (BS 7543, 2003).

A Tabela 5.5 apresenta um resumo do tempo de vida útil adotado para cada componente dos sistemas, a fonte da literatura e o número de reposições necessárias ao longo do horizonte de tempo considerado neste

estudo de caso. A quantidade de reposições dos equipamentos e componentes que tenham a vida útil inferior ao horizonte de tempo adotado de 20 anos foi calculada por meio da Equação 3.11, proposta no método.

Tabela 5.5 – Vida útil dos componentes dos sistemas e número de reposições ao longo do horizonte de tempo adotado de 20 anos.

Componentes dos sistemas	Vida útil (anos)	Fonte	Nº de reposições
Reservatórios de armazenamento de água	65	Roebuck et al. (2011);	--
<i>Wetland</i>	60	BS 7543 (2003)	--
Tubulações/conexões	50	Roebuck et al. (2011)	--
Dispositivo de descarte do escoamento inicial	50	Roebuck et al. (2011)	--
Dispositivo de descarte de sólidos	50	3P Technik (2015)	--
Freio d'água	50	3P Technik (2015)	--
Sifão extravasor	50	3P Technik (2015)	--
Conjunto mangueira boia	25	3P Technik (2015)	--
Realimentador	15	3P Technik (2015)	0,33
Motobombas	12	Roebuck et al. (2011)	0,67
Clorador flutuante	3	CMBAQUA (2015)	5,67

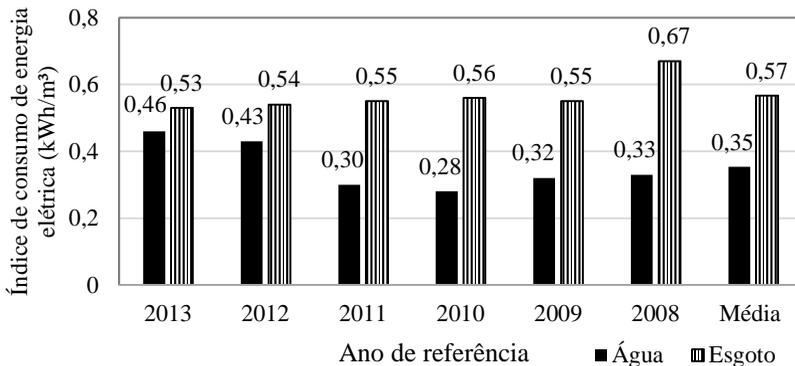
5.6.3 Consumo de energia para a operação

O consumo de energia para a operação dos cenários de fornecimento de água foi verificado por meio dos dados de energia por metro cúbico de água potável fornecido; energia para o recalque de água pluvial e água cinza, e energia para a coleta e tratamento do esgoto gerado. Não há consumo energético na desinfecção de água pluvial e cinza por meio do uso de clorador flutuante, dispositivo adotado na concepção do sistema integrado.

Os consumos energéticos foram inseridos na modelagem dos efeitos de operação no programa *SimaPro* como o processo *electricity, high voltage, production BR, at grid/kWh/BR U* de modo a refletir a matriz energética brasileira, dentro da categoria *Electricity country mix*. Para esse processo os procedimentos incluídos são a produção de energia elétrica no Brasil, a rede de transmissão e emissões diretas ao ar. As perdas de energia são contabilizadas.

O consumo de energia elétrica médio do sistema público de abastecimento de água em Florianópolis nos últimos seis anos (2008 a 2013) foi igual a 0,35 kWh/m³; enquanto, do sistema de coleta e tratamento de esgoto, igual a 0,57 kWh/m³, conforme ilustra a Figura 5.6.

Figura 5.6 – Índice de consumo de energia elétrica no sistema de tratamento e abastecimento de água e sistema de coleta e tratamento de esgoto de Florianópolis.



Fonte: SNIS (2008); SNIS (2009); SNIS (2010); SNIS (2011); SNIS (2012); SNIS (2013); SNIS (2014).

Ressalta-se que estes dados, obtidos junto ao SNIS (Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento), apresentam elevada incerteza devido ao método de levantamento através de questionários respondidos pelas concessionárias de água e esgoto.

Destaca-se que o valor médio do consumo de energia do sistema de coleta e tratamento de esgoto (0,57 kWh/m³) é levemente superior ao observado em alguns países desenvolvidos (nos Estados Unidos, é 0,43 kWh/m³; no Canadá, 0,46 kWh/m³; e na Nova Zelândia, 0,49 kWh/m³). Um dos motivos disso é que a principal estação de tratamento de esgoto da cidade de Florianópolis opera por lodo ativado com aeração prolongada, tecnologia que apresenta elevada demanda energética (OLSSON, 2011; VIEIRA, 2012).

Considerou-se que não há consumo de energia no sistema convencional para o abastecimento do reservatório de água potável, pois tal fornecimento de água ocorre por pressão da rede, e não há necessidade do uso de motobombas para recalque.

Conforme definido na concepção do sistema integrado, o bombeamento de água pluvial e água cinza armazenadas em reservatórios

inferiores distintos ocorre separadamente para o respectivo reservatório superior de cada tipo de água. Assim, foi necessário calcular o consumo diário de energia elétrica para bombeamento de água pluvial e água cinza.

Por meio da Equação 5.4, foi estimado o consumo de energia para a operação do “subsistema pluvial” e do “subsistema cinza”. A energia requerida para o bombeamento do volume referente à demanda de água é função da altura manométrica (altura geométrica mais perdas de carga), vazão, eficiência do conjunto motobomba e eficiência de transmissão (CHIU et al., 2009). Além disso, o número de partidas do conjunto motobomba influencia o seu consumo total de energia, pois o consumo de partida é superior ao consumo de regime (ABNT, 1998).

$$E_{mb} = \frac{(P_m \times t)}{\eta} + sp \times e_{sp} \quad [\text{Eq. 5.4}]$$

Onde:

E_{mb}	é o consumo diário de energia da motobomba (kWh/dia);
P_m	é a potência da motobomba (kW),
t	é o tempo de funcionamento da motobomba (h/dia);
η	é a eficiência da motobomba (adimensional);
sp	é o número de partidas da motobomba (vezes/dia);
e_{sp}	é o consumo de energia elétrica para o arranque da motobomba (kWh/hora).

O tempo de funcionamento e demais parâmetros da motobomba foram estimados com auxílio de informações fornecidas em catálogos de fabricantes. Essa estimativa foi realizada levando em consideração os projetos do sistema hidrossanitário, o número de usuários do sistema e outras especialidades na utilização dos sistemas prediais da edificação em estudo. O consumo de energia para bombeamento da água foi calculado de acordo com a Equação 5.5.

$$E_{bomb} = \frac{(E_{mb} \times c)}{C_a} \quad [\text{Eq. 5.5}]$$

Onde:

E_{bomb}	é o consumo de energia para bombeamento de água (MJ/m ³);
E_{mb}	é o consumo diário de energia da motobomba (kWh/dia);
c	é o fator de conversão de kWh para MJ, igual a 3,6;

C_a é consumo diário de água da habitação (m^3/dia).

Mesmo quando o conjunto motobomba não está operando existem perdas de energia no sistema do motor, controladores e sensores. Assim, considerou-se perdas de energia de 2 W no bombeamento de água quando em modo *standby* a todo momento, conforme indicado por Retamal et al. (2009). Assumiu-se que o consumo energético de arranque (partida) da motobomba é equivalente à operação de regime por 30 segundos (RETAMAL et al., 2009).

Adotou-se como potência dos sistemas de bombeamento à potência de motobombas disponíveis no mercado com potência equivalente ou imediatamente superior ao valor calculado.

5.6.4 Transporte de materiais e componentes do sistema

Foram determinadas as distâncias de transporte de materiais e componentes dos sistemas em função da localização dos respectivos fabricantes (Tabela 5.6).

Tabela 5.6 – Distâncias consideradas entre a habitação modelo e fornecedor dos componentes empregados nas análises de ciclo de vida dos sistemas.

Componentes do Sistema	Distância da fábrica até a casa modelo (km)
Cloradores	910
Dispositivo de descarte do escoamento inicial	519
Pedra britada	403
Reservatórios	249
Motobombas	210
Tubos e conexões	200
Argamassa industrializada	101
Concreto	36
Areia	25
Dispositivo de descarte de sólidos	16
Freio d'água	16
Sifão extravasor	16
Conjunto mangueira boia	16
Realimentador	16

Para cada material ou componente foi levantada a média das distâncias, em relação ao local dos sistemas (residência modelo), de no mínimo três fabricantes, conforme apresenta o Apêndice IV. Buscou-se priorizar a seleção de fabricantes localizados na região sul do Brasil.

A operação de transporte de materiais fábrica/residência modelo/disposição final foi homogeneizada para o processo “*transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH*” da base *Ecoinvent*® 2.2. Para os processos relacionados ao transporte de cargas, o *Ecoinvent*® utiliza a unidade tonelada quilômetro (tkm). Esses processos levam em conta o trecho de retorno, ou seja, o deslocamento do veículo sem carga.

5.6.5 Destinação de componentes dos sistemas

Os componentes dos sistemas substituídos ao longo do ciclo de vida dos cenários comparados seriam encaminhados para disposição final. A opção avaliada no impacto do fim da vida útil dos materiais foi eliminação final por aterro. Não foram considerados cenários com reciclagem dos materiais, apenas simples descarte em aterro, pois a reciclagem pode consumir grandes quantidades de energia, ou, também, dar origem a produtos de qualidade inferior.

Foi considerado que todos os resíduos seriam encaminhados para um aterro com licença ambiental. O aterro escolhido localiza-se em Alto Aririú, no município de Palhoça/SC, a aproximadamente 50 km da residência modelo, localizada na Vargem Grande, Florianópolis. Esta distância foi utilizada para modificar ou incluir os respectivos valores nos processos “*disposal, building*”, “*disposal*” e “*disposal, inert material*” da base *Ecoinvent*® 2.2.

5.7 Avaliação de impacto de ciclo de vida

Na avaliação dos impactos ambientais, os fluxos de materiais e energia identificados durante o inventário de ciclo de vida, foram associados aos seus respectivos impactos ambientais. Para essa etapa utiliza-se o programa *SimaPro* 7.3 para o gerenciamento dos dados e o cálculo das categorias de impacto.

As entradas foram calculadas de acordo com as equações propostas no método e inseridas no programa *SimaPro* considerando a base de dados do *Ecoinvent Centre* (2010). O *Ecoinvent*® banco de dados é considerado um líder mundial no fornecimento de inventário de ciclo de vida.

Os dados são inseridos no programa, escolhendo-se os fluxos primários definidos no item de inventário, e as quantidades de materiais, energia e transporte normalizadas para a unidade funcional.

No *SimaPro*, foram modelados o cenário com sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza (“subsistema pluvial” e

“subsistema cinza”) e o cenário com o “sistema convencional” com abastecimento de água potável da rede pública.

Para o relacionamento dos fluxos elementares às categorias de impacto analisadas foram utilizados dois métodos de avaliação de impacto de ciclo de vida: *ReCiPe 2008* e *CML 2 baseline 2000*, disponíveis entre os métodos existentes no programa *SimaPro*. Utilizou-se mais de um método de avaliação de impacto na tentativa de minimizar as incertezas geradas neste tipo de avaliação devido à falta de métodos que condizem com as especificidades brasileiras. Alguns estudos sugerem a adoção de mais de um método de avaliação de impacto, pois isso permite verificar se os resultados obtidos diferem conforme o método adotado (CAVALETT et al., 2013; SILVA, 2012). Porém, é importante ressaltar que cada método possui seus fatores de caracterização e normalização particulares.

O método *ReCiPe 2008* compreende dois grupos de categorias de impacto: as intermediárias (*midpoint*) e as finais (*endpoint*). O método *ReCiPe* avalia os impactos ambientais em dezoito categorias intermediárias *midpoint* sendo elas: Mudanças Climáticas, Destruição da camada de ozônio, Toxicidade humana, Formação de oxidantes fotoquímicos, Formação de partículas, Radiação ionizante, Acidificação terrestre, Eutrofização de água potável, Eutrofização marinha, Ecotoxicidade terrestre, Ecotoxicidade de água potável, Ecotoxicidade marinha, Ocupação de terras agrícolas, Ocupação do solo urbano, Transformação do ambiente natural, Esgotamento de mananciais, Depleção de recursos fósseis e Depleção de recursos minerais.

O método *ReCiPe*, após a etapa de normalização, realiza o agrupamento dessas dezoito categorias de impacto em apenas três categorias de impacto *endpoint*, sendo elas: Danos à saúde humana, Danos à diversidade dos ecossistemas, e Danos à disponibilidade de recursos. O indicador de saúde humana mede a quantidade total de problemas de saúde, devido à incapacidade e morte prematura, atribuível a determinadas doenças e lesões. Para isso usa-se a unidade *DALY* (*Disability adjusted life years*), que em português significa Deficiência Ajustada de Anos de Vida, comparando tempo vivido com incapacidade e o tempo perdido devido à mortalidade prematura. Para medir as categorias ligadas à qualidade dos ecossistemas usa-se uma unidade chamada em português de Potencial de Desaparecimento de Espécies pela área ($\text{PDF.m}^2.\text{ano}$). As categorias ligadas aos danos à disponibilidade de recursos medem o aumento nos custos devido à extração de um recurso e utiliza a unidade *Increased cost* (\$), custo excedente em português. Esta etapa converte a extração de um recurso em aumento de custos para a

sociedade em geral (GOEDKOOOP et al., 2009). Ao final, os valores de cada categoria de impacto ambiental são agrupados formando categorias *endpoint* que, após normalização, são agrupados novamente, numa unidade chamada *Ecopontos* (Pt).

No nível de *midpoint*, as categorias de impactos são relatadas em função de unidades individuais para cada fator, enquanto no nível *endpoint*, é implementada uma pontuação geral única. Esta pontuação não se refere apenas às três categorias de danos (saúde humana, ecossistemas e recursos), mas também as contribuições de vários indicadores *midpoint* (que possuem participação respectiva na categoria de danos) (GOEDKOOOP et al., 2009).

O método *ReCiPe* foi escolhido porque é um método de caráter combinativo entre abordagens *midpoint* e *endpoint* para avaliação de impactos do ciclo de vida.

O método *ReCiPe* é dividido em abordagem europeia e mundial. Também é dividido em três perspectivas culturais que agrupam tipos similares de pressupostos e escolhas, sendo elas: a perspectiva individualista (baseada numa visão de curto prazo); a perspectiva hierárquica (baseada nas políticas mais comuns de tempo e espaço) e; a perspectiva igualitária (baseada em uma visão a longo prazo).

Deste modo, para esse estudo escolheu-se a análise com o método *ReCiPe endpoint* e *midpoint* com a abordagem mundial hierárquica ("*World ReCiPe H*"), que se refere aos valores de normalização dos impactos ambientais do ciclo de vida dos materiais com base nos efeitos provocados em cidadão médio europeu em um ano (com base no ano 2000). Adotou-se a perspectiva hierárquica (H) para a valoração dos impactos ambientais seguindo recomendação de Goedkoop e Spriensma (2001).

O método *CML 2 baseline 2000* foi utilizado devido à sua ampla utilização e importante representatividade na comunidade científica. O *CML 2000* é um método de avaliação de impacto que considera dez categorias de impactos ambientais com enfoque nos efeitos intermediários determinados em termos de indicadores (*midpoint*). Esse método não propõe nenhuma forma de agregação para gerar resultados em pontuação única. Alvarenga (2010) afirma que o método mais utilizado em estudos de ACV que adotam a abordagem *midpoint* é o *CML*.

O método *CML* possui abordagem holandesa, europeia e mundial onde para cada indicador de categoria de impacto são calculados valores de normalização, para as situações de referência: mundo em 1990 e 1995, oeste da Europa em 1995, e Holanda em 1997. Adotou-se no estudo de caso a abordagem mundial e o ano de referência de 1995 ("*World 1995*").

Foram avaliadas as categorias de impactos ambientais prioritárias para a análise, ou seja, que representam dano ambiental significativo nos resultados globais. A Tabela 5.7 apresenta as categorias de impacto ambiental dos métodos adotados no estudo de caso de acordo com a nomenclatura em português/inglês e suas respectivas unidades definidas no programa *SimaPro*. As categorias iguais ou semelhantes entre os métodos *ReCiPe* e *CML* foram localizadas na mesma linha para facilitar a comparação entre as mesmas.

Tabela 5.7 – Categorias de impactos ambientais e respectivas unidades dos métodos *ReCiPe* e *CML* contempladas na análise do estudo de caso.

Método <i>ReCiPe midpoint</i>		Método <i>CML</i>	
Categorias	Unid.	Categorias	Unid.
Potencial de aquecimento global / <i>Climate change</i>	kg CO ₂ eq.	Mudanças climáticas / <i>Global warming (GWP100)</i>	kg CO ₂ eq.
Depleção da camada de ozônio / <i>Ozone depletion</i>	kg CFC-11 eq.	Depleção da camada de ozônio/ <i>Ozone depletion</i>	kg CFC-11 eq.
Toxicidade humana/ <i>Human toxicity</i>	kg de 1,4-DB eq.	Toxicidade humana/ <i>Human toxicity</i>	kg de 1,4-DB eq.
Radiação ionizante/ <i>Ionising radiation</i>	kg U ²³⁵ eq.	--	--
Acidificação dos solos/ <i>Terrestrial acidification</i>	kg de SO ₂ eq.	Acidificação/ <i>Acidification</i>	kg de SO ₂ eq.
Eutrofização de águas potáveis/ <i>Freshwater eutrophication</i>	kg de P eq.	Eutrofização/ <i>Eutrophication</i>	kg de PO ₄ eq.
Eutrofização de águas marinhas/ <i>Marine eutrophication</i>	kg de N eq.		
Ecotoxicidade dos solos/ <i>Terrestrial ecotoxicity</i>	kg 1,4 - DB eq. para o solo industrial	Ecotoxicidade dos solos/ <i>Terrestrial ecotoxicity</i>	kg 1,4 - DB eq. Para o solo industrial
Ecotoxicidade das águas potáveis/ <i>Freshwater ecotoxicity</i>	kg 1,4 - DB eq. para a água doce	Ecotoxicidade das águas potáveis/ <i>Fresh water aquatic ecotoxicity</i>	kg 1,4 - DB eq. para água doce
Ecotoxicidade das águas marinhas/ <i>Marine ecotoxicity</i>	kg 1,4 - DB eq. para os oceanos	Ecotoxicidade das águas marinhas/ <i>Marine aquatic ecotoxicity</i>	kg 1,4 - DB eq. para os oceanos
Transformação do ambiente natural / <i>Natural land transformation</i>	m ²	--	--
Depleção de recursos minerais/ <i>Metal depletion</i>	kg de Fe eq.	Depleção abiótica/ <i>Abiotic depletion</i>	kg de Sb eq.
Depleção de recursos fósseis/ <i>Fossil depletion</i>	kg de petróleo eq.		
Esgotamento de mananciais/ <i>Water depletion</i>	m ³ de água		

A análise dos impactos ambientais compreendeu: avaliação dos resultados primeiramente por cenário separadamente, categorias de impacto mais afetadas; componentes mais impactantes; processos com menor impacto ambiental potencial. A interpretação da ACV está ligada

à comparação entre os cenários e resultados para as categorias de impacto analisadas.

5.8 *Síntese do exemplo de aplicação do método proposto*

Este capítulo apresentou a aplicação do método avaliação do impacto ambiental da implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em um estudo de caso de uma habitação de interesse social modelo.

O desenvolvimento do estudo ocorreu por meio de levantamentos *in loco* em uma amostra de habitações de interesse social localizadas na região da grande Florianópolis e também parcialmente por meio de análise teórica.

A concepção dos sistemas analisados, bem como todos os materiais, equipamentos, procedimentos e programas utilizados na análise foram apresentados neste capítulo.

6 RESULTADOS OBTIDOS NO ESTUDO DE CASO

Serão apresentados neste capítulo os resultados obtidos por meio do diagnóstico de água e esgoto, avaliação de impactos sociais e avaliação de impactos ambientais na aplicação do método proposto em um estudo de caso.

6.1 *Diagnóstico: água e esgoto na habitação*

6.1.1 Usos finais e demanda de água

Foram obtidos os usos finais de água de 48 habitações de interesse social localizadas na região metropolitana de Florianópolis. Para isso, primeiramente foi verificada para a amostra estudada a vazão média de água dos equipamentos e consumo de água dos equipamentos que possuem ciclo, apresentados nas Tabelas 6.1 e 6.2, respectivamente.

Tabela 6.1 – Vazão média de água dos equipamentos e desvio padrão.

Equipamento	Vazão média (L/s)	Desvio padrão (L/s)
Chuveiro	0,07	0,03
Lavatório	0,08	0,04
Pia	0,09	0,05
Tanque	0,13	0,13
Torneira externa	0,17	0,11

Tabela 6.2 – Consumo médio de água dos aparelhos sanitários que possuem ciclo e desvio padrão.

Equipamento	Consumo médio de água (L/ciclo)	Desvio padrão (L/ciclo)
Bacia sanitária com válvula de descarga	6,2	1,4
Bacia sanitária com caixa acoplada	11,5	2,6
Lavadora de roupas	102,5	50,2

Na amostra de residências avaliadas constatou-se a existência de lavadora de roupas em 77% das casas. Com relação ao modelo da bacia sanitária, verificou-se que 45% das casas apresentam bacia sanitária com caixa de descarga (caixa acoplada ou caixa suspensa), e 55% das residências apresentou bacias sanitárias com válvula de descarga. Cerca de 30% das residências avaliadas utilizam torneira externa para irrigação de jardim ou lavação de calçadas.

A vazão de água dos aparelhos sanitários varia

consideravelmente entre os domicílios, como observado pelo seu elevado desvio padrão (Tabela 6.2). As Tabelas 6.3 e 6.4 mostram a diferença entre os diversos aparelhos sanitários existentes, que têm vazões muito diferentes caracterizadas por um alto desvio padrão. A diferença é maior no tanque e na torneira externa, e também na lavadora de roupas.

Verificou-se que, dentre os aparelhos sanitários que possuem ciclo, a lavadora de roupas apresentou maior desvio padrão. Isso possivelmente explica-se devido a grande variedade de modelos existentes no mercado deste equipamento, com diferenciado consumo de água por ciclo de lavagem.

Na Tabela 6.3 são apresentados os usos finais médios de água, em volume mensal, obtidos no estudo, o desvio padrão e os intervalos de confiança. Por exemplo, a lavadora de roupas apresentou consumo médio de 0,49 m³/mês.pessoa, mas a média varia de 0,39 a 0,59 m³/mês.pessoa com 90% de confiabilidade. Em média cada morador das habitações analisadas consome 4,58 m³ de água por mês.

Tabela 6.3 – Consumo médio de água *per capita* por equipamento hidráulico.

Equipamento	Consumo <i>per capita</i> (m ³ /mês. pessoa)	Desvio padrão (m ³ /mês.pessoa)	Intervalo de confiança 90%	
			Limite inferior	Limite superior
Chuveiro	1,49	1,17	1,28	1,71
Bacia sanitária	0,89	0,57	0,78	0,99
Pia	0,82	0,54	0,72	0,92
Lavadora de roupas	0,49	0,48	0,39	0,59
Torneira externa	0,31	0,26	0,21	0,40
Tanque	0,28	0,43	0,14	0,41
Lavatório	0,24	0,26	0,18	0,30
Outros	0,06	0,08	0,04	0,07

Na Tabela 6.4 apresentam-se os usos finais de água em percentuais, com sequência decrescente. Na Figura 6.1 os usos finais de água são apresentados graficamente para a amostra de 48 residências avaliadas na pesquisa.

Constatou-se por meio dos resultados de usos finais de água que o chuveiro foi o aparelho sanitário responsável pela maior parcela de consumo de água (32,7%) nas residências. Na sequência, o maior consumo de água foi observado para bacia sanitária, e pia da cozinha, com médias iguais a 19,4 e 18,0%, respectivamente. Assim, em média, 70,1%

da água consumida nas habitações estudadas é destinada a estes três usos. No entanto, a contribuição de cada equipamento hidráulico variou consideravelmente dentre as habitações devido aos diferentes hábitos de uso dos equipamentos.

Tabela 6.4 – Usos finais médios de água.

Equipamento	Uso final médio (%)	Intervalo de confiança 90%	
		Limite inferior (%)	Limite superior (%)
Chuveiro	32,7	27,9	37,5
Bacia sanitária	19,4	17,0	21,8
Pia	18,0	15,8	20,2
Lavadora de roupas	10,7	8,5	13,0
Torneira externa	6,7	4,6	8,8
Tanque	6,1	3,1	9,1
Lavatório	5,2	3,9	6,6
Outros	1,2	0,9	1,6

Os intervalos de confiança auxiliam no entendimento da variabilidade do consumo de água e dos usos finais da amostra. Como exemplo, cita-se o chuveiro, com consumo de 1,59 m³/mês.pessoa em média entre as habitações. No entanto, a média varia de 1,28 a 1,71 m³/mês.pessoa, com 90% de confiabilidade. O mesmo é válido para os usos finais de água, onde o chuveiro representa, em média, 32,7%, mas variando de 27,9 a 37,5% com 90% de confiabilidade.

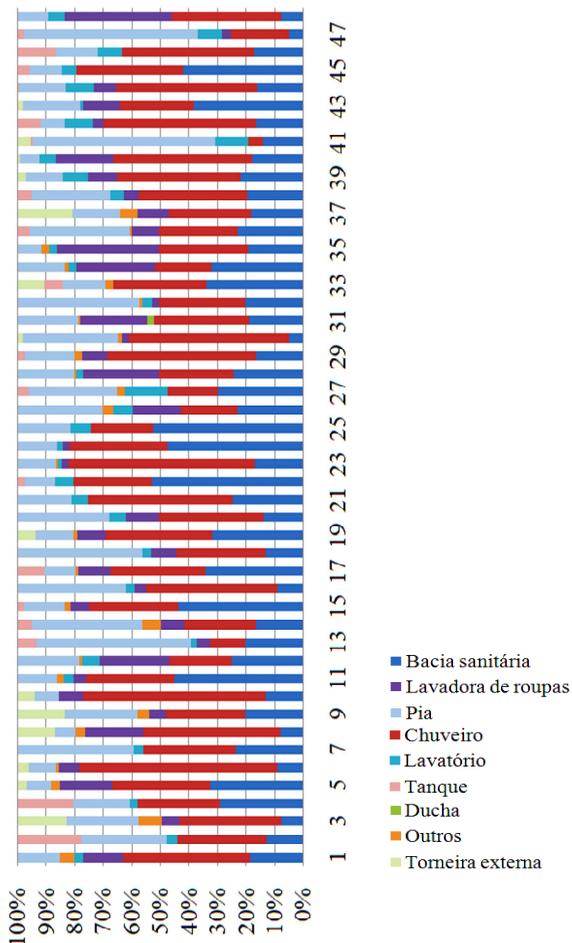
Para a pia e a bacia sanitária, os consumos mensais são próximos e não teria diferença significativa a 90% de confiabilidade com o teste-t de *Student*, devida à amplitude do intervalo de confiança. Ou seja, pode-se aceitar a hipótese de que o consumo de água com a pia da cozinha e com a bacia sanitária são iguais, com 90% de confiabilidade.

Os usos não potáveis, definidos como descarga de bacias sanitárias, tanque, torneira externa e lavadora de roupas, totalizaram 42,9% dos usos finais médios de água das residências. O percentual mínimo de usos não potáveis verificado na pesquisa foi de 10,3%, e o máximo de 60,0%. Os usos não potáveis supracitados poderiam ser abastecidos por fontes alternativas de água como água pluvial e água cinza.

A demanda de água cinza seria representada pela demanda de água para abastecer apenas a bacia sanitária. A oferta de água cinza poderia ser considerada a partir dos efluentes do chuveiro, lavatório, lavadora de roupas e tanque. Nas habitações avaliadas, a demanda média

de água cinza seria igual a 19,4% do consumo total, enquanto a oferta, igual a 54,7%. A demanda e oferta mínimas de água cinza verificadas na amostra foram iguais a 5,1% e 17,3%, respectivamente. Enquanto que a demanda e oferta máximas foram iguais a 52,9 % e 81,5%, respectivamente. Indicador de consumo

Figura 6.1 – Usos finais de água nas 48 residências avaliadas.



O indicador de consumo diário de água *per capita* e o consumo total mensal de cada residência da amostra avaliada estão indicados na

Figura 6.2, respectivamente pelos pontos azuis e pelas barras vermelhas.

Observou-se na figura supracitada que em algumas residências, como, por exemplo, na habitação 16, o consumo diário de água por pessoa está muito acima do consumo verificado nas demais habitações da amostra. Isso ocorre possivelmente devido ao padrão de ocupação dessa habitação e ao estilo de vida dos moradores.

Dentre as 48 habitações avaliadas nesta etapa da pesquisa, 33% obtiveram consumo médio mensal igual ou inferior a 10 m³.

Foi verificado o indicador de consumo de água dentre as duas faixas de renda avaliadas na pesquisa. Constatou-se que não houve diferença considerável de consumo diário por pessoa entre as diferentes faixas de renda. As famílias com renda de até três salários mínimos (21 famílias) consumiram em média 153 L/hab.dia equivalente ao total de 374 L/dia enquanto, famílias com renda entre três e cinco salários mínimos (27 famílias), 164 L/hab.dia, equivalente a 616 L/dia. O consumo mínimo verificado nas duas faixas de renda supracitadas foi de 39 L/hab.dia e 45 L/hab.dia, respectivamente. O consumo máximo, foi de 242 L/hab.dia e 455 L/hab.dia, respectivamente.

O indicador adotado no estudo de caso foi calculado por meio da média ponderada dos indicadores médios das duas faixas de renda, e resultou em 159 L/hab.dia.

Estes resultados indicaram que o consumo médio de água *per capita* é similar aos valores propostos para habitações de interesse social encontrados em outros estudos realizados no Brasil (OLIVEIRA et al., 2006; DANTAS et al., 2006; YWASHIMA et al., 2006, VIEIRA, 2012).

Foi avaliada a correlação entre o consumo médio de água *per capita* e a renda das famílias avaliadas na pesquisa, conforme apresenta a Figura 6.3.

Notou-se por meio da análise da Figura 6.3, que não há correlação entre o consumo médio mensal e consumo médio de água *per capita* com a renda das famílias avaliadas. Diferentemente de outros estudos existentes na literatura (COHIM et al., 2008; ALMEIDA, 2007), o consumo de água para as famílias estava relacionado com o estilo de vida dos moradores, e não a renda total familiar. Notou-se em entrevistas que muitos moradores, ou pelo menos alguns membros das famílias, preparavam as suas refeições em casa, o que influencia muito o consumo de água para cozinhar e lavar louça (torneira da cozinha). Enquanto que, para famílias com renda mais elevada, almoçar em restaurante pode ser mais frequente. Além disso, algumas famílias usam água da torneira da cozinha para beber. Resultados semelhantes para as famílias de baixa

renda em Florianópolis foram descritos por Vieira (2012), onde as residências com maior permanência dos moradores em casa apresentaram maior consumo de água.

Figura 6.2 – Consumo de água para as 48 habitações.

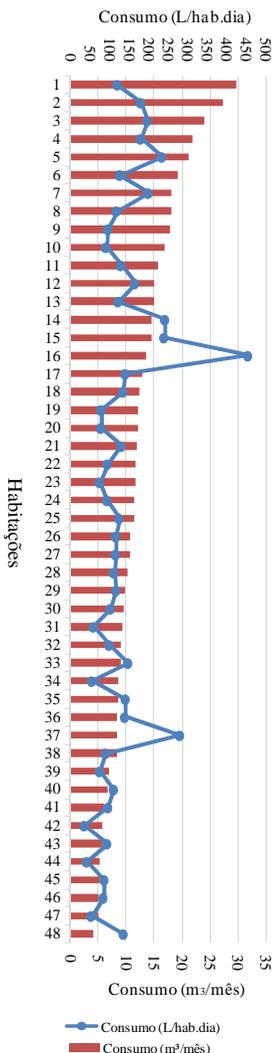
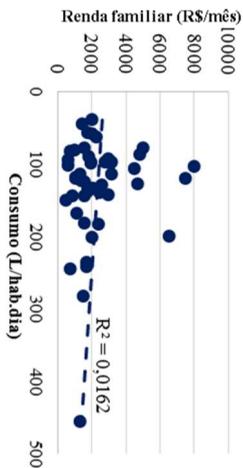
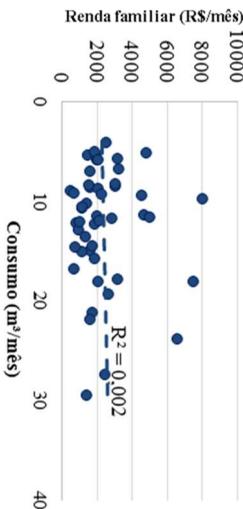


Figura 6.3 – (a) e (b) Correlação entre consumo médio de água e renda.

(a) Consumo per capita



(b) Consumo da família



6.1.2 Potencial de economia de água potável por meio de fontes alternativas

Primeiramente verificou-se o potencial de economia de água potável resultante apenas do aproveitamento de água pluvial. A Tabela 6.5 apresenta as variáveis de entrada utilizadas na simulação no programa Netuno para verificar o potencial de economia de água e o volume ideal do reservatório inferior de reservação de água pluvial.

Tabela 6.5 – Variáveis de entrada para a simulação no programa Netuno.

Dados de entrada	Unid.	Unid.	Unid.
Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	10,3	42,9	60,0
Reservatório superior de água pluvial (litros)	100	300	400
Demanda de água potável fixa (litros <i>per capita</i> /dia)	159		
Número de moradores (pessoas)	4		

Os resultados do volume ideal do reservatório inferior de água pluvial e de potencial de economia de água potável obtidos nas simulações no programa Netuno para a demanda mínima, média e máxima foram respectivamente: 3000 litros e 10,0%; 6000 litros e 35,1%; 5000 litros e 39,0%. Para facilitar a visualização dos resultados obtidos no programa Netuno, a Figura 6.4 apresenta o potencial de economia de água por volume de reservatório inferior para os percentuais de água potável a ser substituída por pluvial avaliados. O potencial de economia de água potável aumenta gradativamente até o valor do volume ideal. Depois disso, a curva se estabiliza, e a partir do volume ideal é pequeno o incremento do potencial de economia. Ressalta-se que esses resultados são referentes apenas ao aproveitamento de água pluvial isoladamente.

Como a oferta de água cinza superou a demanda (abastecimento de bacia sanitária), o potencial de economia de água potável obtido como o uso de água cinza foi igual à demanda, que é equivalente 3,55 m³/mês, ou seja, 19,4% do consumo total de água da habitação. Esse percentual foi verificado na estimativa dos usos finais médios de água.

Foi calculado o potencial de economia resultante da integração do aproveitamento de água pluvial e água cinza. Para tanto, diminuiu-se o potencial de economia derivado do uso de água cinza (19,4%) do percentual de água potável a ser substituída por pluvial médio (42,9%) e máximo (60,0%) e assim obteve-se o percentual médio de 23,5% e máximo de 40,6%. O percentual mínimo de água potável a ser substituída

por pluvial (10,3%) foi desconsiderado por ser inferior ao potencial de economia decorrente do uso de água cinza. Com esses dados de percentual de água potável a ser substituída por pluvial (demanda de água pluvial) alterados simulou-se novamente no programa Netuno, utilizando os novos dados expostos na Tabela 6.6. Os demais dados de entrada para a simulação permaneceram inalterados.

Figura 6.4 – Volume ideal do reservatório inferior e potencial de economia de água potável obtidos nas simulações no programa Netuno.

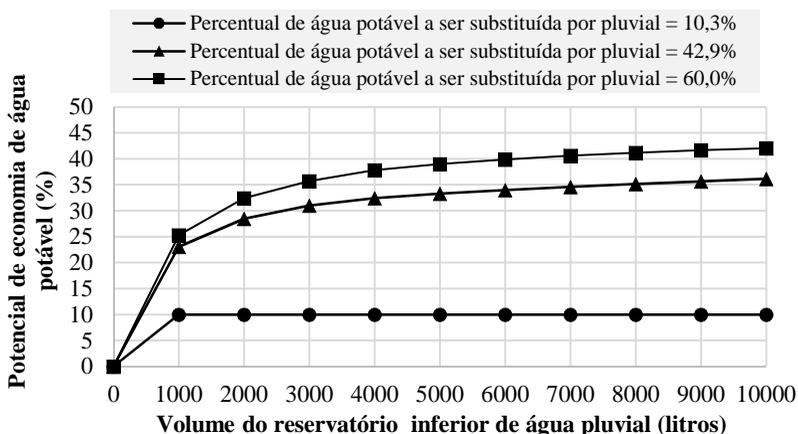


Tabela 6.6 – Variáveis de entrada usadas na segunda simulação no programa Netuno.

Dados de entrada	Unid.	Unid.
Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	23,5%	40,6%
Reservatório superior de água pluvial (litros)	150	300

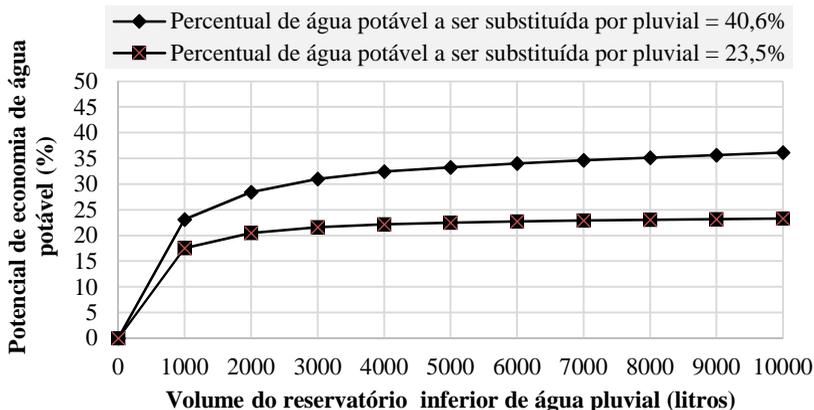
Obteve-se nas simulações no programa Netuno o volume ideal do reservatório e potencial de economia de água, respectivamente igual a 5000 litros e 22,5% para o percentual médio, e 6000 litros e 34,0% para o máximo, conforme apresentado na Figura 6.5.

O Apêndice IV apresenta todos os resultados das simulações no programa Netuno após integração do aproveitamento de água pluvial e água cinza utilizando o percentual médio e máximo de água potável a ser substituída por pluvial.

Por fim, o potencial total de economia de água potável devido à

integração do aproveitamento de água pluvial e água cinza foi obtido somando-se os respectivos potenciais de cada fonte de água. Considerando as demandas de água pluvial após a integração, o potencial médio de economia obtido foi de 41,9% (19,4% + 22,5%), enquanto o máximo potencial de economia de água foi de 53,4% (19,4% + 34,0%).

Figura 6.5 – Volume ideal do reservatório inferior e potencial de economia de água potável obtidos após a integração de água pluvial e água cinza.



A Tabela 6.7 apresenta o volume de água potável economizado (economia média) com a adoção das fontes alternativas de água na habitação modelo no horizonte de tempo. É importante destacar que esses resultados da tabela supracitada se referem à economia decorrente da integração das fontes alternativas, pois a economia média de água potável exclusiva com o aproveitamento de água pluvial (considerando que na habitação existisse apenas o subsistema pluvial) seria igual a 19.555,5 m³ (de acordo com o valor do potencial médio de economia de 35,1% obtido no programa Netuno).

Tabela 6.7 – Economia média de água potável no horizonte de tempo.

Cenário	Economia média de água potável (m ³)
Subsistema pluvial	12.535,6
Subsistema cinza	10.808,4
Sistema integrado	23.344,0

A Tabela 6.8 apresenta o volume total de água potável consumido em cada cenário de fornecimento de água na habitação modelo.

Tabela 6.8 – Volume total de água potável consumido na habitação durante o horizonte de tempo em cada cenário de fornecimento de água

Cenário	Volume total de água potável consumido na habitação (m ³)
Sistema convencional	55.713,6
Sistema integrado	32.369,6

6.1.3 Volume ideal para os reservatórios

O volume ideal do reservatório inferior de reservação de água pluvial indicado pelo programa Netuno para a demanda mínima de água pluvial foi igual a 3000 litros e para o percentual médio, foi igual a 5000 litros e 6000 litros para o percentual máximo. Esses volumes já foram citados no item anterior para facilitar a compreensão global dos resultados.

Com a integração do aproveitamento de água pluvial e água cinza, o volume do reservatório superior de água pluvial adotado de acordo com as demandas de água pluvial mínima, média e máxima foi igual: 100 litros, 150 litros e 300 litros, respectivamente. Esses volumes referem-se aos volumes disponíveis no mercado iguais ou imediatamente acima da demanda diária de água pluvial.

O volume adotado para os reservatórios superior e inferior de cinza foi de 250 litros (em ambos os reservatórios), referente ao armazenamento da demanda diária de água cinza.

A Tabela 6.9 apresenta um resumo de alguns dados utilizados nas simulações no programa Netuno e dos resultados obtidos.

Tabela 6.9 – Resultados do volume ideal do reservatório inferior e superior e potencial de economia de água potável.

Cenários	Demanda de água pluvial (%)	Volume ideal do reservatório inferior (litros)	Economia de água potável (%)	Volume do reservatório superior de água pluvial (litros)
Subsistema pluvial	10,3	3000	10,1	100
	42,9	6000	35,1	300
	60,0	5000	39,0	400
Subsistema cinza	--	250	19,4	250
Sistema integrado	23,5	5000	41,9	150
	40,6	6000	53,4	300

Para a análise ambiental do sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza serão utilizados os volumes de reservatório referentes à demanda média de água pluvial após a integração das fontes alternativas avaliadas (23,5%):

- Reservatório inferior de água pluvial de 5000 litros e superior de 150 litros,
- Reservatório inferior de água cinza de 250 litros e superior de 250 litros.

Quanto ao volume para o reservatório de água potável, para o cenário em que a habitação modelo usa apenas água da rede pública, utilizou-se um reservatório de água potável de 1500 litros para suprir o dobro da demanda diária de água potável.

No cenário em que a habitação modelo apresenta o sistema integrado, foi adotado o volume comercial igual a 1000 litros para o reservatório de água potável para suprir a demanda diária de água potável da residência.

6.1.4 Potencial de redução de esgoto

O potencial de redução de esgoto devido ao aproveitamento de água cinza na habitação modelo resultou em 40%, e a área superficial da *wetland* subsuperficial de fluxo vertical construída para tratamento dos efluentes, resultou em 1,3 m². Esse potencial é semelhante ao obtido no estudo realizado por Vieira (2012), também em habitações de interesse social localizadas em Florianópolis/SC, onde o uso de água cinza promoveu 58% de redução de efluentes para o sistema público de esgoto.

O potencial de redução de efluentes domésticos com o aproveitamento de água pluvial é nulo. Portanto, verificou-se que o aproveitamento de água cinza promoveu uma significativa redução do volume de efluentes destinados à rede pública de esgoto. Além disso, o aproveitamento de água cinza trata os efluentes do chuveiro, lavadora de roupas, tanque e lavatório no sistema de tratamento por *wetland*, o que reduz a carga de poluentes.

Por fim, verificou-se o volume total de esgoto gerado no horizonte de tempo por cenário de fornecimento de água (Tabela 6.10) com base no indicador de consumo de água e percentual de redução de efluentes com o uso de água cinza.

Tabela 6.10 – Volume total de esgoto gerado no horizonte de tempo por cenário de fornecimento de água.

Cenário	Esgoto gerado (m³)
Sistema convencional	55.713,6
Sistema integrado	33.428,2

6.2 *Unidade funcional*

De posse dos resultados de consumo de água verificados no item 6.1, foi calculada a unidade funcional – volume total de água consumido na habitação modelo durante o horizonte de tempo de 20 anos – que totalizou 55.713,6 m³ de água.

A quantificação das entradas usadas nas simulações do ciclo de vida dos sistemas no *SimaPro* foi realizada considerando a unidade funcional supracitada.

6.3 *Consumo de energia para a operação*

Neste item estão apresentados os resultados de consumo de energia para tratamento e abastecimento de água potável; consumo de energia para o recalque de água pluvial e água cinza, e consumo de energia para a coleta e tratamento do esgoto gerado.

Para estimar o consumo de energia para a operação das motobombas para o recalque de água pluvial e água cinza foram utilizadas as Equações 18 e 19 do item 5.6.4. As motobombas operam uma vez ao dia, recalcando o volume referente à demanda total diária de água pluvial (150 litros) e a demanda total diária de água cinza (250 litros) dos respectivos reservatórios inferiores para os reservatórios superiores.

Verificou-se a intensidade energética de conjuntos motobomba entre 1/4 e 1 cv para o recalque de água do reservatório inferior para o superior de água cinza ou pluvial considerando uma partida ao dia do conjunto motobomba, consumo de 250 litros de água cinza e 150 litros de água pluvial diários e perdas por *standby* de 2 W.

O conjunto motobomba adotado para recalque de água cinza apresentou intensidade energética de 0,31 kWh/m³ a uma vazão igual a 2,2 L/s e a altura manométrica de 5,8 m. Adotou-se também para o recalque de água pluvial um conjunto motobomba com a mesma intensidade energética das motobombas que recalcam água cinza. Assim, verificou-se que o consumo total de energia elétrica para o recalque de água no sistema integrado no horizonte de estudo seria de 7283,3 kWh,

sendo que desse total, 3.372,2 kWh são referentes ao recalque de água cinza e 3.911,1 kWh, ao recalque de água pluvial.

A energia para tratamento e abastecimento de água potável e coleta e tratamento de esgoto (0,35 kWh/m³ e 0,57 kWh/m³, respectivamente), para os cenários de fornecimento de água foi verificada com base nos dados de 2008 a 2013 do SNIS. A Tabela 6.11 apresenta uma síntese do consumo de energia para a operação dos sistemas no horizonte de tempo por cenário avaliado. Verificou-se que a implantação do sistema integrado gerou uma redução de 36,1% no consumo total de energia para a operação em relação ao cenário do sistema convencional.

Tabela 6.11 – Consumo de energia para a operação dos sistemas no horizonte de tempo.

Cenário de fornecimento de água	Consumo de energia elétrica (kWh)			
	Recalque de água	Tratamento e abastecimento de água	Coleta e tratamento de esgoto	Energia total para a operação
Sistema convencional	--	19.685,5	31.571,0	51.256,5
Sistema integrado	7.283,3	11.437,3	18.942,6	37.663,2
Subsistema pluvial	3.911,1	5.295,6	18.942,6	28.995,5
Subsistema cinza	3.372,2	6.141,7	-	9.514,0

6.4 Processos adotados na base de dados

A partir dos dados dos equipamentos componentes dos sistemas definidos no item 5.3 procurou-se dentro do banco de dados do programa *SimaPro* os mesmos elementos. Quando estes não estavam disponíveis, foram adotados materiais com características semelhantes, a fim de que a análise do ciclo de vida pudesse ser realizada. Após levantados os quantitativos, cada um dos materiais foi correlacionado ao respectivo processo da base de dados *Ecoinvent*® v.2.2 conforme apresentado nas Tabelas 6.12 a 6.14.

Tabela 6.12 – Quantitativos e processos envolvidos na implantação, operação, manutenção e disposição final do sistema convencional.

Sistema	Funções	Componentes	Etapas no ciclo de vida	Qtde. total (ton ou tkm)	Un.	Processo na base Ecoinvent v. 2.2
Sistema convencional	Tratamento de água na concessionária	--	Operação	19685,5	kWh	<i>electricity, high voltage, production BR, at grid/kWh/BR U</i>
	Armazenamento de água potável	Reservatório superior - 1500 L - PEAD	Fabricação	0,0074	ton.	<i>Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RE R U</i>
				0,5658	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
			Disposição final	0,0074	ton.	<i>Disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal/CH U</i>
				0,1136	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
	Distribuição da água potável	Tubulações - PVC	Fabricação	0,0027	ton.	<i>Polyvinylchloride, suspension polymerised, at plant/RE R U</i>
				0,2157	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
			Disposição final	0,0027	ton.	<i>Disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal/CH U</i>
				0,0539	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
		Conexões - PVC	Fabricação	0,0011	kg	<i>Polyvinylchloride, suspension polymerised, at plant/RE R U</i>
				0,0868	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
	Disposição final	0,0011	ton.	<i>Disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal/CH U</i>		
		0,0217	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>		
	Coleta e tratamento de esgoto	--	Operação	31571,0	kWh	<i>electricity, high voltage, production BR, at grid/kWh/BR U</i>

Tabela 6.13 – Quantitativos e processos envolvidos na implantação, operação, manutenção e disposição final do subsistema pluvial.

Subsistema	Funções	Componentes	Etapas no ciclo de vida	Qtde. total (ton ou tkm)	Un.	Processo na base Ecoinvent v. 2.2	
Subsistema água pluvial	Pré tratamento de água pluvial	Dispositivo de descarte do escoamento inicial - Bombona - PEAD	Fabricação	0,0012	ton.	<i>Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U</i>	
				0,2491	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
			Disposição final	0,0012	ton.	<i>Disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal/CH U</i>	
				0,0240	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
			Dispositivo de descarte de sólidos - ABS (Acrlonitrila Butadieno Estireno)	Fabricação	0,0016	ton.	<i>Acrylonitrile-butadiene-styrene copolymer, ABS, at plant/RER U</i>
				0,0102	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
			Disposição final	0,0016	ton.	<i>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U</i>	
				0,0320	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
		Armazenamento I e II de água pluvial	Reservatório inferior 5000 litros - PEAD	Fabricação	0,0292	ton.	<i>Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U</i>
				2,2395	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
				Disposição final	0,0292	ton.	<i>Disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal/CH U</i>
					0,4497	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
			Reservatório superior - 150 L - PEAD	Fabricação	0,0014	ton.	<i>Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U</i>
					0,1061	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
			Disposição final	0,0014	ton.	<i>Disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal/CH U</i>	
				0,0213	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
		Freio d'água - PE (Polietileno)	Fabricação		0,0002	ton.	<i>Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U</i>
					0,0013	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
				Disposição final	0,0002	ton.	<i>Disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal/CH U</i>
					0,0040	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
			Sifão extravasor - PE (Polietileno)	Fabricação	0,0008	ton.	<i>Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U</i>
					0,0051	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
			Disposição final	0,0008	ton.	<i>Disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal/CH U</i>	
				0,0160	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
		Conjunto mangueira boia - Boia (PEAD)	Fabricação	0,00008	ton.	<i>Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U</i>	
				0,00102	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
				Disposição final	0,00008	ton.	<i>Disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal/CH U</i>
					0,00320	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
		Conjunto mangueira boia - Peneira de latão	Fabricação	0,00020	ton.	<i>Brass, at plant/CH U</i>	
				0,00256	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
			Disposição final	0,00020	ton.	<i>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U</i>	
				0,00800	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
	Conjunto mangueira boia - Mangueira de Silicone	Fabricação	0,00208	ton.	<i>Silicone product, at plant/RER U</i>		
			0,02662	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>		
			Disposição final	0,00208	ton.	<i>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U</i>	
				0,08320	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	

Tabela 6.13 – Quantitativos e processos envolvidos na implantação, operação, manutenção e disposição final do subsistema pluvial
(*Continuação*)

Subsistema	Funções	Componentes	Etapas no ciclo de vida	Qtde. total (ton ou tkm)	Un.	Processo na base Ecoinvent v. 2.2	
Subsistema água pluvial	Tratamento de água pluvial	Conjunto mangueira boia - Braçadeiras e anel em aço inox	Fabricação	0,00004	ton.	<i>Chromium steel 18/8, at plant/RER U</i>	
				0,00051	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
			Disposição final	0,00004	ton.	<i>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U</i>	
				0,00160	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
			Conjunto mangueira boia - Válvula Anti-retorno e conector angular de latão	Fabricação	0,00002	ton.	<i>Brass, at plant/CH U</i>
					0,00020	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
		Disposição final	0,00002	ton.	<i>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U</i>		
			0,00064	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>		
		Clorador flutuante - PS (<i>Poliestireno</i>)	Fabricação	0,01133	ton.	<i>Polystyrene, general purpose, GPPS, at plant/RER U</i>	
				80,8444	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
				Disposição final	0,01133	ton.	<i>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U</i>
		4,4444	tkm		<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>		
	Recaque de água pluvial	Eleetroboia de nível - PEAD (componente do Realimentador)	Fabricação	0,00006	ton.	<i>Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U</i>	
				0,01133	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
			Disposição final	0,00006	ton.	<i>Disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal/CH U</i>	
				0,04115	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
			Válvula solenóide - Latão (componente do Realimentador)	Fabricação	0,00113	ton.	<i>Brass, at plant/CH U</i>
					0,02284	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
		Disposição final	0,00113	ton.	<i>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U</i>		
			0,08889	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>		
		Registro - Latão (componente do Realimentador)	Fabricação	0,00007	ton.	<i>Brass, at plant/CH U</i>	
				0,01152	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
			Disposição final	0,00007	ton.	<i>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U</i>	
				0,04074	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
		Motobombas - Ferro fundido	Fabricação	0,03889	ton.	<i>Cast iron, at plant/RER S</i>	
				13,61111	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
			Disposição final	0,03889	ton.	<i>Fe fraction, mechanical treatment, industrial devices, at plant/GLO U</i>	
3,2407				tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>		
Operação		977,7737	kWh	<i>electricity, high voltage, production BR, at grid/kWh/BR U</i>			
		Distribuição da água pluvial	Tubulações - PVC	Fabricação	0,00085	ton.	<i>Polyvinylchloride, suspension polymerised, at plant/RER U</i>
0,6829	tkm				<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>		
Disposição final	0,00085			ton.	<i>Disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal/CH U</i>		
	0,1707		tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>			
Conexões - PVC	Fabricação		0,0010	ton.	<i>Polyvinylchloride, suspension polymerised, at plant/RER U</i>		
			0,0829	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>		
	Disposição final	0,0010	ton.	<i>Disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal/CH U</i>			
0,0207	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>					
Tratamento de água potável na concessionária	--	Operação	5295,5	kWh	<i>electricity, high voltage, production BR, at grid/kWh/BR U</i>		
Coleta e tratamento de esgoto	--	Operação	18942,6	kWh	<i>electricity, high voltage, production BR, at grid/kWh/BR U</i>		

Tabela 6.14 – Quantitativos e processos envolvidos na implantação, operação, manutenção e disposição final do subsistema cinza.

Subsistema	Funções	Componentes	Etapas no ciclo de vida	Qtde. total (ton ou tkm)	Un.	Processo na base Ecoinvent v. 2.2
Subsistema água cinza	Pré tratamento de água cinza (sistema de wetland)	Concreto	Fabricação	0,022	m³	concret, normal, at plant/m³/CH
				0,017	ton.	
				0,624	tkm	
			Disposição final	0,022	ton.	disposal, building, concrete, not reinforced, to final disposal/kg/CH
				0,867	tkm	
				0,009	tkm	
		Argamassa de assentamento	Fabricação	0,009	ton.	adhesive mortar, at plant/kg/CH
				0,905	tkm	
				0,009	ton.	
			Disposição final	0,009	ton.	disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal/kg/CH
				0,450	tkm	
				0,450	tkm	
		Argamassa impermeabilizante	Fabricação	0,003	ton.	cement mortar, at plant/kg/CH
				0,278	tkm	
				0,003	ton.	
			Disposição final	0,138	tkm	disposal, building, cement (in concrete) and mortar, to final disposal/kg/CH
				0,138	tkm	
				0,246	ton.	
	Pedra britada	Fabricação	99,299	tkm	transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH	
			0,246	ton.		
			12,320	tkm		
		Disposição final	0,092	ton.	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH U	
			2,308	tkm		
			0,092	ton.		
	Areia média	Fabricação	0,092	ton.	silica sand, at plant/kg/DE	
			2,308	tkm		
			0,092	ton.		
		Disposição final	0,092	ton.	Disposal, inert waste, 5% water, to inert material landfill/CH U	
4,615			tkm			
0,092			ton.			
Armazenamento I e II de água cinza	Reservatório inferior 250 litros - PEAD	Fabricação	0,002	ton.	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	
			0,490	tkm		
			0,002	ton.		
		Disposição final	0,002	ton.	Disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal/CH U	
			0,098	tkm		
			0,002	ton.		
	Reservatório superior - 250 litros - PEAD	Fabricação	0,002	ton.	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	
			0,490	tkm		
		Disposição final	0,002	ton.	Disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal/CH U	
			0,098	tkm		
Tratamento de água cinza	Conjunto mangueira boia - Boia - PEAD	Fabricação	0,0001	ton.	Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U	
			0,0010	tkm		
		Disposição final	0,0001	ton.	Disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal/CH U	
			0,0032	tkm		
	Conjunto mangueira boia - Peneira de latão	Fabricação	0,0002	ton.	Brass, at plant/CH U	
			0,0026	tkm		
		Disposição final	0,0002	ton.	Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U	
			0,0080	tkm		

Tabela 6.14 – Quantitativos e processos envolvidos na implantação, operação, manutenção e disposição final do subsistema cinza (Continuação).

Subsistema	Funções	Componentes	Etapas no ciclo de vida	Qtde. total (ton ou tkm)	Un.	Processo na base Ecoinvent v. 2.2
Subsistema água cinza	Tratamento de água cinza	Conjunto mangueira boia - Mangueira de silicone	Fabricação	0,0021	ton.	<i>Silicone product, at plant/RER U</i>
				0,0266	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
			Disposição final	0,0021	ton.	<i>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U</i>
				0,0832	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
		Conjunto mangueira boia - Braçadeiras e anel em aço inox	Fabricação	0,00004	ton.	<i>Chromium steel 18/8, at plant/RER U</i>
				0,0005	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
			Disposição final	0,0000	ton.	<i>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U</i>
				0,0016	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
		Conjunto mangueira boia - Válvula Anti-retorno e conector angular de Latão	Fabricação	0,0002	ton.	<i>Brass, at plant/CH U</i>
				0,0020	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
			Disposição final	0,0002	ton.	<i>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U</i>
				0,0064	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
	Recalque de água cinza	Eleetroboia de nível - PEAD (componente do Realimentador)	Fabricação	0,001	ton.	<i>Polyethylene, HDPE, granulate, at plant/RER U</i>
				0,013	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
				0,001	ton.	<i>Disposal, building, polyethylene/polypropylene products, to final disposal/CH U</i>
			Disposição final	0,041	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
				0,001	ton.	<i>Brass, at plant/CH U</i>
				0,028	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
		Válvula solenóide - Latão (componente do Realimentador)	Fabricação	0,001	ton.	<i>Brass, at plant/CH U</i>
				0,015	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
			Disposição final	0,001	ton.	<i>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary</i>
				0,089	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
		Registro - Latão (componente do Realimentador)	Fabricação	0,001	ton.	<i>Brass, at plant/CH U</i>
				0,015	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
				0,001	ton.	<i>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary</i>
			Disposição final	0,047	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
				0,039	ton.	<i>Cast iron, at plant/RER S</i>
				13,611	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
		Motobombas - Ferro fundido	Fabricação	0,039	ton.	<i>Cast iron, at plant/RER S</i>
				13,611	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
	0,039			ton.	<i>Disposal, inert material, 0% water, to sanitary landfill/CH U</i>	
	Disposição final		3,241	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
			3372,2	kWh	<i>electricity, high voltage, production BR, at grid/kWh/BR U</i>	
			0,001	ton.	<i>Polyvinylchloride, suspension polymerised, at plant/RER U</i>	
	Distribuição da água cinza	Tubulações - PVC	Fabricação	0,001	ton.	<i>Polyvinylchloride, suspension polymerised, at plant/RER U</i>
				0,080	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>
Disposição final			0,001	ton.	<i>Disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal/CH U</i>	
			0,020	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
Conexões - PVC		Fabricação	0,002	kg	<i>Polyvinylchloride, suspension polymerised, at plant/RER U</i>	
			0,127	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
			0,002	ton.	<i>Disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal/CH U</i>	
		Disposição final	0,002	ton.	<i>Disposal, building, polyvinylchloride products, to final disposal/CH U</i>	
			0,032	tkm	<i>transport, lorry 3.5-20t, fleet average/tkm/CH</i>	
			6141,7	kWh	<i>electricity, high voltage, production BR, at grid/kWh/BR U</i>	
Tratamento de água potável na concessionária	--	Operação	6141,7	kWh	<i>electricity, high voltage, production BR, at grid/kWh/BR U</i>	
Coleta e tratamento de esgoto	--	Operação	0	kWh	<i>electricity, high voltage, production BR, at grid/kWh/BR U</i>	

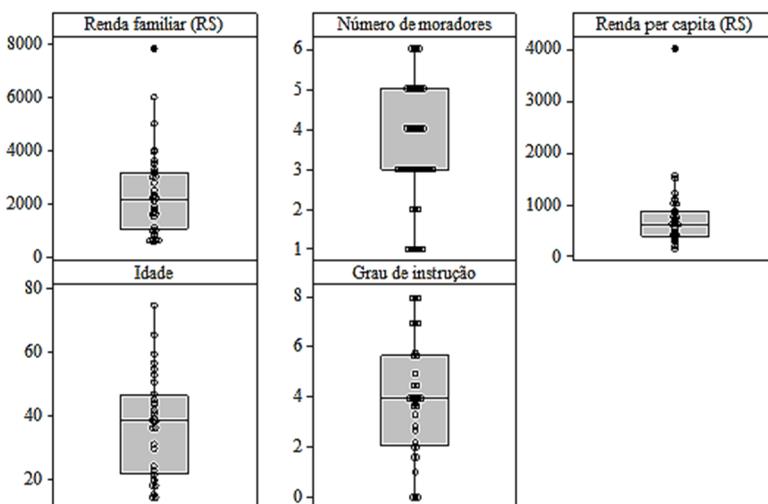
6.5 Impactos sociais

6.5.1 Características socioeconômicas

As características socioeconômicas das famílias pesquisadas estão resumidas na Figura 6.6. A renda familiar máxima verificada foi igual a R\$ 8000,00, enquanto a renda *per capita* máxima foi igual a R\$ 4000,00. No entanto, as medianas são bem diferentes, indicando que esses valores extremos possivelmente são valores espúrios.

A mediana da renda familiar é de aproximadamente R\$ 2000,00 e a mediana da renda *per capita* é de aproximadamente R\$ 650,00. O número de ocupantes varia de um a seis moradores por residência, sendo que o número mediano verificado foi de quatro moradores. A idade mediana é de 39 anos enquanto a escolaridade mediana é de 4, o que equivale ao ensino fundamental do 5º ao 9º ano incompleto.

Figura 6.6 – Características socioeconômicas da amostra.



Com base nos resultados obtidos na avaliação socioeconômica notou-se que a renda familiar mediana se encontrou ligeiramente acima de três salários mínimos (R\$ 1,866,00 – abril de 2012) - um dos requisitos para participar da amostra. No entanto, as habitações avaliadas na pesquisa se caracterizaram como habitações de interesse social por estar localizadas em áreas de interesse social e também por ser financiadas pelo programa Minha Casa Minha Vida.

Os dados socioeconômicos da amostra de habitações estudadas foram comparados com os indicadores socioeconômicos do Brasil obtidos no censo demográfico do IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - no ano 2010.

Quanto ao número mediano de ocupantes das habitações, notou-se que o número verificado na pesquisa (quatro moradores) está acima do número médio de habitantes por moradia no Brasil, de 3,3 pessoas (IBGE, 2010).

A idade mediana dos moradores participantes da pesquisa (39 anos) foi maior que a idade média da população brasileira residindo em áreas urbanas de 32,3 anos (IBGE, 2010).

A escolaridade mediana verificada na pesquisa foi equivalente ao ensino fundamental incompleto. No Brasil, o percentual de pessoas sem instrução ou com o nível fundamental incompleto foi de 50,2% no ano de 2010. A taxa de pessoas com pelo menos curso superior completo foi de 7,9% (IBGE, 2010). Deste modo, a escolaridade verificada na amostra enquadra-se na média brasileira.

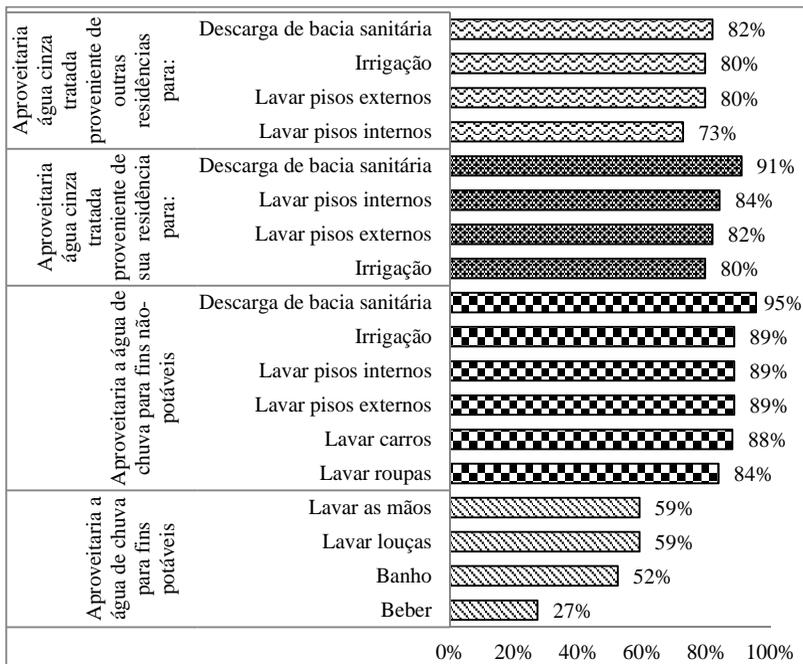
6.5.2 Aceitação social de fontes alternativas de água

A aceitabilidade de fontes alternativas de água nas habitações de interesse social estudadas apresenta-se sintetizada na Figura 6.7, que demonstra o percentual mínimo e máximo obtido na pesquisa de aceitação das fontes avaliadas.

Notou-se por meio da figura supracitada que de 27 a 59% dos moradores entrevistados usariam água pluvial para fins potáveis, após tratamento adequado. Verificou-se um elevado grau de aceitação do uso de água pluvial para fins não potáveis, o qual variou entre 84 e 95%. O percentual máximo de aceitação (95%) refere-se ao uso da água pluvial para descarga da bacia sanitária.

Quanto à utilização de água cinza tratada para fins não potáveis, constatou-se que de 80 a 91% dos entrevistados usariam essa água. A aceitação é menor para os usos onde o contato com a água cinza é maior que no caso dos usos em que o contato é mínimo, por exemplo, em bacias sanitárias. De 73 a 82% usariam água cinza tratada proveniente de outras residências vizinhas. A aceitabilidade do aproveitamento de água cinza é fortemente influenciada pela finalidade da utilização da água.

Foi verificado que há maior aceitação do usuário quando a água é oriunda da própria residência, em contraposição à alternativa desta ter origem em residências vizinhas.

Figura 6.7 – Percentual de aceitabilidade social máxima e mínima de fontes alternativas de água.

A Tabela 6.15 apresenta o percentual de respostas verificado em algumas questões do questionário socioeconômico utilizado na pesquisa. Essas perguntas referem-se principalmente à percepção dos moradores quanto ao fornecimento de água na sua residência e a coleta de esgoto doméstico.

Observou-se que a maior parcela dos participantes da pesquisa mora em residências próprias e a medição de água é realizada por meio de hidrômetros individualizados.

Observou-se que a maior parcela dos participantes da pesquisa mora em residências próprias e a medição de água é realizada por meio de hidrômetros individualizados. Verificou-se também que o problema de falta de água no verão ocorre sempre em 25% das residências e nunca ocorre em 25% das residências.

A disposição do esgoto é realizada por meio de fossa e sumidouro em 57% das habitações e, através da rede pública, em 40%. Quanto à qualidade da água fornecida pela concessionária, 58% consideram-na boa. Em 80% das residências desconhece-se a existência de vazamentos.

A respeito da tarifa de água, 41% dos moradores acham a tarifa cara, no entanto, apenas 23% tem conhecimento da tarifa social para cobrança da água.

Tabela 6.15 – Respostas do questionário socioeconômico.

Ocupação da residência (pelo morador):					
Opção	Alugada	Cedida	Própria		
Resposta	16%	5%	79%		
A Medição de água é feita com hidrômetro:					
Opção	comunitário	individualizado	nenhum		
Resposta	40%	58%	2%		
Falta água no verão?					
Opção	sempre	às vezes	raramente	nunca	
Resposta	25%	30%	20%	25%	
Falta água no inverno?					
Opção	sempre	às vezes	raramente	nunca	
Resposta	9%	19%	28%	44%	
Existem vazamentos de água?					
Opção	muitos	alguns	poucos	nenhum	
Resposta	9%	4%	7%	80%	
Tratamento do esgoto: (*fossa, sumidouro)					
Opção	local*	sem tratamento	rede pública		
Resposta	57%	2%	40%		
Qualidade da água					
Opção	muito boa	boa	regular	ruim	muito ruim
Resposta	5%	58%	30%	8%	0%
Considera a tarifa de água cara?					
Opção	Sim	Não			
Resposta	41%	59%			
Conhece Tarifa Social para água?					
Opção	Sim	Não			
Resposta	23%	77%			

Verificou-se que apenas algumas aceitações puderam ser explicadas pelas variáveis socioeconômicas. As variáveis de aceitação que não apresentaram correlação com nenhuma variável socioeconômica foram omitidas ou inseridas com o símbolo "--" nas Tabelas 6.16 e 6.17.

O coeficiente de *Pearson* indica a importância de correlação entre as variáveis estudadas. O valor-p (*p-value*) é a probabilidade de se rejeitar a hipótese que o coeficiente de correlação seja nulo. Quanto maior for o valor absoluto do coeficiente, maior a correlação, em que os valores positivos e negativos indicam uma correlação direta e inversa, respectivamente. Portanto, para as correlações positivas, um aumento da variável socioeconômica leva a um aumento da aceitação do público e, por outro lado, para a correlação negativa é o oposto.

Tabela 6.16 – Correlação de Pearson entre Idade e Grau de instrução.

Variável	Dados	Idade (anos)	Grau de instrução
Grau de instrução	Pearson's	0,459	--
	p-value	0,006	--
Aceitação de aproveitamento de água pluvial para beber	Pearson's	--	-0,322
	p-value	--	0,059
Aceitação de aproveitamento de água cinza da própria residência para irrigação de jardim	Pearson's	-0,365	-0,321
	p-value	0,031	0,060
Aceitação de aproveitamento de pelo menos uma finalidade de água cinza de sua residência	Pearson's	-0,349	--
	p-value	0,040	--

Tabela 6.17 – Correlação de Pearson entre a renda familiar e o número de habitantes.

Variável	Dados	Renda familiar (R\$)	Renda per capita (R\$/pessoa)	Número de habitantes
Número de habitantes	Pearson's	0,439	--	--
	p-value	0,004	--	--
Renda per capita (R\$/pessoa)	Pearson's	0,557	--	-0,323
	p-value	0,000	--	0,037
Idade (anos)	Pearson's	0,292	0,390	--
	p-value	0,094	0,023	--
Aceitação de aproveitamento de água pluvial para lavar as mãos	Pearson's	--	0,335	--
	p-value	--	0,030	--
Aceitação de aproveitamento de água pluvial para lavar carro	Pearson's	0,283	--	--
	p-value	0,070	--	--
Aceitação de aproveitamento de água cinza de outras residências para irrigação de jardim	Pearson's	0,272	--	0,285
	p-value	0,081	--	0,061
Aceitação de aproveitamento de água cinza de outras residências para descarga da bacia sanitária	Pearson's	0,261	--	0,282
	p-value	0,095	--	0,064

As Tabelas 6.16 e 6.17 mostram os resultados da correlação de *Pearson* que atenderam 90% de confiabilidade.

A aceitação de aproveitamento de água pluvial para beber está correlacionada ao grau de instrução, com 90% de confiabilidade. Quanto menor o grau de instrução, maior a aceitação. Isto ocorre, provavelmente, devido às características gerais da água pluvial (ou seja, baixa coloração

e turbidez), o que possivelmente faz com que o público a ache limpa, e, portanto, adequada para beber. No entanto, ao frequentar a escola, as pessoas aprendem sobre a importância do tratamento de água para redução de doenças, que normalmente é alcançado por sistemas de tratamento de água centralizados. Provavelmente, o grupo de maior escolaridade tem a percepção de que os parâmetros de potabilidade podem somente ser alcançados por meio de sistemas de água centralizados.

Da mesma forma que a aceitação da água pluvial, a aceitação da água cinza para fins de irrigação foi correlacionada com o nível de escolaridade, com 90% de confiabilidade. Acredita-se que o grau de instrução influenciou novamente na percepção das pessoas. Portanto, as pessoas com educação formal, provavelmente, estavam mais preocupadas com as questões de saúde, apesar da percepção intuitiva expressa pelas pessoas com baixo nível de escolaridade que a água cinza tratada de sua própria residência pode trazer riscos menores para a sua saúde. Provavelmente, o nível de educação influi na avaliação da viabilidade de sistemas descentralizados, como sistemas centralizados são a abordagem típica realizada em regiões desenvolvidas.

A aceitação do aproveitamento de água cinza da própria residência para irrigação de jardim está correlacionada com a idade média dos moradores e com o grau de instrução com 90% de confiabilidade. Quanto menor a idade e o grau de instrução, maior a aceitação. Possivelmente, isso se deve a uma mudança na forma como as pessoas percebem o desenvolvimento de casas e cidades do passado recente. É provável que as gerações mais jovens são mais propensas a aprender e aderir às novas práticas de desenvolvimento sustentável (por exemplo, o uso de fontes alternativas de água), pois eles têm tipicamente mais acesso a novas informações e não são baseadas no conhecimento passado.

O uso de água pluvial para a lavagem de carro foi diretamente correlacionado com a renda familiar. Certamente, as famílias mais ricas têm carros, enquanto as famílias mais pobres não têm. Portanto, o primeiro grupo pode aceitar mais água pluvial para lavagem de automóveis já que são mais propensos a usar água para este fim. Possivelmente, aspectos similares também pode ter influenciado a correlação positiva entre a lavagem das mãos e da renda *per capita*.

A aceitação do aproveitamento de água pluvial para lavar as mãos está correlacionada com a renda *per capita*; quanto maior a renda *per capita*, maior a aceitação. A aceitação do aproveitamento de água pluvial para lavar carro está correlacionada com a renda total; quanto maior a renda total, maior a aceitação.

A aceitação do aproveitamento de água cinza de outras residências para irrigação de jardim está correlacionada com a renda total e com o número de habitantes; quanto maior a renda ou o número de habitantes, maior a aceitação. Isto pode ser influenciado pela maior aceitação de água pluvial por parte das famílias com maior renda. Possivelmente, a introdução de uma fonte alternativa de água pode influenciar a aceitação de fontes alternativas de água.

O mesmo é observado para o aproveitamento de água cinza para descarga da bacia sanitária e irrigação; quanto maior a renda ou o número de habitantes, maior a aceitação. Possivelmente, as famílias menores estão mais preocupadas com os riscos à saúde devido ao contato com diferentes pessoas que famílias maiores, que podem ser visitados por um número maior de pessoas, e, portanto, são menos preocupadas com tal contato.

Verificou-se que a aceitação de aproveitamento de água pluvial para lavar louças e para banho não apresentou correlação com as variáveis socioeconômicas.

Nota-se que os níveis de educação e de idade da população influenciam na aceitação ao aproveitamento de água cinza, sendo que, em geral, a aceitação do usuário é crescente quanto menor forem esses índices. Com relação a variável renda, a aceitação do usuário é crescente quanto maior for a renda total ou *per capita*.

Os moradores com maior renda possivelmente possuem maior consciência ambiental e, assim a aceitação do aproveitamento de água cinza como fonte alternativa de água é diretamente proporcional à renda.

6.5.3 Matriz de análise dos impactos sociais

A Figura 6.8 apresenta a representação gráfica para melhor visualização dos resultados dos coeficientes de alteração definidos para a habitação em estudo.

Nesta etapa final da avaliação de impactos sociais, os indicadores foram avaliados por meio da matriz de análise e então foi verificado o índice geral de impacto social, conforme apresenta a Tabela 6.18.

Por meio da análise da matriz de ponderação é possível notar que a maioria dos impactos foram considerados positivos, exceto os impactos relacionados aos aspectos Saúde e Custos.

Figura 6.8 – Resultados dos coeficientes de alteração definidos para a habitação.

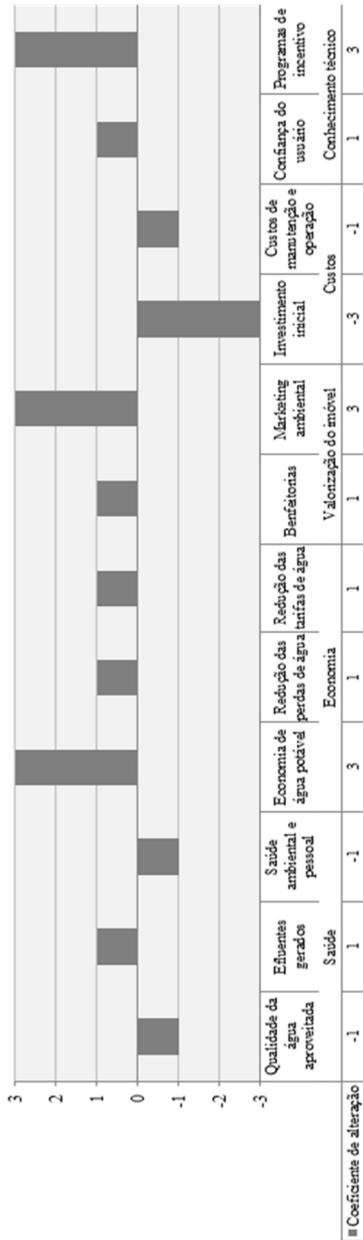


Tabela 6.18 – Matriz de análise dos impactos sociais.

Aspectos	Indicadores de impacto social	Escala de ocorrência	Fator de avaliação	Coeficiente de alteração	Peso do indicador	Coeficiente de impacto
Saúde	Qualidade da água aproveitada	Local	2	-1	0,05	-0,1
	Efluentes gerados	Entorno	5	1	0,1	0,5
Economia	Saúde ambiental e pessoal	Local	2	-1	0,1	-0,2
	Economia de água potável	Pontual	1	3	0,1	0,3
	Redução das perdas de água	Entorno	5	1	0,05	0,25
	Redução das tarifas de água	Pontual	1	1	0,1	0,1
Valonização do imóvel	Benefícios	Pontual	1	1	0,1	0,1
	Marketing ambiental	Pontual	1	3	0,05	0,15
Custos	Investimento inicial	Pontual	1	-3	0,15	-0,45
	Custos de manutenção e operação	Pontual	1	-1	0,1	-0,1
Conhecimento técnico	Confiança do usuário	Pontual	1	1	0,05	0,05
	Programas de incentivo	Entorno	5	3	0,05	0,75
<i>Índice geral de impacto social</i>						<i>1,35</i>

O índice geral de impacto social resultou em 1,35, de uma escala que varia entre -15 e +15. Logo, pode-se considerar que a implantação do sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza apresentou um baixo impacto social positivo. Neste caso, em virtude do impacto social geral ser positivo não é mandatório a elaboração de medidas de mitigação dos impactos. Porém, torna-se interessante a realização de uma análise dos indicadores de impacto com o objetivo de potencializar os efeitos positivos dos mesmos.

6.6 Impactos ambientais

A avaliação de impacto de ciclo de vida foi realizada utilizando os métodos de avaliação de impacto *ReCiPe H* e *CML 2 baseline 2000* gerenciados pelo *SimaPro*. Com os dados inseridos no programa computacional *SimaPro*, geraram-se tabelas e gráficos com os valores de impacto nas categorias avaliadas nas fases do ciclo de vida.

Foram realizadas inicialmente três simulações em cada cenário: uma utilizando o método de análise de impacto de ciclo de vida *ReCiPe midpoint*; outra para o *ReCiPe endpoint* e a terceira para o método *CML*.

Para cada método de avaliação de impacto, analisaram-se os resultados individualmente, levantando quais os processos mais impactantes e quais categorias de impacto foram mais relevantes. Verificou-se o *Hotspot* de cada cenário, isto é, o ponto de um determinado sistema onde se observa a melhor oportunidade de melhoria ambiental.

Os resultados foram analisados de acordo com os efeitos ambientais observados nas fases do ciclo de vida dos sistemas.

Como as categorias de impacto dos métodos *ReCiPe* e *CML* são caracterizadas em diferentes unidades, para facilitar a análise verificou-se os resultados dos impactos ambientais normalizados obtidos no programa *SimaPro* (resultados das categorias de impacto relacionados a uma situação de referência definida pelo método de AICV adotado).

6.6.1 Impactos ambientais avaliados pelo Método *ReCiPe*

Por meio do método *ReCiPe*, os impactos ambientais potenciais dos cenários em estudo foram avaliados em categorias de impactos *midpoint* e categorias *endpoint*. No nível de *midpoint*, as categorias de impacto são relatadas em função de unidades individuais para cada fator. Enquanto no nível *endpoint*, é implementada uma pontuação geral única.

6.6.1.1 Categorias de impactos em nível midpoint

Os resultados do impacto ambiental potencial total em suas unidades originais e por fase do ciclo de vida nas quatorze categorias de impacto *midpoint* prioritárias para o contexto da análise dos cenários em estudo estão apresentados nas Tabelas 6.19 e 6.20.

Tabela 6.19 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida para o cenário com sistema convencional pelo método *ReCiPe midpoint*.

Categoria de impacto/unidade	EI	EO	EFV	EAT
Potencial de aquecimento global (kg CO ₂ eq.)	3,34E+01	1,15E+04	3,08E+01	1,15E+04
Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq.)	1,83E-04	4,64E-04	1,93E-07	6,47E-04
Toxicidade humana (kg 1,4 - DB eq.)	5,35E+00	6,06E+02	5,21E+00	6,17E+02
Radiação ionizante (kg U ²³⁵ eq.)	1,68E-01	1,75E+03	1,53E+00	1,76E+03
Acidificação (kg SO ₂ eq.)	1,36E-01	1,01E+01	1,31E-02	1,03E+01
Eutrofização de águas potáveis (kg P eq.)	1,94E-03	6,39E-01	2,05E-03	6,43E-01
Eutrofização de águas marinhas (kg N eq.)	2,68E-03	4,47E-01	1,14E-03	4,51E-01
Ecotoxicidade dos solos (kg 1,4- DB eq.)	2,46E-03	1,49E+00	5,61E-04	1,49E+00
Ecotoxicidade águas potáveis (kg 1,4-DB eq.)	6,79E-02	1,32E+01	3,61E-01	1,36E+01
Ecotoxicidade águas marinhas (kg 1,4-DB eq.)	6,54E-02	1,25E+01	3,49E-01	1,30E+01
Transformação do ambiente natural (m ²)	1,58E-04	1,08E+01	3,51E-04	1,08E+01
Esgotamento de mananciais (m ³)	1,32E-01	2,56E+01	3,97E-02	2,58E+01
Depleção de recursos minerais (kg Fe eq.)	6,24E-02	1,33E+02	1,92E-01	1,33E+02
Depleção de recursos fósseis (kg oil eq.)	1,85E+01	1,38E+03	7,40E-01	1,40E+03

EI=Efeitos incorporados iniciais; *EO*=Efeitos de operação; *EFV*=Efeitos de final de vida; *EAT*=Efeitos ambientais totais

Tabela 6.20 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida para o cenário com sistema integrado pelo método *ReCiPe midpoint*.

Categoria de impacto/unidade	EI	EM	EO	EFV	EAT
Potencial de aquecimento global (kg CO ₂ eq.)	6,38E+02	1,58E+02	8,42E+03	1,79E+02	9,40E+03
Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq.)	3,04E-05	7,87E-06	3,41E-04	7,43E-06	3,87E-04
Toxicidade humana (kg 1,4 - DB eq.)	4,12E+02	1,27E+02	4,45E+02	4,76E+02	1,46E+03
Radiação ionizante (kg U ²³⁵ eq.)	7,17E+01	9,78E+00	1,29E+03	1,11E+01	1,38E+03
Acidificação (kg SO ₂ eq.)	1,48E+00	7,02E-01	7,44E+00	6,42E-01	1,03E+01
Eutrofização de águas potáveis (kg P eq.)	2,01E-01	5,88E-02	4,69E-01	1,67E-01	8,96E-01
Eutrofização de águas marinhas (kg N eq.)	6,89E-02	3,03E-02	3,29E-01	3,08E-02	4,59E-01
Ecotoxicidade dos solos (kg 1,4 - DB eq.)	8,53E-02	1,92E-02	1,09E+00	2,87E-02	1,23E+00
Ecotoxicidade das águas potáveis (kg 1,4 - DB eq.)	5,71E+00	1,47E+00	9,68E+00	7,26E+00	2,41E+01
Ecotoxicidade das águas marinhas (kg 1,4 - DB eq.)	6,28E+00	1,66E+00	9,22E+00	7,73E+00	2,49E+01

EI=Efeitos incorporados iniciais; *EM*=Efeitos de manutenção; *EO*=Efeitos de operação; *EFV*=Efeitos de final de vida; *EAT*=Efeitos ambientais totais

Tabela 6.20 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida para o cenário com sistema integrado pelo método *ReCiPe midpoint*. (Continuação)

Categoria de impacto/unidade	EI	EM	EO	EFV	EAT
Transformação do ambiente natural (m ²)	3,22E-01	1,91E-02	7,95E+00	-3,96E-02	8,25E+00
Esgotamento de mananciais (m ³)	2,54E+00	6,42E-01	1,88E+01	7,49E-01	2,28E+01
Depleção de recursos minerais (kg Fe eq.)	1,32E+02	4,31E+01	9,78E+01	9,72E+01	3,70E+02
Depleção de recursos fósseis (kg oil eq.)	1,68E+02	7,55E+01	1,02E+03	2,14E+01	1,28E+03

EI=Efeitos incorporados iniciais; *EM*=Efeitos de manutenção; *EO*=Efeitos de operação; *EFV*=Efeitos de final de vida; *EAT*=Efeitos ambientais totais

Tabela 6.21 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida pelo método *ReCiPe midpoint* - contribuição do subsistema pluvial no cenário com sistema integrado.

Categoria de impacto/unidade	EI	EM	EO	EFV	EAT
Potencial de aquecimento global (kg CO ₂ eq.)	4,17E+02	7,28E+01	6,30E+03	1,26E+02	6,91E+03
Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq.)	1,05E-05	3,58E-06	2,55E-04	1,42E-06	2,70E-04
Toxicidade humana (kg 1,4 - DB eq.)	1,93E+02	5,23E+01	3,33E+02	2,11E+02	7,89E+02
Radiação ionizante (kg U ²³⁵ eq.)	3,89E+01	3,15E+00	9,64E+02	5,54E+00	1,01E+03
Acidificação (kg SO ₂ eq.)	7,32E-01	3,25E-01	5,56E+00	2,56E-01	6,88E+00
Eutrofização de águas potáveis (kg P eq.)	9,17E-02	2,41E-02	3,51E-01	8,39E-02	5,50E-01
Eutrofização de águas marinhas (kg N eq.)	3,13E-02	1,33E-02	2,46E-01	1,20E-02	3,02E-01
Ecotoxicidade dos solos (kg 1,4 - DB eq.)	4,56E-02	7,15E-03	8,16E-01	1,33E-02	8,82E-01
Ecotoxicidade das águas potáveis (kg 1,4 - DB eq.)	3,24E+00	5,99E-01	7,24E+00	3,55E+00	1,46E+01
Ecotoxicidade das águas marinhas (kg 1,4 - DB eq.)	3,46E+00	6,81E-01	6,89E+00	3,81E+00	1,48E+01
Transformação do ambiente natural (m ²)	1,99E-01	7,90E-03	5,94E+00	-3,00E-03	6,14E+00
Esgotamento de mananciais (m ³)	1,08E+00	2,57E-01	1,41E+01	2,87E-01	1,57E+01
Depleção de recursos minerais (kg Fe eq.)	6,05E+01	1,54E+01	7,31E+01	4,82E+01	1,97E+02
Depleção de recursos fósseis (kg oil eq.)	1,06E+02	3,64E+01	7,60E+02	5,72E+00	9,08E+02

EI=Efeitos incorporados iniciais; *EM*=Efeitos de manutenção; *EO*=Efeitos de operação; *EFV*=Efeitos de final de vida; *EAT*=Efeitos ambientais totais

Tabela 6.22 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida pelo método *ReCiPe midpoint* - contribuição do subsistema cinza no cenário com sistema integrado.

Categoria de impacto/unidade	EI	EM	EO	EFV	EAT
Potencial de aquecimento global (kg CO ₂ eq.)	2,21E+02	8,53E+01	2,13E+03	5,36E+01	2,49E+03
Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq.)	1,99E-05	4,30E-06	8,62E-05	6,01E-06	1,16E-04
Toxicidade humana (kg 1,4 - DB eq.)	2,19E+02	7,46E+01	1,13E+02	2,66E+02	6,73E+02
Radiação ionizante (kg U ²³⁵ eq.)	3,28E+01	6,63E+00	3,26E+02	5,58E+00	3,71E+02
Acidificação (kg SO ₂ eq.)	7,52E-01	3,76E-01	1,88E+00	3,86E-01	3,39E+00
Eutrofização de águas potáveis (kg P eq.)	1,09E-01	3,48E-02	1,19E-01	8,30E-02	3,45E-01
Eutrofização de águas marinhas (kg N eq.)	3,76E-02	1,70E-02	8,30E-02	1,89E-02	1,56E-01
Ecotoxicidade dos solos (kg 1,4 - DB eq.)	3,98E-02	1,20E-02	2,76E-01	1,54E-02	3,43E-01
Ecotoxicidade das águas potáveis (kg 1,4 - DB eq.)	2,47E+00	8,74E-01	2,45E+00	3,71E+00	9,50E+00
Ecotoxicidade das águas marinhas (kg 1,4 - DB eq.)	2,81E+00	9,79E-01	2,33E+00	3,92E+00	1,00E+01
Transformação do ambiente natural (m ²)	1,23E-01	1,12E-02	2,01E+00	-3,66E-02	2,11E+00
Esgotamento de mananciais (m ³)	1,46E+00	3,85E-01	4,76E+00	4,62E-01	7,07E+00
Depleção de recursos minerais (kg Fe eq.)	7,14E+01	2,77E+01	2,47E+01	4,89E+01	1,73E+02
Depleção de recursos fósseis (kg oil eq.)	6,19E+01	3,91E+01	2,57E+02	1,57E+01	3,73E+02

EI=Efeitos incorporados iniciais; *EM*=Efeitos de manutenção; *EO*=Efeitos de operação; *EFV*=Efeitos de final de vida; *EAT*=Efeitos ambientais totais

As Figuras 6.9 e 6.10 apresentam os resultados dos impactos ambientais normalizados de acordo com os efeitos ambientais observados nas fases do ciclo de vida de cada cenário em estudo. Estes resultados estão normalizados pelo método *ReCiPe midpoint* em relação aos efeitos provocados em cidadão médio europeu em um ano (ano 2000).

Os resultados demonstram que a fase de operação responde pela maior parcela dos impactos no ciclo de vida para as categorias avaliadas, confirmando o que era esperado e encontrado na literatura.

A maior parcela de contribuição para a categoria potencial de aquecimento global, em kg de CO₂ equivalente, se situa na fase de operação, ou seja, no consumo de energia para tratamento da água e do esgoto gerado. Como o sistema convencional apresenta consumo de água maior que o cenário com sistema integrado, o impacto potencial de aquecimento global apresentado é superior na etapa de operação.

Os efeitos de final de vida vêm em segundo lugar como fase que mais apresentou danos ambientais nas categorias impacto consideradas. Foi considerado no escopo o simples descarte em aterro sanitário como destino final dos componentes dos sistemas, o que ocasiona emissão de gases sem captura e tratamento, tornando a etapa de disposição final mais impactante.

Figura 6.9 - Efeitos ambientais normalizados observados nas fases do ciclo de vida do cenário com sistema convencional - método *ReCiPe midpoint*

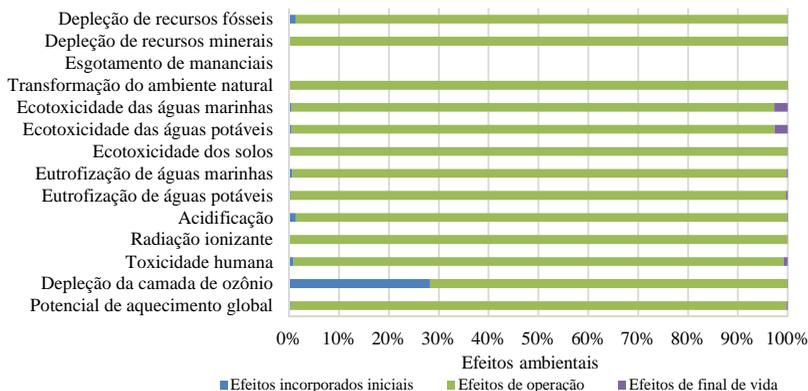
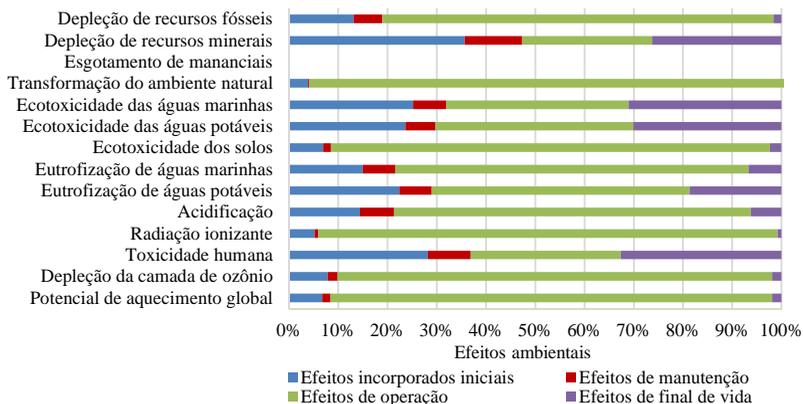


Figura 6.10 - Efeitos ambientais normalizados observados nas fases do ciclo de vida do cenário com sistema integrado - método *ReCiPe midpoint*.



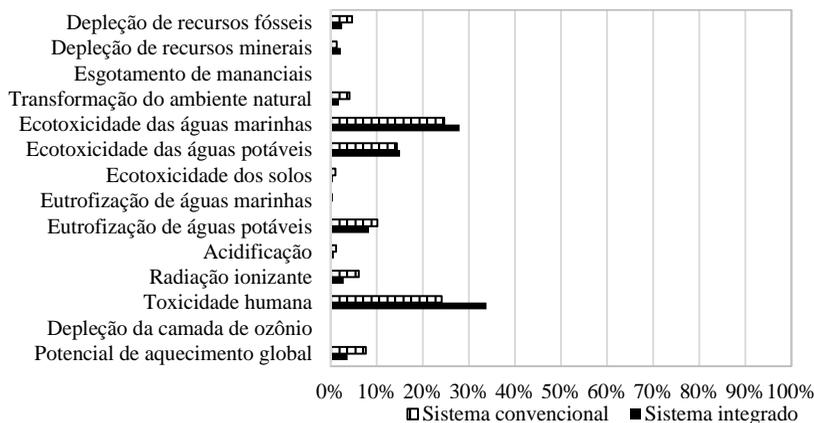
No cenário com sistema integrado (subsistema pluvial e subsistema cinza) constataram-se valores negativos para os efeitos de final de vida na categoria Transformação do ambiente natural. Essa

categoria caracteriza-se pelos danos aos ecossistemas de acordo com o tempo necessário para restaurar a área transformada para um tipo de uso da terra com uma diversidade similar. Os valores negativos do fator de caracterização significam que o processo de transformação do ambiente produziu melhoria ambiental, os danos ambientais foram totalmente evitados, ou seja, não houve prejuízos aos ecossistemas.

A Figura 6.11 mostra uma comparação dos impactos dos efeitos ambientais totais normalizados por categoria de impacto para cada cenário avaliado.

A partir da figura supracitada observa-se que as categorias de impacto mais significativas, em ambos os cenários avaliados, foram (em ordem decrescente): Toxicidade humana, Ecotoxicidade das águas marinhas, Ecotoxicidade das águas potáveis e Eutrofização das águas potáveis.

Figura 6.11 – Impactos ambientais normalizados do cenário com sistema convencional e cenário com sistema integrado pelo método *ReCiPe midpoint*.



Em quatro das quatorze categorias de impacto analisadas os danos ambientais do cenário com sistema integrado excederam os danos do cenário com sistema convencional, a saber: Toxicidade humana, Ecotoxicidade das águas marinhas, Ecotoxicidade das águas potáveis, Depleção de recursos minerais, sendo estes 9,7%; 0,7%; 3,4% e 0,9% maiores, respectivamente. Nas demais categorias de impacto avaliadas verificou-se a preponderância dos impactos do cenário com sistema convencional. A categoria de impacto ambiental que apresenta a diferença

percentual mais expressiva na comparação entre os impactos no ciclo de vida dos cenários foi primeiramente Toxicidade humana, seguida de Potencial de aquecimento global.

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. O potencial de toxicidade humana refere-se principalmente a emissões de metais pesados para o ar, que possam vir a contaminar os seres humanos e o meio ambiente em que está inserido. A fase de produção dos componentes, para ambos os cenários, é a fase com maior contribuição para categoria Toxicidade humana. Isso ocorre devido às emissões decorrentes dos processos de extração e processamento dos materiais necessários à fabricação dos componentes. Conforme mencionado anteriormente, na fase de disposição final foi considerado o descarte em aterro sanitário, que torna o potencial de toxicidade humana para a atmosfera mais impactante para a destinação final dos componentes ao fim da vida útil.

As categorias Ecotoxicidade das águas marinhas e Ecotoxicidade das águas potáveis abrangem os efeitos químicos e biológicos sobre os ecossistemas aquáticos, quando da liberação de substâncias tóxicas para o ar, água, solo e cadeias alimentares. A ecotoxicidade marinha inclui os efeitos tóxicos provocados pelo lançamento de metais como cobalto, cobre, manganês, molibdênio e zinco nos oceanos (GOEDKOOP et al., 2009). A fase de operação para ambos os cenários, é a fase com maior contribuição para essas categorias.

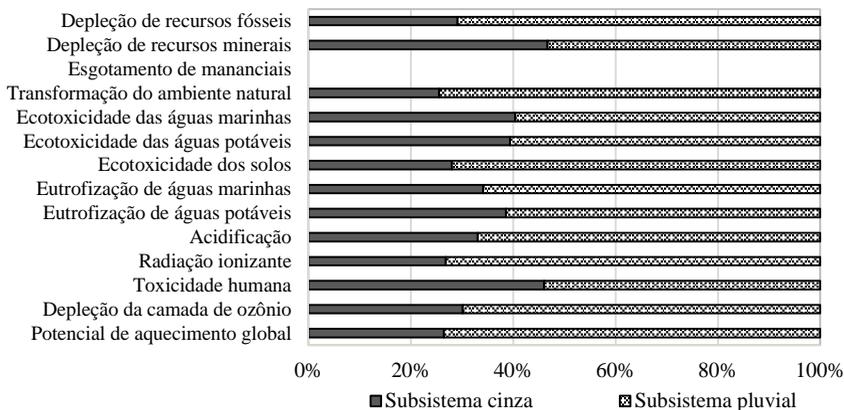
A fase de operação, para ambos os cenários, também é a fase com maior contribuição para categoria de impacto Eutrofização das águas potáveis, que se caracteriza pelo enriquecimento da água em nutrientes nitrogênio (N) e fósforo (P). A eutrofização pode causar uma indesejável mudança na composição de espécies nos ecossistemas e uma redução na diversidade ecológica.

A Figura 6.12 apresenta a parcela de contribuição de cada subsistema (pluvial e cinza) nos impactos ambientais totais normalizados do cenário com sistema integrado.

Quanto à contribuição de cada subsistema nos impactos ambientais normalizados do cenário com sistema integrado, constatou-se que 59,5% do total de impactos se referem ao subsistema pluvial e 40,5% ao subsistema cinza. O subsistema cinza apresentou menores impactos ambientais em todas as categorias avaliadas devido à redução de efluentes proporcionada pelo reúso da água, e conseqüente menor consumo de energia para coleta e tratamento de esgoto. No entanto, é importante

ressaltar que esses resultados não devem ser generalizados, pois se devem às premissas adotadas no estudo de caso.

Figura 6.12 – Parcela de contribuição de cada subsistema (pluvial e cinza) nos impactos ambientais normalizados do cenário com sistema integrado - método ReCiPe *midpoint*.



6.6.1.2 Categorias de impactos em nível *endpoint*

As categorias *endpoint* de impacto ambiental compreendidas no método *ReCiPe* são: Danos à saúde humana, Danos à diversidade dos ecossistemas, e Danos à disponibilidade de recursos. A Tabela 6.23 apresenta a comparação entre os cenários em relação às categorias de impacto *midpoint* com sua contribuição nas unidades das categorias *endpoint*.

As categorias em que os danos ambientais tiveram preponderância no cenário com sistema integrado foram: Depleção de recursos fósseis, Toxicidade humana, Eutrofização de águas potáveis, Ecotoxicidade das águas potáveis e Ecotoxicidade das águas marinhas. Nas demais categorias contempladas na análise, o cenário com sistema convencional apresentou maior impacto ambiental.

A categoria Esgotamento dos recursos hídricos não está apresentada na Tabela 6.23 porque até o presente momento não há modelos disponíveis para expressar em nível *endpoint* o dano dessa categoria (GOEDKOOPE et al., 2009).

Tabela 6.23 – Comparação entre os cenários em relação às categorias de impacto *midpoint* com sua contribuição nas categorias *endpoint*.

Categoria de impacto	Unidade	Efeitos ambientais totais	
		Sistema convencional	Sistema integrado
Mudanças climáticas - Saúde humana	DALY*	1,62E-02	1,32E-02
Depleção da camada de ozônio	DALY	1,21E-06	9,96E-07
Toxicidade humana	DALY	4,32E-04	1,02E-03
Radiação ionizante	DALY	2,88E-05	2,27E-05
Mudanças climáticas - Ecossistemas	species.yr#	9,15E-05	7,46E-05
Acidificação	species.yr	5,96E-08	5,96E-08
Eutrofização de águas potáveis	species.yr	2,82E-08	3,94E-08
Ecotoxicidade dos solos	species.yr	1,89E-07	1,56E-07
Ecotoxicidade das águas potáveis	species.yr	3,54E-09	6,28E-09
Ecotoxicidade das águas marinhas	species.yr	1,04E-11	1,99E-11
Transformação do ambiente natural	species.yr	1,89E-05	1,44E-05
Depleção de recursos minerais	\$ ^Δ	9,54E+00	2,64E+01
Depleção de recursos fósseis	\$	2,26E+04	2,06E+04

* Deficiência ajustada de anos de vida; # Potencial de desaparecimento de espécies pela área; ^Δ Aumento do custo da extração dos recursos

A Figura 6.13 ilustra a comparação dos resultados normalizados dos dois cenários, que possibilitou a análise da contribuição das múltiplas entradas e saídas de cada categoria para os determinados potenciais de impacto. A partir dessa figura observa-se que as categorias de impacto mais significativas para ambos os cenários avaliados foram (em ordem decrescente): Mudanças climáticas (dano à saúde humana), Depleção de recursos fósseis e Mudanças climáticas (dano aos ecossistemas).

O método *ReCiPe*, após a etapa de normalização, realiza o agrupamento dessas categorias de impacto em apenas três categorias de impacto *endpoint*, sendo elas: Dano à saúde humana; Dano ao ecossistema e; Dano aos recursos naturais. A Figura 6.14 ilustra o agrupamento realizado pelo método *ReCiPe* para os ciclos de vida do estudo. Observa-se nesse agrupamento que os ciclos de vida dos cenários são mais impactantes para os danos à saúde humana e aos recursos naturais.

O indicador de pontuação total calculado pelo método *ReCiPe*, é um valor único de impacto que leva em consideração diferentes pesos para cada categoria *midpoint* e *endpoint*. Ressalta-se que a pontuação única não se refere apenas às três categorias de danos supracitadas, mas também às contribuições de várias categorias intermediárias (*midpoint*) que possuem participação na respectiva categoria de danos.

Figura 6.13 – Comparação dos cenários pelo método ReCiPe *endpoint* (dados normalizados).

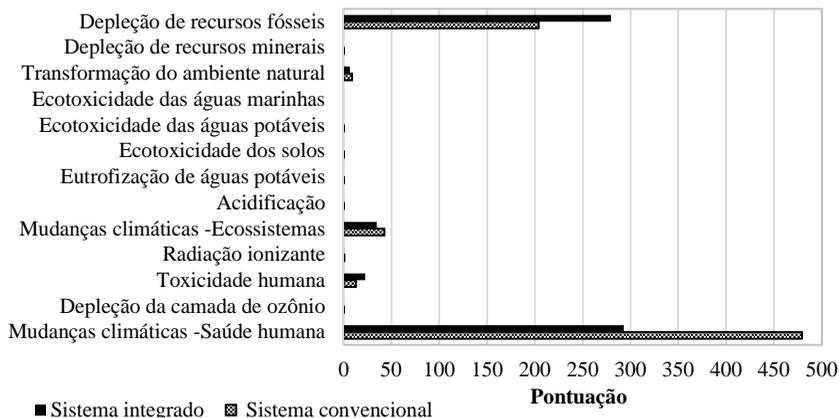
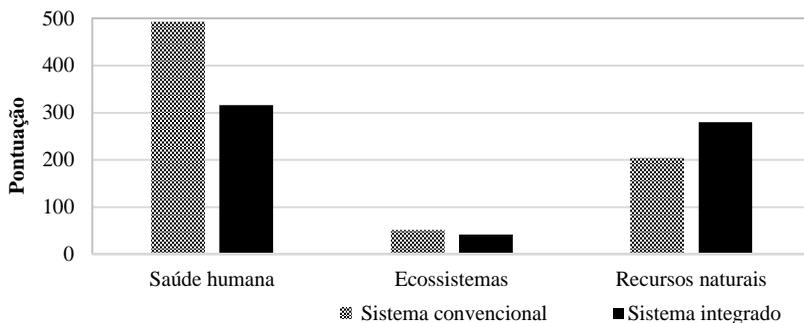


Figura 6.14 – Comparação dos cenários pelo método ReCiPe *endpoint* (dados agregados)



A Figura 6.15 mostra a comparação dos dois cenários em pontuação única, que consiste na soma dos dados ponderados das categorias de impacto, com o objetivo de encontrar qual o cenário possui o ciclo de vida mais impactante.

Observou-se por meio da comparação dos dois cenários por pontuação única que o ciclo de vida do cenário de fornecimento de água e esgotamento sanitário com sistema convencional possui um impacto global maior que o ciclo de vida do cenário com sistema integrado, sendo, portanto, o cenário mais impactante ambientalmente. De acordo com os resultados obtidos, os impactos que se destacaram nesse estudo estão

relacionados com as categorias de impacto: Mudanças climáticas (saúde humana), e Depleção dos recursos fósseis.

As Figuras 6.16 e 6.17 mostram a rede dos processos elementares que mais contribuíram para pontuação total dos impactos ambientais pelo método *ReCiPe endpoint*. Essas redes foram geradas pelo programa *SimaPro* com as contribuições de cada fase nas categorias de impacto.

Os termos em inglês correspondem aos respectivos processos na base *Ecoinvent® 2.2*, e as siglas EI (Efeitos incorporados iniciais), EO (Efeitos de operação), EM (Efeitos de manutenção), EFV (Efeitos de final de vida), EAT (Efeitos ambientais totais) são abreviaturas utilizadas para nomear os efeitos ambientais na modelagem das simulações no *SimaPro*.

Destaca-se que foram representados apenas os fluxos com contribuição maior que 10%. Nas redes, as caixas mostram os processos principais envolvidos no ciclo de vida dos sistemas. A contribuição do processo no resultado da categoria de impacto é a porcentagem apresentada dentro de cada caixa. A espessura das setas representa a importância da contribuição de cada processo considerado. A barra preta posicionada do lado direito de cada caixa também demonstra a contribuição de cada processo para a categoria de impacto.

Em ambos os cenários, é possível observar nas redes apresentadas que os processos elementares mais importantes são aqueles relacionados aos efeitos de operação (EO) dos sistemas. No cenário com sistema convencional, os efeitos ambientais incorporados iniciais e de final de vida mostraram-se insignificantes perante os efeitos de operação.

Figura 6.15 - Comparação dos cenários pelo método *ReCiPe endpoint*.

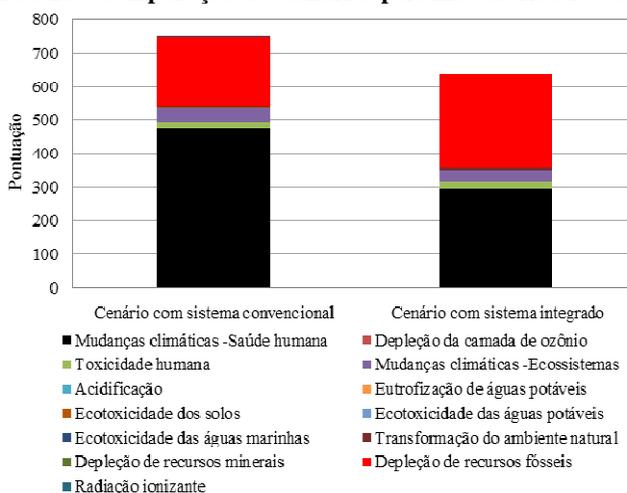
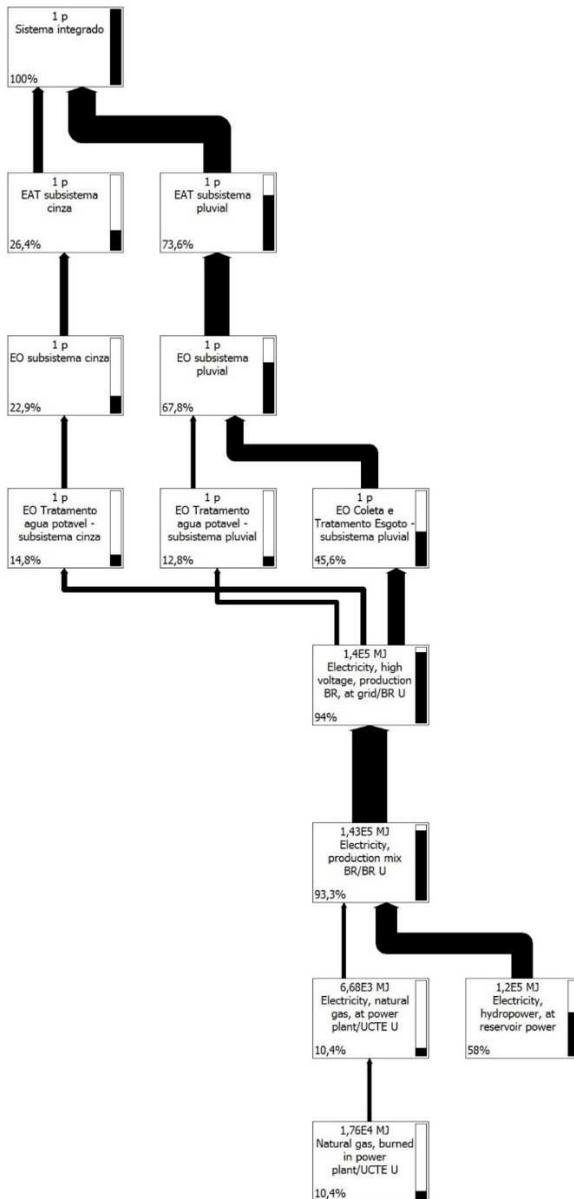
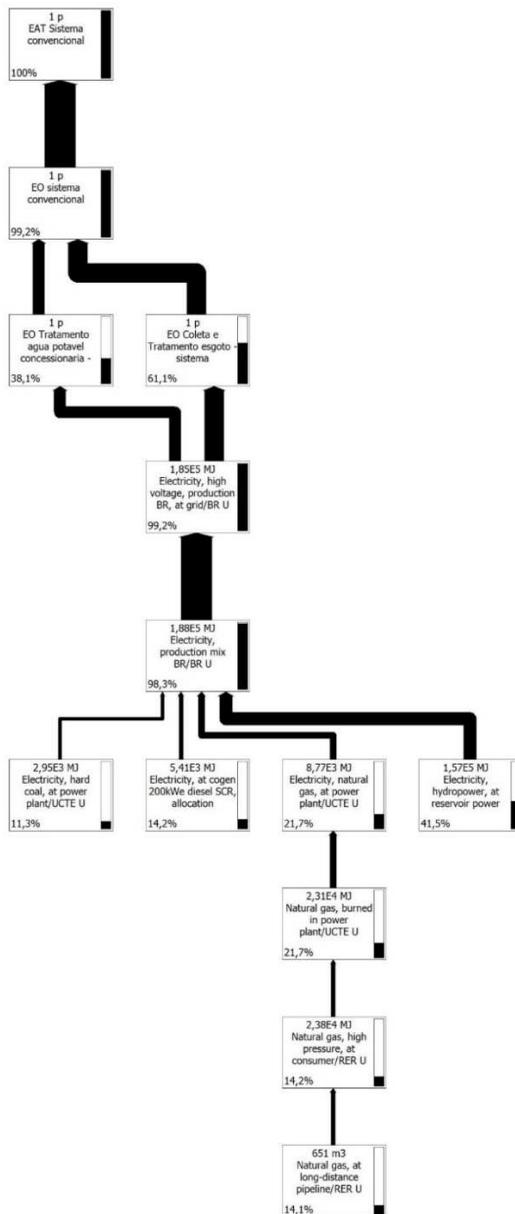


Figura 6.16 – Rede dos processos elementares para o cenário com sistema integrado pelo método *ReCiPe endpoint*.



EO = Efeitos de operação EAT = Efeitos ambientais totais

Figura 6.17 – Rede dos processos elementares para o cenário com sistema convencional pelo método *ReCiPe endpoint*.



EO = Efeitos de operação EAT = Efeitos ambientais totais

6.6.2 Impactos ambientais avaliados pelo método CML

Na avaliação dos impactos ambientais pelo método *CML 2 baseline 2000* foram contempladas nove categorias de impacto. Os resultados do impacto ambiental potencial em suas unidades originais e por fase do ciclo de vida nas categorias avaliadas encontram-se apresentados nas Tabelas 6.24 a 6.27.

Tabela 6.24 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida para o cenário com sistema convencional pelo método CML.

Categoria de impacto/unidade	EI	EO	EFV	EAT
Mudanças climáticas (kg CO ₂ eq.)	3,29E+01	1,13E+04	3,08E+01	1,13E+04
Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq.)	1,14E-07	4,22E-04	1,94E-07	4,23E-04
Toxicidade humana (kg 1,4 - DB eq.)	1,12E+01	1,85E+03	1,61E+01	1,88E+03
Acidificação (kg SO ₂ eq.)	1,53E-01	1,06E+01	1,37E-02	1,08E+01
Eutrofização (kg PO ₄ eq.)	1,66E-02	3,07E+00	1,22E-02	3,10E+00
Ecotoxicidade dos solos (kg 1,4 - DB eq.)	8,29E-02	2,08E+01	4,21E-02	2,09E+01
Ecotoxicidade das águas potáveis (kg 1,4-DB eq.)	1,94E+00	5,02E+02	3,04E+01	5,35E+02
Ecotoxicidade das águas marinhas (kg 1,4 - DB eq.)	1,99E+03	1,04E+06	3,42E+04	1,08E+06
Depleção Abiótica (kg Sb eq.)	3,71E-01	3,03E+01	1,78E-02	3,07E+01

EI=Efeitos incorporados iniciais; EO=Efeitos de operação; EFV=Efeitos de final de vida; EAT=Efeitos ambientais totais

Tabela 6.25 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida para o cenário com sistema integrado pelo método CML.

Categoria de impacto/unidade	EI	EM	EO	EFV	EAT
Mudanças climáticas (kg CO ₂ eq.)	6,34E+02	1,57E+02	8,29E+03	1,79E+02	9,26E+03
Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq.)	2,69E-05	7,71E-06	3,10E-04	7,38E-06	3,52E-04
Toxicidade humana (kg 1,4 - DB eq.)	5,42E+02	1,46E+02	1,36E+03	5,57E+02	2,61E+03
Acidificação (kg SO ₂ eq.)	1,58E+00	7,37E-01	7,81E+00	6,87E-01	1,08E+01
Eutrofização (kg PO ₄ eq.)	7,84E-01	2,63E-01	2,25E+00	5,88E-01	3,89E+00
Ecotoxicidade dos solos (kg 1,4 - DB eq.)	5,05E+00	1,65E+00	1,53E+01	1,51E+00	2,35E+01
Ecotoxicidade das águas potáveis (kg 1,4 - DB eq.)	3,00E+02	6,39E+01	3,69E+02	3,55E+02	1,09E+03
Ecotoxicidade das águas marinhas (kg 1,4 -DB eq.)	5,40E+05	1,32E+05	7,65E+05	5,84E+05	2,02E+06
Depleção Abiótica (kg Sb eq.)	3,58E+00	1,55E+00	2,23E+01	4,40E-01	2,78E+01

Tabela 6.26 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida da contribuição do subsistema pluvial no cenário com sistema integrado pelo método CML.

Categoria de impacto/unidade	EI	EM	EO	EFV	EAT
Mudanças climáticas (kg CO ₂ eq.)	4,14E+02	7,23E+01	6,19E+03	1,26E+02	6,81E+03
Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq.)	9,64E-06	3,51E-06	2,32E-04	1,40E-06	2,47E-04
Toxicidade humana (kg 1,4 - DB eq.)	2,74E+02	6,57E+01	1,02E+03	2,87E+02	1,64E+03
Acidificação (kg SO ₂ eq.)	7,92E-01	3,42E-01	5,84E+00	2,83E-01	7,26E+00
Eutrofização (kg PO ₄ eq.)	3,61E-01	1,12E-01	1,68E+00	2,89E-01	2,45E+00
Ecotoxicidade dos solos (kg 1,4 - DB eq.)	2,51E+00	3,92E-01	1,14E+01	7,64E-01	1,51E+01
Ecotoxicidade das águas potáveis (kg 1,4 - DB eq.)	1,94E+02	2,43E+01	2,76E+02	2,06E+02	7,01E+02
Ecotoxicidade das águas marinhas (kg 1,4 - DB eq.)	3,05E+05	5,51E+04	5,72E+05	3,28E+05	1,26E+06
Depleção Abiótica (kg Sb eq.)	2,23E+00	7,24E-01	1,66E+01	1,28E-01	1,97E+01

EI=Efeitos incorporados iniciais; EM=Efeitos de manutenção; EO=Efeitos de operação; EFV=Efeitos de final de vida; EAT=Efeitos ambientais totais

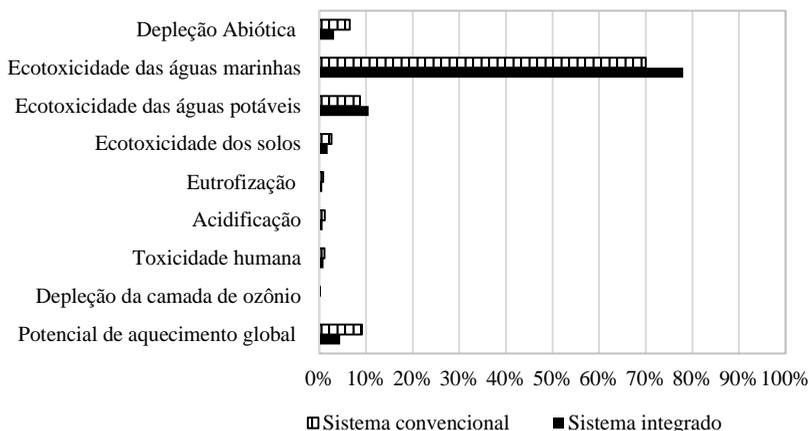
Tabela 6.27 – Impactos ambientais totais e por fase do ciclo de vida contribuição do subsistema cinza no cenário com sistema integrado pelo método CML.

Categoria de impacto/unidade	EI	EM	EO	EFV	EAT
Mudanças climáticas (kg CO ₂ eq.)	2,20E+02	8,51E+01	2,09E+03	5,36E+01	2,45E+03
Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq.)	1,72E-05	4,20E-06	7,84E-05	5,98E-06	1,06E-04
Toxicidade humana (kg 1,4 - DB eq.)	2,68E+02	7,99E+01	3,44E+02	2,70E+02	9,62E+02
Acidificação (kg SO ₂ eq.)	7,89E-01	3,95E-01	1,97E+00	4,05E-01	3,56E+00
Eutrofização (kg PO ₄ eq.)	4,23E-01	1,51E-01	5,69E-01	2,99E-01	1,44E+00
Ecotoxicidade dos solos (kg 1,4 - DB eq.)	2,54E+00	1,26E+00	3,86E+00	7,44E-01	8,41E+00
Ecotoxicidade das águas potáveis (kg 1,4 - DB eq.)	1,05E+02	3,96E+01	9,33E+01	1,49E+02	3,87E+02
Ecotoxicidade das águas marinhas (kg 1,4 - DB eq.)	2,36E+05	7,66E+04	1,93E+05	2,56E+05	7,62E+05
Depleção Abiótica (kg Sb eq.)	1,34E+00	8,25E-01	5,62E+00	3,12E-01	8,11E+00

EI=Efeitos incorporados iniciais; EM=Efeitos de manutenção; EO=Efeitos de operação; EFV=Efeitos de final de vida; EAT=Efeitos ambientais totais

A Figura 6.18 mostra o impacto ambiental potencial normalizado obtido por meio do método CML, possibilitando a comparação entre as categorias de impacto. Pelo método CML os valores dos impactos estão normalizados em relação à situação de referência: mundo no ano 1995.

Figura 6.18 – Impactos ambientais normalizados do cenário com sistema convencional e cenário com sistema integrado pelo método CML.



As Figuras 6.19 e 6.20 apresentam os resultados normalizados de acordo com os efeitos ambientais observados nas fases do ciclo de vida dos dois cenários em estudo. As duas últimas figuras indicam quais são as etapas do ciclo de vida mais impactantes em cada cenário por categoria de impacto.

De acordo com os resultados obtidos com o método CML, os maiores impactos observados nesse estudo estão relacionados com as categorias de impacto Ecotoxicidade das águas marinhas, Ecotoxicidade das águas potáveis e Potencial de aquecimento global.

Além disso, os resultados demonstram que a fase de operação responde pela maior parcela dos impactos no ciclo de vida para as categorias avaliadas. Em seguida, os efeitos de final de vida aparecem como fase que mais apresentou danos ambientais nas categorias de impacto consideradas.

Figura 6.19 - Efeitos ambientais normalizados observados nas fases do ciclo de vida do cenário com sistema convencional pelo método CML.

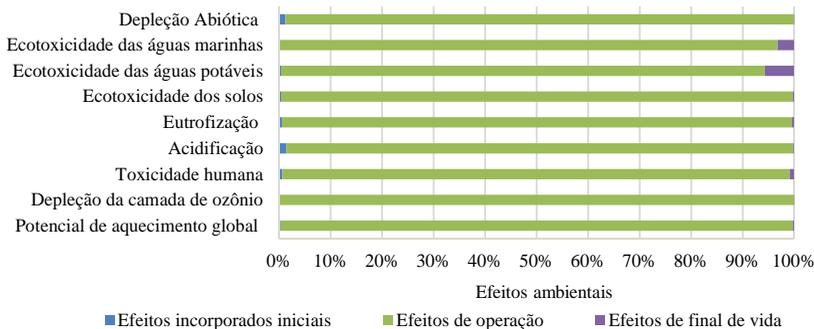
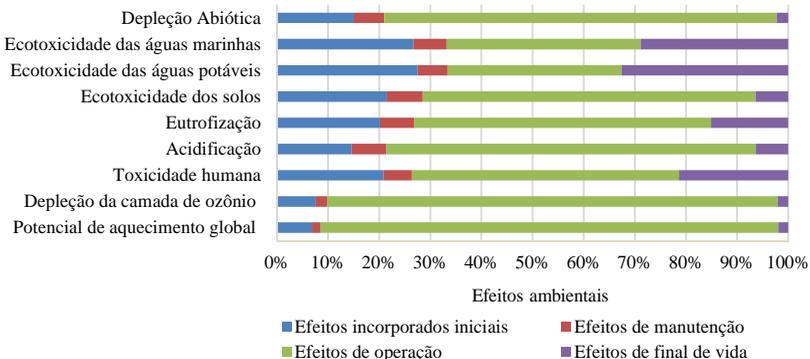


Figura 6.20 - Efeitos ambientais normalizados observados nas fases do ciclo de vida do cenário com sistema integrado pelo método CML.



6.6.3 Comparação dos resultados obtidos nas categorias de impacto equivalentes dos métodos *ReCiPe* e *CML*

Realizou-se uma comparação entre os resultados obtidos entre categorias *midpoint* de impacto ambiental equivalentes para os métodos de AICV adotados: *ReCiPe* e *CML*. Para a maioria das categorias avaliadas houve categorias de impacto ambiental equivalentes, ou seja, apresentam a mesma unidade de mensuração. Deste modo, as categorias comparáveis foram:

- Potencial de aquecimento global/Mudanças climáticas (kg CO₂ eq.);
- Depleção da camada de ozônio (kg CFC-11 eq.);

- Toxicidade humana (kg 1,4 - DB eq.);
- Acidificação (kg SO₂ eq.);
- Ecotoxicidade dos solos (kg 1,4 - DB eq.);
- Ecotoxicidade das águas potáveis (kg 1,4 - DB eq.);
- Ecotoxicidade das águas marinhas (kg 1,4 - DB eq.).

Apesar das categorias Formação de oxidantes fotoquímicos e Eutrofização ocorrerem tanto no método *ReCiPe* quanto no método *CML*, as unidades utilizadas são diferentes, o que impossibilita realizar comparações entre esses resultados. Essas categorias foram consideradas apenas semelhantes.

Em função das categorias de impacto serem caracterizadas em diferentes unidades nos métodos *ReCiPe* e *CML*, os resultados estão expressos normalizados para facilitar a comparação. Assim, comparou-se as categorias de impacto ambiental equivalentes dos métodos *ReCiPe* e *CML* para o cenário com sistema convencional e para o cenário com sistema integrado. A representação gráfica dos principais resultados normalizados encontra-se nas Figuras 6.21 e 6.22. Nas Figuras 6.23 a 6.29 estão apresentadas comparações dos resultados das categorias de impacto equivalentes dos métodos *ReCiPe* e *CML* em suas unidades originais.

Por meio da análise dos resultados em suas unidades originais (não normalizados) constatou-se que os impactos obtidos pelo método *CML* excederam os impactos verificados por meio do método *ReCiPe* em todas as categorias comparadas, exceto em Depleção da camada de ozônio e Potencial de aquecimento global.

Figura 6.21 – Comparação dos impactos ambientais normalizados das categorias de impacto equivalentes entre os métodos *ReCiPe* e *CML* para o sistema convencional.

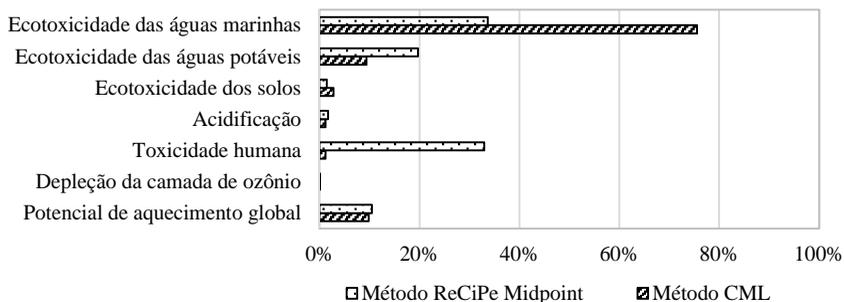


Figura 6.22 – Comparação dos impactos ambientais normalizados das categorias de impacto equivalentes entre os métodos *ReCiPe* e *CML* para o sistema integrado.

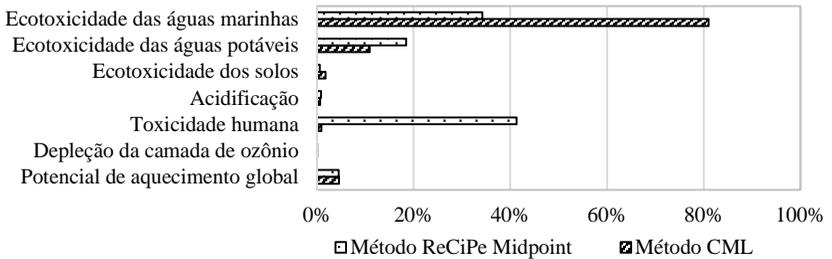


Figura 6.23– Comparação dos impactos ambientais da categoria Potencial de aquecimento global - métodos *ReCiPe* e *CML*.

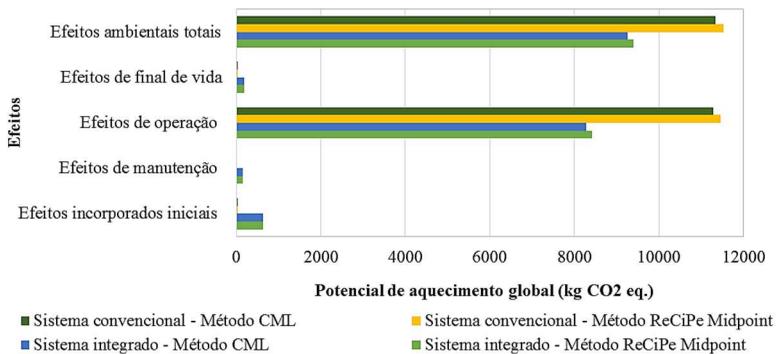


Figura 6.24 – Comparação dos impactos ambientais da categoria Depleção da camada de ozônio entre os métodos *ReCiPe* e *CML*

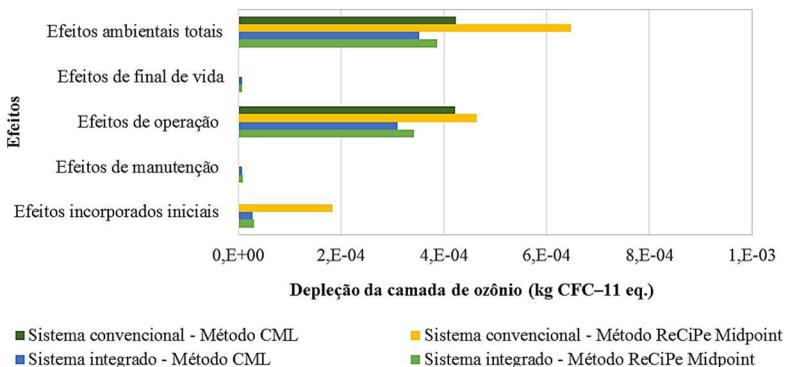


Figura 6.25 – Comparação dos impactos ambientais da categoria Toxicidade humana entre os métodos *ReCiPe* e *CML*

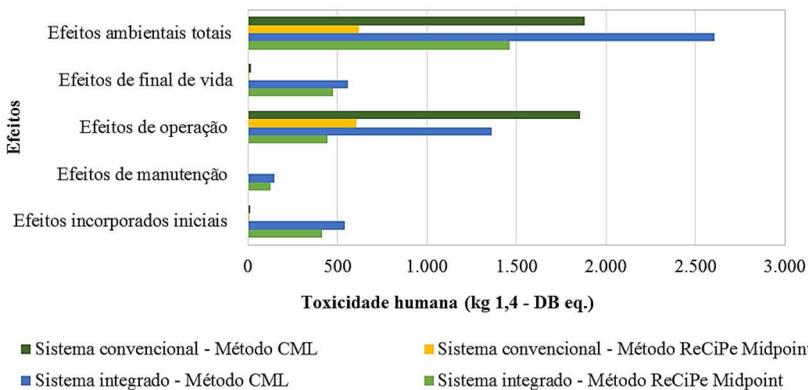


Figura 6.26 – Comparação dos impactos ambientais da categoria Acidificação entre os métodos *ReCiPe* e *CML*

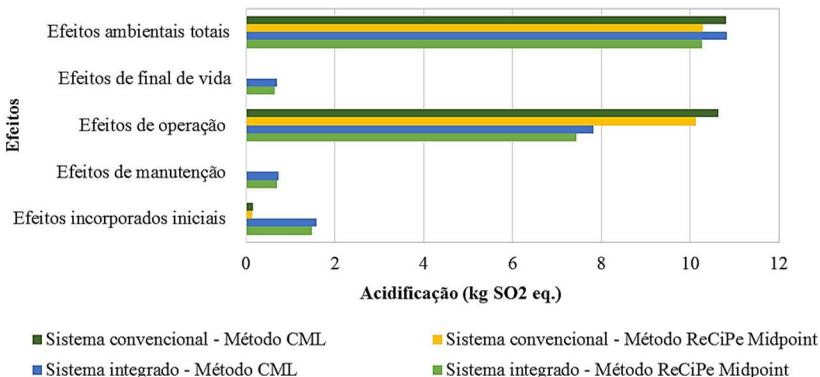


Figura 6.27 – Comparação dos impactos ambientais da categoria Ecotoxicidade dos solos entre os métodos *ReCiPe* e *CML*

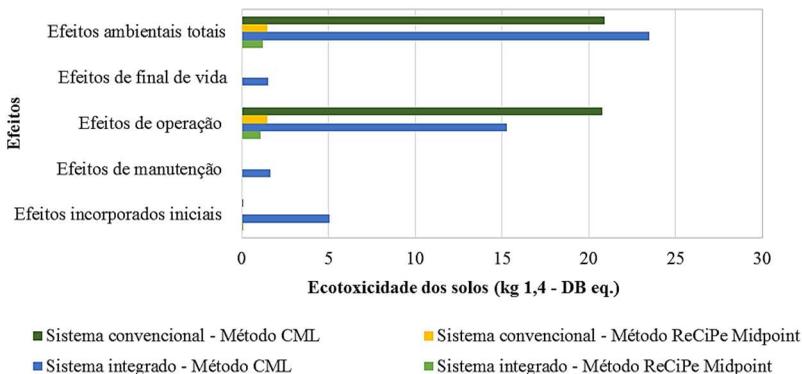


Figura 6.28 – Comparação dos impactos ambientais da categoria Ecotoxicidade das águas potáveis entre os métodos *ReCiPe* e *CML*

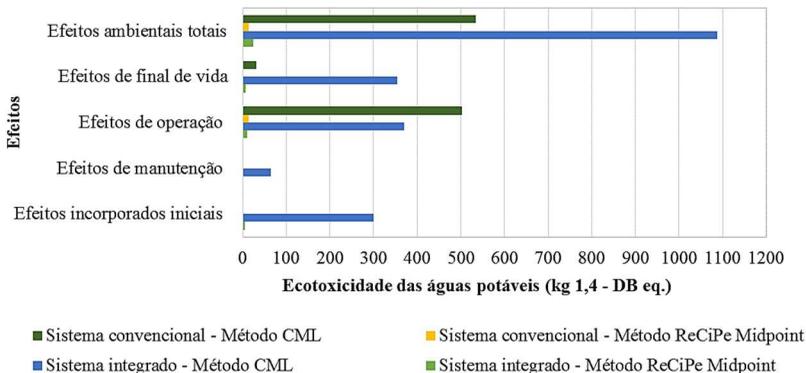
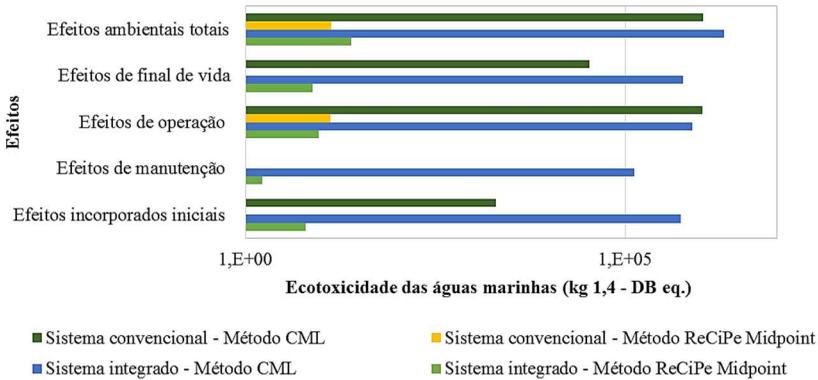


Figura 6.29 – Comparação dos impactos ambientais da categoria Ecotoxicidade das águas marinhas entre os métodos *ReCiPe* e *CML*



Somente nas categorias Potencial de aquecimento global (Figura 6.23) e Acidificação (Figura 6.26) os resultados mostraram-se semelhantes em ambos os métodos comparados. Pode-se considerar quase consenso nos dois métodos que a categoria de impacto mais afetada foi Ecotoxicidade das águas marinhas.

As categorias de impacto que apresentaram contribuição de danos ambientais mais elevada no método *ReCiPe midpoint* foram: Toxicidade humana, Ecotoxicidade das águas marinhas, Ecotoxicidade das águas potáveis. Enquanto que, para o método *CML*, os maiores impactos observados estão relacionados com as categorias Ecotoxicidade das águas marinhas, Ecotoxicidade das águas potáveis e Potencial de aquecimento global.

Essas diferenças entre os resultados das categorias de impacto obtidas por diferentes métodos de avaliação ocorrem devido aos fatores previamente definidos, a abordagem adotada pelo modelo de caracterização utilizado e às características individuais de cada método. Além disso, para algumas categorias de impacto, as substâncias contribuintes variam conforme o método, o que possivelmente leva a resultados inconsistentes entre eles.

A Tabela 6.28 apresenta uma síntese comparativa dos resultados das categorias de impacto ambiental mais afetadas em ordem decrescente, por método de avaliação utilizado, em cada cenário. Não foi realizada uma comparação dos resultados de pontuação única obtidos pelo Método

ReCiPe endpoint com o método *CML 2 baseline 2000*, pois o *CML* não apresenta originalmente um resultado final na forma de pontuação única.

Tabela 6.28 - Síntese dos resultados das categorias de impacto mais afetadas.

Cenário	Método <i>ReCiPe midpoint</i>	Método <i>CML</i>
Sistema convencional	Ecotoxicidade das águas marinhas	Ecotoxicidade das águas marinhas
	Toxicidade humana	Potencial de aquecimento global
	Ecotoxicidade das águas potáveis	Ecotoxicidade das águas potáveis
Sistema integrado	Toxicidade humana	Ecotoxicidade das águas marinhas
	Ecotoxicidade das águas marinhas	Ecotoxicidade das águas potáveis
	Ecotoxicidade das águas potáveis	Potencial de aquecimento global

6.7 *Interpretação dos impactos ambientais e recomendações*

Na avaliação de impacto do ciclo de vida dos cenários de fornecimento de água estudados, a fase de operação foi responsável pela maior parcela de danos ambientais em todas as categorias analisadas pelos métodos *ReCiPe* e *CML*. A fase de disposição final ficou como a segunda maior causadora de danos ambientais.

As maiores contribuições de impacto verificadas por meio do método *ReCiPe midpoint* em ambos os cenários estavam (em ordem decrescente) nas categorias: Toxicidade humana, Ecotoxicidade das águas marinhas e Ecotoxicidade das águas potáveis. Com o método *CML*, os maiores impactos estão relacionados com as categorias Ecotoxicidade das águas marinhas, Ecotoxicidade das águas potáveis e Potencial de aquecimento global. Tais contribuições significativas estão relacionadas majoritariamente aos processos de operação, disposição final e produção dos componentes.

Os resultados dos impactos variaram devido às particularidades de cada método adotado, onde as substâncias contribuintes de algumas categorias de impacto diferem conforme o método, como ocorreu com a categoria Toxicidade humana.

Os impactos que se destacaram nos resultados obtidos com o método *ReCiPe endpoint* estão relacionados com as categorias de impacto: Mudanças climáticas (Saúde humana), Depleção dos recursos fósseis e Mudanças climáticas (Ecossistemas).

O consumo de energia e matéria-prima derivadas de fontes não renováveis é fator determinante na magnitude dos impactos Depleção dos recursos fósseis e Mudanças climáticas. A oferta primária de energia no Brasil, oriunda por volta de 60 % de combustíveis fósseis (MME, 2014),

contribui para a categoria Depleção dos recursos fósseis. Dentre os recursos de origem fóssil consumidos ao longo do ciclo de vida dos cenários estudados principalmente no processo de transporte, destacaram-se o gás natural, o diesel (derivado do petróleo) e o carvão mineral.

A hidroeletricidade, principal fonte de energia elétrica no país (ANEEL, 2015) contribui para a categoria de impacto Mudanças climáticas. Ocorrem emissões de gases de efeito estufa por meio da decomposição de árvores acima da água que emitem gás carbônico e na liberação de metano na zona de deplecionamento (fundo do reservatório das hidrelétricas) (ROMEU; SILVA, 2013).

Nos cenários avaliados, o *Hotspot*, ou seja, o ponto onde se observa a melhor oportunidade de melhoria ambiental, se encontra na fase de operação. Exceto para o subsistema cinza, onde o *Hotspot* se encontra na fase de disposição final com a avaliação realizada com o método *ReCiPe midpoint*. Isso ocorreu em função da redução da geração de esgotos domésticos proporcionada pelo subsistema cinza, consequentemente reduzindo o consumo de energia na fase de operação, que engloba coleta e tratamento de esgoto.

Estes resultados mostram que economia de energia na fase de operação é essencial para melhoria do desempenho ambiental dos cenários de fornecimento de água. Assim, sugere-se buscar a eficiência energética na configuração dos sistemas integrados, projetando sempre que possível, sistemas com reservatório elevado e funcionamento por gravidade, evitando consumo energético para recalque e distribuição de água. Além disso, recomenda-se aliar ao aproveitamento de água pluvial e de água cinza o uso eficiente da água por meio da instalação de dispositivos economizadores e de campanhas educativas para conscientização dos usuários. Essas estratégias contribuiriam para reduzir ainda mais o consumo de água potável, prevenindo a poluição e as emissões associadas à energia utilizada na produção de água potável. Tendo em vista que o consumo de energia apresenta relação direta com a quantidade de água consumida, essas soluções reduzem ainda mais o consumo de água, minimizando a demanda energética na fase de operação.

7 CONCLUSÕES

Esta pesquisa se propôs a desenvolver um método baseado na Análise do Ciclo de Vida para quantificar e avaliar o impacto ambiental devido à implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em habitações residenciais unifamiliares.

No método foram propostas diretrizes para a definição da unidade funcional, do horizonte de tempo, das fronteiras do sistema na análise de ciclo de vida, bem como para a definição dos cenários a serem comparados e para a modelagem do inventário de ciclo de vida.

Uma consulta a um painel de especialistas foi realizada para o aperfeiçoamento do método proposto, e para comprovar a aplicabilidade do método foi realizado um estudo de caso.

O atendimento dos objetivos do trabalho se dá por meio da utilização do método proposto em um estudo de caso para avaliar comparativamente os efeitos ambientais acumulados ao longo do ciclo de vida do cenário onde a habitação apresenta um sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza em relação ao cenário apenas com sistema convencional de abastecimento de água potável.

O desenvolvimento do estudo ocorreu por meio de levantamentos *in loco* em habitações de interesse social na região metropolitana de Florianópolis, sul do Brasil, e também parcialmente por meio de análise teórica. Os levantamentos *in loco* foram realizados para a determinação dos usos finais de água e análise da aceitabilidade de fontes alternativas de água. As análises propostas no método foram aplicadas a uma habitação representativa das habitações estudadas, definida como habitação modelo, com 59 m² de área construída e 78 m² área de cobertura.

Verificou-se que por meio da integração de aproveitamento de água pluvial e água cinza na habitação modelo, o potencial médio de economia de água potável seria de 41,9%, enquanto o máximo potencial de economia, 53,4%. O potencial de economia de água potável obtido como o uso exclusivo de água cinza seria 19,4% do consumo total de água, e o potencial de redução de esgoto, 40%. O aproveitamento de água cinza promove tanto a redução da demanda de água potável em bacias sanitárias, quanto diminui o volume de efluentes destinados à rede pública de esgoto, minimizando o consumo energético associado tanto à água quanto ao esgoto.

Na análise de aceitabilidade social das fontes alternativas verificou-se um elevado grau de aceitação do uso de água pluvial, onde de 84 a 95% dos moradores entrevistados usariam água pluvial para fins

não potáveis. O percentual máximo de aceitação (95%) refere-se ao uso da água pluvial para descarga da bacia sanitária. Quanto à utilização de água cinza tratada para fins não potáveis, constatou-se que de 80 a 91% dos entrevistados usariam essa água.

A avaliação de impactos de ciclo de vida foi realizada utilizando os métodos de avaliação de impacto *ReCiPe H* e *CML 2 baseline 2000* gerenciados pelo programa *SimaPro versão 7.3*. As categorias de impacto contempladas na análise foram categorias de danos relativas à saúde humana (Potencial de aquecimento global/mudanças climáticas e Depleção da camada de ozônio, Radiação ionizante), à qualidade dos ecossistemas (Acidificação, Ecotoxicidade, Eutrofização, Toxicidade humana, Transformação do ambiente natural) e a recursos (Depleção de recursos minerais, recursos fósseis e mananciais).

A utilização de mais de um método na avaliação de impactos (métodos *ReCiPe* e *CML*) foi importante, pois permitiu verificar que alguns resultados obtidos para as categorias de impacto equivalentes apresentam variações na magnitude do impacto conforme o método adotado. Essas variações em alguns resultados de impacto ambiental das categorias equivalentes se devem às características particulares de cada método e a abordagem adotada pelo modelo de caracterização utilizado. Porém, em outras categorias, como Potencial de aquecimento global e acidificação, os valores dos impactos calculados nos dois métodos foram convergentes. Além disso, verificou-se que ambos os métodos comparados (*ReCiPe midpoint* e *CML*) indicaram que a categoria de impacto com maior potencial de impacto nos cenários foi a Ecotoxicidade das águas marinhas.

Com o método *ReCiPe endpoint* (pontuação única) os impactos que se destacaram estão relacionados com as categorias Mudanças climáticas (saúde humana) e Depleção dos recursos fósseis. Por meio da análise comparativa dos cenários por pontuação única, ficou evidente que o ciclo de vida do cenário de fornecimento de água com sistema convencional possui um impacto ambiental global maior que o ciclo de vida do cenário com sistema integrado. Assim, utilizando as condições e premissas adotadas na avaliação do estudo de caso, verificou-se que o cenário com sistema integrado se mostra mais vantajoso ambientalmente.

Os resultados demonstraram que a fase de operação (energia para o tratamento, coleta e recalque de água potável e esgoto) respondeu pela maior parcela dos impactos no ciclo de vida para as categorias avaliadas nos dois cenários. Os efeitos de final de vida vêm em segundo lugar como fase que mais apresentou danos ambientais nas categorias de impacto consideradas.

Sabe-se que a instalação de um sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza requer equipamentos e componentes adicionais, como motobombas, reservatórios e dispositivos, conseqüentemente exige mais processos de extração e processamento dos materiais necessários à fabricação desses componentes. No entanto, com as análises realizadas neste estudo constatou-se que os efeitos incorporados iniciais não são os maiores causadores de impactos ambientais, e sim os efeitos de operação.

A avaliação de impactos ambientais do sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza mostrou-se importante para possibilitar a proposição de melhorias para a minimização de impactos ambientais potencialmente gerados.

O método proposto servirá de ferramenta de apoio à decisão para projetistas, empresários, pesquisadores e gestores do setor de abastecimento de água. Além disso, o método poderá contribuir para recomendação de potenciais medidas de mitigação de impactos ambientais e para o desenvolvimento de políticas públicas para incentivo da construção de habitações mais sustentáveis tanto na escala da edificação, quanto na escala urbana.

7.1 Limitações

Uma das limitações dessa tese foi a utilização de bases de dados de origem estrangeira devido à inexistência de uma base de dados nacional consolidada para o inventário de ciclo de vida de materiais dos sistemas avaliados. No entanto, buscou-se adaptar os processos constituintes dos inventários modelados, tais como transporte necessário e a matriz energética empregada. Isso juntamente com a confiabilidade das informações justifica a utilização das referidas bases de dados, mesmo que inseridas em cenário estrangeiro

Outra limitação é a inexistência de um método de avaliação de impactos do ciclo de vida (AICV) específico para as condições brasileiras, o que gera incertezas nas análises dos impactos. Os métodos desenvolvidos consideram impactos ambientais globais e/ou relativos a regiões específicas onde foram desenvolvidos, como Canadá, Europa, Japão e Estados Unidos. Sendo assim, estes métodos não refletem necessariamente a situação de países como o Brasil, que ainda não possui métodos de AICV direcionados em específico para as características ambientais do país.

Além disso, destacam-se também as seguintes limitações:

- Incertezas na estimativa dos usos finais de água por meio de entrevistas com os moradores acerca das rotinas de uso de cada equipamento hidráulico e por meio de medições ou estimativas da vazão de cada um dos equipamentos;
- Desconsiderar a variação da demanda de água com o tempo;
- Considerar os dados de consumo de energia elétrica dos sistemas públicos de água e esgoto apresentados pelo SNIS apesar da grande incerteza dessas informações.

7.2 *Sugestões para trabalhos futuros*

Ao final deste estudo, algumas sugestões para o desenvolvimento de trabalhos futuros podem ser mencionadas:

- Aplicação do método proposto em conjunto com métodos para Análise do Custo do Ciclo de Vida (*Life Cycle Cost - LCC*);
- Implementar computacionalmente o método proposto;
- Criação de uma base de dados nacional para o inventário de ciclo de vida de materiais utilizados em sistemas hidráulico prediais;
- Aprimoramento do método para aplicação em outras tipologias de edificações, como edifícios comerciais e públicos, industriais e residências multifamiliares;
- Realização do estudo de caso considerando diferentes cenários de destinação final, por exemplo, incineração e reciclagem dos materiais em que são fabricados os componentes dos sistemas analisados.

REFERÊNCIAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro. 1998.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15220-3**: Desempenho térmico de edificações - Parte 3: Zoneamento bioclimático Brasileiro e estratégias de condicionamento térmico passivo para habitações de interesse social. Rio de Janeiro, 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15527**: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro. 2007.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro. 2009a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14044**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro. 2009b.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15575-6** – Edifícios Habitacionais de até cinco pavimentos - Desempenho - Parte 6: Sistemas hidrossanitários. Rio de Janeiro, 2013.

ADALBERTH, K. Energy use during the life cycle of buildings: a method. **Building and Environment**, Oxford, v. 32, n. 4, p. 317-320, 1996.

AGUIAR, K. C.; ALVAREZ, C. E. DE; GONÇALVES, R. F. Soluções alternativas para gerenciamento de águas residuárias numa edificação proposta para o campus universitário da UFES. **XI Simpósio Nacional de Sistemas Prediais**. Curitiba, 2009.

AL-JAYYOUSI, O. R. Greywater reuse: towards sustainable water management. **Desalination**, v. 156, n. 1–3, p. 181–92. 2003.

ALMEIDA, G. **Metodologia para caracterização de efluentes domésticos para fins de reúso: estudo em Feira de Santana, Bahia**. Dissertação de Mestrado (Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. 180p. 2007.

ALVARENGA, R. A. F. **Avaliação de métodos de AICV: Um estudo de**

caso de quatro cenários de ração para frangos de corte. 2010. 158 f. Dissertação de Mestrado. Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

ANAND, C.; APUL, D. S. Economic and environmental analysis of standard, high efficiency, rainwater flushed, and composting toilets. **Journal of Environmental Management**, v. 92, n. 3, p. 419-428, 2011.

ANDRADE, M.; MARINOSKI, A.K. Reúso de águas. In: LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa Eficiente: Uso racional da água.** Florianópolis: UFSC, 2010a. Cap. 4, p. 29-30.

ANDRADE, M.; MARINOSKI, A.K. A concepção do projeto de uso racional da água da Casa Eficiente. In: LAMBERTS, R.; GHISI, E.; PEREIRA, C. D.; BATISTA, J. O. **Casa Eficiente: Uso racional da água.** Florianópolis: UFSC, 2010b. Cap. 2, p. 12-16.

ANEEL. Agencia Nacional de Energia Elétrica. **Relatório de Informações Gerenciais.** Disponível em: http://www.aneel.gov.br/arquivos/PDF/Z_IG_Mar_2015-170615.pdf (Acesso em dez. 2015).

ANGRILL, S.; FARRENY, R.; GASOL, M.; GABARRELL, C.; VIÑOLAS, X.; JOSA, B.; RIERADEVALL, A.J. Environmental analysis of rainwater harvesting infrastructures in diffuse and compact urban models of Mediterranean climate. **International Journal of Life Cycle Assessment**, 2011.

APPAN, A. A dual-mode system for harnessing roofwater for non-potable uses. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p.317-321, 1999.

AWWA. American Water Works Association Research Foundation. **Residential end uses of water.** 1999.

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.

ARPKE, A.; HUTZLER, N. Domestic water use in the United States: A Life-Cycle Approach. **Journal of Industrial Ecology**, v. 10, n. 1-2, p. 169-184, 2006.

BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**, v. 8, n. 2, p. 23–40, Antac, Porto Alegre, 2008.

BARRETO, D.; ROCHA, A. L. **Perfil do consumo de água de uma habitação unifamiliar**. In: 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999, Rio de Janeiro. Anais do 20º Congresso da ABES, 1999.

BARRIOS, R.; SIEBEL, M.; HELM, A. V. D.; BOSKLOPPER, K.; GIJZEN, H. Environmental and financial life cycle impact assessment of drinking water production at Waternet. **Journal of Cleaner Production**, v. 16, n. 4, p. 471–476, 2008.

BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinzas para uso não-potável em edificações**. Dissertação de Mestrado (Engenharia Ambiental), Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.

BEAL, C.; GARDNER, T.; SHARMA, A.; BARTON, R; CHONG, M. **A desktop analysis of potable water savings from internally plumbed rainwater tanks in South East Qld**. Urban Water Security Research Alliance Technical Report No. 26, ISSN 1836-5566 (Online), Australia, 2011.

BARE J.C, HOFSTETTER P., PENNINGTON D.W, DE HAES HA U. (2000) Life cycle impact assessment midpoints vs. endpoints: the sacrifices and the benefits. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v.5, n.5, 2000.

BERTRAND, N. M. **Impacts of scaling up water recycling and rainwater harvesting technologies on hydraulic and hydrological flows**. PhD Thesis. Cranfield University. 2008.

BEZERRA, S. M.C.; CHRISTAN, P.; TEIXEIRA, C. A.; FARAHBAKHS, K. Dimensionamento de reservatório para aproveitamento de água de chuva: comparação entre métodos da ABNT NBR 15527:2007 e Decreto Municipal 293/2006 de Curitiba, PR. **Ambiente Construído (Online)**, v. 10, p. 219-231, 2010.

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.

BOCANEGRA-MARTÍNEZ, A.; PONCE-ORTEGA, J. M.; NÁPOLES-RIVERA, F.; SERNA-GONZÁLEZ, M.; CASTRO-MONTOYA, A. J.; EL-

HALWAGI, M. M. Optimal design of rainwater collecting systems for domestic use into a residential development. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 84, p. 44–56. 2014.

BONACELLI, M. B. M.; ZACKIEWICZ, M.; BIN, A. **Avaliação de impactos sociais de programas tecnológicos na agricultura do estado de São Paulo**. Espacios, Caracas, v. 24, n. 2, maio 2003.

Disponível em
<http://www2.scielo.org.ve/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0798-10152003000200002&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em 17 de outubro de 2013.

BONNES, M.; BONAIUTO, M. Expert and layperson evaluation of urban environmental quality: the “natural” versus the “built” environment. In Y. Guerrier, N. Alexander, J. Chase, M. O’Brien (Orgs.). **Values and the environment: a social science perspective** (pp. 151-163). Nova York: Wiley, 1995.

BOYER, T. H., OVERDEVEST, C., CHRISTIANSEN, L., ISHII, S.K.L. Expert stakeholder attitudes and support for alternative water sources in a groundwater depleted region. **Science of the Total Environment**, 437, 245–254, 2012.

BRASIL. Ministério das Cidades. Secretaria Nacional de Habitação, Gabinete da Secretaria. **Programa Minha Casa, Minha Vida (PMCMV)**. Medida Provisória nº 514, de 2010, Destaques, Brasília, DF, 2011.

BRASIL. **RESOLUÇÃO CONAMA Nº 274**, de 29 de novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. 2000.

BROWN, R. Practitioner perceptions of social and institutional barriers to advancing a diverse water source approach in Australia. **Water Resources**.v. 25 (1), 15-28, 2009.

BRUNO, P.; KATRIEN, P. PRESCO WP2 **Inter-comparison and Benchmarking of LCA-based Environmental Assessment and Design Tools: Final Report**. [S.l.]: European Thematic Network on Practical Recommendations for Sustainable Construction - PRESCO. Disponível em: <<http://www.etn-presco.net>>. Acesso em: 11 fev. 2012.

BS 7543 – British Standards Institution. **Guide to durability of buildings and building elements, products and components**. 2003.

BUILDING GREEN. Alternative Water Sources: Supply-Side Solutions for Green Buildings. **Environmental Building News**, v. 17, n. 5. Disponível em. <http://www.buildinggreen.com/auth/article.cfm/2008/4/29/Alternative-Water-Sources-Supply-Side-Solutions-for-Green-Buildings>. Acesso em 12 de julho de 2013.

BURDGE, R. J.; VANCLAY, F. **Social Impact Assessment: A Contribution to the State of the Art Series'**. Volume 14, March 1996.

CALKINS, M. Materials for sustainable sites. **A complete guide to evaluation, selection, and use of sustainable construction materials**. John Wiley & Sons, New Jersey, USA, 2009. 457p.

CAMPISANO, A.; MODICA, C. Optimal sizing of storage tanks for domestic rainwater harvesting in Sicily. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 63, p. 9–16. 2012.

CAVALETT, O.; CHAGASM, M. F.; SEABRA, J. E. A.; BONOMI, A. Comparative LCA of ethanol versus gasoline in Brazil using different LCIA methods. **International Journal of Life Cycle Assessment**, v. 18, n. 3, p. 647-658. 2013.

CBCS - Conselho Brasileiro de Construção Sustentável. Projeto SUSHI - Sustainable Social Housing Initiative. **Avaliação das tecnologias existentes no mercado e soluções para melhorar a eficiência energética e o uso racional da água em Habitação de Interesse Social no Brasil**. 2012. Disponível em. http://www.cbcs.org.br/sushi/images/relatorios/Final_Brazil_reports_160511/3_Avaliacao_120511.pdf

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1998.

CHENG, C.L.; HONG, Y.T. Evaluating water utilization in primary schools. **Building and Environment**, v. 39, n. 7, p. 837-845. 2004.

CHIU, Y.-R.; LIAW, C.-H.; CHEN, L.-C. Optimizing rainwater harvesting systems as an innovative approach to saving energy in hilly communities. **Renewable Energy**, v. 34, n.3, p. 492-498, 2009.

CHONG, W.T.; NAGHAVI, M.S.; POH, S.C.; MAHLIA, T.M.I.; PAN, K.C. Techno-economic analysis of a wind-solar hybrid renewable energy system

with rainwater collection feature for urban high-rise application. **Applied Energy**, v. 88, n. 11, p. 4067-4077, 2011.

CLARCKE, A.; GRANT, N.; THORNTON, J. **Quantifying the energy and carbon effects of water saving: full technical report**. Environment Agency. Great Britain, 2009.

CMBAQUA. **CMB indústria e comércio de artefatos plásticos LTDA**. Disponível em: <http://www.cmbaqua.com.br/clorador.html>. Acesso em: maio de 2015.

CNRH, Conselho Nacional de Recursos Hídricos. **Resolução nº. 54, de 28 de novembro de 2005 – Estabelece critérios gerais para reuso de água potável**. Disponível em: http://www.aesa.pb.gov.br/legislacao/resolucoes/cnrh/54_2005_criterios_gerais_uso_agua.pdf

COELHO G. M.; GHISI, E. Avaliação dos Usos Finais de Água em Residências Unifamiliares Localizadas em Blumenau-SC. XII Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...**Fortaleza, 2008.

COHIM, E.; COHIM, F. Reúso de água cinza: a percepção do usuário (estudo exploratório). II – 418. 11 p. In: Anais do 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...**Belo Horizonte. 2007.

COHIM, E.; GARCIA, A. P. A.; KIPERSTOK, A. Captação e Utilização de Água Pluvial em Residências para População de Baixa Renda em Áreas Urbanas. In: IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste. **Anais...** Salvador, Bahia, 2008.

COHIM, E.; GARCIA, A. P. A.; KIPERSTOK, A.; DIAS, M. Consumo de água em residências de baixa renda - estudo de caso. In: 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2009, Recife. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...**Rio de Janeiro - ABES, 2009.

CONSOLI, F. J.; DENISON, R.; DICKSON, K.; MOHIN, T. **Guidelines for Life-Cycle Assessment: a "code of practice"**. 1ª Ed. Pensacola: Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) Foundation for Environmental Education, 1993.

CRAWFORD, R.H. Validation of a hybrid life-cycle inventory analysis method. **Journal of Environmental Management**, v.88 (3), p. 496-506, 2008.

CRETTAZ, P., JOLLIET, O., CUANILLON, J. M., ORLANDO, S. Life cycle assessment of drinking water and rain water for toilets flushing. **Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua**, v. 48, p. 73-83, 1999.

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. **Anais...**Porto Alegre, 2000.

DALKEY, N. **The Delphi method: an experimental study of group opinion**. Rand Corporation - RAND Paper, Santa Monica, USA, 1969.

DANTAS, C. T.; UBALDO JR., L.; POTIER, A. C.; ILHA, M. S. O. Caracterização do uso de água em residências de interesse social em Itajubá. XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, **Anais...** Florianópolis, 2006.

DAROS, C. **Design para a sustentabilidade: oportunidades de inovação a partir dos hábitos de consumo na habitação de interesse social**. Dissertação de Mestrado (Design). Universidade Federal do Paraná. 2013.

DENG, S. Energy and water uses and their performance explanatory indicators in hotels in Hong Kong. **Energy and Buildings**, v. 35, n. 8, p. 775-784, 2003.

DEVKOTA, J.; SCHLACHTER, H.; APUL, D., Life Cycle Based Evaluation of Harvested Rainwater Use in Toilets and for Irrigation, **Journal of Cleaner Production** (2015), doi: 10.1016/j.jclepro.2015.02.021.

DIAS, I. C. S.; ATHAYDE JÚNIOR, G. B.; GADELHA, C. L. M. Viabilidade econômica e social do aproveitamento de águas pluviais em residências na cidade de João Pessoa. X Simpósio Nacional de Sistemas Prediais: Desenvolvimento e inovação. **Anais...**São Carlos, 2007.

DIXON, A. **Computer simulation of domestic water re-use systems: greywater and rainwater in Combination**. PhD thesis, Imperial College, University of London; 2000.

DIXON, A.; BUTLER, D.; FEWKES, A. Water saving potential of domestic water recycling systems using greywater and rainwater in combination. **Water Science and Technology**. v. 39, n. 5, p. 25-32. 1999.

DOLNICAR, S., HURLIMANN, A., GRÜN, B. What affects public acceptance of recycled and desalinated water? **Water Research**, 45, 933–943, 2011.

DOLNICAR, S., HURLIMANN, A., NGHIEM, L. D. The effect of information on public acceptance e The case of water from alternative sources. **Journal of Environmental Management**, 91, 1288-1293, 2010.

DOMÈNECH, L., SAURÍ, D. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. **Journal of Cleaner Production**. v. 6-7, p. 598-608. 2011.

DOMÈNECH, L., SAURÍ, D. Socio-technical transitions in water scarcity contexts: Public acceptance of greywater reuse technologies in the Metropolitan Area of Barcelona. **Resources, Conservation and Recycling**. v. 55, p. 53–62. 2010.

EKVALL, T., TILLMAN, A.-M., MOLANDER, S. Normative ethics and methodology for life cycle assessment. **Journal of Cleaner Production** 13 (13–14), p. 1225–1234. 2005.

ELETROSUL. **Centrais Elétricas S.A.** Disponível em: <http://www.eletrosul.gov.br/casaeficiente/br/home/conteudo.php?cd=8>

ENVIRONMENTAL AGENCY. **Harvesting rainwater for domestic uses: an information guide**. 2008. Reference number/code GEHO0108BNPN-E-E. Environmental Agency, Bristol.

ENVIRONMENT AGENCY. **Greywater for domestic users: an information guide**. 2011. Disponível em: <http://cdn.environment-agency.gov.uk/geho0511btwc-e-e.pdf>

EROKSUZ, E.; RAHMAN, A. Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 12, p. 1449-1452, doi:10.1016/j.resconrec.2010.06.010, 2010.

- FAN, L.; LIU, G.; WANG, F.; GEISSEN, V.; RITSEMA, C. J.; TONG, Y. Water use patterns and conservation in households of Wei River Basin, China. **Resources, Conservation and Recycling**, 2013, (74), 45–53.
- FARRELLY, M.; BROWN R. Rethinking urban water management: Experimentation as a way forward? **Global Environmental Change**, Volume 21, Issue 2, May 2011, Pages 721-732.
- FARRENY, R.; GABARRELL, X.; RIERADEVALL, J. Cost-efficiency of rainwater harvesting strategies in dense Mediterranean neighbourhoods. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, p. 686–694. 2011.
- FEWKES, A. The use of rainwater for WC flushing: the field testing of a collection system. **Building and Environment**, v. 34, n. 6, p. 765-772, 1999.
- FEWKES, A, BUTLER, D., 1999. The sizing of Rainwater stores using behavioural models. In: 9th International Rainwater Catchment Systems Conference, Petrolina, Brazil. **Proceedings**. Petrolina: IRCSA.
- FIDAR, A., MEMON, F. A.; BUTLER, D. Environmental implications of water efficient microcomponents in residential buildings. **Science of the Total Environment**. v. 408. n. 23, p. 5828-5835, 2010.
- FINNVEDEN, G., HAUSCHILD, M.Z., EKVALL, T., GUINÉ, J., HEIJUNGS, R., HELLWEG, S., KOEHLER, A., Pennington, D., Suh, S. Recent developments in Life Cycle Assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 91 (11), p. 1-21. 2009.
- FORTLEV. **Catálogo técnico de caixas d'água em polietileno**. Disponível em:
<http://www.fortlev.com.br/externos/produto/catalogo/suporte_20101222104823.pdf> Acesso em: maio de 2014.
- FRANCI, T. K.; GONÇALVES, R. F. Reúso de águas cinzas em edificações residenciais unifamiliares: um luxo economicamente viável para poucos. **3º Work Shop - Rede de pesquisa - Uso racional da água e eficiência energética em habitação de interesse social**. p. 63. 2012.
- FRIEDLER, ERAN, LAHAV, O., JIZHAKI, H., & LAHAV, T. Study of urban population attitudes towards various wastewater reuse options : Israel as a case study. **Journal of Environmental Management**, v. 81, p. 360-370. 2006.

FRIEDRICH, E.; PILLAY, S.; BUCKLEY C. A. **The use of LCA in the water industry and the case for an environmental performance indicator.** Water Research Commission. Disponível em: <<http://www.wrc.org.za>>. 2009.

GARCIA, A. P. A. **Fatores associados ao consumo de água em residências de baixa renda.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Industrial). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. 2011.

GARCIA, A. P. A. A.; FONTES, F. M. A.; GARCIA, L. C. S.; FONTOURA, K.; KIPERSTOK, A. Viabilidade econômica de sistemas para captação de água de chuva em habitações populares de Salvador, Bahia. In: XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental, 2013, **Anais...**Goiânia. Anais do XXVII Congresso Brasileiro de Engenharia Ambiental, 2013.

GARCIA, A. P. A.; SANTOS, M.; CONCEIÇÃO, D.; MACHADO, A.; KIPERSTOK, A. Consumo domiciliar e uso racional da água em áreas de baixa renda: pesquisa de opinião. In: I Congresso Baiano de Engenharia Sanitária e Ambiental - COBESA, **Anais...**Salvador, 2010.

GARDELS, D. J. **Economic Input-Output Life Cycle Assessment of Water Reuse Strategies in Residential Buildings and Communities. Degree of Master of Science.** Civil Engineering Theses, Dissertations, and Student Research Civil Engineering. University of Nebraska-Lincoln. 2011.

GHISI, E. Parameters influencing the sizing of rainwater tanks. **Water Resources Management**, v. 24, p. 2381-2403, 2010.

GHISI, E., CARDOSO, K.A., RUPP, R.F. Short-term versus long-term rainfall time series in the assessment of potable water savings by using rainwater in houses. **Journal of Environmental Management**, v.100, p. 109-119. 2012.

GHISI, E.; CORDOVA, M.M. **Netuno 4.** Programa computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. 2014.

GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for Potable Water Savings by Using Rainwater and Greywater in a Multi-storey Residential Building in Southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 7, p. 2512-2522, 2006.

GHISI, E.; MARINOSKI, A. K. Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 8, n. 2, p.18, 2008.

GHISI, E.; MONTIBELLER, A.; SCHMIDT, R.W. Potential for potable water savings by using rainwater: an analysis over 62 cities in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 41, n.2, p.204-210, 2006.

GHISI, E.; OLIVEIRA, S. M. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 4, p. 1731-1742, 2007.

GHISI, E.; RUPP, R. F.; TRISKA, Y. Comparing indicators to rank strategies to save potable water in buildings. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 87, p.137-144, 2014.

GHISI, E.; SCHONDERMARK, P.N. Investment Feasibility Analysis of Rainwater Use in Residences. **Water Resources Management** v. 27, p. 2555-2576, 2013.

GHISI, E., TAVARES, D.F., ROCHA, V.L., Rainwater harvesting in petrol stations in Brasília: Potential for potable water savings and investment feasibility analysis. **Resources, Conservation and Recycling**, 54 (2), 79-85. 2009.

GIURCO, D.P.; CARRARD, N.; MCFALLAN, S.; NALBANTOGLU, M.; INMAN, M.; THORNTON, N.; WHITE, S. **Residential end-use measurement Guidebook**: a guide to study design, sampling and technology. Prepared by the Institute for Sustainable Futures, UTS and CSIRO for the Smart Water Fund, Victoria, Austrália, 2008.

GOEDKOOP, M.; SPRIENSMA, R. **The Eco-indicator 99 - A damage oriented method for Life Cycle Impact Assessment: Methodology Report**. Amersfoort, Holanda: PRé Consultants, p. 132. 2001.

GOEDKOOP M.; HEIJUNGS R.; DE SCHRYVER A.; STRUIJS J.; VAN ZELM R. ReCiPe 2008: **A life cycle impact assessment method which comprises harmonized category indicators at the midpoint and the endpoint level. Report I: Characterization**. Holanda: Ministerie van VROM, Den Haag, 2009.

GONÇALVES, R. F. **Uso racional de água em edificações**. (Projeto PROSAB, Edital 4). Rio de Janeiro: ABES, v.5, p. 352, 2006.

GONÇALVES; R. F.; SILVA, L. M. Aspectos legais e normativos relativos ao reuso / reaproveitamento de água para fins não potáveis. **3º Work Shop - Rede de pesquisa - Uso racional da água e eficiência energética em habitação de interesse social.** p. 47. 2012.

GONÇALVES, R. F. **Uso racional de água e energia: Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água.** PROSAB - Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Disponível em: <<http://www.finep.gov.br/prosab/index.html>>.

GOYAL, R. R.; BHUSHAN, B. Rainwater Harvesting: Impact on Society, Economy & Ecology. **12th International Rainwater Catchment Systems Conference "Mainsteaming Rainwater Harvesting"**. New Delhi, India. 2005.

GRANT, T.; HALLMANN, M. Urban domestic water tanks: Life cycle assessment. **Water:** August 2003, Center for Design at RMIT, Australia, p. 22–27, 2003.

GUINÉE, J. B. **LCA an operational guide to the ISO standards – Part 1: LCA in perspective.** Holanda, Universidade de Leiden, 2001.

GUINÉE, J. B. (Ed.). **Handbook of Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards.** Kluwer Academic Publishers, p. 692, 2002.

GURUNG, T. R.; SHARMA, A. Communal rainwater tank systems design and economies of scale. **Journal of Cleaner Production**, v. 67, p. 26-36. 2014.

HAFNER, A. V. **Conservação e reuso de água em edificações - experiências nacionais e internacionais.** Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2007.

HEINRICH, M. Water End-use and Efficiency Project (WEEP) – A Case Study. SB07 NZ Conference: Transforming our Built Environment. **Anais...** p.14-16. Auckland, BRANZ, ISSN: 1178-4946, Nova Zelândia, 2007.

HENDRICKSON, CHRIS T.; LESTER B.; LAVE, H.; SCOTT MATTHEWS. **Environmental Life Cycle Assessment of Goods and Services.** Washington DC: Resources for the Future, 2006.

HERNÁNDEZ-SAMPIERI, R.; FERNÁNDEZ-COLLADO, C.; BAPTISTA-LUCIO. **Metodología de la investigación** (4ª ed.). Cidade do México: McGraw-Hill Interamericana, 2006.

HERRMANN, T., SCHMIDA, U. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**, v. 1 (4), p. 307-316, 2000.

HESPAÑHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v.7, n.4 out/dez, 2002.

HOFFMANN, H.; PLATZER, C. **Constructed wetlands for greywater and domestic wastewater treatment in developing countries**. Ecosan - Sustainable sanitation and ecosan program of Deutsche Gesellschaft für Technische Zusammenarbeit (GTZ), Alemanha, 2010.

HURLIMANN, A., DOLNICAR, S. Newspaper coverage of water issues in Australia. **Water Research**, 46, 6497–6507, 2012.

HURLIMANN, A., DOLNICAR, S. When public opposition defeats alternative water projects – The case of Toowoomba Australia. **Water Research**, 44, 287–297, 2010.

HURLIMANN, A., DOLNICAR, S., MEYER, P. Understanding behaviour to inform water supply management in developed nations – A review of literature, conceptual model and research agenda. **Journal of Environmental Management**, 91, 47–56, 2009.

HURLIMANN, A.; MCKAY, J. Urban Australians using recycled water for domestic non-potable use — An evaluation of the attributes price, saltiness, colour and odour using conjoint analysis. **Journal of Environmental Management**, v. 83, p. 93-104. 2007.

IAIA. International Association for Impact Assessment. **Edições Especiais Nº 4. Avaliação De Impactos Sociais**. 2002, 2003. Princípios Internacionais. Disponível em <http://www.iaia.org>. Acesso em outubro de 2013.

IBICT. **Metodologia Padrão para Elaboração de Inventários de Ciclo de Vida da Indústria Brasileira – Documento Consolidado**. Projeto “SICV Brasil – Sistema de Inventários do Ciclo de Vida Brasil.” [S.l.]: Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. Disponível em: <<http://acv.ibict.br>>, 2014.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Síntese de Indicadores Sociais**: uma análise das condições de vida da população brasileira, 2010. Estudos e pesquisas: Informação demográfica e socioeconômica – número 27. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão, ISBN 978-85-240-4143-3, Rio de Janeiro, 2010.

IBGE – **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Censo Demográfico 2010. Disponível em: http://www.ibge.gov.br/english/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_da_populacao/resultados_do_universo.pdf Acesso em: janeiro de 2014.

INMET - Instituto Nacional de Meteorologia. **Dados de precipitação para cidade de Florianópolis**. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>. Acesso em: janeiro de 2012.

JAMRAH, A.; AL-FUTAISI, A.; PRATHAPAR, S. A.; AHMAD, M.; AL HARASI, A. International Conf. **Water Demand Management**, Dead Sea, Jordan, 2004.

JEFFREY P. Public attitudes to in-house water recycling in England and Wales. **Journal of the Chartered Institution of Water and Environmental Management**, v.16, p. 214-217. 2002.

JONES, M.P., HUNT, W.F. Performance of rainwater harvesting systems in the southeastern United States. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 54, n. 10, p. 623-629, 2010.

KALBUSCH, A. **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 de doutorado. Universidade Federal de Santa Catarina. Engenharia Civil. Florianópolis, 2011.

KALBUSCH, A.; GHISI, E. Método para quantificação do consumo energético no ciclo de vida de equipamentos hidrossanitários. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 12, n. 3, p. 57-73, 2012.

KAMMERS, P. C.; GHISI, E. Usos finais de água em edifícios públicos localizados em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 6 n.1, p. 75-90, 2006.

KARIM, M. R.; SHELLY, A. B.; BISWAS, M. People Perception and Acceptance of Rainwater Harvesting in a Coastal Area in Bangladesh. **12th International Rainwater Catchment Systems Conference "Mainsteaming Rainwater Harvesting"**. New Delhi, India. 2005.

KIM, R.H.; LEE, S.; JEONG, J.; LEE, J.; KIM, Y. Reuse of greywater and rainwater using fiber filter media and metal membrane. **Desalination**, v. 202, p. 326-332, 2007.

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.

KUNDZEWICZ, Z.W., L.J. MATA, N.W. ARNELL, P. DÖLL, P. KABAT, B. JIMÉNEZ, K.A. MILLER, T. OKI, Z. SEN AND I.A. SHIKLOMANOV. **Freshwater resources and their management. Climate Change 2007: Impacts, Adaptation and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change**. Parry M.L., O.F. Canziani, J.P. Palutikof, P.J. van der Linden and C.E. Hanson (eds.), Cambridge University Press Cambridge, UK, 173-210. 2007.

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.

LI, F.; WICHMANN, K., OTTERPOHL, R. Review of the technological approaches for grey water treatment and reuses. **Science of the Total Environment**, 407, p. 3439 –3449. 2009.

LI, Z.; BOYLE F.; REYNOLDS A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. **Desalination**; 260: 1–8. 2010.

LIANG, X., VAN DIJK, M. P. Economic and financial analysis on rainwater harvesting for agricultural irrigation in the rural areas of Beijing. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55 (11), p. 1100-1108, 2011.

LIAW, C.; CHIANG, Y. Framework for Assessing the Rainwater Harvesting Potential of Residential Buildings at a National Level as an Alternative Water Resource for Domestic Water Supply in Taiwan. **Water**, v. 6(10), p. 3224-3246; 2014. doi:10.3390/w6103224

LIU, S.; BUTLER, D.; MEMON, F. A.; MAKROPOULOS, C.; AVERY, L.; JEFFERSON, B. Impacts of residence time during storage on potential of water saving for grey water recycling system. **Water Research**, v. 44, n. 1, p. 267-277, 2010.

MAHGOUB, M. E. M.; STEEN; N. P. V.; ZEID, K. A.; VAIRAVAMOORTHY, K. 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. 2010.

MANKAD, A. Decentralised water systems: Emotional influences on resource decision making. **Environment International**, v. 44 (1), p. 128 – 140, 2012.

MANKAD, A., GREENHILL, M., TUCKER, D., TAPSUWAN, S. Motivational indicators of protective behaviour in response to urban water shortage threat. **Journal of Hydrology**, 491, pp. 100 - 107. 2013.

MANKAD, A.; TAPSUWAN, S. Review of socio-economic drivers of community acceptance and adoption of decentralized water systems. **Journal of Environmental Management**, v. 92, p. 380-391, 2011.

MANCUSO, P.C.S. “**Tecnologia de reúso de água**”. In: Mancuso, P.C.S., Santos, H.F, Reúso de Água, 1.ed. cap. 9, Barueri, SP, Editora Manole. 2003.

MANO, R. S.; SCHMITT, C. M. Captação residencial de água pluvial, para fins não potáveis, em Porto Alegre: aspectos básicos da viabilidade técnica e dos benefícios do sistema. CLACS04 – I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e ENTAC04 – 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo – SP, **Anais...** CD Rom, 2004.

MARCH, J.G.; GUAL, M.; OROZCO, F. Experiences on greywater re-use for toilet flushing in a hotel (Mallorca Island, Spain). **Desalination**, v. 164, n.3, p. 241–247. 2004.

MARINOSKI, A. K. SILVA, A. S.; VIEIRA, A. S.; GHISI, E. Usos finais de água em habitações de interesse social no sul do Brasil. In: XV ENTAC -

Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais....**Maceió, v. 1, p. 2720-2729, 2014.

MARINOSKI, A. K. **Método para avaliação de viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial**. Dissertação de Mestrado (Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, 2010.

MARINOSKI, A. K.; GHISI, E.; VIEIRA, A. S.; MENDES, T.; BITTENCOURT, D. L. Viabilidade ambiental de sistemas alternativos de água utilizando análise de ciclo de vida. In: XIV ENTAC - Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais...Juiz de Fora**, v. 1, p. 1-10, 2012.

MARTINETTI, T. H.; SHIMBO I.; TEIXEIRA, B. A. N. Análise de alternativas mais sustentáveis para tratamento local de efluentes sanitários residenciais. X Simpósio Nacional de Sistemas Prediais: Desenvolvimento e inovação. **Anais....São Carlos**, 2007.

MATOS, C.; TEIXEIRA, C.A.; DUARTE, A.A.L.S.; BENTES, I. Domestic water uses: Characterization of daily cycles in the north region of Portugal. **Science of the Total Environment**, v. 458, p. 444–450. 2013.

MAY, S.; PRADO, R. T. A. Estudo da Qualidade da água de chuva para consumo não potável em edificações. CLACS' 04 – I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e ENTAC 04, - 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo - SP, **Anais....CD Rom**, 2004.

MENDEZ, C. B., KLENZENDORF, J. B., AFSHAR, B. R., SIMMONS, M. T., BARRETT, M. E., KINNEY, K. A., KIRISITS, M. J. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. **Water Research**, v. 45, n. 5, p. 2049-2059, 2011.

MINITAB. **Minitab 16 Statistical Software**. State College, PA: Minitab, 2010. Disponível em: (<www.minitab.com>) Acesso em: março de 2013.

MITHRARATNE, N., VALE, R. Conventional and alternative water supply systems: a life cycle study. **International Journal of Environment and Sustainable Development**, v. 6, n.2, p. 136 – 146. 2007.

MME. Ministério de Minas e Energia. **Resenha Energética Brasileira**. Exercício de 2014. Disponível em: (www.mme.gov.br). Acesso em: outubro

de 2015.

MOURAD, K. A.; BERNDTSSON, J. C.; BERNDTSSON, R. Potential fresh water saving using greywater in toilet flushing in Syria. **Journal of Environmental Management**, v. 92, p. 2447-2453, 2011.

MOON, S., LEE, J., LEE, B., PARK, K., JO, Y. Quality of harvested rainwater in artificial recharge site on Jeju volcanic island, Korea. **Journal of Hydrology**, 414-415, p. 268-277, 2012.

MORALES-PINZÓN, T., LURUEÑA, R., RIERADEVALL, J., GASOL, C.M, GABARREL, X. Financial feasibility and environmental analysis of potential rainwater harvesting systems: A case study in Spain. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 69, p. 130-140, 2012.

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C. de; CARVALHO, G. Volume do reservatório de aproveitamento de água pluvial baseado no conceito do balanço de vazões para uma residência unifamiliar. **Publ. UEPG Ci. Exatas Terra, Ci. Agr. Eng**, v. 14, n. 3, p. 217-227, 2008.

MUNARIM, U. **Benefícios ambientais da preservação do patrimônio edificado: Análise do ciclo de vida da reabilitação de edificações vs. nova construção**. Tese de Doutorado. Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2014.

MUTHUKUMARAN, S., BASKARAN, K., SEXTON, N. Quantification of potable water savings by residential water conservation and reuse – A case study. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, p. 945–952, 2011.

NAGGAR, O. M. **Rural Rainwater Harvesting: Concept, Techniques, and Social & Economical Impacts**. Khartoum State Water Corporation, Sudan. 2006. Disponível em: http://ipac.kacst.edu.sa/edoc/2006/157176_1.pdf. Acesso em: outubro de 2013.

NARDOCCI, A. C. Avaliação de riscos em reúso de água. In: SANTOS, H.F.; MANCUSO, P.C.S. (Orgs.) **Reúso de Água**. Barueri, SP: Manole, 2003. Cap. 11, p.403-431.

NAZER, D.; SIEBEL, M.; ZAAG, P.; ZAND, M.; GIJZEN, H. A financial, environmental and social evaluation of domestic water management options in the West Bank, Palestine. **Water Resources Management**, v. 24, n. 15, p.4445– 4467, 2010.

NOLDE, E. Greywater reuse for toilet flushing in multi-storey buildings — over ten years experience in Berlin. **Urban Water**, v.1, n. 4, p. 275–284, 1999.

NREL. **National Renewable Energy Laboratory**. Disponível em: <http://www.nrel.gov/lci>. Acesso em: dezembro de 2012.

OLIVEIRA, J. S. P. **Introdução ao método Delphi**. Curitiba: Mundo Material, 2008.

OLIVEIRA, J. I. de; FILHO, M. L. Consumo per capita de Água na Cidade de Natal segundo a Estratificação Socioeconômica. In: Seminário Hispano-Brasileiro sobre Sistemas de Abastecimento Urbano de Água. **Anais...** João Pessoa, Brasil, 2004.

OLIVEIRA JUNIOR, O. B.; ILHA, M. S. O.; GONÇALVES, O. M. **Análise do perfil de consumo de água em edificações unifamiliares de baixa renda**. In: III ENECS - Encontro Nacional Sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis. São Carlos, 2003.

OLIVEIRA, L. H. de; ILHA, M. S. DE O.; GONÇALVES, O. M.; YWASHIMA, L.; REIS, R. P. A. **Tecnologias para construção habitacional mais sustentável**: Levantamento do Estado da Arte - água. FINEP – Financiadora de Estudos e Pesquisas, Ministério de Ciência e Tecnologia, São Paulo, 2007.

OLIVEIRA, L. H.; SOUSA, L. C.; SILVA, K. A.; PAIXÃO, A. Caracterização do uso da água em habitações unifamiliares de interesse social. XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Florianópolis-SC, **Anais...**CD Rom, 2006.

OLSSON, G. Water and Energy Nexus. **Science**. New York: Encyclopedia of Sustainability Science and Technology, Springer Verlag, 2011.

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.

O'TOOLEA, J.; SINCLAIRA, M.; MALAWARAARACHCHIC, M.; HAMILTONB, A.; BARKERB, S. F.; LEDERA, K. Microbial quality assessment of household greywater. **Water Research**, v. 46, n.13, p. 4301 – 4313, 2012.

PAES, R. P. de; OLIVEIRA E SILVA, G. C.; PRIANTE, J. C. R.; LIMA, E. B. N. R.; PRIANTE FILHO, N. Aplicação de Tecnologias de Conservação do Uso da Água Através do Reuso — Estudo de Caso Cuiabá, MT. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 15, n.3, p. 97-107. 2010.

PAULO, P. L.; BEGOSSO, L.; PANSONATO, N.; ROSHAN, R.; SHRESTHA; BONCZ, M. A. Design and configuration criteria for wetland systems treating greywater. **Water Science and Technology**, v. 60, n. 8, p. 2001-2007, 2009.

PEEL, M. C.; FINLAYSON, B. L.; MCMAHON, T. A. Updated world map of the Koppen-Geiger climate classification. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 11, p. 1633–1644, 2007.

PETERS, M. R.; SEZERINO, P. H.; MELO, K. M. S.; PHILIPPI, L. S. **Potencialidade de reuso residencial utilizando fontes alternativas de água**. VIII Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Fortaleza, 2006.

PINHEIRO, J. Q.; FARIAS, T. M.; ABE-LIMA, J. Y. **Painel de Especialistas e Estratégia Multimétodos: Reflexões, Exemplos, Perspectivas**. Psico, Porto Alegre, PUCRS, v. 44, n. 2, pp. 184-192, abr./jun. 2013.

PO, M.; KAERCHER, J. D.; NANCARROW, B. E. Literature review of factors influencing public perceptions of water reuse. **CSIRO Land and Water. Technical report 54/03**, December; 2003.

POZZEBON, P. H. B. **Viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento das águas de chuva e cinzas para consumo não potável na cidade de Santa Maria/RS**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil e Ambiental. Universidade Federal de Santa Maria. 2013.

PRATHAPARA, S.A., JAMRAH, A., AHMED, M., AL ADAWI, S., AL SIDAIRI, S., AL HARASSI, A. Overcoming constraints in treated greywater reuse in Oman. **Desalination**, v.186, n. 1-3, p. 177-186, 2005.

PRÉ CONSULTANTS. **Programa SimaPro**. Disponível em: <http://www.pre-sustainability.com/simapro-lca-software>. Acesso em novembro de 2014.

PROENÇA, L. C.; GHISI, E. Estimativa de usos finais de água em quatro edifícios de escritórios localizados em Florianópolis. **Ambiente Construído**. Porto Alegre, v. 9, p. 95-108, 2009.

PROENÇA, L. C.; GHISI, E.; TAVARES, D. DA F.; COELHO, G. M. Potential for electricity savings by reducing potable water consumption in a city scale. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 55, n. 11, p. 960-965, 2011.

PULLEN, S. F. Consideration of environmental issues when renewing facilities and infrastructure. **8th International conference on durability of building materials and components**, Vancouver, Canada, 1999.

QUIVY, R.; CAMPENHOUDT, L. V. **Manual de investigação em ciências sociais** (2ª ed.). Lisboa: Gradiva, 1998.

RACOVICIANU, A.I.; KARNEY, B.W. Life-Cycle Perspective on Residential Water Conservation Strategies. **Journal of Infrastructure Systems**, p. 40-48, 2010.

RACOVICIANU, A.; KARNEY, B. W.; M. ASCE.; KENNEDY. C.A.; COLOMBO, A.F. Life-Cycle Energy Use and Greenhouse Gas Emissions Inventory for Water Treatment Systems. **Journal of Infrastructure Systems**, 13, p. 261-270, 2007.

RAHMAN, A. KEANE, J., IMTEAZ, M. A. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 61, p.16-21, 2012.

REIS, R. P. A.; ARAÚJO, J. V. G. DE; SOARES E SILVA, VICTOR HUGO. Concepção e avaliação de desempenho de sistema domiciliar de reúso de efluentes constituído por filtração com recirculação e desinfecção por UV. **XI Simpósio Nacional de Sistemas Prediais**. Curitiba, 2009.

RETAMAL, M.; GLASSMIRE, J.; ABEYSURIYA, K.; TURNER, A.; WHITE, S. **The Water-Energy Nexus: Investigation into the Energy Implications of Household Rainwater System**. Prepared for CSIRO, Institute for Sustainable Futures, University of Technology, Sydney, Austrália, 2009.

RIBEIRO, F. de M. **Inventário de Ciclo de Vida da Geração Hidrelétrica no Brasil**: Usina de Itaipu: primeira aproximação. São Paulo, 2003.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E. **Caracterização e monitoramento do consumo predial de água**. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água - Documento Técnico de Apoio Nº E1. Brasília: Ministério do Planejamento e Orçamento, 1998.

RODRIGUES, R. dos S. **As Dimensões Legais e Institucionais de Reúso de Água no Brasil: Proposta de Regulamentação do Reúso no Brasil**. Dissertação (Mestrado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, SP. 2005.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C. An Environmental impact assessment system for agricultural R&D. **Environmental Impact Assessment Review**, New York, v. 23, p. 219-244, 2003.

RODRIGUES, G. S.; CAMPANHOLA, C.; KITAMURA, P. C.; IRIAS, L. J. M.; RODRIGUES, I. **Avaliação de impacto ambiental da inovação tecnológica agropecuária: Ambítec-Agro**. Jaguariúna: Embrapa Meio Ambiente, 2005. (Embrapa Meio Ambiente. Documentos, 35). Disponível em: <<http://www.cnpma.embrapa.br>>. Acesso em: 05 de outubro de 2013.

ROEBUCK, R.; OLTEAN-DUMBRAVA, C.; TAIT, S. Whole life cost performance of domestic RWH systems in the United Kingdom. **Water Environment Journal**, v. 25, p. 355–65, 2011.

ROMANO, G.; SALVATI, N.; GUERRINI, A. Estimating the determinants of residential water demand in Italy. **Water**, v. 6(10), p. 2929-2945, 2014; doi: 10.3390/w6102929

ROMEU, C. C., SILVA, G. A. Comparação do Desempenho Ambiental de dois Sabonetes Cosméticos utilizando a Técnica da ACV. **4th International Workshop - Advances in Cleaner Production– Academic Work**. São Paulo – Brazil – May 22nd to 24th – 2013.

ROUSSEAU, D. P. L.; LESAGE, E.; VANROLLEGHEM, P. A.; PAUM, de N. Constructed wetlands for water reclamation. **Desalination**, v. 218, n. 1-3, p. 181-189, 2008.

ROYAL SOCIETY OF CANADA. Disponível em: <http://rsc-src.ca/> Acesso em: dezembro de 2010.

RUPP, R. F.; MUNARIM, U.; GHISI, E. Comparação de Métodos Para Dimensionamento de Reservatórios de Água Pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 11, n. 4, p. 47-64, 2011.

RYAN, A. M.; SPASH C. L.; MEASHAM, T. G. Socio-economic and psychological predictors of domestic greywater and rainwater collection: evidence from Australia. **Journal of Hydrology**, v. 379, p. 164–71, 2009.

SAADE, M. R.M.; SILVA, M. G.; GOMES, V. **Avaliação do Ciclo de Vida – ACV, e a etapa de avaliação de impactos ambientais: considerações sobre o uso de diferentes métodos e seus reflexos nos resultados finais**. *Natureza on line* 12 (3): 109-116. 2014.

SABESP. Disponível em: <http://www.sabesp.com.br> Acesso em: dezembro de 2012.

SANCHEZ, D. C.; PRADO, R. T. A. Caracterização de hábitos de uso da água em edifícios residenciais multifamiliares localizados em São Paulo. **X Simpósio Nacional de Sistemas Prediais: Desenvolvimento e inovação**. São Carlos, 2007.

SANT'ANA, D. R. **A socio-technical study of water consumption and water conservation in Brazilian dwellings**. Thesis. Oxford Institute for Sustainable Development. School of the Built Environment. Oxford Brookes University. Oxford, January, 2011.

SANT'ANA, D.; SANT'ANNA, R.; MIRANDA, R.; CÉSAR, L. Análise do consumo de água em escola pública do Distrito Federal. **In: Fórum Internacional do Meio Ambiente: A Conferência da Terra, João Pessoa**. Fórum Internacional do Meio Ambiente: A Conferência da Terra, 2012.

SANTOS, MARIA BERENICE DOS. **Estratégias de Implantação de Sustentabilidade No Uso e Manutenção de Edificações Residenciais Existentes**. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Construção Civil, Escola de Engenharia, UFMG. 2009.

SANTOS, D. C. DOS; FROEHNER, S. Qualidade da água pluvial e da água cinza nas edificações: estudo comparativo. **X Simpósio Nacional de Sistemas Prediais: Desenvolvimento e inovação**. São Carlos, 2007.

SANTOS, D. C. DOS; MAZEPA, I. M.; KOTSUKA, L. K. Avaliação do desempenho de filtros para tratamento de água cinza. **XI Simpósio Nacional de Sistemas Prediais**. Curitiba, 2009.

SANTOS, D. C. DOS; KOTSUKA, L. K. Impactos nas estações de tratamento de água e esgoto gerados pela adoção de medidas de conservação de água nas edificações. **XI Simpósio Nacional de Sistemas Prediais**. Curitiba, 2009.

SAUTCHUK et al. **Conservação e Reuso de Água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005.

SAZAKLI, E., ALEXOPOULOS, A., LEOTSINIDIS, M. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. **Water Research**, v. 41, n. 9, p. 2039-2047, 2007.

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.

SCHNEIDER. **Tabela para seleção de bombas e motobombas**. Disponível em: <<http://www.schneider.com.br>>. Acesso em: janeiro de 2015.

SHIMIZU, Y.; DEJIMA, S.; TOYOSADA, K. CO₂ Emission Factor for Rainwater and Reclaimed Water Used in Buildings in Japan. **Water**, v. 5, p. 394-404; 2013.

SIEBEL, M.A.; CHANG, C.T.; GIJZEN, H.J.; ROTTER, V.S. Life cycle impact assessment—a case study of solid waste collection. In: **Proceedings of the eleventh international waste management and landfill symposium**. S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy; 1–5 October by CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, Italy (2007).

SILVA, D. A. L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais. 2012.

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**. Porto Alegre: Habitare, 2006. v. 7.

SOARES, S. R. **Conception et evaluation d'un systeme a base de**

connaissances pour l'eliminat ion de dechets. Tese (Doutorado). Institut National des sciences appliquees de Lyon, 1994.

SOUZA, E.L.; GHISI, E. Potable Water Savings by Using Rainwater for Non-Potable Uses in Houses. **Water**, v. 4, p. 607-628, 2012.

SOUZA, L. F. **Dessalinização como Fonte Alternativa de Água Potável.** Norte Científico, v.1, n.1, 2006.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto** - 2008. Ministério das Cidades, Brasília: Ministério das Cidades – SNSA, 2010.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto** - 2009. Ministério das Cidades, Brasília: Ministério das Cidades – SNSA, 2011.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto** - 2010. Ministério das Cidades, Brasília: Ministério das Cidades – SNSA, 2012.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto** - 2011. Ministério das Cidades, Brasília: Ministério das Cidades – SNSA, 2013.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto** - 2012. Ministério das Cidades, Brasília: Ministério das Cidades – SNSA, 2014.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto** - 2013. Ministério das Cidades, Brasília: Ministério das Cidades – SNSA, 2015.

TABORIANSKI, V. M. **Avaliação da contribuição das tipologias de aquecimento de água residencial para a variação do estoque de gases de efeito estufa na atmosfera.** Dissertação de Mestrado (Engenharia de Construção Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras.** Tese de Doutorado. Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

TAYLOR, J. G.; ZUBE, E. H.; SELL, J. L. **Landscape assessment and perception research methods**. In R.B. Bechtel, R.W. Marans, & W. Michelson (Orgs.). *Methods in environmental and behavioral research* (pp. 361-393). Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1987.

TIGRE. **TIGRE S/A**. Disponível em: <http://www.tigre.com.br/> Acesso em: abril de 2015.

TRIANA, M. A.; ANDRADE, M. A. N., LAMBERTS, R. **Projeto Torre Sustentável para Habitações de Baixa Renda**. Prêmio Holcim Awards América Latina 2008. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/projetos/torre-sustentavel>. Acesso em: outubro de 2014.

UMAPATHI, S., M. N. CHONG, SHARMA; A.K. Evaluation of plumbed rainwater tanks in households for sustainable water resource management: a real-time monitoring study. **Journal of Cleaner Production**, v. 42, p. 204–214, 2013.

USEPA. **Guidelines for Water Reuse**. Environmental Protection Agency. U.S. 2004.

VIEIRA, A. S. **Uso racional de água em habitações de interesse social como estratégia para a conservação de energia em Florianópolis, Santa Catarina**. Dissertação de Mestrado. Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina, 2012.

VILLARREAL, E.L.; DIXON, A. Analysis of a rainwater collection system for domestic water supply in Ringdansen, Norrköping, Sweden. **Building and Environment**, v.40, n. 9, p. 1174-1184, 2005.

VIMIEIRO, G. V.; PÁDUA, V. L. de. Emprego de Equipamentos Especiais na Economia de Água em Residências de Baixa Renda. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...** Campo Grande, 2005.

VINCE, F.; Aoustin, E.; BRÉANT, P.; MARECHAL, F. LCA tool for the environmental evaluation of potable water production. **Desalination**, v. 220, n. 1-3, p. 37-56. 2008.

WARD, S.; BARR, S.; BUTLER, D. MEMON, F.A. Rainwater harvesting in the UK: Socio-technical theory and practice. **Technological Forecasting and Social Change**, v. 79, n. 7, p. 1354-1361, 2012.

- WERNECK, G. A. M.; BASTOS, L. E. G. A água da chuva como fonte de recursos hídricos para as escolas de Barra do Piraí e os reflexos para o sistema municipal de abastecimento. XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Florianópolis-SC, **Anais...CD Rom**, 2006.
- WILLIS, R.M.; STEWART, R.A.; PANUWATWANICH, K.; CAPATI, B.; GIURCO, D. Gold Coast Domestic Water End Use Study. **WATER**, v. 36, n. 6, p. 79-85, Australian Water Association, 2009.
- WILLIS, R. M.; STEWART, R. A.; WILLIAMS, P. R.; HACKER, C. H.; EMMONDS, S. C.; CAPATI, G. Residential potable and recycled water end uses in a dual reticulated supply system. **Desalination**, v. 272, n. 1-3, p. 201-211, 2011.
- WILLIS, R. M.; STEWART, R. A.; GIURCO, D. P.; TALEBPOUR, M. R.; MOUSAVINEJAD, A. End use water consumption in households: Impact of socio-demographic factors and efficient devices. **Journal of Cleaner Production**, v. 60, p. 107–115. 2013.
- WINWARD, G. P.; AVERY, L. M.; FRAZER-WILLIAMS, R.; PIDOU, M.; JEFFREY, P.; STEPHENSON, T.; JEFFERSON, B. A study of the microbial quality of grey water and an evaluation of treatment technologies for reuse. **Ecological Engineering**, v. 32, n. 2, p. 187-197. 2008.
- WORTMAN, P. M. Consensus Panels: Methodology. **International Encyclopedia of the Social & Behavioral Sciences**. [S.l.]: Elsevier, 2001.
- WRIGHT, J. T. C.; GIOVINAZZO, R. A. **Delphi – Uma Ferramenta de Apoio ao Planejamento Prospectivo**. Caderno de Pesquisas em Administração, v. 01, n. 12, 2000, p. 54-65.
- 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, 2005.
- YEGANIAN TZ, L.; MACEDO, M. M. C. **Avaliação de impacto social de pesquisa agropecuária: a busca de uma metodologia baseada em indicadores**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2002. 59 p.
- 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**. Dissertação de Mestrado.

Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo; Universidade Estadual de Campinas, 2005. 192p.

YWASHIMA, L. A.; CAMPOS, M. A. S.; PIAIA, E.; LUCA, D. M. P.; ILHA, M. S. O. Caracterização do uso de água em residências de interesse social em Paulínia. XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Florianópolis-SC, **Anais...** CD Rom, 2006.

ZAIZEN, M.; URAKAWA, T. MATSUMOTO, T.; TAKAI, H. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 355-359, 2000.

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, 2006.

ZHANG, Y., CHEN, D., CHEN, L., ASHBOLT, S. Potential for rainwater use in high-rise buildings in Australian cities. **Journal of Environmental Management**, v. 91, n. 1, p. 222-226, 2009.

ZHOU, S. L.; MCMAHON, T. A.; WALTON, A.; LEWIS, J. Forecasting operational demand for an urban water supply zone. **Journal of Hydrology**, v. 259, n. 1-4, p. 189-202, 2002.

ZHU, K., ZHANG, L., HART, W., L., M., CHEN, H. Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China. **Journal of Arid Environments**, v. 57, n. 4, p. 487-505, 2004.

3P TECHNIK. Disponível em: <<http://www.3ptechnik.de>>. Acesso em: dezembro de 2013.

APÊNDICE I

Síntese: Método para avaliação do impacto ambiental da implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em residências unifamiliares a partir da Análise do Ciclo de Vida

O método proposto é baseado na ACV para quantificar e avaliar o impacto ambiental devido à implantação de sistemas integrados de aproveitamento de água pluvial e água cinza em habitações residenciais unifamiliares.

Objetiva-se por meio da aplicação deste método, avaliar comparativamente o impacto ambiental devido à implantação de sistemas integrados em relação ao sistema convencional de abastecimento de água.

O método poderá ser aplicado em habitações em etapa de projeto ou já construídas, em diferentes cenários e/ou configurações.

As análises sugeridas neste método deverão ser realizadas para a instalação integrada de sistema de aproveitamento de água pluvial com sistema de aproveitamento de água cinza em residências unifamiliares. Essa integração ocorre da seguinte forma: em uma mesma residência, existem os dois sistemas supracitados interligados de modo que em casos de insuficiência de uma fonte de água (pluvial ou cinza), a demanda por água não potável remanescente poderá ser suprida com a água do outro sistema.

O método proposto foi baseado nas normas da série *International Organization for Standardization* (ISO), editadas no Brasil pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). Com base nas normas NBR 14040 e NBR 14044, a divisão do estudo é proposta em quatro partes: definição de objetivo e escopo; análise do inventário; avaliação de impacto e interpretação.

Este método avalia entradas e saídas no ciclo de vida: 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 dos componentes do sistema. Os impactos ambientais gerados, a economia de insumos e outros ganhos ambientais gerados pela substituição dos sistemas prediais convencionais são mensurados. São avaliados os efeitos da operação do sistema, relacionado ao consumo de energia para bombeamento e tratamento de água, quando necessário. O transporte de materiais também é avaliado.

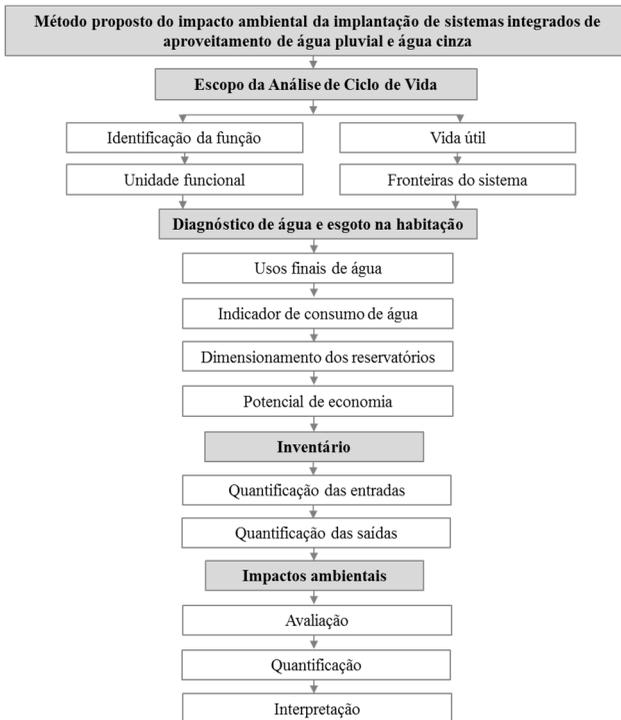
As análises ambientais serão realizadas com apoio do software *SimaPro*, ferramenta computacional que combina bases de dados para inventários de ciclo de vida e modelos de avaliação de impacto. Outras ferramentas poderão ser utilizadas, desde que contemplem as categorias de impacto avaliadas no método proposto.

Os impactos gerados ao longo do ciclo de vida dos equipamentos pertencentes ao sistema devem ser quantificados para que a escolha possa ser

pautada no nível de impactos ambientais apresentados pelos componentes analisados.

As principais contribuições do método dizem respeito à avaliação ambiental dos impactos de sistemas alternativos de água e à geração de subsídios para tomada de decisão, em diferentes níveis de atuação e por diferentes envolvidos no processo de inovação. Deste modo, servirá como ferramenta de apoio a decisão para projetistas, profissionais de arquitetura, engenharia e construção, empresários, pesquisadores e gestores do setor de abastecimento de água. Além disso, o método poderá contribuir para recomendação de potenciais medidas de mitigação de impactos ambientais. Também contribuirá para o desenvolvimento de políticas públicas específicas para incentivo do uso residencial de fontes alternativas de água. A Figura I.1 apresenta o fluxograma do método proposto.

Figura I.1 – Fluxograma do método proposto.



A seguir, o questionário a ser respondido. Suas respostas e comentários baseados em sua experiência profissional e formação serão de grande valia para o aperfeiçoamento do método.

Questionário de análise

Quanto ao método proposto, assinale a alternativa que julgar adequada. Caso você não se sinta confortável em responder alguma(s) das questões – por não dizer respeito à sua área de conhecimento – por favor, faça referência no espaço reservado aos comentários.

Questão 01

No procedimento proposto, a função do sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza foi definida como o fornecimento de água para usos não potáveis em edificações residenciais. O tempo ou período de estudo da ACV deverá ser definido de acordo com a vida útil dos componentes do sistema. A reposição dos equipamentos e componentes que não tenham a mesma vida útil adotada para o sistema deverá ser contabilizada na avaliação dos impactos ambientais.

Em sua opinião, esta premissa é adequada?

Sim Não Parcialmente

Questão 02

A unidade funcional, unidade de referência que permite estabelecer comparações entre dados de entrada e saída, deve ser definida de acordo com a função do sistema. Esta unidade deve fornecer uma referência adequada para a qual as entradas e saídas são relacionadas. A unidade funcional adotada no método proposto foi o volume total de água potável consumido na edificação durante o tempo de vida útil dos sistemas.

Em sua opinião, esta premissa é adequada?

Sim Não Parcialmente

Questão 03

A definição das fronteiras dos sistemas especifica em quais fases ou etapas do ciclo de vida será realizada a análise. Podem ser consideradas todas as etapas do ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até a disposição final, ou apenas etapas isoladas.

O presente método propõe que sejam consideradas todas as etapas do ciclo de vida. Qualquer decisão de omitir entradas e saídas ou etapas do ciclo de vida deve ser claramente declarada e justificada no estudo.

Em sua opinião, esta premissa é adequada?

- Sim Não Parcialmente

Questão 04

No procedimento proposto, o diagnóstico de água e esgoto na habitação consiste em uma análise do consumo de água e geração de esgoto na edificação avaliada, levando em conta diversos parâmetros construtivos e de ocupação. Engloba também uma estimativa do potencial de economia de água potável e redução de esgoto obtido com instalação de um sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza.

Neste diagnóstico serão obtidas as variáveis necessárias para o dimensionamento adequado do sistema. Portanto, o diagnóstico deverá ser realizado previamente à avaliação de impacto ambiental.

Você considera este procedimento apropriado?

- Sim Não Parcialmente

Questão 05

O método propõe que o potencial de economia de água deverá ser estimado primeiramente para cada subsistema, ou seja, para cada fonte alternativa de água, e posteriormente para o sistema integrado. Isso permitirá avaliar o potencial de atendimento total da demanda de água

não potável por meio de apenas uma das fontes alternativas de água, tendo em vista que existe a possibilidade de ocorrer falhas no fornecimento de uma dessas fontes.

Você concorda com este procedimento?

Sim Não Parcialmente

Questão 06

Na avaliação proposta no método, o sistema integrado é desmembrado em dois subsistemas, nomeados como “subsistema pluvial” e “subsistema cinza”. Essa simplificação permite avaliar a economia de água potável de cada fonte alternativa. O subsistema pluvial (referente ao desempenho do aproveitamento de água pluvial) caracteriza-se de acordo com as suas principais etapas e seus respectivos componentes: captação/coleta (calhas, tubos e conexões); tratamento (dispositivos de descarte e tratamento de água pluvial); armazenamento (reservatórios); recalque; distribuição (tubos, conexões). O subsistema cinza (aproveitamento de água cinza) caracteriza-se por: coleta; tratamento (sistema de tratamento de água cinza); armazenamento; recalque; distribuição. De acordo com a configuração do sistema avaliado, ressalta-se que não há necessidade de instalação de alguns dos componentes de cada subsistema, como por exemplo, equipamentos para o recalque de água.

Você considera este procedimento apropriado?

Sim Não Parcialmente

Questão 07

Na etapa do inventário de ciclo de vida ocorre a coleta de dados referente às intervenções ambientais. Todos os materiais quantificados são correlacionados com os respectivos insumos e energia, retirados ou liberados no meio ambiente ao longo do ciclo de vida do sistema analisado. A obtenção desses dados envolve, de forma geral, levantamentos sistemáticos nos processos de produção junto aos fabricantes, com medições diretas das quantidades de insumos e energia

que entram e saem do processo. Outra forma de levantamento de dados para o inventário de ciclo de vida é a partir de matrizes insumo x produto (*input-output*), tendo por base dados gerais (regionais ou nacionais, por exemplo) dos setores produtivos envolvidos.

Existem disponíveis para o mercado e para a comunidade científica bases de dados com inventários de diversos materiais. Tais bases de dados devem ser utilizadas com cautela, dadas as diferenças regionais entre os processos de produção.

No método proposto, utilizam-se bases de dados internacionais para o inventário de ciclo de vida, dada a inexistência, até o momento, de uma base de dados brasileira. Contudo, os dados devem preferencialmente ser atuais e refletir a realidade nacional. Assim, os dados das bases utilizadas são confrontados com aqueles já levantados na literatura científica nacional e modificados de acordo com a realidade tecnológica e a matriz energética brasileira.

Você considera este procedimento apropriado?

Sim Não Parcialmente

Questão 08

Uma grande quantidade de dados numéricos resulta do inventário de ciclo de vida. Estes dados precisam ser agrupados em categorias de impacto para serem manipuláveis e interpretáveis. Através da análise de impacto do ciclo de vida, as cargas ambientais de cada uma das etapas do ciclo de vida de um sistema podem ser categorizadas em termos de impactos ao meio ambiente, como depleção de recursos, acidificação, eutrofização, Ecotoxicidade, etc.

Na 1ª coluna, indique “F” para a(s) categoria(s) de impacto que você conhece ou está *familiarizado* e “I” para a(s) categoria(s) de impacto com as quais você *não está familiarizado* ou *desconhece*. Na 2ª coluna, classifique de 1 a 3 quais grupos de categorias de impacto (divididos por cores) você considera mais adequados para a comparação do desempenho ambiental de edificações (sendo 1 o mais adequado e 3 o menos adequado).

1ª	Categoria de Impacto	Unidade da categoria de impacto	2ª
	Mudanças climáticas	kg CO ₂ para a atmosfera	
	Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 para a atmosfera	
	Acidificação do solo	kg SO ₂ para a atmosfera	
	Eutrofização de águas potáveis	kg P para a água doce	
	Eutrofização de águas marinhas	kg N para a água doce	
	Toxicidade humana	kg 1,4 diclorobenzeno na atmosfera urbana	
	Formação de foto-oxidantes	kg COV não metânicos para o ar	
	Formação de particulados	kg PM ₁₀ para a atmosfera	
	Ecotoxicidade dos solos	kg 1,4 diclorobenzeno para o solo industrial	
	Ecotoxicidade das águas potáveis	kg 1,4 diclorobenzeno para a água doce	
	Ecotoxicidade das águas marinhas	kg 1,4 diclorobenzeno para os oceanos	
	Radiações ionizantes	kg U ²³⁵ para a atmosfera	
	Ocupação do solo arável	m ² x ano (solo arável)	
	Ocupação do solo urbano	m ² x ano (solo urbano)	
	Transformação do ambiente natural	m ² (solo natural)	
	Esgotamento de mananciais	m ³ (água)	
	Depleção de recursos minerais	kg Fe	
	Depleção de recursos fósseis	kg petróleo	
	Danos à saúde humana	Ano (DALY)	
	Danos à diversidade dos ecossistemas	Perda de espécies ao longo de um ano	
	Danos à disponibilidade de recursos	Custo excedente para extração	

Questão 09

A avaliação de impactos ambientais é dirigida à compreensão e à avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais de um sistema. Os fluxos de materiais e energia, identificados durante o inventário de ciclo de vida, são associados a impactos ambientais. Ou seja, nesta fase verifica-se qual é a interação entre o ciclo de vida do sistema e o meio ambiente, identificando quais etapas do ciclo de vida causam maiores impactos.

Dentre as diversas categorias de impacto ambientais no ciclo de vida dos sistemas, serão avaliadas no método proposto as seguintes categorias:

- Mudanças climáticas;
- Depleção da camada de ozônio;
- Toxicidade humana;
- Acidificação;
- Consumo de energia total;
- Consumo de água total.

As categorias de impacto supracitadas foram escolhidas por serem as categorias mais relevantes utilizadas em pesquisas realizadas na área da construção civil. Você considera esta escolha adequada?

Sim Não Parcialmente

Questão 10

Você considera que as categorias de impacto apresentadas na questão anterior (Questão 09) são de razoável compreensão pelos projetistas, profissionais de arquitetura, engenharia e construção, pesquisadores e gestores do setor de abastecimento de água e passíveis de serem incorporadas em políticas públicas para o setor da construção civil?

Sim Não Parcialmente

Questão 11

Na fase de interpretação dos impactos ambientais, serão analisados os resultados, identificados os problemas mais relevantes e as limitações. Os impactos ambientais do sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza serão comparados ao sistema convencional de distribuição de água da residência. Também serão dadas recomendações, proposição de melhorias, bem como indicações para a minimização de impactos ambientais potencialmente gerados pelo sistema.

Em sua opinião, este procedimento é apropriado?

Sim Não Parcialmente

APÊNDICE II

Figura II.1- Planta baixa da habitação modelo (sem escala).

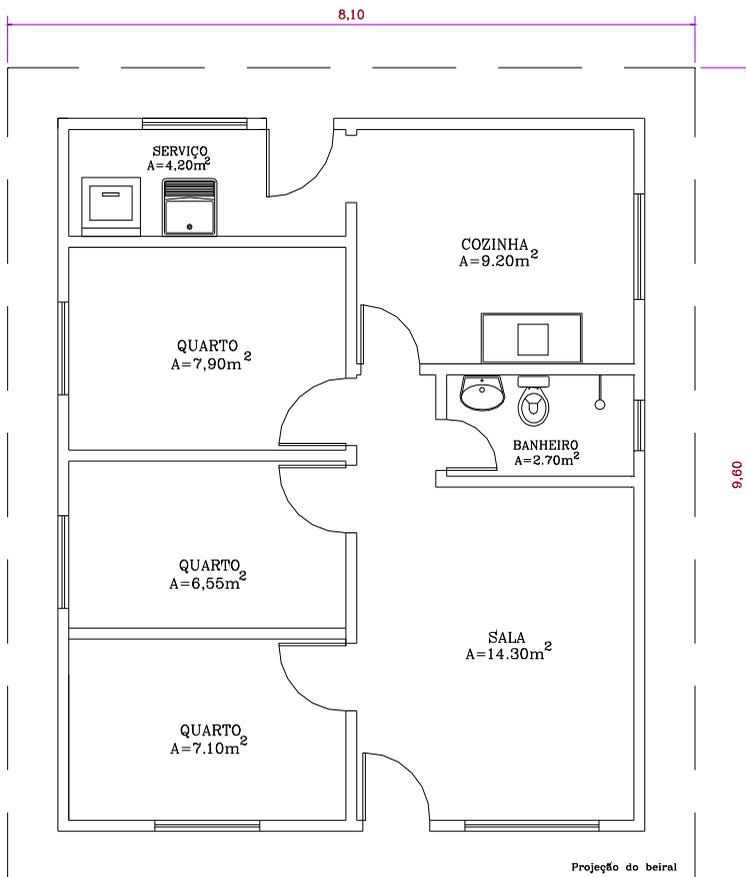


Figura II.2 - Vista frontal da habitação modelo (sem escala) – Cenário com sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza.

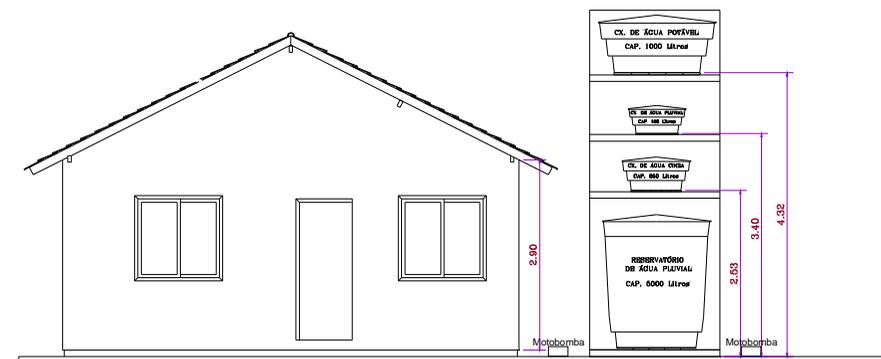


Figura II.3 - Vista frontal da habitação modelo (sem escala) – Cenário com abastecimento convencional de água potável da rede pública.

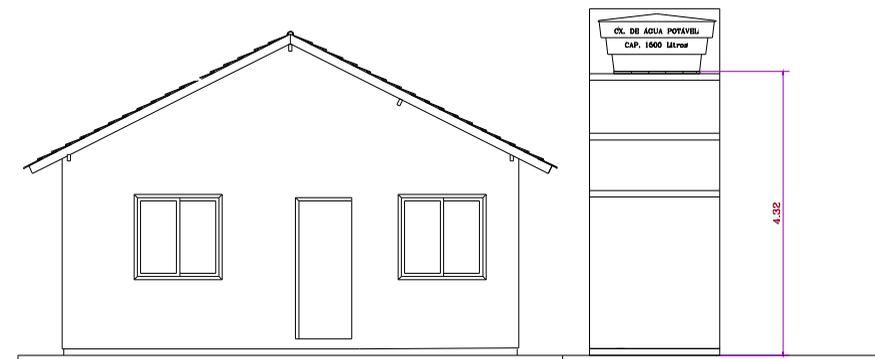


Figura II.4 - Planta da distribuição hidráulica (sem escala) – Cenário com sistema integrado de aproveitamento de água pluvial e água cinza.

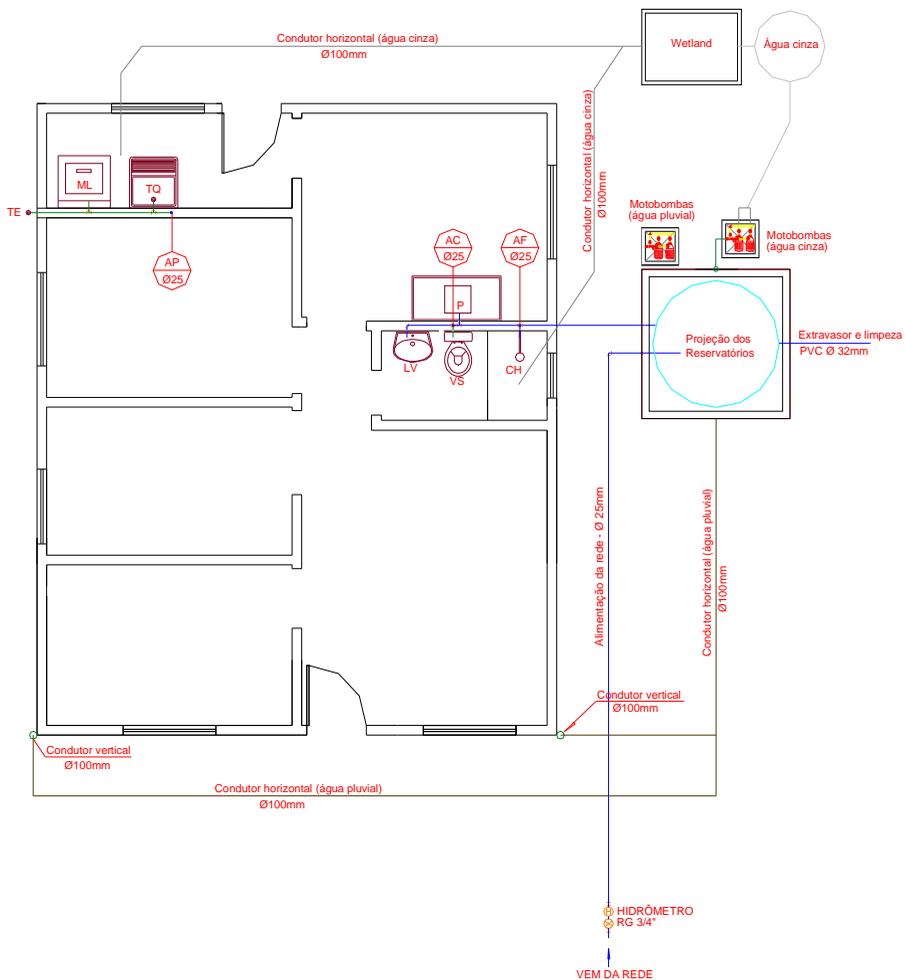


Figura II.6 - Planta da distribuição hidráulica (sem escala) – Cenário com abastecimento convencional de água potável da rede pública.

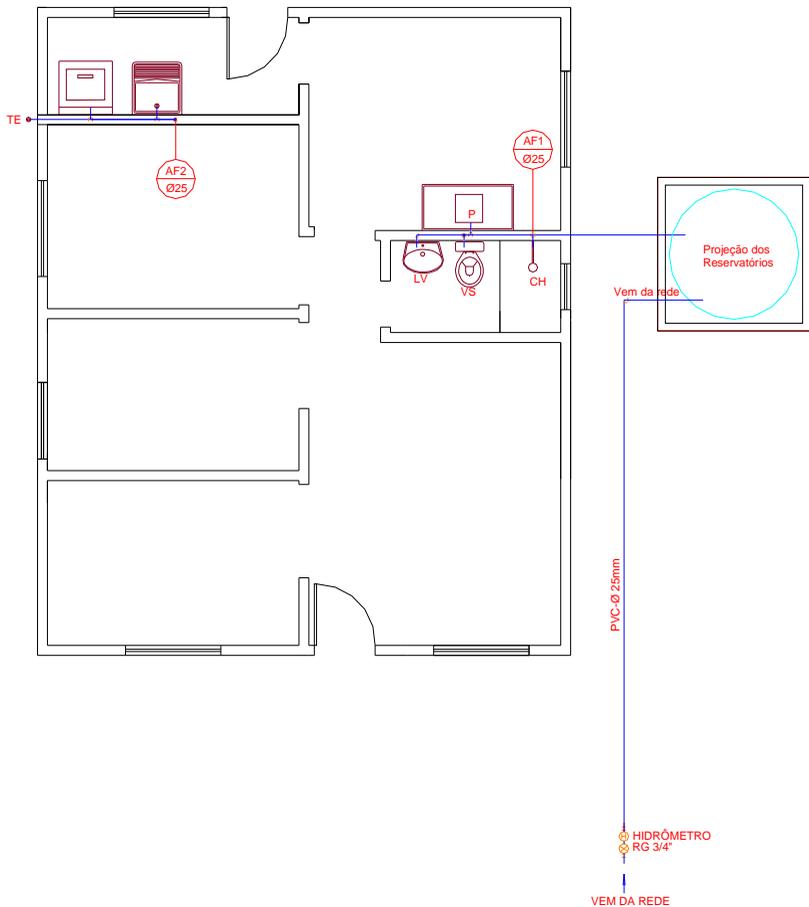
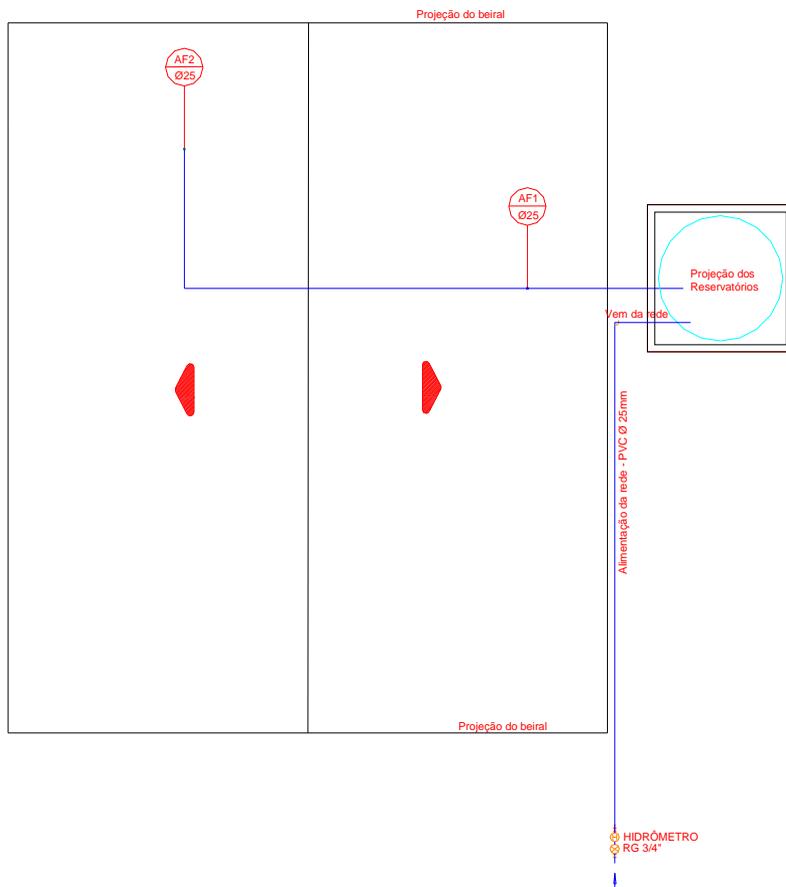


Figura II.7 - Planta da cobertura (sem escala) – Cenário com abastecimento convencional de água potável da rede pública.



APÊNDICE III

Tabela III.1 – Quantitativos dos componentes utilizados no subsistema pluvial.

Item	Descrição	Qtd	Unid.	Peso (kg/un)	Peso total (kg)
1.1	adapt. p/cx.água.-25x¾"	4	unid.	0,05	0,20
1.2	adapt. p/cx.água.-32x1"	4	unid.	0,06	0,24
1.3	registro esfera vs pvc soldável - 25 mm	2	unid.	0,2	0,40
1.4	registro esfera vs pvc soldável - 32 mm	2	unid.	0,228	0,46
1.5	tubo pvc soldável para água - 25mm	28	m	0,19	5,34
1.6	tubo pvc soldável para água - 32mm	1,5	m	0,30	0,45
1.7	tubo pvc rígido para água - 100mm	18	m	0,86	15,55
1.8	joelho 90° pvc soldável - 25mm	10	unid.	0,02	0,24
1.9	joelho 90° pvc soldável - 32mm	2	unid.	0,04	0,09
1.10	joelho 90° pvc rígido - 100mm	2	unid.	0,20	0,40
1.11	te 90° pvc rígido - 100 mm	2	unid.	0,24	0,48
1.12	te 90° pvc soldável - 25 mm	5	unid.	0,03	0,16
1.13	te 90° pvc soldável - 32 mm	1	unid.	0,06	0,06
1.14	Curva 45° longa pvc rígido - 100 mm	5	unid.	0,07	0,35
1.15	adapt. sold. curto p/ registro - 25x¾"	2	unid.	0,05	0,10
1.16	joelho red.90° pvc c/bucha latão 25x½"	2	unid.	0,10	0,20
1.17	joelho 90° pvc c/ bucha latão 25x¾"	1	unid.	0,10	0,10
1.18	luva pvc sold. c/bucha de latão 25x¾"	3	unid.	0,10	0,30
1.19	Válvula de retenção ¾"	1	unid.	0,12	0,12
1.20	Moto-bomba (1/4CV)	2	unid.	7,00	14,00
1.21	Realimentador	1	unid.	1,50	1,50
1.22	Conjunto Mangueira Boia	1	unid.	3,20	3,20
1.23	Freio d'água 100mm	1	unid.	0,50	0,50
1.24	Sifão extravasor 100mm	1	unid.	2,00	2,00
1.25	Dispositivo de descarte de sólidos Filtro 3P Rainus	2	unid.	2,00	4,00
1.26	Dispositivo de descarte do escoamento inicial (Bombona)	1	unid.	3,00	3,00
1.27	Clorador flutuante (sistema desinfecção)	1	unid.	0,30	0,30

Tabela III.1 – Quantitativos dos componentes utilizados no subsistema pluvial (Continuação)

Item	Descrição	Qtd	Unid.	Peso (kg/un)	Peso total (kg)
1.28	Reservatório superior de água pluvial em PEAD - 150L	1	unid.	4,50	4,50
1.29	Reservatório inferior de água pluvial em PEAD - 5000L	1	unid.	95,00	95,00
1.30	Dispositivos de uso restrito em metal	2	unid.	0,15	0,3

Tabela III.2 – Quantitativos dos componentes utilizados no subsistema cinza.

Item	Descrição	Qtd	Unid.	Peso (kg/un)	Peso total
1.1	adapt. p/cx.água.-25x¾"	4	unid.	0,05	0,20
1.2	adapt. p/cx.água.-32x1"	4	unid.	0,06	0,24
1.3	Curva 45° longa pvc soldável - 100 mm	5	unid.	0,07	0,35
1.4	Curva 90° longa pvc esgoto 100mm	2	unid.	0,4	0,80
1.5	Joelho 90° pvc soldável - 25mm	2	unid.	0,024	0,05
1.6	Joelho 90° pvc soldável - 32mm	2	unid.	0,043	0,09
1.7	registro esfera vs pvc soldável - 25 mm	2	unid.	0,2	0,40
1.8	registro esfera vs pvc soldável - 32 mm	1	unid.	0,228	0,23
1.9	Válvula de retenção ¾"	1	unid.	0,119	0,12
1.10	tubo pvc soldável para esgoto - 100mm	13	m	0,86	1,73
1.11	tubo pvc soldável para água - 25mm	10	m	0,19	1,91
1.12	tubo pvc soldável para água - 32mm	1,5	m	0,30	0,45
1.13	Caixa de passagem pvc	1	un	1,5	1,50
1.14	Concreto (para construção da <i>wetland</i> de fluxo vertical)	0,22	m³	0,223	0,22
1.15	Tijolo maciço	120	unid.	2,10	252,00
1.16	Argamassa de assentamento	27,0	kg	--	27,0
1.17	Argamassa impermeabilizante	8,3	kg	--	8,3
1.18	Brita (camadas leito filtrante da <i>wetland</i>)	0,74	ton	0,74	0,74

Tabela III.2 – Quantitativos dos componentes utilizados no subsistema cinza. (Continuação)

Item	Descrição	Qtd	Unid.	Peso (kg/un)	Peso total
1.19	Areia (camadas leito filtrante da <i>wetland</i>)	0,30	ton	0,30	0,30
1.20	Clorador flutuante (sistema desinfecção)	1	unid.	0,3	0,30
1.21	Conjunto mangueira boia	1	unid.	3,2	3,20
1.22	Realimentador	1	unid.	1,5	1,50
1.23	Motobomba (1/4CV)	2	unid.	7	14,00
1.24	Reservatórios de água cinza PEAD - 250L (sup. e inf.)	2	unid.	6,4	12,80

Tabela III.3 – Quantitativos dos componentes utilizados no sistema convencional.

Item	Descrição	Qtd	Unid.	Peso (kg/un)	Peso total
1.1	Torneira boia pvc - \varnothing 3/4"	1	unid.	0,15	0,15
1.2	Adapt. P/cx. água - 25x3/4"	2	unid.	0,05	0,1
1.3	Adapt. P/cx. água - 32x1"	2	unid.	0,06	0,12
1.4	Registro esfera vs pvc soldável - 25 mm	4	unid.	0,2	0,8
1.5	Registro esfera vs pvc soldável - 32 mm	1	unid.	0,228	0,228
1.6	Tubo pvc soldável para água - 25mm	33	m	0,19	6,292
1.7	Tubo pvc soldável para água - 32mm	1,5	m	0,30	0,4485
1.8	Joelho 90° pvc soldável - 25mm	13	unid.	0,024	0,312
1.9	Joelho 90° pvc soldável - 32mm	2	unid.	0,043	0,086
1.10	Te 90° pvc soldável - 25 mm	5	unid.	0,031	0,155
1.11	Te 90° pvc soldável - 32 mm	1	unid.	0,061	0,061
1.12	Adapt. Sold. Curto p/ registro - 25x3/4"	2	unid.	0,05	0,1
1.13	Joelho red.90° pvc c/bucha latão - 25x1/2"	2	unid.	0,1	0,2
1.14	Joelho 90° pvc c/ bucha latão - 25x3/4"	1	unid.	0,1	0,1
1.15	Luva pvc sold. C/bucha de latão - 25x3/4"	3	unid.	0,1	0,3
1.16	Reservatório de água potável em polietileno - 1500L	1	unid.	24	24

APÊNDICE IV

Tabela IV.1 - Distâncias fábrica-habitação modelo consideradas nas análises de ciclo de vida do exemplo de aplicação do método.

Componentes do Sistema	Endereço do fabricante	Distância (km)	Distância média (km)
Reservatórios de água	Rod BR 101 Km 64,7 - S/N.Galpão 1, Corveta CEP: 89245-000. Araquari/SC	186	249,0
	Rua Presidente Faria, 5323 - Colônia Faria, CEP: 83411-050. Colombo/PR	363	
	Rua Xavantes, 54. Atradores. Joinville/SC.	198	
Dispositivo de descarte do escoamento inicial	Rio de Janeiro / RJ	1155	519
	Rua Barra Velha, 100. Floresta. Joinville/SC	197	
	Rua dos Suicos, 715 - Vila Nova Joinville/SC	205	
Dispositivo de descarte de sólidos	Rod. Virgílio Várzea, 259, CEP: 88032-000. Florianópolis/SC	16	16
Realimentador			
Conjunto mangueira boia			
Freio d'água			
Sifão extravasor			
Clorador flutuante	Rua Pindamonhangaba 1649. Ribeirão Preto/ SP	1012	909,50
	Est. Municipal Prefeito Geraldo Ramos Gonçalves, 236 - Bairro Tanque Preto. Cep.: 12960- 000 Nazaré Paulista/SP	807	
Motobombas	Rua Hans Dieter Schmidt, 1501- Distrito Industrial CEP 89219-504 - Joinville - SC	208	210
	Rua Ponte Pensil, 608, Centro. CEP 89275-000 Schroeder/SC	214	
	Rua Manuel Francisco da Costa, 4331, CEP 89257-000 Jaraguá do Sul/SC	208	
Tubos e conexões	Rua Xavantes, 54. Atradores. Joinville-SC	198	200
	Rua Barra Velha, 100. Floresta. Joinville/SC	197	
	Rua dos Suicos, 715. Vila Nova, Joinville/SC	205	
Pedra britada, concreto e areia	Rod, Antonio Luiz Moura Gonzaga, 2146. Rio Tavares. Florianópolis/SC	33	25
	Rodovia Virgílio Varzea, 863. CEP 88032-001 Florianópolis/SC	17	

APÊNDICE V

Tabela V.1 - Resultados das simulações no programa Netuno após a integração do aproveitamento de água pluvial e água cinza utilizando o percentual de água potável a ser substituída por pluvial médio (23,5%) (em destaque o volume ideal e respectivos resultados).

Volume (litros)	Potencial de economia de água potável (%)	Volume consumido de água pluvial (litros/dia)	Volume consumido de água potável (litros/dia)	Volume extravasado (litros/dia)	Demanda de água pluvial é completamente (%)	Demanda de água pluvial é parcialmente atendida (%)	Demanda de água pluvial não é atendida (%)	Diferença entre potenciais de atendimento pluvial (%/m ³)
0	0	0	636,00	303,72	0	0	100,00	0
1000	17,55	111,63	524,37	191,86	70,78	6,35	22,86	74,69
2000	20,48	130,27	505,73	172,94	86,01	2,46	11,53	12,47
3000	21,63	137,55	498,45	165,38	91,32	1,37	7,31	4,86
4000	22,15	140,90	495,10	161,75	93,73	1,01	5,26	2,25
5000	22,46	142,85	493,15	159,52	95,13	0,77	4,11	1,30
6000	22,72	144,51	491,49	157,60	96,39	0,52	3,09	1,11
7000	22,92	145,79	490,21	156,05	97,32	0,38	2,30	0,86
8000	23,06	146,65	489,35	154,91	97,92	0,33	1,75	0,57
9000	23,19	147,47	488,53	153,82	98,49	0,27	1,23	0,55
10000	23,32	148,30	487,70	152,72	99,12	0,16	0,71	0,55

Tabela V.2 - Resultados das simulações no programa Netuno após a integração do aproveitamento de água pluvial e água cinza utilizando o percentual de água potável a ser substituída por pluvial máximo (40,6%) (em destaque o volume ideal e respectivo resultados).

Volume (litros)	Potencial de economia de água potável (%)	Volume consumido de água pluvial (litros/dia)	Volume consumido de água potável (litros/dia)	Volume de água potável (litros/dia)	Volume extravasado (litros/dia)	Demanda de água pluvial é atendida completamente (%)	Demanda de água pluvial é parcialmente atendida (%)	Demanda de água pluvial não é atendida (%)	Diferença entre potenciais de atendimento pluvial (%/m³)
0	0	0	636,00	636,00	303,725	0	0	100,00	
1000	23,08	146,77	636,00	636,00	156,69	50,55	11,72	37,73	56,84
2000	28,44	180,88	636,00	636,00	122,38	66,07	7,34	26,59	13,21
3000	30,97	196,96	636,00	636,00	106,12	73,47	5,15	21,39	6,23
4000	32,42	206,19	636,00	636,00	96,62	77,63	4,11	18,26	3,57
5000	33,28	211,69	636,00	636,00	90,85	80,01	3,81	16,18	2,13
6000	34,00	216,21	636,00	636,00	86,05	82,04	3,23	14,73	1,75
7000	34,60	220,07	636,00	636,00	81,92	83,84	2,77	13,39	1,49
8000	35,16	223,63	636,00	636,00	78,15	85,30	2,46	12,24	1,38
9000	35,66	226,80	636,00	636,00	74,97	86,69	2,27	11,04	1,23
10000	36,13	229,77	636,00	636,00	72,00	87,98	2,05	9,97	1,15