

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL

INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO USO  
DA ÁGUA EM EDIFICAÇÕES ATRAVÉS DA ASCV**

**SIMONE FIORI**

**Porto Alegre  
2014**

UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL  
INSTITUTO DE PESQUISAS HIDRÁULICAS

**AVALIAÇÃO DA SUSTENTABILIDADE DO USO DA  
ÁGUA EM EDIFICAÇÕES ATRAVÉS DA ASCV**

**SIMONE FIORI**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Sul como requisito parcial para a obtenção do título de Doutor em Engenharia.

**Orientador:** Prof. Dr. Luiz Fernando de Abreu Cybis

**Coorientadora:** Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Vera Maria Cartana Fernandes

**Banca Examinadora**

Prof <sup>a</sup> . Dr <sup>a</sup> . Lúcia Helena de Oliveira	Escola Politécnica/USP
Prof. Dr. Miguel Aloysio Sattler	PPGEC/UFRGS
Prof. Dr. Gino Roberto Gehling	IPH/UFRGS

Porto Alegre, fevereiro de 2014.

## AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Instituto de Pesquisas Hidráulicas da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, sob a orientação do Professor Doutor Luiz Fernando de Abreu Cybis da Universidade Federal do Rio Grande do Sul e coorientado pela Professora Doutora Vera Maria Cartana Fernandes da Universidade de Passo Fundo.

A realização deste trabalho, só foi possível mediante algumas pessoas importantes, que me auxiliaram ao longo de minha trajetória até aqui. Fica o registro da importância e meus especiais agradecimentos a cada um.

Agradeço, primeiramente, ao meu marido e filha, aos meus pais e irmãos, pelo apoio, força e incentivo de sempre.

Ao meu orientador, Prof. Cybis, pela confiança, paciência, compreensão, esclarecimentos e pelos seus ensinamentos.

À minha coorientadora e colega Prof<sup>ª</sup>. Vera, pelo apoio e ajuda de sempre e pela força e incentivo.

Ao Prof. Luiz Olinto Monteggia, por me receber inicialmente no IPH.

Aos amigos, colegas, funcionários, alunos e estagiários da UPF, principalmente pelo auxílio na coleta dos dados, sem os quais seria impossível realizar esse trabalho.

Aos amigos e colegas do IPH pelo aprendizado e parceria.

A Universidade de Passo Fundo por conceder-me a Licença de Pós-Graduação parcial para conclusão dessa tese.

Aos meus professores, e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela oportunidade de realização desse trabalho.

*“O rio atinge seus objetivos porque aprendeu a contornar obstáculos.”*

Lao Tsé

## RESUMO

Os programas de conservação da água e de gestão sustentável constituem-se em importantes ferramentas na busca pelo equilíbrio entre a demanda por água e a disponibilidade hídrica, por evitar o desperdício e racionalizar o uso. Porém, o uso da água nas edificações, nem sempre segue as práticas conservacionistas, podendo gerar perdas, desperdícios e impactos, refletindo no uso sustentável da mesma. O presente trabalho analisou esses impactos, no âmbito ambiental, social e econômico, e a situação de sustentabilidade do uso da água, de acordo com os cenários envolvidos, na forma de estudo de caso no campus I da Universidade de Passo Fundo. Os dados levantados no diagnóstico de uso da água foram aplicados em uma ACV atribucional na quantificação dos impactos e ao analisar cenários, com e sem reúso de águas, por exemplo. Em seguida, foi realizada a integração das dimensões obtidas através da avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida (ASCV). O período de análise foi igual para todos os cenários. Em todos os cenários avaliados as categorias de impactos, mudanças climáticas e qualidade do ecossistema foram as que apresentaram os piores resultados para a dimensão ambiental. O cenário aproveitamento de águas pluviais foi o que apresentou melhores resultados dos impactos ambientais e sociais analisados. E o cenário reúso de águas foi o que apresentou os maiores impactos ambientais e econômicos analisados. Através da ASCV o estudo concluiu que o cenário aproveitamento de águas pluviais é aquele que apresenta melhor resultado no índice de sustentabilidade (IS), frente aos demais cenários analisados, em função de que os menores valores de IS indicam situação mais sustentável. O cenário com maior valor de IS foi o cenário reúso de águas, indicando situação mais insustentável. Sob este aspecto, a metodologia utilizada se mostrou válida como um ferramental de gerenciamento, planejamento e coordenação do uso sustentável da água para a concepção e gestão de outras edificações similares, pois pode facilitar a identificação dos problemas relacionados, sob os focos ambiental, social e econômico, subsidiar intervenções e auxiliar a gestão sustentável de programas de conservação de águas, bem como pode auxiliar técnicos e gestores nas soluções e decisões sobre sistemas hidráulicos mais sustentáveis.

## ABSTRACT

The water conservation programs and the sustainable management ones are quite relevant tools once the balance between the demand for water and the availability of it avoid the waste and rationalizes its use. However, the use of water in buildings has not always followed the preservation practices and this can turn into losses, waste and impact, including the sustainable use of it. The present work has analyzed the environmental, social and economic impacts and the water sustainability, considering the available scenarios, in a case study at the University of Passo Fundo in which data were collected in attributional LCA in the impact quantification and scenarios analysis with and without reuse of water, for instance. Then, an integration of the dimensions gotten from the life cycle sustainability assessment (LCSA) was done as well. The analysis period was the same for all the scenarios and in all of them the impact categories climate changes and quality in the ecosystem have been the ones which presented the worst results in the environmental dimension. The rainwater use scenario showed the best results of the environmental and social impacts analyzed. And the water reuse scenario presented the highest environmental and economic impacts analyzed. Through the LCSA this study has concluded that the rainwater use scenario is the one that presents the best result in the Sustainability Index (SI), since the lowest values of SI demonstrate a better sustainable situation. The scenario with a bigger value of SI was the water reuse, showing a less sustainable situation. Therefore, the methodology used has been valid as a management, planning and coordination tool for the sustainable use of water for the conception and administration of other similar buildings, since it can enable the identification of some related environmental, social and economic issues, subsidize interventions and assist the sustainable management of water conservation as well as assist the technicians and managers in the solutions and decisions concerning more sustainable hydraulic systems.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO .....</b>	<b>1</b>
1.1 OBJETIVOS .....	3
1.2 ESTRUTURA DA PESQUISA .....	3
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....</b>	<b>5</b>
2.1 RECURSOS HÍDRICOS E GESTÃO DA ÁGUA .....	5
2.2 CONSERVAÇÃO DA ÁGUA .....	10
2.3 DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL E SUSTENTABILIDADE .....	18
2.4 AVALIAÇÃO DO CICLO DE VIDA – ACV .....	24
2.4.1 <i>Histórico e normalização da ACV</i> .....	26
2.4.2 <i>Especificações para realização da ACV</i> .....	29
2.4.3 <i>Metodologia da ACV</i> .....	31
2.4.4 <i>Métodos, softwares e bases de dados da ACV</i> .....	41
2.4.5 <i>Aplicações de ACV para o uso da água</i> .....	47
2.5 A AVALIAÇÃO SOCIAL DO CICLO DE VIDA – ACV-S .....	51
2.6 O CUSTO DO CICLO DE VIDA - CCV .....	57
2.7 ANÁLISE INTEGRADA DA SUSTENTABILIDADE .....	61
<b>3 METODOLOGIA DE PESQUISA .....</b>	<b>72</b>
3.1 CONSOLIDAÇÃO DO DIAGNÓSTICO DO USO DA ÁGUA NA EDIFICAÇÃO DO ESTUDO .....	74
3.1.1 <i>Indicadores de impactos ambientais</i> .....	74
3.1.2 <i>Indicadores de impactos sociais</i> .....	80
3.1.3 <i>Indicadores de impactos econômicos</i> .....	81
3.1.4 <i>Tamanho da amostra de questionários aplicados</i> .....	82
3.2 CONSIDERAÇÕES SOBRE A APLICAÇÃO DA ACV .....	83
3.3 ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA - ASCV .....	90
3.4 ANÁLISE DE INCERTEZA DA QUALIDADE DOS DADOS .....	91
<b>4 ESTUDO DE CASO NO CAMPUS UNIVERSITÁRIO I DA UPF .....</b>	<b>93</b>
4.1 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL .....	93
4.2 CARACTERIZAÇÃO DO CAMPUS UNIVERSITÁRIO .....	94
4.2.1 <i>Descrição geral de uso da água no Campus I da UPF</i> .....	96
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÃO .....</b>	<b>101</b>

5.1 ETAPA 1: INVESTIGAÇÃO DO CICLO DE VIDA DO USO DA ÁGUA EM EDIFICAÇÃO .....	101
5.1.1 <i>Uso da água na edificação piloto do estudo – Cenário atual</i> .....	101
5.1.2 <i>Inventário dos subsistemas do uso da água no cenário atual</i> .....	107
5.1.3 <i>Dados sociais levantados</i> .....	115
5.1.4 <i>Custos do uso da água</i> .....	117
5.2 ETAPA 2: ANÁLISE DOS IMPACTOS DO USO DA ÁGUA – CENÁRIO ATUAL .....	119
5.2.1 – <i>Análise dos impactos ambientais no cenário atual</i> .....	120
5.2.2 – <i>Análise dos impactos sociais no cenário atual</i> .....	125
5.2.3 – <i>Análise dos impactos econômicos no cenário atual</i> .....	126
5.3 ETAPA 3: ANÁLISE DOS IMPACTOS DO USO DA ÁGUA EM DIFERENTES CENÁRIOS .....	127
5.3.1 <i>Uso da água na edificação – Cenário aproveitamento da água pluvial</i> .....	127
5.3.2 <i>Análise de impactos – cenário: Aproveitamento de águas pluviais</i> .....	140
5.3.3 <i>Uso da água na edificação – Cenário reúso de águas</i> .....	145
5.3.4 <i>Análise de impactos do uso da água – cenário: Reúso de águas</i> .....	154
5.3.5 <i>Comparação dos impactos ambientais, sociais e econômicos</i> .....	159
5.4 ETAPA 4: ANÁLISE DA SUSTENTABILIDADE DO CICLO DE VIDA - ASCV.....	167
5.4.1 <i>Análise da sustentabilidade do ciclo de vida do uso da água</i> .....	167
5.5 ANÁLISE DE INCERTEZA E QUALIDADE DOS DADOS .....	173
<b>6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES .....</b>	<b>178</b>
6.1 RESUMO DAS PRINCIPAIS CONSIDERAÇÕES DO ESTUDO DE CASO.....	181
6.2 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS .....	183
<b>REFERÊNCIAS .....</b>	<b>185</b>
<b>APÊNDICE A .....</b>	<b>206</b>
<b>APÊNDICE B.....</b>	<b>207</b>
<b>APÊNDICE C .....</b>	<b>210</b>
<b>APÊNDICE D .....</b>	<b>213</b>
<b>APÊNDICE E.....</b>	<b>215</b>
<b>APÊNDICE F.....</b>	<b>216</b>



## LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Aplicação de PURA em escolas de ensino fundamental, médio e superior. ....	13
Tabela 3.1 - Variáveis e escores para os Indicadores. ....	76
Tabela 5.1 - Volume médio de água subterrânea captada (m <sup>3</sup> /mês). ....	103
Tabela 5.2 - Caracterização da edificação piloto da pesquisa. ....	104
Tabela 5.3 - Valores no subsistema Captação da água subterrânea/Desinfecção – Cenário atual. ....	110
Tabela 5.4 - Valores no subsistema Distribuição/Usos da Água na Edificação – Cenário atual. ....	111
Tabela 5.5 – Valores no subsistema Rede de esgoto coletora/Taxa de infiltração – Cenário atual. ....	112
Tabela 5.6 – Valores no subsistema Tratamento na ETE – Cenário atual. ....	113
Tabela 5.7 – Valores no subsistema Lançamento no corpo hídrico receptor – Cenário atual. ....	114
Tabela 5.8 – Resultado dos indicadores sociais – Faixa etária e Horas de Trabalho. ....	115
Tabela 5.9 – Principais resultados dos indicadores sociais – Perfil. ....	115
Tabela 5.10 – Principais resultados dos indicadores sociais – Uso da água. ....	116
Tabela 5.11 – Resultado dos indicadores sociais gerais. ....	117
Tabela 5.12 – Resultado da caracterização dos impactos ambientais do uso da água na edificação, no cenário atual. ....	120
Tabela 5.13 – Avaliação dos impactos ambientais por categoria de danos, no cenário atual. ....	122
Tabela 5.14 – Resultados da ACV-S (social) no cenário atual. ....	125
Tabela 5.15 – Escala de valores atribuída aos impactos sociais. ....	125
Tabela 5.16 – Resultados da dimensão econômica no cenário atual (em %). ....	126
Tabela 5.17 - Resultados de intensidade de precipitação da Equação 5.1 - Passo Fundo. ....	129
Tabela 5.18 – Dimensionamento do reservatório de água pluvial da edificação piloto. ....	130
Tabela 5.19 – Valores no subsistema Captação da água subterrânea/Desinfecção com cloro – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial. ....	132

Tabela 5.20 – Valores no subsistema Distribuição/Usos da água potável na Edificação – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial.....	133
Tabela 5.21 – Valores no subsistema Captação da água pluvial/Reservação/Desinfecção com cloro – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial.....	134
Tabela 5.22 – Valores no subsistema Bombeamento/Reservação superior – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial. ....	135
Tabela 5.23 – Valores no subsistema Distribuição/Usos da água pluvial na Edificação – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial.....	136
Tabela 5.24 – Valores no subsistema Rede de esgoto coletora/Taxa de infiltração – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial.....	137
Tabela 5.25 – Valores no subsistema Tratamento na ETE – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial. ....	138
Tabela 5.26 – Valores no subsistema Lançamento no corpo hídrico receptor – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial. ....	139
Tabela 5.27 – Resultado da caracterização dos impactos ambientais do uso da água na edificação, no cenário Aproveitamento de águas pluviais. ....	141
Tabela 5.28 – Avaliação dos impactos ambientais por categoria de danos do uso da água na edificação, no cenário Aproveitamento de águas pluviais.....	141
Tabela 5.29 – Resultados da ACV-S (social) no cenário Aproveitamento de águas pluviais. ....	143
Tabela 5.30 – Resultados econômicos no cenário Aproveitamento águas pluviais (em %)..	144
Tabela 5.31 – Valores no subsistema Captação da água subterrânea/Desinfecção com cloro – Cenário Reúso de águas. ....	147
Tabela 5.32 – Valores no subsistema Distribuição/Usos da água potável na Edificação – Cenário Reúso de águas.....	148
Tabela 5.33 – Valores no subsistema Início do sistema de reúso/pós tratamento/reservação – Cenário Reúso de águas. ....	149
Tabela 5.34 – Valores no subsistema Reúso em bacias sanitárias – Cenário Reúso de águas. ....	151
Tabela 5.35 – Valores no subsistema Rede de esgoto coletora/Taxa de infiltração – Cenário Reúso de águas.....	152
Tabela 5.36 – Valores no subsistema Tratamento na ETE – Cenário Reúso de águas. ....	153
Tabela 5.37 – Valores no subsistema Lançamento no corpo hídrico receptor – Cenário Reúso de águas. ....	154

Tabela 5.38 – Resultado da caracterização dos impactos ambientais do uso da água na edificação, no cenário Reúso de águas. ....	155
Tabela 5.39 – Avaliação dos impactos ambientais por categoria de danos do uso da água na edificação, no cenário Reúso de águas. ....	156
Tabela 5.40 – Resultados da ACV-S (social) do cenário Reúso de águas. ....	158
Tabela 5.41 – Resultados da dimensão econômica, no cenário Reúso de águas (em %). ....	159
Tabela 5.42 – Comparação dos resultados quantitativos de uso da água nos diferentes cenários. ....	160
Tabela 5.43 – Comparação dos resultados das categorias de impactos para os cenários analisados. ....	161
Tabela 5.44 – Comparação dos resultados das categorias de danos para os cenários analisados. ....	162
Tabela 5.45 – Comparação dos diferentes cenários da ACV (ambiental). ....	163
Tabela 5.46 – Comparação dos diferentes cenários da ACV-S (social). ....	164
Tabela 5.47 – Resultado final da ACV-S nos três cenários analisados. ....	165
Tabela 5.48 – Comparação dos diferentes cenários da CCV (econômica), em unidades. ....	166
Tabela 5.49 – Resumo dos impactos de uso da água nos cenários analisados. ....	167
Tabela 5.50 – Impactos normalizados de uso da água nos diferentes cenários da pesquisa. .	168
Tabela 5.51 – Resultados dos pesos médios das dimensões da sustentabilidade. ....	169
Tabela 5.52 – Avaliação integrada da sustentabilidade de uso da água em cada cenário. ....	170
Tabela 5.53 – Hierarquização por ordem decrescente de sustentabilidade. ....	171
Tabela 5.54 – Resultados da análise de incerteza dos diferentes cenários de uso da água. ...	174
Tabela B.1 – Análises qualitativas da água subterrânea do poço PA-01 HV. ....	207
Tabela B.2 – Dados referentes à vazão da ETE. ....	208
Tabela B.3 – Parâmetros das concentrações do esgoto da ETE da UPF – Cenário atual. ....	208
Tabela C.1 – Valores mensais e anuais de precipitações pluviométricas para o município de Passo Fundo, RS. ....	210
Tabela C.2 – Parâmetros qualitativos de sistema de águas pluviais na UPF. ....	211
Tabela C.3 – Parâmetros das concentrações do esgoto na saída da ETE da UPF - Cenário futuro Aproveitamento de águas pluviais. ....	212

## LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1 - Efeitos da urbanização no ciclo da água.....	6
Figura 2.2 - Níveis de gestão de água.....	8
Figura 2.3 - Fluxograma da metodologia para a implantação de PURA em edifícios.....	12
Figura 2.4 - Fluxograma para Programa Permanente de Uso Racional da Água em campus universitário.....	14
Figura 2.5– Redução do consumo de água em campus universitário.....	16
Figura 2.6- Dimensões frequentemente utilizadas do desenvolvimento sustentável e suas interfaces.....	18
Figura 2.7- Inserção e desenvolvimento do conceito de sustentabilidade na construção.....	19
Figura 2.8 – Fluxograma guarda-chuva de indicadores, instrumento de avaliação da sustentabilidade. ....	21
Figura 2.9- Estágios do ciclo de vida de um produto.....	24
Figura 2.10 - Ciclo de vida de uma edificação.....	25
Figura 2.11 - Modelo ISO 14001 e suas correlações com normas da série 14000.....	27
Figura 2.12 - Diferença conceitual entre ACV atribucional e consequential. ....	30
Figura 2.13– Fases da ACV.....	31
Figura 2.14 – Possibilidades de um estudo de ACV. ....	34
Figura 2.15 - <i>Midpoint</i> e <i>Endpoints</i> .....	39
Figura 2.16 - Análise de impactos do ciclo de vida.....	40
Figura 2.17 – Esquema geral para caracterização de impactos do uso da água pela ACV. ....	49
Figura 2.18 – Exemplo de CCV para máquina de lavar roupas.....	59
Figura 2.19 - <i>Framework</i> do modelo de avaliação de sustentabilidade em ETes.....	62
Figura 2.20 – Resultados da análise de sustentabilidade de ETes.....	62
Figura 2.21 - Modelos combinados: CCV, ACV e ACV-S. ....	63
Figura 2.22 - O Barômetro de sustentabilidade.....	65
Figura 2.23 - <i>Dashboard of Sustainability</i> . ....	66
Figura 2.24 – Limites do sistema de uma ASCV. ....	67
Figura 2.25 – Exemplo de dados de inventário para um processo unitário e níveis de organização de ASCV. ....	67
Figura 2.26 – Apresentação dos resultados da ASCV do estudo de caso. ....	70
Figura 3.1 – Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa.....	73

Figura 3.2 – Metrolog P.....	77
Figura 3.3 - Geofone Eletrônico.....	77
Figura 3.4 - Medidor Multijato Multimag ¾”.....	77
Figura 3.5 - Medidor Flodis ¾”.....	78
Figura 3.6 - Medidor Flodis 1”.....	78
Figura 3.7 - Cyble pulsado K1.....	78
Figura 3.8 - Log Box.....	79
Figura 3.9 - Interface de comunicação ótica.....	79
Figura 3.10 – Passos da análise de inventário.....	85
Figura 3.11 – Processo de simulação de Monte Carlo para uma situação com quatro variáveis.....	92
Figura 4.1 – Localização do município de Passo Fundo - RS.....	93
Figura 4.2 - Vista aérea do núcleo central da cidade de Passo Fundo.....	94
Figura 4.3 – Pórtico da entrada da UPF.....	95
Figura 4.4 – Mapa do Campus I da UPF.....	96
Figura 4.5 – Centro de convivência do Campus I da UPF.....	97
Figura 4.6 – Reservatórios do sistema de aproveitamento de águas pluviais do centro de convivência da UPF.....	97
Figura 4.7 – Fluxograma do tratamento da ETE da UPF.....	98
Figura 4.8 – ETE da UPF.....	99
Figura 4.9 – Vista geral da ETE da UPF.....	99
Figura 5.1 – Edificação piloto do estudo – ICB.....	102
Figura 5.2 – Poço Artesiano PA-01 HV – UPF.....	103
Figura 5.3 – Sistema de desinfecção por hipoclorito de sódio no Poço Artesiano PA-01 HV - UPF.....	103
Figura 5.4 – Obtenção dos dados em hidrômetro instalado.....	105
Figura 5.5 – Exemplo de dados obtidos com a instalação dos hidrômetros na edificação piloto do estudo.....	105
Figura 5.6 – Ponto de uso para limpezas na edificação piloto.....	106
Figura 5.7 – Limpeza de pisos na edificação piloto.....	106
Figura 5.8 – Limites do sistema da ACV - Cenário Atual.....	108
Figura 5.9 – Fluxograma de vazões do uso da água no cenário atual.....	109

Figura 5.10 – Distribuição de volumes de água na edificação piloto da pesquisa, no cenário atual.....	119
Figura 5.11 – Comparação da caracterização por categoria de impactos ambientais no cenário atual de uso da água. ....	121
Figura 5.12 – Comparação da avaliação dos impactos ambientais, por categoria de danos. .	122
Figura 5.13 – Normalização da avaliação de impactos ambientais, no cenário atual. ....	123
Figura 5.14 – Ponderação da avaliação de impactos ambientais por categoria de danos, no cenário atual.....	124
Figura 5.15 – Comparação da avaliação dos impactos ambientais em pontuação única, no cenário atual.....	124
Figura 5.16 – Resultados da ACV-S (social) no cenário atual.....	125
Figura 5. 17 - Resultados da dimensão econômica no cenário atual.....	126
Figura 5.18 – Condutor vertical do sistema de águas pluviais na edificação piloto.....	128
Figura 5.19 - Balanço hídrico climático do município de Passo Fundo - RS. ....	129
Figura 5.20 – Fluxograma de vazões do uso da água no cenário Aproveitamento da Água Pluvial.....	131
Figura 5.21 – Distribuição de volumes de água na edificação piloto da pesquisa, no cenário Aproveitamento de águas pluviais.....	140
Figura 5.22 – Comparação da caracterização por categoria de impactos ambientais, no cenário Aproveitamento de águas pluviais.....	141
Figura 5.23 – Comparação da avaliação dos impactos ambientais por categoria de danos. ..	142
Figura 5.24 – Ponderação da avaliação dos impactos ambientais por categoria de danos, no cenário Aproveitamento de águas pluviais.....	142
Figura 5.25 – Comparação da avaliação dos impactos ambientais em pontuação única, no cenário Aproveitamento de águas pluviais.....	143
Figura 5.26 – Impactos sociais no Cenário Aproveitamento de águas pluviais.....	144
Figura 5.27 - Resultados econômicos do cenário Aproveitamento de águas pluviais. ....	144
Figura 5.28 - Balanço de vazões do cenário Reúso de Águas.....	146
Figura 5.29 – Distribuição de volumes de água na edificação piloto da pesquisa, no cenário Reúso de águas.....	155
Figura 5.30 – Comparação da caracterização por categoria de impactos ambientais, no cenário Reúso de águas.....	156
Figura 5.31 – Comparação da avaliação dos impactos ambientais por categoria de danos. ..	156
Figura 5.32 – Ponderação por categoria de danos no cenário Reúso de águas. ....	157

Figura 5.33 – Comparação da avaliação em pontuação única, no cenário Reúso de águas...	157
Figura 5.34 – Resultados da ACV-S (social) do cenário Reúso de águas.....	158
Figura 5.35 - Resultados econômicos do cenário Reúso de águas. ....	159
Figura 5.36 – Comparação de volumes dos diferentes cenários analisados.....	160
Figura 5.37 – Comparação dos diferentes cenários analisados, por categoria de impactos ambientais.....	161
Figura 5.38 – Comparação dos diferentes cenários analisados, por categoria de danos. ....	162
Figura 5.39 – Comparação da ponderação dos diferentes cenários analisados.....	163
Figura 5.40 – Comparação dos resultados ambientais finais dos diferentes cenários analisados. ....	163
Figura 5.41 - Comparação dos diferentes cenários da ACV-S (social).....	165
Figura 5.42 – Comparação dos diferentes cenários da CCV (econômica).....	166
Figura 5.43 – Comparação dos diferentes cenários da CCV (econômica), por indicador. ....	166
Figura 5.44 – Perfil de impactos normalizados nos diferentes cenários. ....	168
Figura 5.45 – Análise individualizada de impactos normalizados nos diferentes cenários. ..	168
Figura 5.46 – Apresentação dos resultados da ASCV do uso da água.....	170
Figura 5.47 – Representação do resultado da análise de incerteza do cenário Atual.....	175
Figura 5.48 - Representação da análise de incerteza do cenário Aproveitamento de águas pluviais. ....	175
Figura 5.49 – Representação da análise de incerteza do cenário Reúso de águas.....	176
Figura 5.50 - Análise de incerteza (pontuação única) do cenário Atual do uso da água.....	176
Figura 5.51 - Análise de incerteza (pontuação única) do cenário Aproveitamento de águas pluviais. ....	176
Figura 5.52 – Análise de incerteza (pontuação única) do cenário reúso de águas. ....	177

## LISTA DE QUADROS

Quadro 2.1 - Características da visão histórica de aproveitamentos da água.....	7
Quadro 2.2 – Conceitos de terminologias associadas ao desperdício de água.....	15
Quadro 2.3 - Soluções alternativas de conservação da água associadas às categorias estratégicas, visando à avaliação, no processo de produção do projeto de um edifício. ....	17
Quadro 2.4 – Abordagens de modelos de sustentabilidade. ....	22
Quadro 2.5 - Principais características da ACV atribucional e consequential. ....	30
Quadro 2.6 – Estruturação do estudo: a primeira fase da ACV. ....	33
Quadro 2.7 - Categorias de impactos, normalmente utilizadas nos métodos.....	37
Quadro 2.8 - Exemplos de categorias de impacto em alguns métodos de AICV.....	45
Quadro 2.9 – Principais características de alguns métodos de AICV. ....	46
Quadro 2.10 - Indicadores de Sustentabilidade Ambiental (ISA) para ACV da água de abastecimento urbano. ....	48
Quadro 2.11 - Categorias de <i>stakeholders</i> e suas subcategorias de impactos. ....	53
Quadro 2.12 - Diferenças entre ACV ambiental e ACV Social. ....	54
Quadro 2.13 – Exemplos de indicadores ativo, descritivo geral e descritivo específico. ....	55
Quadro 2.14 - Média das subcategorias relação Empresa/Trabalhadores. ....	56
Quadro 2.15 – Exemplo de resultados de avaliação de impactos em estudo de caso de ASCV. ....	69



**LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS**

ABNT –	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ABCV –	Associação Brasileira de Ciclo de Vida
ACV –	Avaliação do Ciclo de Vida
ACV-S –	Avaliação Social do Ciclo de Vida
AICV –	Avaliação de Impactos do Ciclo de Vida
ANA –	Agência Nacional de Águas
ASCV –	Avaliação da Sustentabilidade do Ciclo de Vida
CCV –	Custo do Ciclo de Vida
CMMAD –	Comissão Mundial sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONAMA –	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORSAN –	Companhia Riograndense de Saneamento
DMAE –	Departamento Municipal de Água e Esgoto, de Porto Alegre
IBICT –	Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
ICV –	Inventário do Ciclo de Vida
IPCC –	<i>Intergovernmental Panel on Climate Change</i>
IS –	Índice de Sustentabilidade
ISO –	<i>International Organization for Standardization</i>
PCRA –	Programa de Conservação e Reúso de Água
PNCDA –	Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água
PNUMA –	Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PURA –	Programa de Uso Racional de Água
REPA –	<i>Resources and Environmental Profile Analysis</i>
SETAC –	<i>Society of Environmental Toxicology and Chemistry</i>
SGA –	Sistemas de Gestão Ambiental
SNIS –	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UNEP –	<i>United Nations Environment Programme</i>
UPF –	Universidade de Passo Fundo
USEPA –	<i>United States Environmental Protection Agency</i>

## 1 INTRODUÇÃO

Os recursos naturais, essenciais para a sobrevivência humana, forneceram o suporte para o advento da Revolução Industrial, mas sua exploração irracional, na ótica de bens infinitos, resultou em problemas de degradação ambiental e, simultaneamente, problemas políticos, sociais e econômicos em nível internacional. E, em alguns casos, em termos de recursos hídricos, a oferta já não está cumprindo com as crescentes demandas.

Muitos locais com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para atender a demandas excessivamente elevadas, já experimentam conflitos de usos e sofrem restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida. O Brasil, apesar da grande disponibilidade de recursos hídricos, possui diversas regiões que se encontram atualmente sob estresse hídrico. Esse desequilíbrio pode ser de origem quantitativa, decorrente de períodos de maior escassez hídrica, ou de origem qualitativa, resultante, por exemplo, de modificações da qualidade da água pelo seu uso e pela urbanização.

Problemas de uso ineficiente da água nas edificações, de maneira geral, são as frequentes perdas e desperdícios provocados, por exemplo, por vazamentos nos sistemas hidráulicos e nas peças sanitárias. A causa para esses desperdícios ou perdas no sistema, muitas vezes é decorrente de concepções inadequadas de projeto, de procedimentos incorretos de manutenção e maus hábitos dos usuários. Também, após o uso, quando há a disposição final inadequada do efluente, gera significativos impactos ao ambiente.

Diante disso, as práticas conservacionistas são uma maneira inteligente de se ampliar e flexibilizar a demanda e oferta de água para novas atividades e usuários, sem, contudo, comprometer o suprimento dos recursos hídricos e a preservação do ambiente natural. Conseqüentemente, os programas de conservação da água e de gestão sustentável constituem-se em importantes ferramentas para assegurar a oferta de água potável, por evitar o desperdício e racionalizar o uso, minimizando impactos relacionados. Cada vez mais, os gestores têm pela frente o desafio de criar condições que lhes possibilitem enfrentar a dinâmica da oferta de água com a demanda de água.

A busca por ferramentas que consigam superar as limitações encontradas nos atuais instrumentos de gestão e de avaliação de impactos, para o uso da água e sua sustentabilidade, é um fator essencial para alcançar os conteúdos presentes em cada realidade. E as atribuições

dos projetistas só aumentam indo além da necessidade de qualidade, função e dos custos econômicos envolvidos nos projetos. Deve-se agregar a esses fatores a questão social e ambiental e seus impactos relacionados, sob forma de viabilizar, de maneira sustentável, os projetos e, conseqüentemente, cada ciclo de vida.

Com isso, surgiu a motivação de tema de pesquisa sobre a conservação da água: o uso da água em edificações pode ser ambientalmente, socialmente e economicamente sustentável? Quais os impactos que podem estar associados?

Neste sentido, a Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é uma ferramenta que considera e quantifica o consumo de recursos e os impactos ambientais associados a um produto ou processo durante o seu ciclo de vida, colaborando para uma melhor avaliação do desempenho global e das contribuições relativas para diferentes fases do ciclo de vida, permitindo, assim, a identificação de oportunidades de melhoria do ambiente e do desempenho global dos sistemas. As diferentes técnicas de avaliação permitem medir os impactos nas diferentes etapas de cada sistema. Assim, a avaliação de ciclo de vida (ACV ambiental) observa os impactos potenciais da: extração de recursos naturais, do transporte, da produção, reciclagem, uso e destino final de produtos e sistemas no ambiente; o custo do ciclo de vida (CCV) é utilizado para avaliar os custos econômicos desse ciclo de vida; a análise social de ciclo de vida (ACV-S) examina as conseqüências sociais; e a avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida (ASCV) analisa a situação de sustentabilidade de todo este processo.

Sob este aspecto, esta pesquisa se insere como um ferramental de gerenciamento, planejamento e coordenação do uso sustentável da água para a concepção e gestão de outras edificações similares, pois relaciona o inventário de ciclo de vida do uso da água em edificações e os impactos relacionados, com a avaliação da sua sustentabilidade. Com isso, facilita a identificação dos problemas existentes relacionados, sob o foco ambiental, social e econômico. Assim sendo, pode-se fazer um monitoramento das futuras iniciativas, buscando melhorias e redução de impactos negativos continuamente. Justifica-se ainda pela necessidade de preservação de recursos hídricos, da qualidade de vida e da manutenção das condições ambientais necessárias às próximas gerações, pela busca de uma maior concepção pelo uso racional e sustentável da água, por parte dos técnicos diretamente envolvidos com projetos e execução dos sistemas hidráulicos, dos gestores envolvidos, bem como dos usuários desse recurso hídrico. Com isso proporciona embasamento teórico para a validação de ferramentas de gestão sustentável, que contribuam com o desenvolvimento e apoio à tomada de decisão, possibilitando a utilização e a assimilação por gestores, instituições de ensino e a comunidade em geral.

## 1.1 Objetivos

O objetivo geral é avaliar a situação de sustentabilidade em diferentes cenários do uso da água em edificações, através da ASCV, como ferramenta de gestão, com a aplicação experimental em estudo de caso.

Para alcançar o objetivo geral é necessário o desenvolvimento dos seguintes objetivos específicos:

- verificar o ciclo de vida do uso da água em edificação de ensino superior, como estudo de caso, levantar o diagnóstico de uso da água e obter o inventário do ciclo de vida (cenário atual, de referência);
- analisar os impactos ambientais, sociais e econômicos, embasados nos inventários dos diferentes cenários (Atual; Aproveitamento de águas pluviais; e Reúso de águas);
- comparar os resultados dos impactos dos diferentes cenários;
- realizar a integração das dimensões obtidas em cada cenário, através da ASCV, para examinar a situação de sustentabilidade do uso da água.
- comparar, para os diferentes cenários, a situação de sustentabilidade de uso da água, apontando etapas críticas e indicando melhorias.

## 1.2 Estrutura da pesquisa

O conteúdo dessa pesquisa foi dividido em seis capítulos. O Capítulo 1 situa o leitor sobre a introdução da tese, apresentando as motivações centrais, as justificativas, os objetivos e a organização da mesma.

Na revisão bibliográfica do Capítulo 2, são abordados os principais conceitos necessários à compreensão da pesquisa.

A metodologia utilizada na pesquisa é detalhada no Capítulo 3.

O Capítulo 4 expõe as informações sobre o estudo de caso utilizado para a aplicação da metodologia da pesquisa.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados obtidos com a aplicação da metodologia de avaliação de impactos, bem como a análise de comparação de cenários de impactos, e a

avaliação da sustentabilidade do ciclo de vida do uso da água em edificações dos diferentes cenários.

Por fim, o Capítulo 6 apresenta as conclusões e responde às indagações traçadas nos objetivos da tese, concluindo o estudo à luz dos resultados dos capítulos anteriores e sugerindo futuros trabalhos nessa área.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo é apresentada a fundamentação teórica para a pesquisa. Primeiramente é abordada a questão dos recursos hídricos e a conservação da água, com alguns exemplos de programas já consolidados de conservação de água. Em seguida, é contextualizado o tema da avaliação da sustentabilidade e a avaliação de ciclo de vida no contexto ambiental, social e econômico, com exemplos de aplicações.

### **2.1 Recursos hídricos e gestão da água**

Os recursos hídricos, particularmente os de água doce, constituem-se na parcela essencial e indispensável de todos os ecossistemas terrestres. O meio de água doce caracteriza-se pelo ciclo hidrológico que também tem seus efeitos críticos, como enchentes e estiagens, e cujas consequências se tornaram mais extremas e dramáticas em algumas regiões do planeta.

A ação dos processos de industrialização e urbanização das cidades afeta a qualidade dessa água que se movimenta no ciclo hidrológico. A mudança climática global e a poluição atmosférica também contribuem para a degradação dos recursos naturais, e atingem com particular gravidade os de água doce, afetando a sua qualidade e consequente disponibilidade (BARRETO, 2006). Há que se considerar, ainda, a importante heterogeneidade na distribuição geográfica dos recursos hídricos no Brasil, bem como no Mundo.

Além dos índices quantitativos, a poluição e o uso inadequado da água comprometem significativamente a qualidade desse recurso em várias regiões do país (MANCUSO e SANTOS, 2003), principalmente em áreas urbanizadas. A questão do saneamento básico, principalmente do esgotamento sanitário adequado, no Brasil, ainda é um problema, difícil de ser solucionado, pois menos da metade da população brasileira, ou seja, 44% dos domicílios possui acesso à rede de coleta de esgotos e apenas 30,2% do esgoto coletado é tratado (PNSB, 2008; OLIVEIRA et al., 2011).

A água, como fator estruturador do espaço e das atividades humanas, possui importância estratégica no desenvolvimento das populações. O ambiente urbano e natural sofrem as pressões da crescente demanda de água, decorrente do aumento populacional, da intensificação das indústrias e, sobretudo, do mau gerenciamento do seu uso nas atividades humanas. A Figura 2.1 apresenta os efeitos da urbanização no ciclo da água.

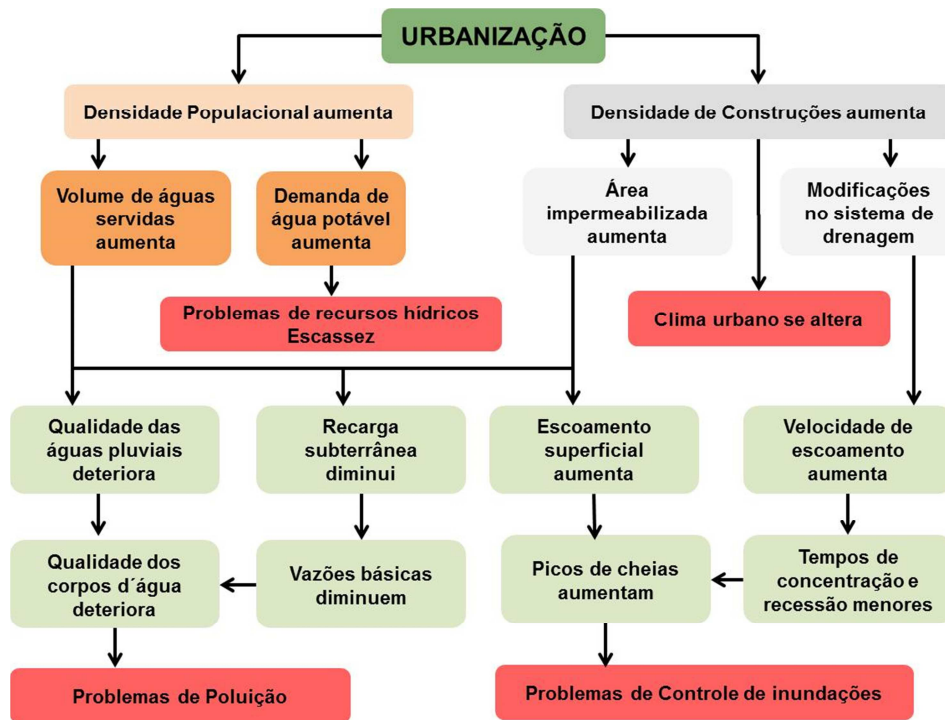


Figura 2.1 - Efeitos da urbanização no ciclo da água.

(Fonte: Adaptado de Barreto, 2006).

Na Figura 2.1, os efeitos do crescimento populacional e aumento das construções e áreas impermeáveis, principalmente, resultam em alterações do clima urbano, problemas como escassez hídrica (demanda), poluição e problemas com controle de inundações (drenagem urbana). As atividades desenvolvidas no ambiente urbano devem passar por adaptações para se adequarem à utilização racional da água e aos efeitos da urbanização no ciclo da água (BARRETO, 2006).

Existem alguns exemplos bem sucedidos de conservação de água em sistemas públicos e privados. Mas a política de reutilização das águas é aplicada, normalmente, em locais que já se encontram em algum estágio de escassez hídrica. No Quadro 2.1, notam-se as características da visão histórica de aproveitamentos da água, segundo Tucci et al. (2001).

Quadro 2.1 - Características da visão histórica de aproveitamentos da água.

Período	Países desenvolvidos	Brasil
1945-60 Engenharia com pouca preocupação ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Uso dos recursos hídricos: abastecimento, navegação, hidroeletricidade, etc.</li> <li>- Qualidade da água nos rios</li> <li>- Medidas estruturais de controle das enchentes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Inventário dos recursos hídricos</li> <li>- Início dos empreendimentos hidrelétricos e projetos de grandes sistemas</li> </ul>
1960-70 Início da pressão ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Controle de efluentes</li> <li>- Medidas não estruturais para enchentes</li> <li>- Legislação para qualidade da água dos rios</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Início da construção de grandes empreendimentos hidrelétricos</li> <li>- Deteriorização da qualidade da água dos rios e lagos próximos a centros urbanos</li> </ul>
1970-80 Controle ambiental	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Usos múltiplos</li> <li>- Contaminação de aquíferos</li> <li>- Deteriorização ambiental de grandes áreas metropolitanas</li> <li>- Controle na fonte de drenagem urbana</li> <li>- Controle da poluição doméstica e industrial</li> <li>- Legislação ambiental</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Ênfase em hidrelétricas e abastecimento de água</li> <li>- Início da pressão ambiental</li> <li>- Deteriorização da qualidade da água dos rios devido ao aumento da produção industrial e concentração urbana</li> </ul>
1980-90 Interações do ambiente global	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Impactos climáticos globais</li> <li>- Preocupação com preservação das florestas</li> <li>- Prevenção de desastres</li> <li>- Fontes pontuais e não pontuais</li> <li>- Poluição rural</li> <li>- Controle dos impactos da urbanização sobre o ambiente</li> <li>- Contaminação de aquíferos</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Redução do investimento em hidrelétricas devido à crise fiscal e econômica</li> <li>- Piora das condições urbanas: enchentes, qualidade da água</li> <li>- Fortes impactos das secas do Nordeste</li> <li>- Aumento dos investimentos em irrigação</li> <li>- Legislação ambiental</li> </ul>
1990-2000 Desenvolvimento sustentável	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolvimento sustentável</li> <li>- Aumento do conhecimento sobre o comportamento ambiental causado pelas atividades humanas</li> <li>- Controle ambiental das grandes metrópoles</li> <li>- Pressão para controle da emissão de gases, preservação da camada de ozônio</li> <li>- Controle da contaminação de aquíferos e das fontes não-pontuais</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Legislação de recursos hídricos</li> <li>- Investimento no controle sanitário das grandes cidades</li> <li>- Aumento do impacto das enchentes urbanas</li> <li>- Programas de conservação dos biomas nacionais: Amazônia, Pantanal, Cerrado e Costeiro</li> <li>- Início da privatização dos serviços de energia e saneamento</li> </ul>
2000- Ênfase na água	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Desenvolvimento da visão mundial da água</li> <li>- Uso integrado dos recursos hídricos</li> <li>- Melhora da qualidade da água das fontes não pontuais: rural e urbana</li> <li>- Busca de solução para os conflitos transfronteiriços</li> <li>- Desenvolvimento do gerenciamento dos recursos hídricos dentro de bases sustentáveis</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Avanço do desenvolvimento dos aspectos institucionais da água</li> <li>- Privatização do setor energético</li> <li>- Aumento de usinas térmicas para produção de energia</li> <li>- Privatização do setor de saneamento</li> <li>- Aumento da disponibilidade de água no Nordeste</li> <li>- Desenvolvimento de planos de drenagem urbana para as cidades</li> </ul>

(Fonte: Tucci et al., 2001).

OLIVEIRA (1999) afirma que o gerenciamento do uso da água com o objetivo de preservar os recursos hídricos e ambientais, pode ser realizado em três níveis sistêmicos: macro, meso e micro, conforme representado na Figura 2.2, que ilustra os níveis de gestão da água.



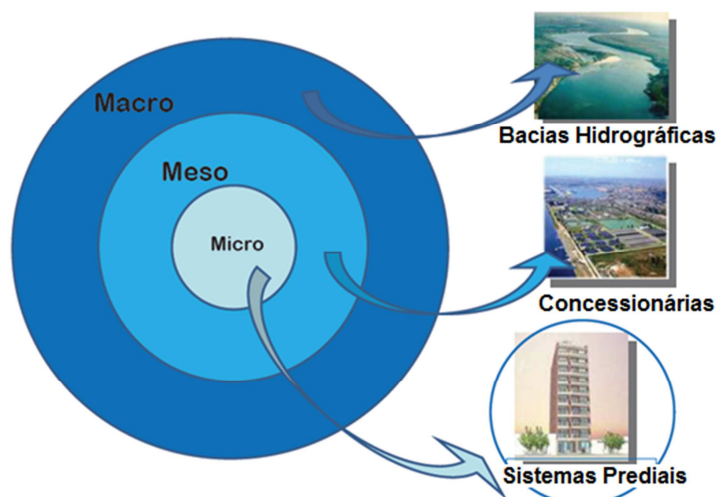


Figura 2.2 - Níveis de gestão de água.

(Fonte: Oliveira, 2007).

Na Figura 2.2, o nível macro trata dos sistemas hidrográficos que, no Brasil, são representados pela Agência Nacional de Águas (ANA) a qual deve disciplinar o uso da água das bacias, evitando desperdícios e a poluição (Lei nº. 9.984/2000). A finalidade da ANA é implementar, em sua esfera de atribuições, a Política Nacional de Recursos Hídricos, instituída pela Lei nº 9.433/97, e realizar avaliação prévia da disponibilidade quantitativa e qualitativa de água em detrimento dos demais usos da região.

O nível meso abrange os sistemas públicos de tratamento e abastecimento de água, e de coleta e tratamento de efluentes. As concessionárias brasileiras, por exemplo, a Companhia Riograndense de Saneamento (CORSAN), a Companhia de Água e Esgoto do Estado de São Paulo (SABESP), a SANEPAR do Paraná, entre outras, enquadram-se nesse nível de gestores de água. Programas de redução de perdas nas redes de distribuição e de conscientização dos usuários finais da água fazem parte dos programas de conservação conduzidos por essas entidades.

E o último nível de gestão, o micro, compreende os usuários finais da água, nos processos prediais, industriais e agrícolas. É nesse nível que ocorre, em grande escala, o uso consuntivo da água, ou seja, aquele que altera o total disponível em quantidade e em qualidade (ANA, 2009). Por esses motivos, esse grupo deve ser alvo de ações que visem à conscientização, educação, incentivo econômico, desenvolvimento tecnológico, regulação e a fiscalização quanto ao uso da água e à geração de efluentes. Os usuários, motivados por esses estímulos de ordem cultural, ambiental, política e econômica, acabam adotando práticas de conservação da água. Além disso, os resultados em economia não propiciam apenas

benefícios pontuais aos sistemas prediais, mas também ganhos extensivos aos sistemas hidrográficos, e conseqüentemente, as cidades que se abastecem daquele recurso hídrico.

Os programas de conservação e de economia de água, respeitadas as definições dos níveis de abrangência citados, devem contemplar os diversos interesses dos seguintes participantes envolvidos: poder concedente; concessionária; e usuários (BARRETO, 2006).

Do ponto de vista do poder concedente, ou regulador do bem e serviço, a água de uso urbano deve estar voltada para as necessidades da localidade no que tange aos aspectos de atendimento da demanda, da quantidade comprometida, da qualidade da água fornecida, da estrutura da tarifa e das medidas de conservação da bacia hidrográfica.

Para a concessionária, o interesse recai sobre a maximização do uso do recurso natural, de maneira a obter o maior rendimento possível para alcançar os níveis de ganho necessários para cobrir suas despesas operacionais e de investimentos na melhoria do atendimento.

E para o usuário, já em nível das edificações, o principal interesse é exercer seu potencial de consumidor do recurso, considerando os diversos aspectos envolvidos, como a sua propensão ao consumo, gastando menos em termos monetários e exigindo a quantidade e a qualidade adequada às suas necessidades (BARRETO, 2006).

Como o foco desta pesquisa são as edificações de ensino superior, ou seja, edificações não residenciais, o manual de conservação de água em edificações (FIESP/ANA/SINDUSCON-SP, 2005) define que as edificações comerciais incluem os edifícios de escritórios, restaurantes, hotéis, museus, entre outros. Geralmente o uso de água neste tipo de edificação é para fins domésticos (principalmente em ambientes sanitários), sistemas de resfriamento de ar condicionado e irrigação. Já nas edificações públicas, como escolas, universidades, hospitais, terminais de passageiros de aeroportos, entre outros, o uso da água é muito semelhante ao das edificações comerciais, porém, o uso dos ambientes sanitários é bem mais significativo, variando de 35% a 50% do consumo total (FIESP/ANA/SINDUSCON-SP, 2005).

Para a otimização do uso da água em seu conceito mais amplo, é importante destacar a evolução do conceito de uso racional da água para o de conservação desse recurso. De acordo com o manual de conservação e água em edificações, a implementação do uso racional da água consiste em sistematizar as intervenções que devem ser realizadas em uma edificação, de tal forma que as ações de redução do consumo sejam resultantes de amplo conhecimento do sistema, garantindo sempre a qualidade necessária para a realização das atividades consumidoras, com o mínimo de desperdício. Esta metodologia possui atuação na demanda de água da edificação.

No entanto, cabe salientar que, na maioria das edificações a água potável é utilizada para a realização de quase todas as atividades, independentemente de uma análise prévia da qualidade da água necessária. A evolução do conceito do uso racional para a conservação de água consiste na associação da gestão, não somente da demanda, mas também da oferta de água, de forma que usos menos nobres possam ser supridos, sempre que possível, por águas de qualidade inferior (FIESP/ANA/SINDUSCON-SP, 2005).

## **2.2 Conservação da água**

A conservação de água pode ser definida como qualquer ação que: reduza a captação de água nos mananciais, reduza os usos consuntivos, reduza o desperdício ou as perdas de água, aumente a eficiência do uso da água, aumente a reciclagem ou o reúso, e previna a poluição da água (OLIVEIRA, 1999). Ainda, de acordo com Gonçalves et al. (2009), prevê a preservação em quantidade e em qualidade, através da tomada de dois tipos de ação: gestão da demanda e gestão da oferta de água. O primeiro fica evidenciado quando se fala em redução do uso da água, ou seja, usar a água de modo racional, evitando perdas e desperdícios. O segundo tipo trata da gestão da oferta da água quando, se cita o uso de fontes alternativas, tais como o reúso.

A gestão da demanda se inicia por um processo integrado de identificação e medição contínua de demandas específicas. Essa informação gerenciada permite um efetivo controle da demanda individualizada e orienta a eliminação do desperdício operacional e a modernização dos processos.

Na visão de Tamaki (2003), o gerenciamento da demanda de água é um ponto fundamental para o sucesso dos programas de conservação de água. Quando controlada a demanda, inicia-se a gestão da oferta, que consiste em substituir as fontes de abastecimento convencionais por opções mais favoráveis, em termos de custos e de proteção ambiental. As opções se concentram, basicamente, no reúso da água que constitui os efluentes gerados; no aproveitamento de águas pluviais de telhados ou pátios internos; e, eventualmente, no reforço das águas subterrâneas, por meio de recarga artificial dos aquíferos subjacentes com efluentes controlados e adequadamente tratados.

Atualmente, podem-se destacar ações voltadas para a promoção do uso racional dos recursos hídricos, onde se salienta a premência da gestão adequada do uso da água nas

edificações. Gestão esta, que deve abordar tanto o aspecto quantitativo quanto o aspecto qualitativo.

Neste sentido, diversas ações foram engendradas pela sociedade, instituições e poder público, visando à conservação dos recursos hídricos como, por exemplo, o Programa Nacional de Combate ao Desperdício de água (PNCDA, 1997), *Water Conservation Plan* (USEPA, 1998), o Programa de Uso Racional da Água (PURA, 1995), Programa de Conservação e Reúso de Água - PCRA nas indústrias (FIESP/CIESP/ANA, 2005; FIRJAN, 2006), entre outros.

O PURA, resultado da parceria Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), Universidade de São Paulo (USP) e o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, é uma programa já consolidado de uso racional da água, e vários exemplos de sua implantação podem ser citados, como também exemplos de leis municipais que empregam a metodologia do PURA em suas diretrizes.

De acordo com Oliveira (1999), a metodologia para a implantação do PURA em edifícios é estruturada em quatro etapas, são elas:

- auditoria do consumo de água: é a realização de levantamento documental das características físicas e funcionais do edifício e, em particular, do sistema hidráulico e das solicitações dos usuários ao sistema;
- diagnóstico: síntese organizada das informações obtidas na auditoria do consumo de água;
- plano de intervenção: conjunto de ações, definidas em função do diagnóstico e das condições técnico-econômicas do sistema; e
- avaliação do impacto de redução do consumo: que consiste em verificar o efeito de cada uma das ações implementadas no sistema, através da monitoração diária, semanal ou mensal do volume de água medido, considerando-se a influência das variáveis e eventos em ambos os períodos.

A Figura 2.3 apresenta o fluxograma da metodologia para a implantação de PURA em edifícios.

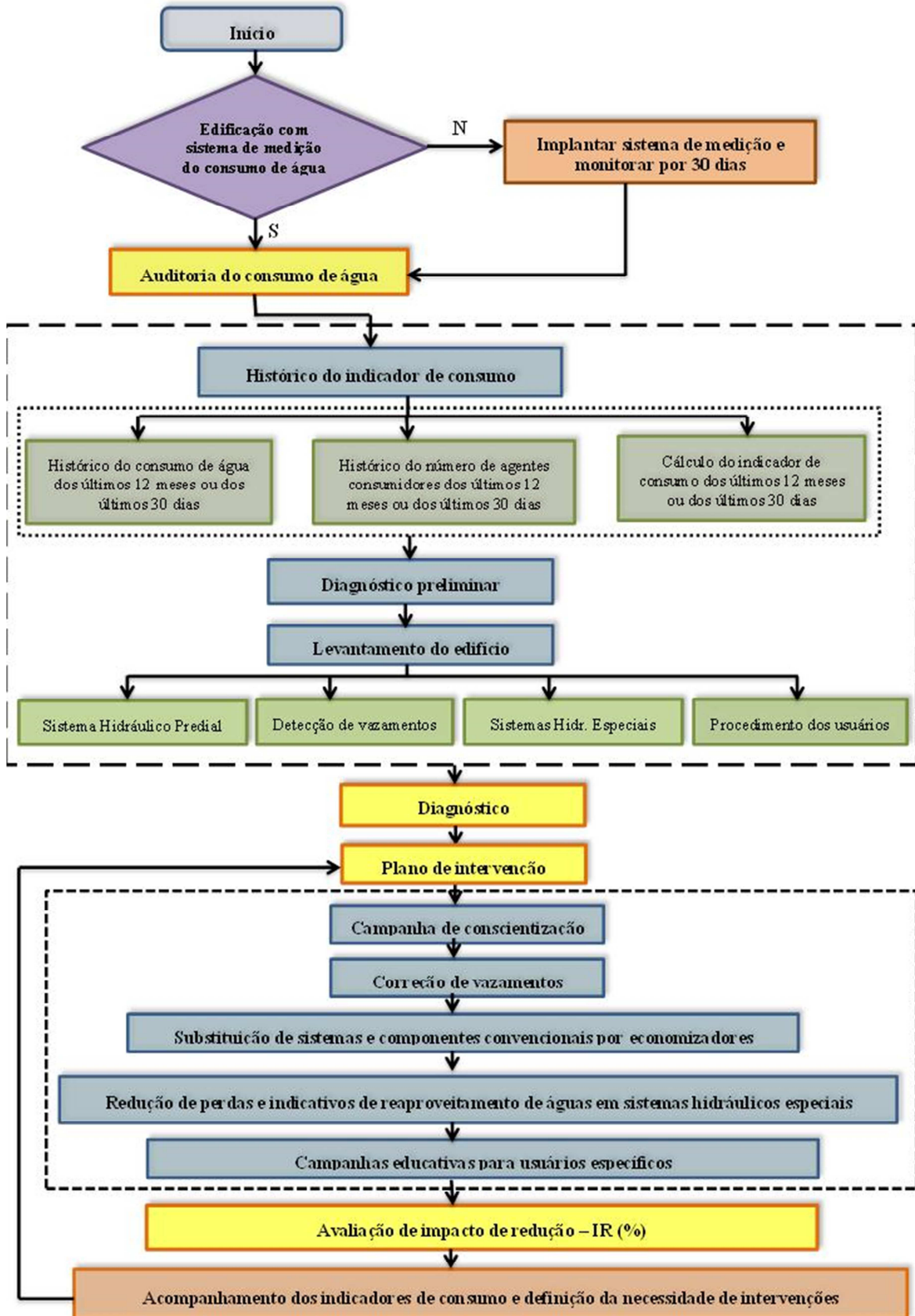


Figura 2.3 - Fluxograma da metodologia para a implantação de PURA em edifícios.

(Fonte: Oliveira, 1999).

ILHA et al. (2010) salientam a importância do conhecimento do perfil de consumo, que envolve a frequência diária de uso dos equipamentos hidrossanitários, a vazão unitária e o tempo de acionamento dos aparelhos sanitários. Estes parâmetros devem ser estudados para permitir a quantificação do índice de redução de consumo. WILLIS et al. (2011) discutiram as campanhas de conscientização e educação dos usuários. Destacam que a preocupação com o uso da água e com as questões ambientais leva uma utilização mais criteriosa da água pelos usuários.

Na Tabela 2.1, Ywashima (2005) apresenta alguns casos em que a SABESP expõe casos em que foram instaladas tecnologias economizadoras nos pontos de consumo de água de edifícios escolares. A Tabela 2.1 demonstra os resultados da aplicação de PURA em escolas de ensino fundamental, médio e superior. Pode-se observar o significativo impacto de redução com a ação de detecção e conserto de vazamentos, além dos outros benefícios obtidos.

Tabela 2.1 – Aplicação de PURA em escolas de ensino fundamental, médio e superior.

Parâmetros	Escola Vera Cruz	Escola Estadual Toufic Jouliam	Escola de Engenharia Mauá
Ações	Instalação de 16 torneiras de fechamento automático	Detecção e conserto de vazamentos	Detecção e conserto de vazamentos (rede e reservatório) e substituição por equipamentos eficientes
População	925 alunos	2.780 alunos e 115 professores	5.041 alunos (fixa + flutuante)
<i>Impacto de redução (%)</i>	25	78,29	42,50
Redução (m <sup>3</sup> )	716	1.220	997,55
Redução (R\$)	5.427,20	12.614,80	16.345,79
Custo do investimento: material e mão de obra (R\$)	2.384	2.500	44.000
Economia mensal (R\$)	452,25	12.614,80	16.345,79
Amortização (%)	2	---	---
Período de retorno	2 meses	6 dias	2,7 meses

(Fonte: Ywashima, 2005).

O programa Pró-Água da Unicamp também pode ser citado para exemplificar a conservação de água em campus universitário. Além de escolas, um campus universitário pode incluir: laboratórios, hospitais, moradias, creches, restaurantes, clubes esportivos, museus, teatros, escritórios, oficinas, estacionamentos, áreas verdes e, até mesmo, áreas de cultivo agrícola e de criação de animais, daí a dificuldade de implementação de um PURA em um sistema tão complexo, no qual a função de cada edificação e as correspondentes necessidades de cada usuário são tão distintas (SILVA, 2004). A Figura 2.4 demonstra o fluxograma para programa permanente de uso racional da água em campus universitário.

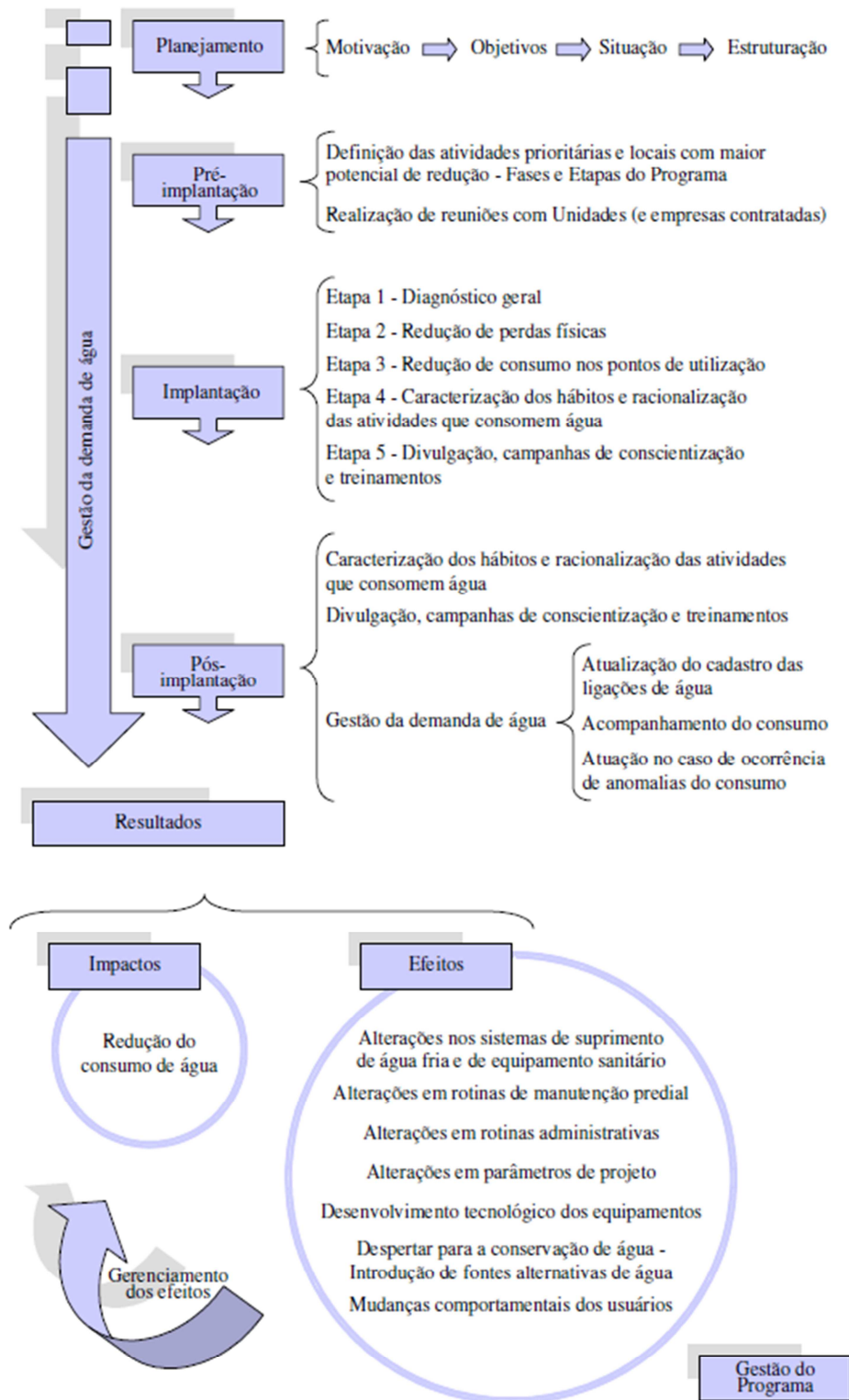


Figura 2.4 - Fluxograma para Programa Permanente de Uso Racional da Água em campus universitário.

(Fonte: Silva, 2004).

Pode-se destacar também o Programa de Conservação e Reúso de Água (PCRA) nas indústrias, elaborado pela FIESP/CIESP em parceria com a ANA – Agência Nacional de Águas (FIESP/CIESP/ANA, 2005) e o documento Conservação da água em Edificações, publicado em 2005 pela ANA, juntamente com a FIESP e SINDUSCON-SP (FIESP/ANA/SINDUSCON-SP, 2005), com as orientações para a implantação de programas de conservação de água em edificações comerciais, residenciais e industriais quer sejam edificações novas ou existentes. Em 2006, o Sistema FIRJAN e o SEBRAE-RJ, considerando a importância da conservação e do reúso da água na indústria, também desenvolveram um manual para proporcionar as orientações básicas para o desenvolvimento e a implantação de Planos de conservação e reúso de água na indústria (PCRA).

Ainda dentro do conceito de conservação de água, uma prática eficiente é a redução de perdas e desperdícios dos sistemas hidráulicos. São frequentes os desperdícios de água provocados por vazamentos nos sistemas hidráulicos prediais e nas peças sanitárias das edificações. As causas para esses desperdícios ou perdas no sistema, muitas vezes são decorrentes de concepções inadequadas de projeto, de procedimentos incorretos de manutenção e maus hábitos dos usuários (NUNES, 2006). No Quadro 2.2 são apresentados os conceitos de perdas e desperdícios.

Quadro 2.2 – Conceitos de terminologias associadas ao desperdício de água.

PROBLEMAS E CONCEITOS		FATORES CAUSADORES
<b>Desperdício:</b> Toda água que esteja disponível em um sistema hidráulico e seja perdida antes ou durante o seu uso para uma atividade qualquer. Pode ocorrer tanto por perda quanto pelo uso excessivo.	<b>Perda:</b> Água que escapa do sistema antes de ser utilizada.	Mau desempenho do sistema
		Vazamentos
	<b>Uso excessivo:</b> Água utilizada de forma perdulária, inadequada.	Negligência do usuário
		Mau desempenho do sistema
		Procedimentos inadequados

(Fonte: Adaptado de NUNES, 2006).

Conforme Gonçalves et al. (2009) o termo “desperdício” compreende basicamente as perdas evitáveis, ou seja, correspondem claramente à negligência do usuário que não tem consciência ambiental. Isso pode estar vinculado ao uso propriamente dito ou ao funcionamento geral dos sistemas. Em geral, o desperdício de água está associado ao comportamento de uso e por isso é mais evidente nos sistemas individuais (edificações). As parcelas de perdas e desperdícios representam custos para os usuários e para a sociedade, sem aportar benefícios. Portanto sua eliminação ou redução a níveis razoáveis resulta em



consideráveis benefícios ambientais e econômicos (GONÇALVES et al., 2009). A Figura 2.5 apresenta a redução do consumo advinda do conserto de vazamentos das unidades localizadas no campus universitário da Unicamp.

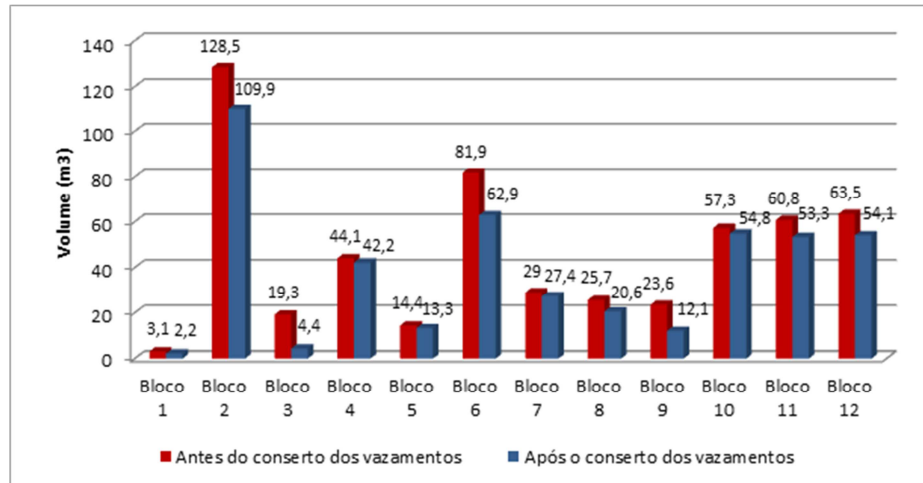


Figura 2.5– Redução do consumo de água em campus universitário.

(Fonte: Adaptado de Pedroso, 2002; FIESP/ANA/SINDUSCON-SP, 2005).

PEDROSO (2002) ressalta que, quando consideradas as edificações públicas, é grande o índice de patologias nos sistemas prediais, originadas não somente na fase de projeto, mas também nas demais fases de geração, uso e operação desses sistemas hidráulicos. Além disso, como o usuário não é responsável direto pelo pagamento de água, não existe um estímulo direto para o uso racional. Conforme o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, SNIS (2011), o índice de perdas de água nas companhias de saneamento no Brasil, em geral, ainda é consideravelmente alto, na ordem de 40%, em média.

No caso dos sistemas prediais, Oliveira (1999) afirma que para obter a redução de volumes utilizados e de desperdícios de água, pode-se implementar as seguintes ações:

- Ações econômicas – incentivos e desincentivos econômicos. Os incentivos podem ser propostos por meio de subsídios para a aquisição de sistemas e componentes economizadores de água e de redução de tarifas. Os desincentivos podem ser implementados elevando-se as tarifas de água;

- Ações sociais – campanhas educativas e de conscientização dos usuários implicando a redução de consumo através da adequação de procedimentos relativos ao uso da água e da mudança de comportamento individual;

- Ações tecnológicas – substituição de sistemas e componentes convencionais por economizadores de água, implantação de sistemas de medição setorizada do consumo de

água, detecção e correção de vazamentos, reaproveitamento de água e de reciclagem de água servida.

Mas o sucesso da implantação de ações em favor da conservação de água depende da perfeita harmonia entre tecnologias adequadas e o comprometimento dos usuários, pois são estes que estão em contato direto com boa parte das atividades consumidoras (OLIVEIRA, 1999). As soluções que preservam a quantidade e a qualidade da água passam necessariamente por uma revisão dos métodos e sistemas relacionados com o uso da água pelas populações, tendo como meta a sua conservação.

O Quadro 2.3 apresenta soluções alternativas de conservação associadas às categorias estratégicas, visando à avaliação no processo de produção do projeto de um edifício.

Quadro 2.3 - Soluções alternativas de conservação da água associadas às categorias estratégicas, visando à avaliação, no processo de produção do projeto de um edifício.

<b>Categoria estratégica de conservação de água</b>	<b>Soluções alternativas de conservação visando avaliação</b>
1. Uso eficiente das águas	Emprego de aparelhos sanitários de baixo consumo
2. Aproveitamento de fontes alternativas	Aproveitamento de águas cinzas Aproveitamento de águas pluviais Águas subterrâneas ou do mar
3. Desenvolvimento e adequação tecnológica	Medição individualizada Compartimentação das pressões de águas em faixas de valores adequadas à conservação
4. Gestão das águas no edifício	Medições setorizadas de consumo Implantação de sistema de gestão das águas no edifício
5. Desenvolvimento do comportamento conservacionista	Formação e treinamento de moradores, funcionários e prestadores de serviços sobre o sistema de gestão de águas

(Fonte: Gonçalves et al., 2009).

Várias concessionárias, empresas públicas e privadas, preocupadas com essa questão, já possuem programas bem sucedidos, ações e incentivos para a redução do consumo e desperdício, cuidados com vazamentos, substituição de equipamentos convencionais por economizadores, entre outros, podendo ser citados vários exemplos, como o DMAE (Departamento Municipal de Água e Esgotos) de Porto Alegre, por exemplo, que incentiva os responsáveis pela gestão de escolas, prédios públicos, condomínios, entre outros, para as ações de conservação da água. Através de lei municipal de responsabilidade do DMAE, foi oportunizado que a implantação da leitura dos medidores individualizados das edificações por radiofrequência – RF (MELLO e RABELO JR., 2011).

## 2.3 Desenvolvimento sustentável e sustentabilidade

Definir desenvolvimento sustentável ainda é uma questão controversa. Para muitos, desenvolvimento e sustentabilidade são dois conceitos que não podem ser combinados na formação de um conceito único e que seja facilmente inteligível (SATTLER, 2002). De acordo com Brundtland (1987), a definição de desenvolvimento sustentável é “o desenvolvimento que satisfaz às necessidades do presente sem comprometer a capacidade das gerações futuras satisfazerem suas próprias necessidades”. Esse conceito foi definido no relatório Brundtland (*Our Common Future – Nosso Futuro Comum*), em 1987, onde foram apontadas as causas fundamentais da insustentabilidade do desenvolvimento e das crises mundiais, e se definiu um novo tipo de desenvolvimento – o desenvolvimento sustentável (CMMAD, 1991).

Sob este aspecto, este conceito se tornou um dos mais difundidos, embora não constituindo uma definição absoluta, abrindo a discussão para uma série de questionamentos, gerando diversas interpretações. Conforme Costa (2003) uma abordagem integrada das dimensões econômicas, ambientais e sociais, no âmbito do desenvolvimento sustentável, pode ser vista como: um caminho progressivo em direção a um crescimento econômico mais equilibrado, a equidade social e a proteção ao meio ambiente. A Figura 2.6 apresenta as dimensões do desenvolvimento sustentável, com o ponto de equilíbrio entre os fatores econômico, social e ambiental, no centro, significando a região do desenvolvimento sustentável.

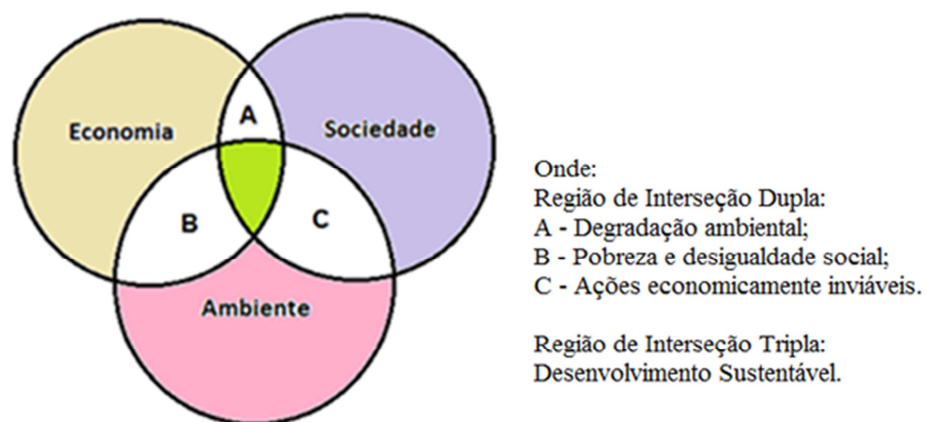


Figura 2.6- Dimensões frequentemente utilizadas do desenvolvimento sustentável e suas interfaces.

(Fonte: Adaptado de Costa, 2003).

A dimensão ambiental envolve a sustentabilidade da quantidade, qualidade e diversidade biológica, garantindo os processos ecológicos essenciais. A dimensão econômica envolve a sustentabilidade econômica da provisão de recursos em quantidade e qualidade para fins diversos, baseada no princípio de eficiência como, por exemplo, a relação custo/benefício. E por fim, a dimensão social que engloba a questão da equidade social e transparência na gestão da apropriação social de recursos (MAGALHÃES JR., 2007).

O conceito de construções sustentáveis, inicialmente restrito à conservação do ambiente natural, passou a englobar problemas relativos à igualdade social, e preservação cultural, além de pré-requisitos econômicos (*INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION*, 1999). De acordo com Kuhn (2006) os requisitos da construção sustentável passam a englobar, primeiro, questões ambientais e, posteriormente aspectos culturais, sociais e econômicos. A Figura 2.7 ilustra o panorama evolutivo desde os princípios fundamentais que nortearam a construção clássica.

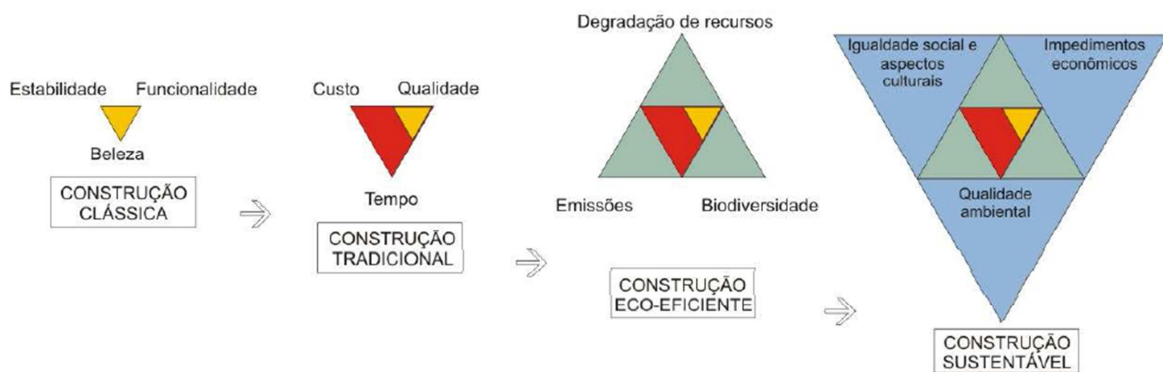


Figura 2.7- Inserção e desenvolvimento do conceito de sustentabilidade na construção. (Fonte: Kuhn, 2006).

Uma vez assumido que ações de sustentabilidade são desejáveis e imperativas, para que elas sejam inseridas de forma objetiva nos processos de decisão dos diversos níveis organizacionais da sociedade, elas devem ser mensuráveis por meio do estabelecimento de mecanismos como, por exemplo, indicadores associados a parâmetros e métricas apropriadas (LOURENÇO, 2010).

Quando o ponto é analisar a sustentabilidade, o objetivo é fornecer aos tomadores de decisão e governantes uma avaliação de ordem global e local de sistemas integrados natureza-sociedade, considerando tanto a perspectiva de longo como de curto prazo, de forma a ajudá-los na definição das ações que devem, ou não, serem tomadas na busca pela sociedade sustentável (KATES et al., 2001; NESS et al., 2007; SANCHES, 2009). Para isso, o método deve incorporar indicadores ambientais, sociais e econômicos na sua avaliação.

Piorr (2003) ressalta que as metodologias de avaliação devem buscar a integração das três abordagens de sustentabilidade: a econômica, a social e a ambiental. As metodologias de análise de sustentabilidade devem considerar os sistemas a serem sustentados, ou seja, os ecossistemas. Da mesma forma, devem conter a análise dos sistemas a serem desenvolvidos, que englobam os seres humanos, as sociedades e as economias. Por último devem incluir o componente intergerações e levar em conta o horizonte de tempo de transição para a sustentabilidade. Ness et al. (2007); Sanchez (2009), apontam as diferentes metodologias existentes, em três grandes grupos, no que se refere à avaliação da sustentabilidade.

O primeiro grupo é formado pelas metodologias baseadas em índices e indicadores. Essas metodologias, segundo Sanches (2009), podem abordar somente um aspecto da sustentabilidade, as quais (NESS et al., 2007) denominam de não-integrativas, ou as integrativas, que combinam os parâmetros socioeconômicos com os parâmetros ambientais, cobrindo assim, as três dimensões da sustentabilidade. O IDH é um exemplo, como metodologia integrativa, pois é um índice que integra as dimensões ambientais e sociais em um único número. Como também, a pegada ecológica (*ecological footprint*), pegada de carbono (*carbon footprint*) e a pegada hídrica (*water footprint*) são exemplos de índice que expressam a sustentabilidade nesse contexto.

O segundo grupo de metodologias são aquelas que avaliam o sistema produtivo ou cadeia produtiva de um determinado bem, concentrando sua análise nos fluxos de entrada e saída de materiais e de energia. O foco dessas metodologias está na análise dos diferentes fluxos em relação aos produtos e serviços, ao invés da análise regional proposta por aquelas baseadas em índices e indicadores. Dentro desse grupo, de acordo com Ness et al. (2007) pode-se citar a ACV, por exemplo.

Por fim, o terceiro grupo, conforme os referidos autores são as integrativas. Estas são usadas para auxiliar na definição de políticas e projetos, incluindo-se nessa categoria os Estudos de Impactos Ambientais (EIAs) e as metodologias multicritérios de apoio à tomada de decisão, que são muito utilizadas em situações que envolvem a avaliação de critérios concorrentes ou conflitantes, dentro de seu escopo de análise. Conforme pode ser observado na Figura 2.8.

Ness et al. (2007) afirmam que os métodos de avaliação por instrumentos ou indicadores têm demonstrado que as abordagens podem ser categorizadas com base em vários fatores ou dimensões. Eles consideram os seguintes fatores: as características temporais, ou seja, se a ferramenta avalia o desenvolvimento do passado (*ex-post* ou memória descritiva), ou se ele é usado para previsão de resultados futuros (*ex-ante* ou orientar a mudar); consideram

também o foco (áreas de cobertura), por exemplo, se o foco está em nível de produto, ou sobre uma proposta de mudança na política; e a integração de sistemas de natureza da sociedade, isto é, em que medida a ferramenta combina: ambiental, social e/ou econômica. Na Figura 2.8 está apresentado um fluxograma de avaliação da sustentabilidade que foi desenvolvido com base em um inventário realizado por Ness et al. (2007).

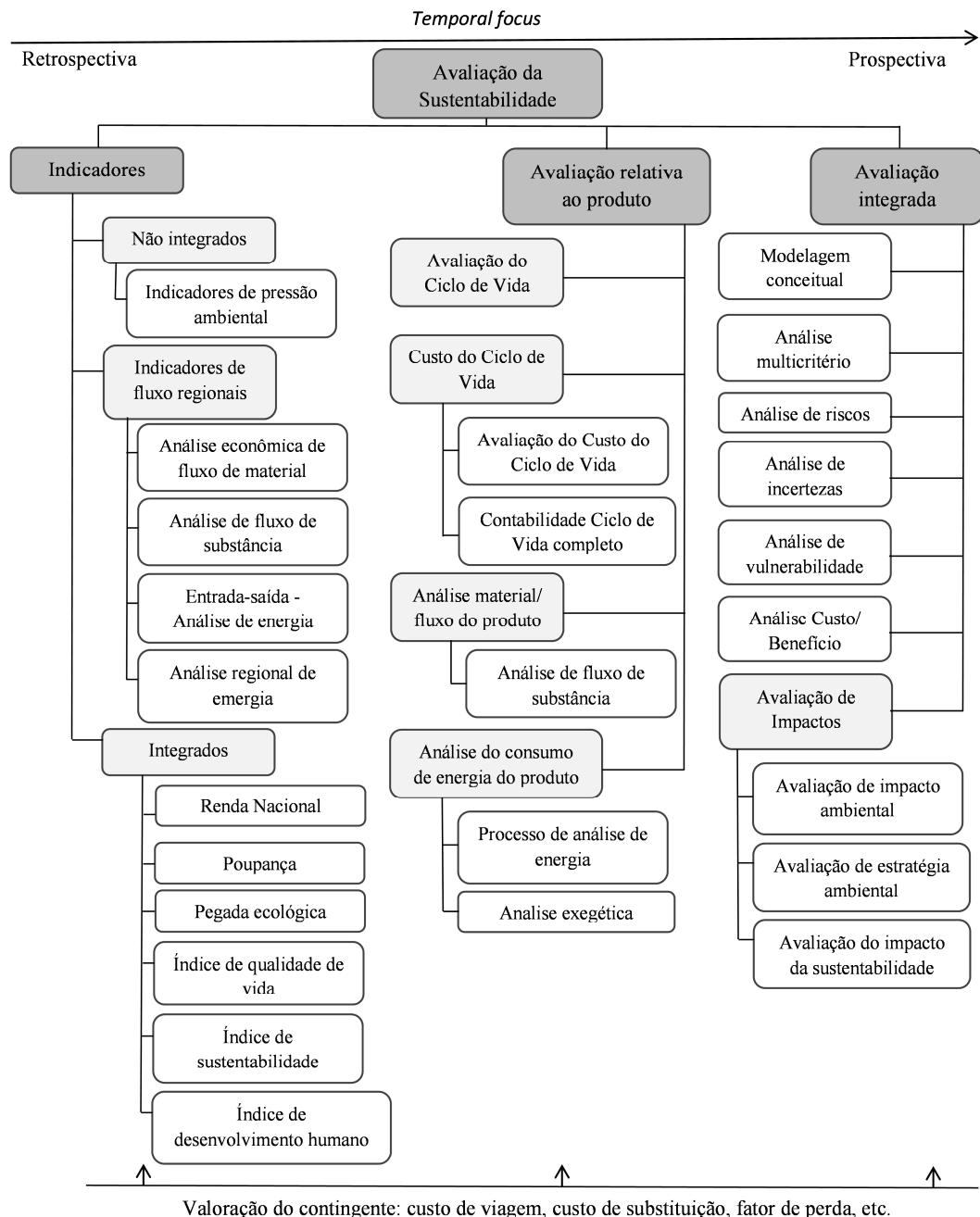


Figura 2.8 – Fluxograma guarda-chuva de indicadores, instrumento de avaliação da sustentabilidade.

Fonte: Adaptado de Ness et al., 2007.

O instrumento da Figura 2.8 é composto de três guarda-chuvas ou de áreas de classificação geral, as quais são:

- a) indicadores e índices: que são subdivididas em avaliação não-integrado e integrado,
- b) relacionados ao produto: ferramentas com o foco no material e/ou os fluxos de energia de um produto ou serviço, a partir de uma perspectiva de ciclo de vida, e
- c) avaliação integrada: que são uma coleção de ferramentas normalmente focadas em mudar a política ou a implementação do projeto.

Não haverá a categoria geral, na parte inferior da Figura 2.8, quando os valores de mercado não são necessários nas três categorias. As ferramentas são organizadas em um horizonte temporal com base em se olhar para trás no tempo (retrospectiva) ou se elas estão olhando para o futuro (prospectiva, previsão futura).

Kammerbauer (2001) e Sanches (2009) apontam que o debate científico sobre a sustentabilidade distingue três grandes vertentes, conforme pode ser observado no Quadro 2.4. Onde os modelos analíticos, em contrapartida com os sistêmicos, são cercados de incertezas, e o normativo compreende uma aproximação prática, orientada para o alcance de objetivos dentro de um processo consensual entre as partes envolvidas.

Quadro 2.4 – Abordagens de modelos de sustentabilidade.

<b>Modelos Analíticos</b>	<b>Modelos Sistêmicos</b>	<b>Modelos Normativos</b>
Tradição científica das ciências naturais e da economia neo-clássica.	Visão holística da ecologia, política e economia ecológica.	Visão multidimensional considerando aspectos ecológicos, econômicos e sociais.
Baseia-se na capacidade racional humana de entender os fenômenos naturais em sua totalidade.	Aceitação de limites da percepção humana sobre a totalidade.	Interpretação heurística das dimensões e definição de objetivos.
Situação de risco.	Situação de incerteza.	Situação de complexidade.
Indicadores de causa-estado-efeito-resposta. Exemplo: quantidade e qualidade da água em uma bacia hidrográfica, número de espécies em extinção.	Indicadores sistêmicos de aspectos fundamentais. Exemplo: Pegada ecológica, de carbono, hídrica; Índices Globais de Impacto Ambiental.	Indicadores de causa-estado-efeito-resposta e sistêmicos. Exemplo: como nos modelos analíticos e sistêmicos. Índices com ponderação.
Prático e apropriado para sistemas de monitoramento local, regional e global.	Pouco prático, apropriado para estudos científicos.	Prático e apropriado para afetados e interessados ( <i>stakeholders</i> ).
Princípio do manejo racional dos recursos naturais e ambientais	Princípio da precaução no manejo dos recursos naturais e ambientais.	Princípio do consenso.

(Fonte: Kammerbauer, 2001; Sanches, 2009).

Em relação à água, Barbosa et al. (2009) afirmam que o desenvolvimento sustentável agregou ao conceito de poluidor-pagador, o conceito de usuário-pagador, na gestão dos recursos hídricos. Esse conceito introduziu a ideia de que a preservação da água não deve ser

feita somente pelo controle da emissão de poluentes, mas, primordialmente, pela redução de seu consumo. De acordo com UNEP (2010) existem, atualmente, ferramentas e metodologias que podem ser utilizadas em estudos de avaliação do uso da água. As mais recentemente citadas e aplicadas, na comunidade científica, são a pegada hídrica e a ACV (Avaliação do ciclo de vida).

O termo pegada hídrica, pegada d'água, ou ainda *water footprint*, foi inicialmente utilizado dentro de uma abordagem sobre água virtual, conceito este introduzido por Tony Allan no início da década de 1990. A repercussão da ideia, porém, só passou a ser mais expressiva com a identificação e quantificação dos fluxos de comércio de água virtual entre as nações, em um trabalho de Hoekstra e Hung de 2002 (RESENDE NETO, 2011). A pegada hídrica foi desenvolvida com o objetivo de fornecer um indicador de fácil compreensão da apropriação dos recursos hídricos pelo consumo, abrangendo os usos diretos e indiretos.

A partir disso, a pegada hídrica foi definida, pela *Water Footprint Network* (WFN, 2011), como a medida do volume total de água utilizada para produzir bens e serviços, consumidos por qualquer grupo bem definido de consumidores, que pode ser uma família, uma cidade, um estado, um país ou uma empresa e seus produtos. Assim, a pegada hídrica de um produto, por exemplo, é o volume total de água consumida ou utilizada em todas as etapas de sua cadeia produtiva. Seus resultados são expressos por unidade de tempo ( $\text{m}^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ ) ou em volume de água por unidade de produto produzido ( $\text{m}^3 \cdot \text{kg}^{-1}$ ), onde por exemplo, para cada quilograma de carne bovina produzida, são necessários 17 mil litros de água.

Recentemente, a utilização da pegada hídrica tem sido objeto de debate na comunidade científica, onde alguns pesquisadores de ACV propuseram incorporar à pegada hídrica fatores de caracterização do estresse hídrico local resultando em um índice de estresse hídrico, que reflete as condições locais de escassez de água (RIDOUTT; PFISTER, 2010). Conforme Ridoutt e Pfister (2010), a alteração é justificada pelo fato, principalmente, que os resultados da pegada hídrica original não possuem tal consideração, pois não avaliam as condições locais de disponibilidade hídrica.

Por outro lado, de acordo com Hoekstra et al. (2011), a WFN sustenta que os resultados da pegada hídrica são direcionadas, principalmente ao apoio na gestão dos recursos hídricos, a qual requer informações de tempo e de espaço com valores volumétricos reais. Desta forma, os integrantes da organização WFN argumentam que, para evitar confusões de objetivos e significados, deve ser mantido o termo pegada hídrica somente para os valores volumétricos, que são úteis tanto para a gestão dos recursos hídricos, tanto para a fase de inventário da ACV, e ainda sugerem que devem ser nomeados os resultados ponderados como



“índices do uso da água” na ACV (HOEKSTRA et al., 2011). A seguir são descritas as principais características da metodologia da ACV.

## 2.4 Avaliação do Ciclo de Vida – ACV

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) ou *Life Cycle Assessment (LCA)* é uma metodologia de avaliação de impactos, que compila e avalia as entradas, saídas e os impactos ambientais potenciais de um sistema ou produto, ao longo de seu ciclo de vida (ABNT, 2009a), ou seja, desde o cultivo, extração da matéria-prima, fabricação, consumo e o pós-consumo que acarreta no descarte. A ACV é uma ferramenta de gestão ambiental amplamente aprovada e aplicada para avaliar as diversas intervenções ambientais causadas por produtos e serviços durante o ciclo de vida, sendo cada vez mais utilizada por gestores, como suporte às decisões, definindo suas escolhas por tecnologias e produtos sustentáveis (UNEP, 2010).

O ciclo de vida é uma expressão usada para referir-se a todas as etapas e processos de um sistema ou serviços, envolvendo toda a cadeia produtiva e de consumo (USEPA, 2001). A Figura 2.9 ilustra os estágios do ciclo de vida de um produto. E a Figura 2.10 apresenta o ciclo de vida de uma edificação.

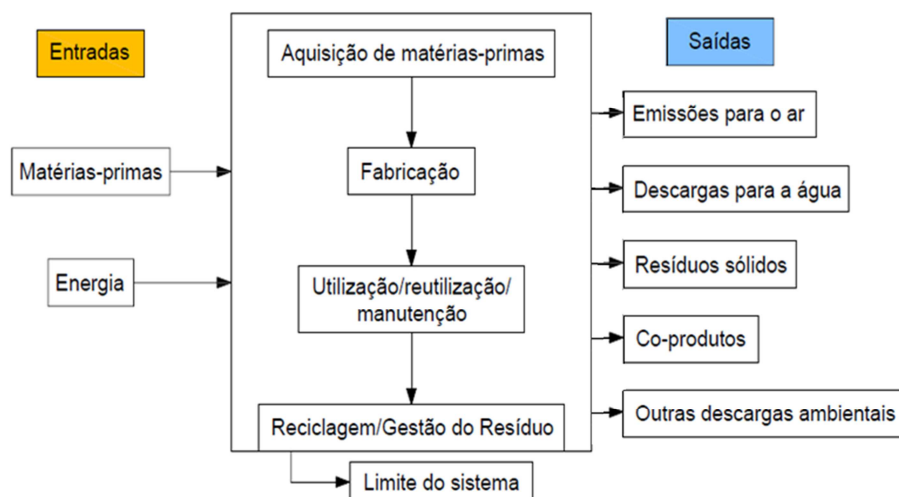


Figura 2.9- Estágios do ciclo de vida de um produto.

(Fonte: Adaptado de USEPA, 2001).

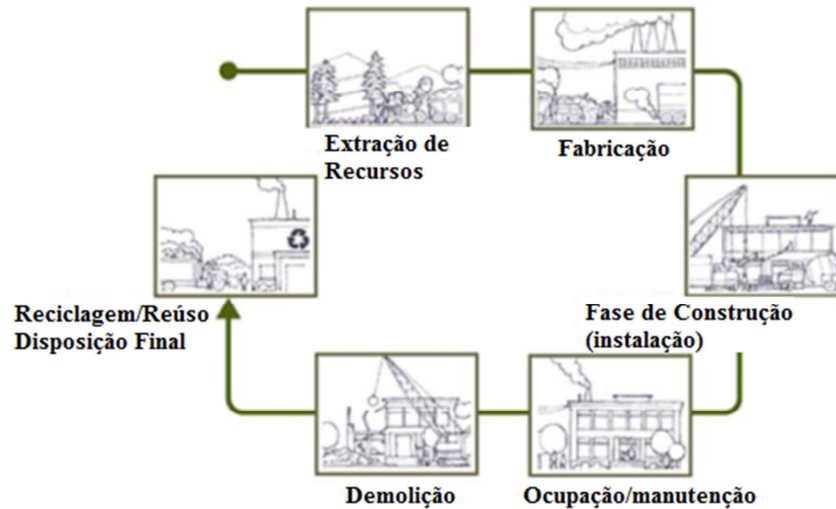


Figura 2.10 - Ciclo de vida de uma edificação.

(Fonte: Pardini, 2009).

Os primeiros estudos de ACV foram realizados nos Estados Unidos e Europa, nos anos 1970. Os estudos de ACV têm sido realizados com diferentes objetivos e para os mais variados artigos, desde indústria da construção civil e gerenciamento de resíduos sólidos, até a produção de bens de consumo, por exemplo.

Na elaboração de um estudo ACV, os pesquisadores podem (USEPA, 2001):

- desenvolver uma sistemática avaliação das consequências ambientais associadas com um dado produto;
- analisar os balanços (ganhos/perdas) ambientais associados com um ou mais produtos/processos específicos, de modo a que os visados (estado, comunidade, etc.) aceitem uma ação idealizada;
- quantificar as descargas ambientais para o ar, água, e solo relativamente a cada estágio do ciclo de vida e/ou processos que mais contribuem;
- auxiliar na identificação de significantes trocas de impactos ambientais entre estágios de ciclo de vida e o meio ambiental;
- avaliar os efeitos humanos e ecológicos do consumo de materiais e descargas ambientais para a comunidade local, região e o mundo;
- comparar os impactos ecológicos e na saúde humana entre dois ou mais produtos/processos rivais, ou identificar os impactos de um produto ou processo específico;
- identificar impactos em uma ou mais áreas ambientais específicas de interesse.

Se realizada de forma apropriada, a ACV permite que empresas e outras partes interessadas, inclusive os consumidores, possam, tanto fazer comparações entre diferentes

produtos e serviços, como também avaliar e otimizar o desempenho ambiental dos mesmos. A ACV pode ser estabelecida para analisar impactos ambientais em diferentes escalas como, por exemplo, países, municípios, bacias hidrográficas, etc. Além do uso pelo setor privado, a ACV também pode ser muito útil como ferramenta de apoio às políticas nacionais e internacionais, sendo incorporada, atualmente, em muitas leis como por exemplo, na União Europeia, Austrália, Japão, entre outros países (UNEP, 2010).

A ACV pode ser abordada para os três pilares da sustentabilidade. Quando é analisada a sob o foco ambiental, é denominada ACV, onde uma das suas etapas é a Avaliação de Impacto do Ciclo de Vida (AICV). Para a dimensão social seria Avaliação Social do Ciclo de Vida (ACV-S). E, por fim, para a dimensão econômica, é denominada Avaliação de Custo do Ciclo de Vida (CCV). Cada uma das dimensões é descrita nos itens a seguir.

#### **2.4.1 Histórico e normalização da ACV**

A partir da década de 1960, diante o crescimento da produção e do consumo das embalagens de uso único (descartáveis) as pressões ambientalistas se intensificaram nos Estados Unidos. Esse movimento desencadeou a elaboração de estudos sobre o consumo de energia e de recursos, na produção das embalagens, para embasar as decisões a serem tomadas com relação à gestão ambiental.

Em 1965, foi, então, iniciado o estudo precursor, que hoje é conhecido como Avaliação do Ciclo de Vida, financiado pela Coca-Cola, e realizado pelo Instituto de Pesquisa do Meio-Oeste (*Midwest Research Institute – MRI*), localizado na cidade de Kansas nos Estados Unidos - com a ideia de comparar as diferentes matérias-primas para embalagens de refrigerantes. Assim, seria possível identificar os recursos naturais necessários para a fabricação e as emissões para a atmosfera, a água e o solo, ao longo de todo o processo produtivo de cada tipo de embalagem selecionada para o estudo.

A metodologia desenvolvida para identificar e quantificar os recursos naturais e o impacto ambiental, inventário de consumo energético, foi denominada de “Análise dos Recursos e Perfis Ambientais” (*Resources and Environmental Profile Analysis - REPA*). Essa metodologia foi aprimorada em 1974, pelo MRI, em outro estudo para Agência Americana de Proteção Ambiental (USEPA).

Mais tarde, foi desenvolvido um método similar na Europa, denominado de *Ecobalance*. Diversos estudos e pesquisas foram desenvolvidos nessa linha, incorporando a análise das etapas de gestão dos materiais pós-consumo e as suas possíveis disposições finais. Com esses estudos, a metodologia da Avaliação do Ciclo de Vida foi evoluindo, incluindo a interpretação dos resultados e a análise do potencial impacto ambiental do produto ou serviço avaliado (CHEHEBE, 2002; MOURAD et al., 2002).

Na década de 90, o Ministério do Meio Ambiente da Suíça desenvolveu o primeiro software para ACV para embalagens. Em 1990, a organização que reúne diversas instituições internacionais, a Sociedade de Toxicologia e Química Ambiental (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry - SETAC*), estabeleceu uma estrutura técnica padrão para os estudos de Avaliação do Ciclo de Vida.

Em 1991, a USEPA criou um inventário de ACV, denominado de Avaliação do Ciclo de Vida do Produto: Diretrizes e Princípios (*Product Life Cycle Assessment: Guidelines & Principles*), cujos autores são *Battelle & Franklin Associates*, e essa metodologia foi padronizada globalmente pela Organização Internacional para Padronização (*International Organization for Standardization - ISO*).

Em 1996, foram editadas as primeiras normas internacionais sobre gestão ambiental: a ISO 14.001 e 14.004, ambas sobre SGA (Sistemas de Gestão Ambiental). Desde então, diversas foram editadas sobre outros tópicos da gestão, tais como, auditoria ambiental, rotulagem ambiental, avaliação do ciclo do produto, etc. A Figura 2.11 apresenta o modelo ISO 14001 e suas correlações com as demais normas da série 14000.

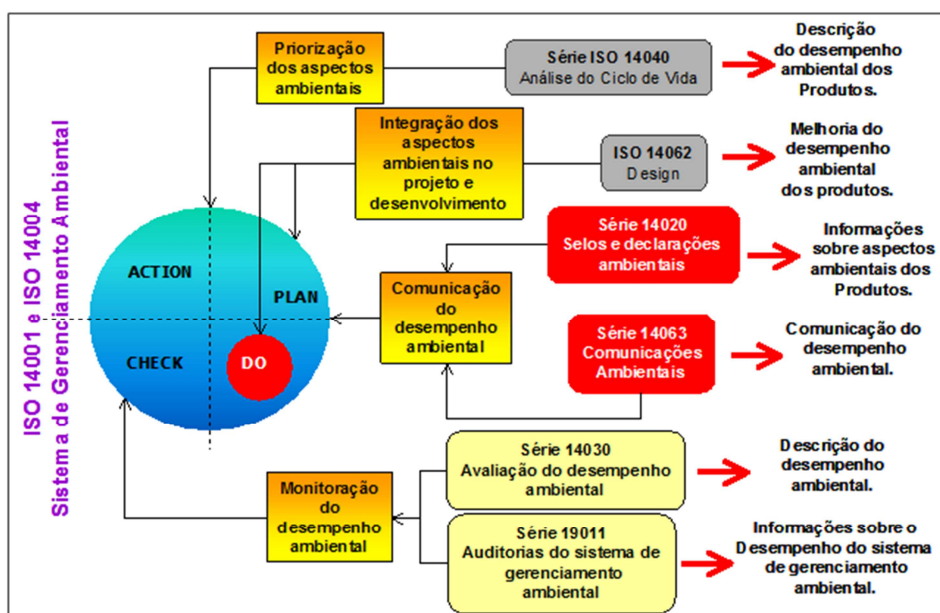


Figura 2.11 - Modelo ISO 14001 e suas correlações com normas da série 14000.

(Fonte: Cajazeira e Barbieri, 2011).

O núcleo desse ciclo é a ISO 14.001 (o círculo azul, na Figura 2.11), norma concebida como um ciclo PDCA (*Plan-Do-Check-Act*). As normas citadas na Figura 2.11 são autônomas, podendo ser implementadas de modo isolado. Porém, os melhores resultados podem ser obtidos na medida em que as normas sejam usadas de modo articulado (CAJAZEIRA e BARBIERI, 2011).

As normas da ISO que tratam sobre o tema ACV são as seguintes (CONMETRO, 2010):

- ISO 14040:2006 – *Environmental management -- Life cycle assessment -- Principles and framework*; e
- ISO 14044:2006 – *Environmental management -- Life cycle assessment -- Requirements and guidelines*.

Sobre a ACV existe, ainda, conforme CONMETRO (2010), mais uma norma, em processo de desenvolvimento, e outros três documentos da ISO em vigor, na forma de relatórios e especificações técnicas:

- ISO/WD 14045 - *Environmental management - Eco-efficiency assessment of product systems principles - requirements and guidelines*;
- ISO/TR 14047:2003 - *Environmental management - Life cycle impact assessment - Examples of application of ISO 14042*;
- ISO/TS 14048:2002 - *Environmental management - Life cycle assessment – Data documentation format*; e
- ISO/TR 14049:2000 - *Environmental management - Life cycle assessment - Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis*.

O Brasil participa da ISO por meio da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que é reconhecida pelo governo brasileiro como o Fórum Nacional de Normalização. Em 2001, houve o lançamento da NBR ISO 14040 no Brasil. Em 2002, foi criada, a Associação Brasileira do Ciclo de Vida (ABCV), com o objetivo de coordenar a implantação de programas de capacitação para consolidação da ACV no Brasil. Em 2005, foi apresentado o “Projeto Brasileiro de Inventário do Ciclo de Vida para a Competitividade da Indústria Brasileira: Metodologia e Inventários”, cujo objetivo era desenvolver uma base de dados nacional para difundir a rotulagem ambiental no país, começando pelo projeto-piloto do Inventário do Ciclo de Vida do óleo diesel, elaborado pelo IBICT, pela Petrobrás, pela Universidade de Brasília (UnB), pela *PE International* e pela Universidade de Stuttgart na Alemanha (IBICT, 2009).

Em 2009, as normas NBR 14040 e NBR 14044 foram revisadas, cancelando as NBR 14041, 14042 e 14043. As duas normas publicadas pela ABNT, em vigor, que dispõem sobre ACV, são as seguintes (CONMETRO, 2010):

- ABNT NBR 14040:2009 – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura; e
- ABNT NBR 14044:2009 – Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Requisitos e orientações.

#### **2.4.2 Especificações para realização da ACV**

O desenvolvimento de métodos de execução de estudos de ACV ganhou impulso na década de 1990 e sinalizou para uma distinção entre dois tipos de métodos: a ACV atribucional e a ACV consequencial. Esta distinção de terminologia foi formalizada em um *workshop*, no qual foi estabelecido que o objetivo do enfoque consequencial é a modelagem das consequências ambientais das mudanças marginais associadas ao produto em estudo (MATHIESEN et al., 2009). Como a abordagem consequencial apresenta uma abordagem nova da ACV, ainda existem visões distintas e, algumas vezes, divergentes na comunidade internacional da ACV, seja na área acadêmica, ou fora dela.

De acordo com Curran et al. (2005), na abordagem atribucional é determinado, em um dado período de tempo, os impactos gerados por um produto ou sistema, levando em consideração o ciclo de vida no período estudado (que pode ser passado, presente ou futuro). Na abordagem consequencial é determinado como fluxos e impactos são modificados por possíveis decisões que gerem alguma modificação no sistema (USEPA, 2001; FINNVEDEN et al., 2009).

A ACV atribucional, que é o método convencional da ACV, atribui impactos do ciclo de vida relativos a determinado ciclo de vida e pode ser definida como tendo seu foco na descrição das correntes físicas de matéria e de energia, ambientalmente relevantes, de entrada e de saída do ciclo de vida de um sistema de produto ou de um seu subsistema. Já, a ACV consequencial tem seu foco na descrição de como esses fluxos ambientalmente relevantes irão interferir em decisões futuras (CURRAN et al., 2005). A Figura 2.12 representa a diferença conceitual entre ACV atribucional e consequencial. Na Figura 2.12 os círculos azuis

representam a carga ambiental total do planeta em um dado intervalo de tempo. No círculo da esquerda, a área hachurada representa a carga ambiental de um sistema de produto, calculada pela ACV atribucional. No círculo da direita, a área hachurada representa as potenciais variações da carga ambiental decorrentes do uso do produto em estudo (WEIDEMA, 2003).

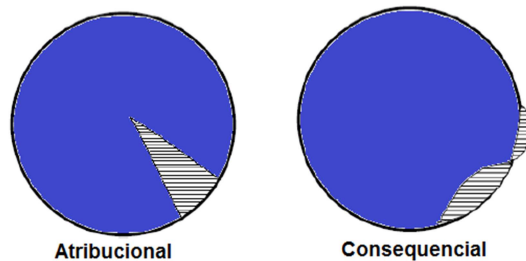


Figura 2.12 - Diferença conceitual entre ACV atribucional e consequencial.

(Fonte: Adaptado de Weidema, 2003).

O foco básico da ACV consequencial é estudar as consequências ambientais de possíveis mudanças, quando mudado o sistema do produto (substituição de produto, alteração de mercado futuro, por exemplo). Para isso, devem-se estudar diferentes métodos para fazer essas previsões e analisar qual a consequência no futuro de uma decisão tomada hoje (MUNIZ, 2012). Pode ser observada no Quadro 2.5 uma comparação prática entre as duas metodologias.

Quadro 2.5 - Principais características da ACV atribucional e consequencial.

Parâmetro	ACV atribucional	ACV consequencial
Sinônimo	<i>Status quo</i>	Orientado pelas mudanças
Tipo de pergunta respondida	Calculista	Análise de consequências de mudanças
Dados	Dados médios históricos ou dados específicos de um sistema	Dados marginais futuros
Conhecimentos requeridos	Mecanismos físicos	Mecanismos físicos e de mercado
Unidade funcional	Representa uma situação estática	Representa uma mudança no volume
Fronteiras do sistema	Processos estáticos	Processos afetados por mudança na demanda
Expansão do sistema	Opcional	Obrigatória
Alocação de co-produtos	Usada frequentemente	Nunca é usada

Fonte: Muniz e Silva, 2010.

ACV atribucional visa responder a pergunta: “como as correntes (de poluentes, recursos e trocas entre processos) fluem em um determinado espaço temporal?” E, por outro lado, a ACV consequencial visa responder a pergunta: “como os fluxos irão mudar em resposta à tomada de decisões?” Para a ACV atribucional é possível investigar o desempenho

de uma tecnologia ou produto em um estado estacionário diferente, por exemplo, um estado futuro (ano de 2025), um estado histórico (ano de 1985) ou um estado fictício caracterizado por um desempenho modificado e uma tecnologia ambiental distinta (MUNIZ, 2012).

Como as ferramentas possuem uma distinção no escopo e nas fronteiras, fica claro que as ACV atribucional e consequential irão gerar diferentes informações ambientais. Alguns autores defendem que a escolha entre uma ACV consequential e atribucional depende das razões pelas quais a ACV está sendo conduzida, com o enfoque atribucional sendo mais apropriado para o conhecimento sobre os aspectos ambientais e o enfoque consequential para tomada de decisões sobre mercados econômicos modelados para o futuro. Quando não há uma decisão a ser tomada, a ACV atribucional deve ser usada, pois é a ferramenta mais amplamente aplicada, e porque modelar as consequências de decisões econômicas futuras não se torna justificável (FINNVEDEN et al., 2009; MUNIZ, 2012). Porém, em ambas as abordagens, a ACV pode ser utilizada para tomada de decisões de processos, produtos ou sistemas.

### 2.4.3 Metodologia da ACV

A metodologia de ACV é dada pela NBR 14040 (ABNT, 2009a), que divide a análise da ACV em quatro etapas: definição do objetivo e escopo, análise do inventário, avaliação de impacto e interpretação dos resultados, como pode ser observado na Figura 2.13.

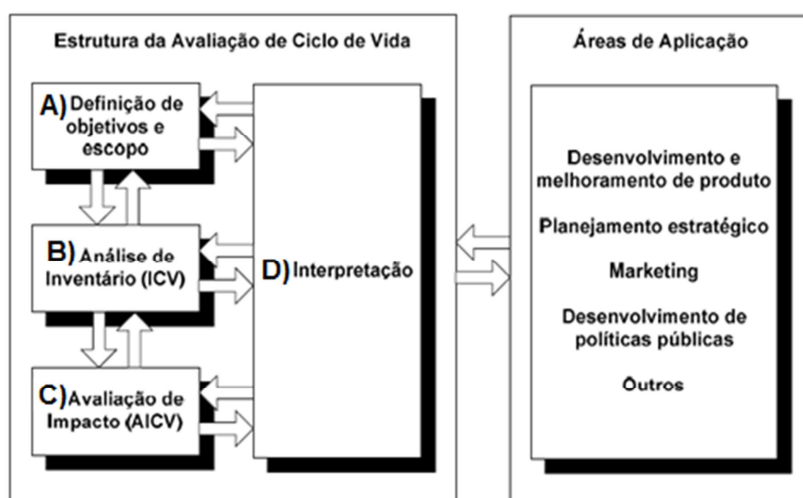


Figura 2.13– Fases da ACV.

(Fonte: Adaptado de NBR 14040 - ABNT, 2009a).



As etapas de A a D, na Figura 2.13, indicam que uma ACV começa com a definição de objetivos e escopo e termina com as interpretações. As setas duplas ilustram que a ACV é um processo iterativo, onde mudanças em várias fases e diferentes alternativas ocorrem continuamente, conforme a ACV vai avançando e se tornando mais focada. Isso significa, por exemplo, que uma categoria de impacto possa ser inserida na fase de objetivos e escopo, e uma reconsideração da coleta de dados, na fase de inventário, seja necessária para aquisição de novas e melhores informações sobre esse dado impacto. Outro exemplo seria o aparecimento de novos processos durante o inventário, que requeira um retorno à fase de objetivos e escopo e a inclusão desses novos processos no escopo (THRANE e SCHMIDT, 2006). A denominação “áreas de aplicação” não é parte de um método de ACV. No entanto, a aplicação deve ser cuidadosamente considerada como parte da definição de objetivos e escopo.

#### 2.4.3.1 Definição do escopo e objetivos

Deve-se formular e especificar o objetivo e o escopo do estudo em relação à intenção de aplicação. De forma simplificada, na fase de definição do escopo, é definida a extensão da análise, os subsistemas que serão abordados, bem como os detalhes mais específicos do estudo (SANCHES, 2009).

O objetivo é formulado de maneira que defina a aplicação pretendida, as razões para o desenvolvimento do estudo e o público-alvo, enquanto que o escopo deve identificar e definir o objeto de análise e limitá-lo, para a inclusão dos pontos mais importantes e significativos (FERRÃO, 2009).

Na etapa do escopo, as principais definições serão: qual a função do estudo, qual a unidade funcional e quais os fluxos de referência. Já na definição do objetivo deve ser verificada a aplicação pretendida, as razões para o desenvolvimento do estudo e qual o público alvo. É uma etapa essencial para que se inicie a análise com uma hipótese bem definida. Nesta fase deve ser determinada a abordagem pretendida para o estudo. Para Chehebe (2002), o escopo restringe a ACV em três dimensões: profundidade, largura e extensão. A extensão determina o tamanho do estudo, com seu início e fim; a largura determina o número de subsistemas que devem ser incluídos no estudo; e a profundidade representa o nível de detalhamento (CHEHEBE, 2002).

A unidade funcional fornece uma referência para o qual os dados de entrada (*input*) e saída (*output*) são relacionados. A unidade funcional refere-se à quantidade de produtos ou serviços necessários para cumprir a função que se compara, servindo também de base para a comparação entre sistemas, e, a partir dela, se quantificam as entradas e saídas funcionais de um sistema. É a medida do desempenho da saída funcional de um sistema de produto.

O propósito principal de uma unidade funcional, segundo a NBR 14040 (ABNT, 2009a) é fornecer uma referência para a qual as entradas e saídas são relacionadas. Esta referência é necessária para assegurar a comparabilidade de resultados da ACV. A comparabilidade de resultados da ACV deve ser particularmente crítica quando diferentes sistemas estiverem sendo avaliados, para assegurar que tais comparações sejam feitas numa base comum.

O fluxo de referência é o montante de produtos necessários por unidade funcional. Assim, o fluxo de referência é uma lista de materiais e energia necessários para fazer a unidade funcional. Portanto, o fluxo de referência dita as alternativas de montante e de jusante do processo. O Quadro 2.6 resume a primeira fase da ACV.

Quadro 2.6 – Estruturação do estudo: a primeira fase da ACV.

Objetivo e escopo	Descrição da estruturação do estudo
1. Definir o objetivo	Por exemplo: Escolher o processo ou produto que possui menor efeito sobre a saúde humana e o meio ambiente
2. Definir que tipo de informação é necessária	Estabelecer quais são as informações base dos processos considerados
3. Definir a especificidade requerida	Estabelecer qual é o grau de precisão dos resultados
4. Determinar como os dados devem ser organizados e como os resultados devem ser interpretados	Definir quais etapas serão consideradas, qual metodologia será utilizada para avaliar os impactos e através de quais categorias
5. Definir o escopo	Definir a unidade funcional, a função e os limites do sistema
6. Determinar as regras básicas	Relatar todas as decisões tomadas durante o estudo, e qual o procedimento será tomado para garantir a qualidade dos dados (revisão de especialista na área, ou das partes interessadas no estudo).

Fonte: Adaptado de MANTOVANI (2012).

Como parte da delimitação do sistema é necessário demarcar o número de processos e materiais que serão incluídos. Do contrário, as ramificações de processo surgirão infinitamente. Essa definição pode ser feita na forma de critério de corte, que pode ser definido como a porcentagem de peso do produto que reflete a unidade funcional. Idealmente, o critério de corte deveria ser aplicado da mesma forma em todos os estágios do ciclo de vida

e todos os processos, para evitar resultados tendenciosos (JOLLIET; SAADÉ; CRETAAZ, 2005).

Os limites do sistema de uma ACV podem ser do tipo completa ou parcial. Na ACV completa, Berço ao Túmulo (*Cradle to Grave*), todos os processos são considerados, desde a extração dos recursos naturais (matéria prima) até o destino final (retorno ao meio ambiente); por exemplo, todas as etapas da extração da matéria prima, fornecimento de insumos, energia e transporte, distribuição e uso, e cenários de destinação final. E na ACV parcial são consideradas apenas algumas partes do processo, como por exemplo, Berço ao Portão (*Cradle to Gate*), Portão a Portão (*Gate to Gate*) ou Portão ao Túmulo (*Gate to Grave*). Portão aqui se referindo à porta da fábrica, ou seja, à saída do produto da fábrica, antes de ser encaminhado para o uso. Isso pode ser ilustrado na Figura 2.14.

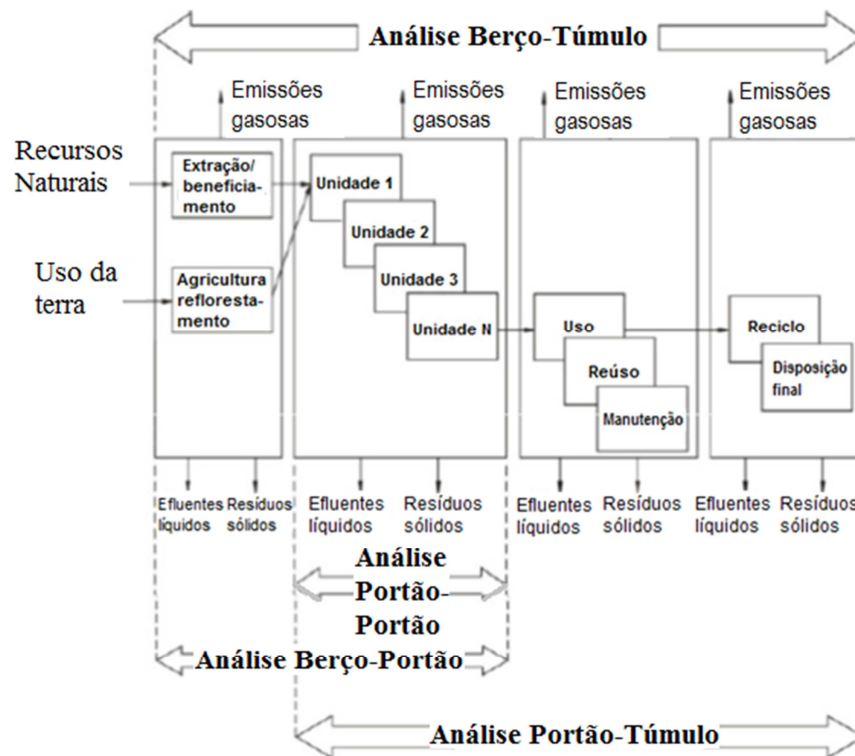


Figura 2.14 – Possibilidades de um estudo de ACV.

Fonte: Adaptado de BAUER (2003).

#### 2.4.3.2 Análise do Inventário do Ciclo de Vida - ICV

O Inventário do Ciclo de Vida envolve, fundamentalmente, os procedimentos de coleta de dados e de cálculo. As informações adquiridas, referentes aos fluxos de entrada e saída,

devem estar relacionadas à unidade funcional estabelecida na fase anterior. De acordo com Mueller et al. (2004), é a parte mais trabalhosa da ACV e dela depende a confiabilidade dos resultados obtidos nas outras etapas.

Conforme a NBR 14040 (ABNT, 2009a), o levantamento do inventário, bem como os balanços ambientais, de massa ou energético, serve como base para a análise dos aspectos ambientais envolvidos e sua valorização subsequente. A divisão em diversos processos elementares facilita a fase de coleta de dados de entradas e saídas de produtos. Os inventários possibilitam a identificação de limitações ou a necessidade de maiores informações para a avaliação do processo e podem gerar mudanças nos procedimentos de coleta de dados, revisão dos objetivos ou escopo do estudo sendo realizado. A consistência dos dados viabiliza a obtenção de resultados mais precisos e confiáveis.

O ICV constitui uma ferramenta indispensável para a avaliação quantitativa de impactos ambientais, pois engloba a coleta de dados e procedimentos de cálculo utilizados na quantificação de fluxos de entrada e saída de matéria e energia, para um determinado sistema de produto. Com relação aos cálculos realizados, é importante destacar a importância em se considerar procedimentos de alocação para os processos que produzam mais de uma saída ou para materiais que sejam reciclados (MUELLER et al., 2004).

O processo de condução de uma análise de inventário é iterativo. À medida que os dados são conhecidos e mais informação acerca do sistema é adquirida, novos requisitos de dados ou limitações podem ser identificados, requerendo uma alteração nos procedimentos de obtenção de dados, para que os objetivos do estudo ainda sejam satisfeitos. Algumas vezes, pontos importantes podem ser identificados, que requerem revisões dos objetivos ou âmbito do estudo (ABNT, 2009a).

De acordo com Passuelo (2007), a preparação para a coleta dos dados de uma ACV pode incluir treinamento de pessoal para coleta de dados, definição de quais serão os dados primários e secundários, e preparo de planilhas de coleta. Segundo Chehebe (2002), a construção de fluxogramas pode auxiliar na identificação dos processos e intervenções ambientais mais relevantes. Esta etapa de ICV é essencial, uma vez que no relatório final, todos os procedimentos de cálculo devem estar explicitamente documentados e as escolhas realizadas devem estar nitidamente declaradas e explicadas (PASSUELO, 2007).

Quando a alocação se faz necessária, a ACV baseia-se em propriedades e características dos produtos e coprodutos, seja pelo critério de massa, volume, outro parâmetro físico, ou até mesmo valor comercial. A alocação consiste na divisão adequada dos fatores de impacto do processo, entre o produto principal e os subprodutos do sistema.

#### 2.4.3.3 Avaliação dos impactos do Ciclo de Vida – AICV

A avaliação dos impactos do ciclo de vida (AICV) é a fase da avaliação do ciclo de vida dirigida à compreensão e à avaliação da magnitude e significância dos impactos ambientais potenciais de um sistema de produto. Quantifica como os fluxos de inventário contribuem para os impactos. Em geral, este processo envolve a associação de dados de inventário com impactos ambientais específicos e a tentativa de compreender estes impactos. O nível de detalhe, a escolha dos impactos avaliados e as metodologias usadas dependem do objetivo e do escopo do estudo (ABNT, 2009a). Esta avaliação pode incluir o processo iterativo de análise crítica do objetivo e do escopo do estudo da ACV, para determinar quando os objetivos do estudo foram alcançados ou modificar o objetivo e o escopo, se a avaliação indicar que eles não podem ser alcançados.

Durante esta etapa da ACV, os fluxos de materiais e energia, identificados durante o ICV, são associados a impactos ambientais. As categorias de impacto relevantes e seus respectivos potenciais de impacto são estabelecidos e é realizado o cálculo dos indicadores de cada categoria. A agregação dos resultados, por vezes ponderados, define o perfil da AICV e fornece informações relativas aos impactos ambientais associados ao consumo de recursos e emissões ao meio (SONNEMANN; SCHUHMACHER; CASTELLS, 2003).

Um dos mais importantes aspectos metodológicos a ser considerado, é o tipo de categoria de impacto que deve ser incluído na avaliação. Na prática, o tipo de categorias de impacto é frequentemente escolhido indiretamente, pela escolha do método para avaliação. Assim, é importante fazer uma escolha consciente, e ficar atento para as categorias de impacto que são particularmente importantes para produtos em estudo, e que, talvez, não estejam incluídos nos métodos padrão de AICV (JOLLIET et al., 2003).

Dentre as categorias de impactos, mais utilizadas em métodos existentes, pode-se citar aquecimento global, redução do ozônio estratosférico, acidificação, utilização de recursos naturais e uso do solo. As categorias de impactos, normalmente utilizadas nos métodos da AICV, podem ser observadas no Quadro 2.7.

Quadro 2.7 - Categorias de impactos, normalmente utilizadas nos métodos.

Categorias de Impactos	Escala	Exemplos de dados de ICV (Classificação)	Fatores de caracterização mais comuns	Descrição dos fatores de caracterização
Aquecimento Global	Global	Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> ) Dióxido de nitrogênio (NO <sub>2</sub> ) Metano (CH <sub>4</sub> ) Clorofluorcarbono (CFC) Hidroclorofluorcarbono (HCFCs) Brometo de metila (CH <sub>3</sub> Br)	Potencial de aquecimento global - PAG	Converte dados de ICV para equivalente de CO <sub>2</sub> . Obs.: potenciais de aquecimento global podem ser para 50, 100 ou 500 anos de meias-vida.
Depleção de ozônio da estratosfera	Global	Clorofluorcarbono (CFC) Hidroclorofluorcarbono (HCFCs) Brometo de metila (CH <sub>3</sub> Br)	Depleção da camada de ozônio	Converte dados de ICV para equivalente de triclourofluormetano (CFC-11)
Acidificação	Regional local	Óxidos de enxofre (SO <sub>x</sub> ) Óxidos de nitrogênio (NO <sub>x</sub> ) Ácido hidroclorídrico (HCl) Ácido hidrofluorídrico (HF) Amônia (NH <sub>3</sub> )	Potencial de acidificação	Converte dados de ICV para equivalente de íon hidrogênio (H <sup>+</sup> )
Eutrofização	Local	Fosfato (PO <sub>4</sub> ) Óxido de nitrogênio (NO) Dióxido de nitrogênio (NO <sub>2</sub> ) Nitratos (NO <sub>3</sub> ) Amônia (NH <sub>3</sub> )	Potencial de eutrofização	Converte dados de ICV para equivalente de fosfato (PO <sub>4</sub> )
Toxicidade aquática	Local	Químicos tóxicos com um registo de concentração letal para peixes	LC <sub>50</sub>	Converte dados LC <sub>50</sub> em equivalentes.
Smog fotoquímico	Local	Hidrocarbonetos sem metano (NMHC)	Potencial de criação de oxidantes fotoquímicos	Converte dados de ICV para equivalente etano (C <sub>2</sub> H <sub>6</sub> )
Uso do Solo	Global Regional Local	Quantidade depositada num aterro	Resíduo Sólido	Converte massa de resíduo sólido em volume, usando uma densidade estimada.

Onde: LC<sub>50</sub> – Concentração letal 50: padrão de medida da toxicidade que vai eliminar 50% da população da amostra em um determinado período. Também chamado de concentração letal mediana.

Fonte: Adaptado de USEPA 2001; Ferreira, 2004.

No Quadro 2.7, o Potencial de depleção da camada de ozônio estratosférico (PDO) consiste na diminuição da camada de ozônio, por reação com determinados gases, provenientes da troposfera, como por exemplo, CFCs e HCFCs, que resulta em uma maior quantidade de radiação UVB que chega à superfície terrestre, afetando adversamente a saúde humana, os ecossistemas aquático e terrestre, os ciclos bioquímicos e os materiais. O Potencial de acidificação (PA) é o efeito do lançamento e dispersão de gases acidificantes, como por exemplo, NH<sub>3</sub>, SO<sub>2</sub>, HCl, etc., nos compartimentos ambientais, causando danos nos seus ecossistemas, na saúde pública e nos materiais. Já, o Potencial de eutrofização (PE) é o efeito do lançamento e dispersão de macronutrientes, por exemplo, orgânicos biodegradáveis, N, P, etc., nos compartimentos ambientais, tendo como consequência um enriquecimento em

biomassa algal, causando desequilíbrios, nos ecossistemas marinhos e terrestres, e degradando a qualidade da água para consumo humano (IPCC, 2007).

De acordo com IPCC (2007), o Potencial de aquecimento global - PAG, ou em inglês *Global Warming Potential* - GWP, é o aumento da temperatura do Globo Terrestre por efeito de certas substâncias como, por exemplo, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub>, N<sub>2</sub>O, etc. provenientes da atividade antropogênica, na absorção de energia radiante, tendo consequências adversas no equilíbrio dos ecossistemas, saúde pública e bem estar material. Ele compara a quantidade de calor aprisionado por certa massa de gás em questão, com a quantidade de calor aprisionado por uma massa similar de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). O PAG é calculado sobre um intervalo de tempo específico, geralmente 20, 100 ou 500 anos. É expresso como um fator de CO<sub>2</sub> equivalente (cujo PAG é padronizado para 1). Por exemplo, o PAG 20 anos de metano é 72, o que significa que, se a mesma massa de metano e dióxido de carbono for introduzida na atmosfera, esse metano irá reter o calor 72 vezes mais do que o dióxido de carbono, nos próximos 20 anos (IPCC, 2007).

Semelhante ao potencial de aquecimento global, a “depleção de ozônio estratosférico” utiliza o modelo de caracterização desenvolvido pela *World Meteorological Organisation* (WMO) e define potenciais de depleção do ozônio “*Ozone Depletion Potential*” (ODP) de diferentes gases, em quilogramas equivalente de CFC-11” (FERREIRA, 2004).

Ainda, o Potencial de toxicidade humana (PTH) resulta da libertação e difusão de determinadas substâncias tóxicas nos vários compartimentos ambientais (ar, água, solo), como por exemplo, C<sub>6</sub>H<sub>6</sub>, Cd, Hg, etc., com consequências adversas na saúde humana. E a Ecotoxicidade (ET) resulta da liberação e difusão de determinadas substâncias tóxicas nesses mesmos compartimentos ambientais (ar, água, solo), como por exemplo, Cd, Pb, PCB, etc., mas com consequências adversas nos equilíbrios dos ecossistemas (FERREIRA, 2004).

Os métodos de AICV visam conectar, até onde possível, e desejado, cada resultado do inventário (ICV) está relacionado ao seu potencial de dano ambiental, utilizando, para isso, os caminhos ambientais (JOLLIET et al., 2003). Esses caminhos ambientais consistem de processos ambientais ligados, e eles expressam a cadeia casual de efeitos subsequentes originados de uma emissão ou extração (JOLLIET; SAADE; CRETIAZ, 2005). Então, para interpretar os dados do inventário é necessário avaliar os impactos ambientais associados com as emissões e recursos utilizados.

A fase da AICV tem especial importância dentro do processo da ACV, pois os métodos a serem utilizados nesta fase são escolhidos pelo executor da ACV e não há consenso sobre um método ideal a ser utilizado. Além disso, dependendo do método de AICV

escolhido, diferentes resultados podem ser obtidos para o estudo, pois os métodos apresentam distintas abordagens: *midpoint* e *endpoint* (ou uma combinação de ambos); distintas categorias de impactos; e, também, diferentes formas de normalização e ponderação (TAKAEDA et. al., 2010).

As categorias de “ponto médio” (*midpoints*) representam as preocupações ambientais que os vários fluxos identificados nos resultados do Inventário (ICV) contribuem, envolvendo processos comuns ou similares. Essas categorias são chamadas de ponto médio porque a categoria selecionada ou os dados tabulados não são usados para fazer a ligação ao dano, onde o dano seria o “ponto final” ou a exposição final ao impacto (chamado de *endpoint*) (JOLLIET et al., 2003).

Um exemplo de troca é a emissão de Clorofluorcarbonos (CFCs), que causam depleção da camada de ozônio na estratosfera (*midpoint*), que resulta em aumento dos níveis de radiação (*midpoint*) e que, eventualmente, causam a morte de certo número de pessoas, por exemplo, por câncer de pele (*endpoint*), dependendo da exposição e da sensibilidade do ambiente afetado como, por exemplo, pele negra ou branca, quantidade de protetor solar aplicado, tempo de exposição, etc. (BARE et al., 2002). A Figura 2.15 apresenta a cadeia *Midpoints* e *Endpoints* desse exemplo.

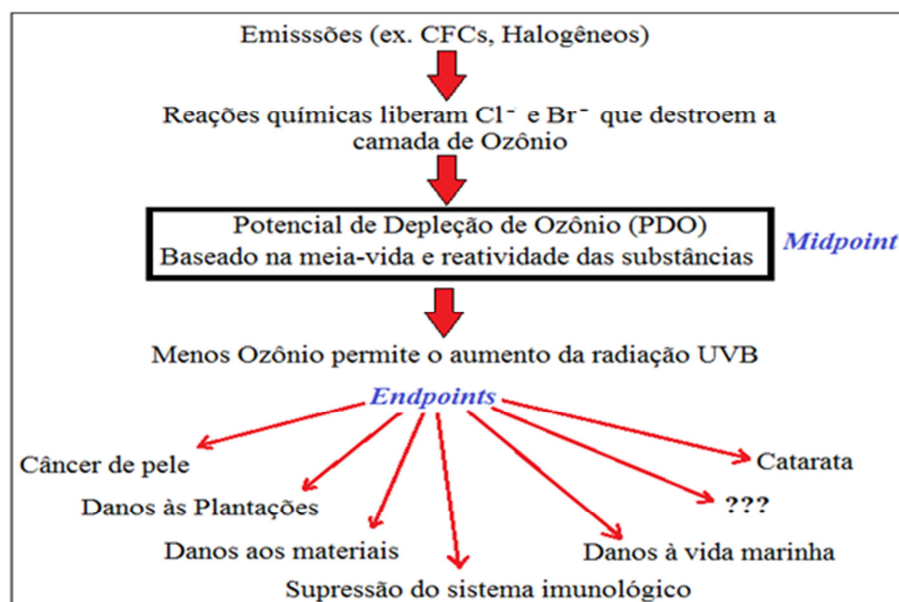


Figura 2.15 - *Midpoint* e *Endpoints*.

(Fonte: Adaptado de Bare et al., 2002).

De acordo com a norma NBR 14044 (ABNT, 2009b), a AICV compreende elementos obrigatórios (mandatórios) e opcionais. A Caracterização e a Classificação são elementos



mandatórios da AICV, já os elementos opcionais seriam a Normalização e a Ponderação (avaliação). Na Figura 2.16 pode ser observado um exemplo das sub-etapas da AICV.

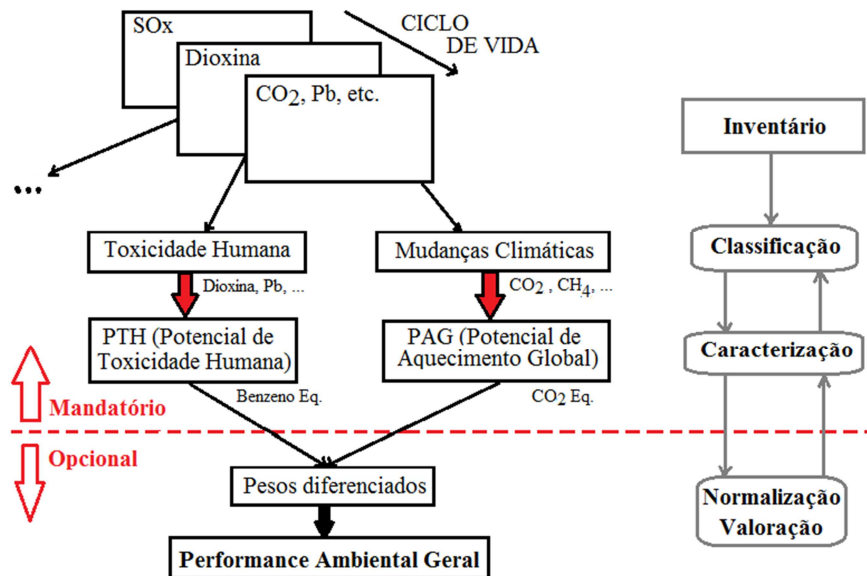


Figura 2.16 - Análise de impactos do ciclo de vida.

(Fonte: Adaptado de Chevalier; Rousseaux, 1999).

A etapa da Normalização da AICV é o cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores de categoria referente às informações de referência. Em uma ACV, a normalização é a contribuição relativa dos fatores de caracterização de uma determinada categoria, com relação ao impacto total para a mesma categoria (BAUMANN e TILLMAN, 2004). Já, a etapa da Ponderação, classificada como qualitativa ou semi-quantitativa, consiste na agregação de categorias de impacto e/ou danos em grupos semelhantes, ou classificação das categorias de impacto em áreas de proteção. Um exemplo é o agrupamento em impactos globais, regionais ou locais e impactos com alta, média e pequena prioridade (BAUMANN e TILLMAN, 2004).

#### 2.4.3.4 Interpretação do Ciclo de Vida

A quarta fase da ACV consiste na avaliação do estudo, de acordo com os objetivos estabelecidos, ou seja, na análise dos resultados e na formulação de conclusões e recomendações, para a minimização de impactos ambientais potencialmente gerados. Esta fase envolve um processo iterativo de revisão do escopo da ACV, assim como a natureza e a

qualidade dos dados coletados. Aspectos como sensibilidade e incertezas também são avaliados no julgamento de qualidade dos resultados obtidos (HAUSCHILD et al., 2005).

O objetivo da etapa de interpretação de uma ACV é combinar, resumir e discutir resultados do estudo, com o intuito de obter fundamentos para conclusões e recomendações que satisfaçam os objetivos inicialmente propostos (ABNT, 2009a).

#### **2.4.4 Métodos, softwares e bases de dados da ACV**

Na década de 1990, existiam bases de dados para realização da ACV, as quais eram desenvolvidas por diferentes institutos, organizações e regiões do mundo. A informação frequentemente disponível em inventário de ciclo de vida de um determinado produto não coincidia com a dos outros inventários e o resultado dependia, inevitavelmente, do instituto que estava realizando a análise. Surgiu, então, a necessidade de unificar essas informações em uma base de dados para ACV, em que os resultados fossem confiáveis, independentemente da capacidade de qualquer instituição realizar o estudo (ALTHAUS et al., 2007). O programa da UNEP (*United Nations Environment Programme* – Programa de Meio Ambiente das Nações Unidas) e SETAC (*Society of Environmental Toxicology and Chemistry*) - *Life Cycle Initiative* (Iniciativa do Ciclo de Vida), foi criado com objetivo de aumentar o acesso à qualidade de base de dados de ICV. Além de melhorar o acesso global a dados transparentes de qualidade de dados de ciclo de vida, facilitando grupos de estudos cujo trabalho conduz aos sistemas de informação, com suporte na internet (MORETTI, 2011).

Existe uma série de softwares e métodos, desenvolvidos por centros de pesquisas, universidades e empresas do mundo todo, que realizam a ACV dos mais variados produtos e serviços. Os sistemas permitem a incorporação e/ou a atualização de dados. Ou seja, pode-se realizar uma ACV a partir de dados estocados nos bancos preexistentes ou então executá-la a partir de dados de campo, específicos a uma situação de interesse, e os cálculos podem ser realizados manualmente ou através de métodos computacionais já comercializados (GONÇALVES et al., 2009).

Em relação aos métodos, SOUZA et al. (2007) e BARBOSA JR. et al. (2007) apontam que há três grupos principais dos métodos de ACV: o europeu, o norte-americano e o japonês. O primeiro é o mais avançado, contendo os métodos específicos aos países europeus. No

geral, os três agregam os dados da população e os valores de caracterização específicos às suas circunstâncias ambientais. Outras metodologias mais recentes, como a da África do Sul, provam a necessidade de métodos mais regionalizados.

Atualmente, a ACV vem sendo implementada por meio de vários tipos de pacotes computacionais. Em 1990, o software SimaPro começou a ser desenvolvido pela empresa holandesa *PRé Consultants*. Um dos pioneiros em ACV, o SimaPro é uma ferramenta profissional que contém vários métodos de avaliação de inventários de impacto ambiental e diversas bases de dados, que podem ser editados e expandidos sem limitação. O software permite a análise comparativa entre produtos e estudos com ciclos de vida complexos (PRé Consultants, 2010). O SimaPro é confiável e flexível para coletar, analisar e acompanhar o desempenho ambiental dos produtos e serviços, e contabilizar os impactos para a atmosfera, água e solo. Pode-se modelar e analisar os complexos ciclos de vida, de modo sistemático e de forma transparente. Realiza a gestão de dados, o armazenamento (cadastro) de inventários, executa cálculos e verifica a credibilidade (análise de incertezas), sendo utilizado por grandes indústrias, consultorias e universidades, com usuários em mais de 50 países. A ACV Brasil é a empresa representante do SimaPro no Brasil, que faz consultoria na área, venda do software e realiza treinamentos.

O software alemão GaBi foi desenvolvido em 1992 pelo departamento de Engenharia de Ciclo de Vida (*Life Cycle Engineering*), do *Chair of Building Physics* da Universidade de Stuttgart, na Alemanha, juntamente com a empresa *PE International*. O GaBi contabiliza os impactos ambientais para a atmosfera, água e solo e oferece a possibilidade de ser feita uma análise comparativa entre balanços de impactos e custos ambientais dos produtos e serviços analisados. Este software, que também oferece uma ampla base de dados nas áreas de energia, transporte, disposição final, entre outros, tem sido utilizado por mais de 150 instituições, incluindo universidades, centros de pesquisa e indústrias (automotiva, química, eletrônica, de reciclagem, de construção, de energia) do mundo todo (GABI, 2011).

Outro software alemão é o Umberto, desenvolvido pelos especialistas em ACV do Instituto para Pesquisa de Energia e Ambiental (*Institute for Energy and Environmental Research Heidelberg - IFEU*), na Universidade *Heidelberg*, juntamente com a empresa especializada em desenvolvimento de software, Instituto para Computação em Ciências Ambientais, em Hamburgo, na Alemanha, desde 1994 (UMBERTO, 2011).

O software americano *Long-range Energy Alternatives Planning System (LEAP)*, desenvolvido pelo *Tellus Institute*, foi formulado para ser utilizado no planejamento energético e na mitigação das mudanças climáticas. Pode ser usado para analisar a energia

consumida e produzida por todos os setores da economia, assumindo uma dada população, desenvolvimento da economia, tecnologia, preço, etc. Quando a base de dados *Technology and Environmental Database* (TED) é incorporada ao LEAP, é possível calcular as emissões de diversos gases (CO<sub>2</sub>, N<sub>2</sub>O, CH<sub>4</sub>, NO<sub>x</sub>, etc.) nos variados cenários de energia ou analisar cenários de setores não energéticos, como de mudança do uso da terra e de resíduos sólidos. O usuário pode fazer uma análise *top-down* da demanda de energia de um determinado setor, com base nos indicadores macroeconômicos, ou realizar uma previsão *bottom-up*, baseado na entrada de dados das tecnologias de cada setor (LEAP, 2011).

O *Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and other environmental Impacts* (TRACI), é o método de avaliação de impactos da USEPA. É uma ferramenta que pode ser usada para facilitar a comparação ambiental de produtos e processos alternativos com o propósito da tomada de decisão ambiental interna. Foi planejado para auxiliar as companhias, estabelecimentos federais, industriais e grupos de interesse público, em executar uma vasta base de avaliação de impactos de produtos na saúde humana e dos impactos ambientais (TRACI, 2011). O Guia do Usuário apresenta informações úteis para auxílio no uso, e alerta sobre as limitações associadas relativas à metodologia do TRACI. A USEPA apontou algumas limitações no modelo, tais como: não foi planejado para situações acidentais como, por exemplo, derramamento de óleo (pois é focado em operações industriais normais); não estão disponíveis análise de incerteza e variabilidade, entre outros.

O método sueco *Environmental Priority Strategies in Product Design* (EPS) é um método considerado como o precursor dos métodos que utilizam a abordagem de dano para a avaliação dos impactos do ciclo de vida. O EPS tem um bom modelo de incerteza porque faz uso de muitos dados empíricos sobre impactos ambientais de emissões de substâncias (PEGORARO, 2008).

O LIME (*Life-cycle Impact assessment Method based on Endpoint Modeling*) é um método japonês, que foi idealizado para quantificar os impactos ambientais induzidos pela ocorrência de cargas ambientais no Japão. É um método com alto grau de transparência, porém, o material que explica o novo método é apresentado somente em japonês, o que dificulta o uso devido ao desconhecimento, em geral, do idioma. Há intensão de tradução para o inglês (SANCHES, 2011).

O método Eco-Indicador foi um dos primeiros sistemas de pesos, desenvolvido para a determinação de valores associados aos aspectos ambientais. Este método utiliza uma etapa de distribuição de pesos, que resulta em um número indicador do impacto ambiental de um

material ou processo, baseado em dados de uma análise de ciclo de vida (ECO-INDICATOR 99, 2000).

O método IMPACT 2002+ é uma metodologia de avaliação de impactos, originalmente desenvolvida no Instituto Federal de Tecnologia da Suíça (EPFL). O método IMPACT 2002+ é a junção dos métodos clássicos com os orientados ao dano, a fim de absorver suas respectivas limitações e agrupar os pontos positivos dos métodos mais utilizados mundialmente em estudos de ACV. Foi amplamente baseado no Eco-indicator 99 (PRÉ CONSULTANTS, 2010) e é a combinação de quatro métodos: Impact 2002 (Pennington et al., 2005), Eco-indicator 99 (Goedkoop e Spriensma, 2000), CML (Guinée et al., 2002) e IPCC. Permite resultados em nível *midpoint* e *endpoint*. Realiza a normalização e ponderação dos impactos, e contém as categorias de danos: saúde humana, qualidade do ecossistema, mudanças climáticas e esgotamento de recursos naturais (PRÉ CONSULTANTS, 2010).

O LUCAS (*A New LCIA method Used for a Canadian-Specific Context*) é um método canadense, recente, e também foi baseado em outros métodos. É fortemente baseado nos resultados preliminares a partir das recomendações da SETAC. Pegoraro (2008) aponta que o método necessita ainda estender a especificidade de alguns fatores usados na modelagem da eutrofização. Como maior desvantagem os autores apontam que a aplicação do método fica prejudicada em outros países, devido ao fator local do método (Canadá).

Uma lista de softwares, métodos e banco de dados, que inclui todos esses descritos acima e muitos outros, é apresentada com suas respectivas características na página da USEPA na internet.

Takaeda et al. (2010) estudaram mais de trezentos artigos internacionais de ACV, a fim de verificar quais os métodos mais citados e mais usados no mundo. Observaram que o Eco-indicator foi o mais citado. Além disso, os seis métodos mais citados concentraram quase 75% das citações e os seis mais utilizados concentraram 80% das utilizações. Os seis métodos mais citados/utilizados foram: Eco-indicator 99, CML, EPS, LIME, EDIP e IMPACT 2002+.

Estudando os métodos de avaliação de impacto, Pegoraro et al. (2008) verificaram as categorias de impactos que são abordadas em cada banco de dados, como pode ser ressaltado no Quadro 2.8. Os autores apresentam exemplos de categorias de impactos na AICV, onde se pode observar, por exemplo, que a categoria de impacto “Eutrofização” é abordada em todos os métodos comparados, já o “Uso de Recurso Água” só é abordado no TRACI, da USEPA.

Quadro 2.8 - Exemplos de categorias de impacto em alguns métodos de AICV.

Área de Proteção	Categorias de Impactos	Ecoindicador 99 (2001)	TRACI 2002	EPS 2000)	IMPACT 2002 +	LIME 2003	CML 2001	EDIP 97	LUCAS
Saúde Humana	Toxicidade humana			X		X	X	X	X
	Cancerígenos	X	X	X	X				
	Não cancerígenos		X	X	X				
	Contaminação atmosférica urbana					X			
	Efeitos respiratórios	X		X	X				
	Material particulado		X						
	Mudança climática	X	X	X	X	X	X	X	X
	Destruição da camada de ozônio		X	X	X	X	X	X	X
	Oxidação fotoquímica (NOx e VOCs)		X	X		X	X	X	X
	Radiação ionizante	X		X	X		X		
	Odor (malcheirosos) água; ar						X		
	Ruídos			X			X		
Qualidade do ecossistema	Acidificação (SO <sub>2</sub> e NOx)	X	X	X	X	X	X	X	X
	Eutrofização	X	X	X	X	X	X	X	X
	Uso e ocupação do solo	X		X	X	X			X
	Ecotoxicidade: aquática de água doce; de sedimento de água doce; aquática de água do mar; de sedimento marinho; e terrestre	X	X	X	X	X	X	X	X
	Dessecação (grupo de problemas ambientais relacionados a falta de água devido à extração de água e a provisão de água potável)						X		
Uso de recursos	Diminuição dos recursos (bióticos e abióticos)			X		X	X		X
	Uso da água		X						
	Extração de minerais	X			X				X
	Extração ou uso de combustíveis fósseis (ou não renováveis)	X	X	X	X				X
<b>Resíduos</b>	Resíduos					X			
<b>Calor</b>	Liberação de calor						X		
<b>Cultura</b>	Mudanças em valores de recreação cultural	X							
<b>Acidentes</b>	Acidentes						X		

Nota: NOx – Óxidos de Nitrogênio e VOCs – Compostos orgânicos voláteis

Fonte: Adaptado de Pegoraro, 2008.

De acordo com Takaeda et al. (2010) ainda não existe um consenso entre pesquisadores sobre uma metodologia única e eficiente para a ACV. Métodos *midpoints* fornecem resultados mais fiéis, enquanto que os resultados de métodos *endpoints* são mais fáceis de serem entendidos e utilizados para tomadas de decisão (TAKAEDA et. al., 2010).

Alvarenga (2010) afirma que, devido à dificuldade de encontrar um método ideal para um determinado estudo, já que todos apresentam vantagens e desvantagens, uma alternativa plausível é realizar o estudo ACV com mais de um método de AICV. Este fato dá suporte à tomada de decisão mais confiável. Quando ocorre uma convergência dos resultados obtidos, a adoção de métodos múltiplos fornece maior confiança ao decisor. Em contrapartida, quando há divergência, o decisor pode definir critérios de escolha do método que aceitará como

resposta final (maior diferença nos resultados, afinidade das categorias de impacto, etc.) ou escolher um novo critério de decisão (SILVA, 2012).

Sanches (2011) relacionou as características de alguns métodos de AICV, que podem ser observadas, resumidamente, no Quadro 2.9.

Quadro 2.9 – Principais características de alguns métodos de AICV.

Método	Origem	Característica
CML 2001	Holanda	Abordagem <i>midpoint</i> (orientada para o problema); não contempla procedimentos de ponderação e agregação;
EDIP 2003	Dinamarca	Abordagem <i>midpoint</i> (orientada para o problema); caracterização dependente para países europeus para a maioria das categorias não globais;
EPS 2000	Suécia	Abordagem <i>endpoint</i> (orientada para o dano); não possui etapa de Normalização formalizada;
IMPACT 2002 +	Suíça	Abordagem <i>midpoint</i> e <i>endpoint</i> ; normalização em nível de impacto ou dano;
TRACI	Estados Unidos	Abordagem <i>midpoint</i> (orientada para o problema); coletânea de modelos de AICV existentes; pontos positivos: facilidade de obtenção das informações e a clareza na definição das limitações;
LIME	Japão	Abordagem <i>midpoint</i> com avaliação do dano ( <i>endpoint</i> ); normalização após caracterização do dano; material divulgado em japonês e dificuldades quanto ao idioma.
LUCAS	Canadá	Abordagem <i>midpoint</i> (orientada para o problema); normalização baseada no método Impact 2002+; não contempla procedimento de ponderação;
ECO-INDICATOR 99	Holanda	Abordagem <i>endpoint</i> (orientada para o dano); visa atender principalmente as questões relacionadas à fase de ponderação.

Fonte: Adaptado e complementado de Sanches, 2011.

Em relação aos bancos de dados para os inventários, a Alemanha foi um dos primeiros países a desenvolver, em 1989, um banco de dados de Inventário do Ciclo de Vida (ICV), disponibilizado gratuitamente ao público com a criação do Modelo de Emissão Global para Sistemas Integrados (*Global Emission Model for Integrated Systems - GEMIS*), pelo Instituto Ambientalista. Em 2002, foi formada a Rede de Inventários do Ciclo de Vida Alemã, que é uma plataforma de informação e de cooperação científica, que envolve todas as instituições interessadas em estudos de ACV (OEKO, 2009). A disponibilidade de banco de dados confiáveis é apontada por Silva, Yokote e Ribeiro (2002) como requisito fundamental para a correta aplicação e desenvolvimento de uma ACV.

Também, o Centro Suíço para Inventários do Ciclo de Vida (*Ecoinvent Centre*) elabora base de dados (inventários, ou bibliotecas), chamadas de *Ecoinvent*, que podem ser incorporadas por diversos softwares de ACV, como no GaBi, no SimaPro, Umberto, EMIS, etc. O *Ecoinvent* contém dados do ciclo de vida de diversos setores industriais (energia, recursos naturais, produtos químicos, metalurgia, agricultura, gestão de resíduos, transporte e serviços), atendendo muitos clientes em mais de 40 países. É uma das bases de dados e

plataformas de ICV mais conhecidas internacionalmente (ECOINVENT, 2010). O Ecoinvent possui mais de 4.000 processos de diversas áreas, como energia, transporte, materiais, materiais renováveis, químicos, gestão de resíduos, agricultura, engenharia mecânica, e eletrônica. Os dados do Ecoinvent são padronizados no formato EcoSpold de acordo com a norma ISO/TS 14048 (2002). A partir dessa padronização os dados podem ser carregados em diversos softwares disponíveis no mercado (ARAÚJO, 2013). No Ecoinvent os processos são classificados temporalmente e geograficamente. Assim, processos considerados como globalmente representativos são classificados como “GLO”; representativos das condições média da Europa: “RER”; e assim por vários países inclusive o Brasil: “BR”, para o qual há dados de eletricidade de produção e de fornecimento ao mercado (mix grid).

Em diversas áreas, várias pesquisas vêm sendo desenvolvidas para avaliar impactos ambientais com a aplicação da ACV em diversos setores. Pode-se citar, por exemplo, Santos e Cybis (2000), que empregaram a ACV para avaliar os impactos ambientais relacionados à indústria da construção civil. Ortiz et al., (2009) também estudaram a consideração de diferentes categorias de impactos nos estudos de ACV voltados a indústria da construção civil e observaram que apenas 25% destes consideraram o consumo de água como impacto ambiental. Bribián et al. (2009) estudaram a ACV aplicada a edificações. Observaram a possibilidade de haver multiplicidade de funções em um mesmo edifício e as recorrentes mudanças durante a vida útil do mesmo. Verificaram, também, a variedade de componentes e a integração do edifício com a infraestrutura local e a dificuldade adicional na definição dos limites do sistema. Em um estudo similar, os autores referem o caráter único de cada edificação e, além disso, que os impactos gerados dependem também dos seus usuários e da relação com o meio ambiente (LLOYD et al. 2005).

#### **2.4.5 Aplicações de ACV para o uso da água**

A aplicação da ACV para a gestão da água é observada em alguns estudos. Shubo (2003) apresentou uma lista de Indicadores de Sustentabilidade Ambiental (ISA), em um estudo de caso, que teve como objetivo comparar a sustentabilidade de sistemas urbanos de água de uma região em desenvolvimento e uma região desenvolvida, através da ACV da água de abastecimento urbano. O Quadro 2.10 apresenta os indicadores do estudo.



Quadro 2.10 - Indicadores de Sustentabilidade Ambiental (ISA) para ACV da água de abastecimento urbano.

Dimensão	ISA
Captação	Captação anual de água/volume disponível anual
Consumo de água	Uso per capita por dia
Tratamento	Consumo de produtos químicos e energia para o suprimento de água
Distribuição	Perdas (água não contabilizada/produção de água)
Reúso de água	Volume de água reutilizada
Produção	Produção diária de água
Eficiência do tratamento	Remoção de DBO <sub>5</sub> , P e N
Cargas afluentes	Cargas de DBO <sub>5</sub> , P e N
Fontes de uso	Produtos químicos e energia utilizada para o tratamento do esgoto
Reciclagem de nutrientes	Quantidade de P e N reciclada
Qualidade do lodo	Concentração de cádmio no lodo
Recuperação de energia	Energia recuperada, aquecimento e energia

Fonte: Adaptado de Shubo, 2003.

Vince et al. (2008) utilizaram a ACV para avaliação de impactos ambientais na etapa de projeto, sob perspectiva de alguns cenários viáveis para sistemas de produção de água tratada.

Lassaux et al. (2007) avaliaram os impactos ambientais desde a captação da água até o tratamento de esgotos gerados, em um estudo realizado na Bélgica utilizando um método híbrido entre o Eco-indicator 99 e CML. Os autores consideraram as categorias de impactos: efeitos cancerígenos, mudanças climáticas, efeitos respiratórios causados por substâncias orgânicas e inorgânicas, ecotoxicidade, extração de minerais, extração de combustíveis fósseis, acidificação e eutrofização, em diferentes cenários de taxas de tratamento de esgotos. Concluíram que as etapas mais significativas para a redução dos impactos ambientais foram as de captação e tratamento de esgotos.

Clarcke et al. (2009) avaliaram a emissão de CO<sub>2</sub> decorrente do uso de água no Reino Unido. O estudo foi realizado fazendo uma relação da economia da água com a diminuição das emissões de CO<sub>2</sub>.

Barrios et al. (2008) analisaram os impactos ambientais e econômicos para a produção da água potável na Holanda. Utilizaram dados coletados no estudo, além de bases disponíveis no SimaPro. Os autores determinaram processos que podem ter os impactos reduzidos por meio de mudanças sugeridas com o estudo de ACV.

Jeswani e Azapagic (2011) compararam em um estudo os principais softwares de ACV utilizados no mundo, o software GaBi e o SimaPro. Os fluxos de entrada de água, no GaBi, são somente diferenciados com relação à fonte básica do recurso hídrico, por exemplo, superficial, subterrâneo, de lago, oceano, etc., enquanto que no SimaPro incluem alguns

fluxos adicionais baseados na finalidade do uso, por exemplo, para refrigeração, processos industriais, dessedentação e uso em turbinas (SimaPro) (JESWANI e AZAPAGIC, 2011).

No mesmo estudo, os autores apontam que em relação aos fluxos de saída não há uma padronização nos softwares. No GaBi existe um fluxo para efluentes e outro para o descarte de água do rio. No SimaPro existe apenas um fluxo para o descarte de efluentes. Assim, fica evidente que não somente a terminologia e a categorização nos modelos são inconsistentes, mas também faltam diversos parâmetros importantes para avaliar os impactos do uso da água, como a localização geográfica e a disponibilidade hídrica do local, tipos de uso, fluxos de saída adequados, parâmetros de qualidade, etc. (JESWANI e AZAPAGIC, 2011). Uma vantagem do software SimaPro é que, além deste possuir o banco de dados do *Ecoinvent*, pode fazer a análise da dimensão ambiental, social e econômica do ciclo de vida.

Boullay et al. (2011) apresentam uma estrutura básica, cadeia de causa e efeito, para avaliar os impactos potenciais associados ao uso da água em bacias hidrográficas utilizando a ACV, que pode ser observado na Figura 2.17. Da perspectiva dos recursos hídricos, a análise de inventário se traduz em mensurar todas as formas de uso da água que, de alguma maneira alteram a disponibilidade hídrica e limitam a utilização do recurso para outros usuários, o que inclui o consumo e a poluição hídrica, levando em consideração as condições específicas do local de retirada e descarte (BOULLAY et al., 2011).

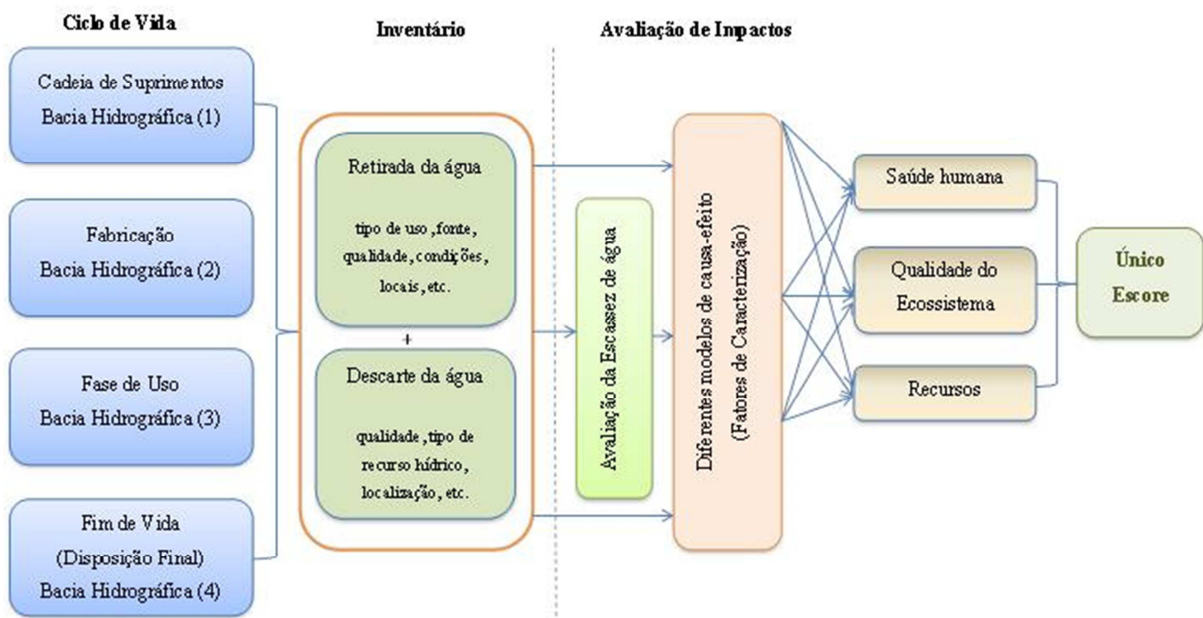


Figura 2.17 – Esquema geral para caracterização de impactos do uso da água pela ACV.

(Fonte: Adaptado de Quantis, 2010).

Bayart e Margni et al. (2010) afirmam que é essencial que a ACV seja capaz de abordar todas as questões ambientais, inclusive as consequências ambientais do uso da água, principalmente quando se trata de produtos onde o consumo de água pode ser significativo. Considerando a importância da água para a saúde pública e à qualidade dos ecossistemas, juntamente com o aumento de regiões com situações de estresse hídrico, fica evidente a necessidade de se considerar a água na avaliação de impactos ambientais (BERGER e FINKBEINER, 2010).

Alguns autores (RIDOUTT e PFISTER, 2010; JESWANI e AZAPAGIC, 2011; HOEKSTRA et al., 2011), apontam que a pegada hídrica também possui potencial para ser adaptado e usado como modelo de inventário da ACV para o uso da água. Na tentativa de quantificar o ICV para o uso da água, estudos recentes abordam diferentes experiências. Marzullo; Francke; e Matai (2010) uniram dados do inventário de ciclo de vida do Ecoinvent (2010) de forma não consolidada (por unidade de processo, ou processo elementar) e da metodologia da pegada hídrica para uma ETA (Estação de Tratamento de Água). O cálculo da pegada hídrica para a obtenção de 1 litro de água tratada considerou a água necessária para a produção de energia elétrica, cloro líquido, peróxido de hidrogênio, ozônio líquido, sulfato de alumínio e a própria água utilizada na estação de tratamento (MARZULLO; FRANCKE; e MATAI, 2010).

Hoekstra et al. (2011) relatam que o método da pegada hídrica possui potencial para ser adaptado e usado como modelo de inventário da ACV para o uso da água. Segundo os autores, o método considera todas as informações relevantes relacionadas ao uso dos recursos hídricos pelo objeto em estudo e faz adequada classificação das mesmas, além de fornecer dados explicitados temporalmente e espacialmente. Porém, o método é apenas quantitativo, não avaliando a questão da qualidade.

A ACV pode ser uma ferramenta para a análise do uso da água, porém, até o momento, os métodos que possuem a categoria “uso da água” não incluem as significativas consequências ambientais da redução da qualidade e disponibilidade local da água. (BAYART e MARGNI et al., 2010; BERGER e FINKBEINER, 2010). A aplicação da ACV para o uso da água necessita, portanto, do levantamento de dados de campo, como por exemplo, disponibilidade hídrica local, oferta e demanda de água dos usos, dados qualitativos, etc., de todo o ciclo de vida do sistema analisado.

Atualmente, a comunidade científica e profissional dessa área passou a considerar como uma das prioridades o desenvolvimento de melhorias na avaliação do uso da água na

ACV. Além disso, a ISO criou um grupo de trabalho para estabelecer um padrão internacional para avaliar o uso da água através da ACV (UNEP, 2010).

A seguir, são descritas a questão social e econômica do ciclo de vida.

## 2.5 A avaliação social do ciclo de vida – ACV-S

A inclusão de critérios sociais e socioeconômicos na ACV vem sendo discutido há duas décadas pela *The Society of Environmental Toxicology and Chemistry* (SETAC). Como marco inicial das iniciativas que propunham a inclusão de categorias sociais, destaca-se o trabalho de FAVA et al. (1993) — *A Conceptual Framework for Life Cycle Impact Assessment*, o qual sugeriu, como categoria, o bem-estar social (CULTRI, SAAVEDRA e OMETTO, 2010). Entretanto, somente quase duas décadas depois foi publicado o — *Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products* (BENOIT et al., 2010), como resultado dos projetos da UNEP/SETAC para incentivar a Avaliação Social do Ciclo de Vida (ACV-S em português, ou S-LCA, em inglês).

A ACV-S é uma técnica para avaliar os impactos sociais positivos e negativos ao longo do ciclo de vida do produto (UNEP/SETAC, 2009). Objetiva avaliar os aspectos sociais e socioeconômicos, assim como os impactos potenciais, seja eles diretos ou indiretos, ao longo do ciclo de vida de um produto ou sistema, considerando etapas do processo de extração de matéria-prima, manufatura, distribuição, uso, reúso, reciclagem e disposição final do produto ou sistema.

Teoricamente, a ACV social pode ser utilizada em qualquer produto ou processo e tem grande valor de decisão para a consciência social e os aspectos socioeconômicos, abrindo oportunidades de diálogos nos aspectos social e socioeconômicos dos sistemas de produção e consumo, melhorando o desempenho de organizações e por fim o bem estar das categorias de impacto (UNEP/SETAC, 2009). A ACV Social busca documentar a utilização durante a vida do produto, mas não tem a habilitação nem a função de tomar decisão sobre a vida do produto. Porém, as informações levantadas pela ACV Social podem ajudar nas condições sociais de produção, uso e disposição final do produto ou sistema.

Benoit et al. (2010), afirmam que a ACV-S permite a identificação de questões fundamentais, de modo a avaliar e relatar as condições sociais na produção, uso e disposição de produtos e sistemas. Segundo estes autores, a melhor utilização da ACV-S ocorre ao

conduzi-la para aumentar o conhecimento, a partir de informações consistentes para a tomada de decisões baseadas em escolhas que promovam melhoria nas condições sociais relacionadas aos ciclos de vida de produtos. Em outras palavras, isto corresponde ao uso da ACV Social para identificação e aprendizagem sobre a comunicação e publicação dos impactos sociais em relatórios, para planejamento de estratégias e ações, assim como para a gestão de políticas de informação e práticas de gestão.

Nesta mesma via, outro recente destaque é a norma ISO 26000: Diretrizes sobre Responsabilidade Social, publicada em 2010, e no Brasil, a ABNT NBR ISO 26000 (ABNT, 2010). Segundo UNEP/SETAC (2009) responsabilidade social é a responsabilidade de uma organização pelos impactos de suas decisões e atividades na sociedade e no meio ambiente, através de comportamento transparente e ético que: contribua para o desenvolvimento sustentável, incluindo a saúde e o bem-estar da sociedade; levar em consideração as expectativas das partes interessadas; esteja em conformidade com a legislação aplicável e consistente com normas internacionais de comportamento; e esteja integrada em toda a organização e seja praticada em seus relacionamentos.

Diferentes objetos podem ser abordados nos estudos de ACV Social, dentre eles estão os impactos sociais sobre os trabalhadores, comunidade local, consumidores, sociedade e/ou cadeias produtivas, considerados pelo guia da UNEP/SETAC (2009) como categorias de *stakeholders*, que permitem análise a partir das subcategorias e seus indicadores. *Stakeholders* são as partes interessadas de uma empresa (organização) que sofrem o impacto do seu funcionamento que, em uma organização é, por definição, qualquer grupo ou indivíduo que pode afetar ou ser afetado pela realização dos objetivos dessa empresa (LIRA; GOMES; JACOVINE, 2009). *Stakeholder* inclui aqueles indivíduos, grupos e outras organizações que têm interesse nas ações de uma empresa e que têm habilidade para influenciá-la. Ao negligenciarem esses grupos, algumas empresas já foram devastadas ou destruídas (LIRA; GOMES; JACOVINE, 2009).

Algumas categorias de *stakeholders* e suas subcategorias de impactos são apresentadas no Quadro 2.11, assim, cinco grupos são afetados num estudo de ACV-S, são eles: recursos humanos (trabalhadores/empregados); consumidores, comunidade local e sociedade e cadeia de valores.

Quadro 2.11 - Categorias de *stakeholders* e suas subcategorias de impactos.

<b>Categorias de <i>stakeholders</i></b>	<b>Subcategorias de impactos</b>
<b><i>Stakeholder</i> Trabalhador</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- liberdade de associação e negociação coletiva</li> <li>- trabalho infantil</li> <li>- salário justo</li> <li>- horas de trabalho</li> <li>- trabalho forçado</li> <li>- oportunidades iguais/discriminação</li> <li>- saúde/segurança</li> <li>- benefícios sociais/seguridade social</li> </ul>
<b><i>Stakeholder</i> Consumidor</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- saúde e segurança</li> <li>- mecanismo de <i>feedback</i></li> <li>- privacidade do consumidor</li> <li>- transparência</li> </ul>
<b><i>Stakeholder</i> Comunidade Local</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- acesso aos recursos materiais</li> <li>- acesso aos recursos imateriais</li> <li>- deslocamento e migração</li> <li>- herança cultural</li> <li>- condições de vida segura e saudável</li> <li>- respeito aos direitos indígenas</li> <li>- engajamento da comunidade</li> <li>- emprego local</li> <li>- condições de vida segura</li> </ul>
<b><i>Stakeholder</i> Sociedade</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- comprometimento público com questões sustentáveis</li> <li>- contribuição para o desenvolvimento econômico</li> <li>- prevenção e mitigação de conflitos armados</li> <li>- desenvolvimento tecnológico</li> <li>- corrupção</li> </ul>
<b><i>Stakeholder</i> Cadeia de valores</b> (não incluindo os consumidores)	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Competição Justa</li> <li>- Promoção da Responsabilidade Social</li> <li>- Relacionamento com Fornecedores</li> <li>- Respeito da Propriedade Intelectual</li> </ul>

Fonte: UNEP/SETAC (2009); Santos, Ugaya e Haberland (2012).

Uma diferenciação da ACV Social, em relação à ambiental, é a de identificar mais impactos positivos, além dos negativos relacionados ao ciclo de vida de um produto, dividindo a ação dos impactos em categorias de impacto social. Assim, a ACV Social pretende apresentar uma relevância significativa sobre empreendimentos, processos ou os impactos sobre o capital social (UNEP/SETAC, 2009). Na fase de avaliação são analisadas características relacionadas à vida e longevidade, saúde, autonomia, segurança pessoal, segurança patrimonial e tranquilidade, igualdade de oportunidades, participação e influência, herança e cultura, produtividade humana e recursos (capital natural e antropogênico) (MANHART e GRIEBHAMMER, 2006). O Quadro 2.12 apresenta as diferenças entre a ACV ambiental e a ACV Social.

Quadro 2.12 - Diferenças entre ACV ambiental e ACV Social.

Fases	Características
Objetivo e Escopo	Em ambas as ACVs é necessário descrever as condições funcionais da utilidade do produto. No entanto, a ACV-S vai mais adiante para considerar os impactos sociais da função e das fases de uso do produto.
	Considerando que a ACV Ambiental incentiva de forma semelhante a relação entre as Categorias de Impacto, a ACV Social incentiva que suas Categorias de Impacto se envolvam com uma relação mais estreita apresentando os impactos e as contribuições dentro de sua própria avaliação.
	Na ACV Social é necessário justificar quando uma subcategoria de impacto não é utilizada dentro do estudo, enquanto que na ACV Ambiental não há a necessidade dessa exigência.
	Na ACV Ambiental as categorias de impacto são subdivididas em subcategorias de impacto, enquanto que na ACV Social existe duas classificações de categorias que por sua vez se dividem em subcategorias de impacto: categorias de parte interessada e categoria de impacto.
	Considerando que a ACV Ambiental e a ACV Social utilizam métodos de avaliação que podem ser sensíveis a determinados locais, em nenhum dos métodos para Avaliação do Impacto do Ciclo de Vida (AICV) da ACV Ambiental são específicos de local para local. Já na ACV Social, usa-se categorias que necessitam das especificidades relacionadas a diferentes tipos de lugares ou fatores físicos como o tipo de geografia ou densidade da população. Em alguns casos a AICV da ACV Social pode exigir dados bem específicos de um determinado lugar em estudo, como a necessidade de atributos políticos de países e suas leis.
Inventário do Ciclo de Vida	Os dados das variáveis nas atividades são coletados e usados com mais frequência na ACV Social que na ACV Ambiental (por exemplo, o número de horas de trabalho pode calcular as partes de cada processo da unidade no sistema do produto). Na ACV Ambiental as variáveis das atividades são usadas quando os dados sobre os impactos não estiverem disponíveis.
	Às vezes os dados subjetivos (qualitativos) constituem as informações mais apropriadas e/ou disponíveis para a ACV Social. A utilização de dados objetivos (quantitativos) em lugar de dados subjetivos poderia apresentar mais incertezas nos resultados.
	O equilíbrio entre os dados quantitativos, qualitativos e semi-quantitativos geralmente será diferente.
	As fontes de dados serão diferentes, conforme cada parte interessada.
	A coleta dos dados básicos e métodos variam (por exemplo, a impropriedade de equilíbrio de massa).
Impacto do Ciclo de Vida	Os modelos de caracterização são diferentes.
	O uso dos pontos de referência de desempenho é específico para a ACV Social.
	A ACV Social apresenta impactos positivos e negativos no ciclo de vida de produto. Impactos positivos raramente acontecem na ACV Ambiental.
Interpretação	Os assuntos significantes são aceitáveis para ambas.
	A adição de informação no nível de compromisso das partes interessadas é possível na ACV Social.

Fonte: UNEP/SETAC (2009); Fontinele (2010).

Para Jannuzzi (2006) e Critchii Jr. (2007), indicadores sociais são medidas normalmente quantitativas, que possuem significado social e são utilizados para quantificar ou operacionalizar um conceito social abstrato, de interesse teórico (para pesquisa acadêmica) ou programático (para formulação de políticas). Para Januzzi (2006), os indicadores podem se

referir à totalidade da população ou a grupos sociodemográficos específicos, dependendo do interesse. Eles são expressos como taxas, proporções, médias, índices, distribuição por classes e também por cifras absolutas. Manhart e Griebhammer (2006) consideram que os principais indicadores sociais relacionados a um produto estão relacionados aos efeitos positivos ou negativos particularmente severos, diretamente atribuídos ao sistema de produto ou aos aspectos de utilidade, cujo impacto decorrente dos efeitos indiretos do uso do produto usualmente gera efeitos sobre os consumidores e sociedade.

Os indicadores socioeconômicos selecionados são agrupados segundo dois tipos: indicadores aditivos e indicadores descritivos. Os indicadores aditivos devem atender a dois critérios: serem quantitativos; e, serem relacionáveis à unidade funcional. Por outro lado, os indicadores descritivos devem seguir os seguintes critérios: serem medidos ou descritos quantitativa ou qualitativamente, ao longo de qualquer ponto do ciclo de vida; e, não serem relacionáveis à unidade funcional (ALMEIDA, 2009). Os indicadores descritivos podem ser subdivididos em outros dois grupos: indicadores específicos e indicadores gerais. Da mesma forma que os indicadores aditivos, indicadores descritivos gerais devem cobrir valores sociais amplos. Indicadores descritivos específicos, por outro lado, são orientados a impactos socioeconômicos relevantes de produtos ou processos específicos. O Quadro 2.13 apresenta alguns exemplos desses indicadores.

Quadro 2.13 – Exemplos de indicadores ativo, descritivo geral e descritivo específico.

<b>Indicador Ativo</b>	<b>Indicador descritivo geral</b>	<b>Indic. descritivo específico</b>
Custos de produção	Salário necessário	Contribuição para a renda
Salário necessário	Benefícios trabalhistas	Preço justo
Custos trabalhistas por gênero	Horas trabalhadas média por semana	Acesso de trabalhadores ao emprego
Custos trabalhistas por origem do trabalhador	Concentração de estabelecimentos	Ocorrência de operador-proprietário
Valor associado	Distribuição etária	Atendimento às leis
Pessoa-hora	Trabalho forçado	Cota de produção
Pessoa-hora por gênero	Discriminação por gênero	Cota de produção
Pessoa-hora por origem do trabalhador	Direito de organização Idade mínima Distância percorrida por trabalhador Acesso a banheiro e a água potável	Adjacência do trabalhador em relação ao local de trabalho

Fonte: Adaptado de Kruse et al., 2009.

Spillemaeckers et al. (2004) relacionaram indicadores para medir desempenho social: saúde profissional e segurança (CULTRI, SAAVEDRA E OMETTO, 2010). Eles usam fontes



estatísticas baseadas na frequência de acidentes, e também, incluíram indicadores que podem ser observados em treinamentos sobre saúde e segurança dos empregados, na presença de comitê de saúde e segurança, na política formal para saúde e segurança, assim como vários outros indicadores que são traduzidos em números, através do uso de sistemas de marcadores. Jorgensen et al. (2008) argumentam que a maioria dos impactos sociais não têm relação com os processos em si, mas sim à conduta das empresas que executam os processos. Eles argumentam que a análise de inventário da ACV-S deve ser focada nas empresas envolvidas no sistema de produto.

Corrêa e Ugaya (2010) estudaram a satisfação dos trabalhadores em uma ACV Social de um produto automotivo, em cinco empresas diferentes. Os resultados deste estudo podem ser observados no Quadro 2.14.

Quadro 2.14 - Média das subcategorias relação Empresa/Trabalhadores.

Indicadores	Média (Desvio Padrão)				
	A	B	C	D	E
Carga horária	4,12 (1,00)	3,81 (1,36)	4,05 (0,72)	4,75 (0,52)	3,82 (0,65)
Proteção à maternidade	3,07 (1,27)	4,02 (0,67)	-	4,28 (0,47)	4,53 (0,68)
Sindicato e associação coletiva	2,55 (1,48)	2,56 (1,26)	1,42 (0,87)	3,08 (1,29)	3,28 (1,21)
Diálogo entre funcionários e a empresa	3,15 (1,36)	2,84 (0,68)	4,01 (0,77)	2,82 (1,06)	3,39 (0,90)
Remuneração e benefícios	2,6 (1,55)	3,02 (0,68)	4,00 (0,71)	3,53 (1,18)	3,35 (0,77)
Desenvolvimento da capacidade	2,75 (1,51)	2,29 (0,94)	2,3 (1,42)	3,11 (0,98)	3,27 (1)

Fonte: Corrêa (2009); Corrêa e Ugaya (2010).

Os dados no Quadro 2.14 são as médias e desvio padrão de cada dado nas diferentes empresas de A a E, estudadas. Os resultados foram obtidos da escala de Likert, onde os valores variam de 1 a 5, e os menores valores são os piores resultados do levantamento social. O Quadro 2.14 representa a média das Subcategorias Relação Empresa/Trabalhadores (portão a portão).

Várias metodologias já foram apresentadas para analisar a ACV Social, por exemplo, o método *Social and Environmental Life Cycle Assessment* – SELCA (O'BRIEN, DOIG e CLIFT, 1996); o método baseado na conduta das empresas (DREYER, HAUSCHILD e SCHIERBECK, 2006); o método baseado na quantificação das horas de trabalho (HUNKELER, 2006); o método baseado na qualidade de vida (WEIDEMA, 2006); método japonês baseado nos danos à saúde humana (NORRIS, 2006); método baseado em indicadores de sustentabilidade (KRUSE et al., 2009), entre outros. Kruse et al. (2009) declaram que esses métodos são largamente inconsistentes entre si, e, geralmente, mais esforços devem ser

realizados, seja na proposta de novos métodos, na busca de uma abordagem consensual, ou na disponibilidade de dados e informações requeridas pelos métodos propostos.

Ramirez et al. (2009) propuseram o método SAM - Método para Avaliação das Subcategorias Sociais, no qual cada organização, ao longo do ciclo de vida é avaliada em quatro níveis (A, B, C ou D). Sendo: B, ao atender o requisito básico (p.ex., a legislação), A para os casos em que as organizações propagam as boas práticas ao longo da cadeia de valores. A diferenciação entre C e D é dada de acordo com o contexto da região na qual a organização está inserida. Desta forma, se uma organização não atende à legislação referente, por exemplo, à liberdade de associação e negociação coletiva em um país que promove este tipo de ação, a organização é classificada como D. Caso contrário, C (SANTOS et al., 2012).

Diferentemente da ACV (ambiental), onde a relação causal que define a cadeia de impactos, desde os dados do inventário, até o dano potencial a uma das áreas de proteção, e que já é aceita pela comunidade científica para a maioria das categorias de impacto, a ACV Social é vista como um complemento necessário à ACV e também à Avaliação de Custos no Ciclo de Vida (LCC – *Life Cycle Costing*), que é menos desenvolvida que a ACV, mas muito mais que a ACV Social (HUNKELER, 2006).

A seguir é apresentada a questão do custo do ciclo de vida.

## **2.6 O custo do ciclo de vida - CCV**

Custo do Ciclo de Vida, ou *Life Cycle Costs* (LCC em inglês), é uma ferramenta de gestão que visa ajudar a minimizar desperdícios e a maximizar o rendimento de diversos sistemas. É a mais antiga das três técnicas do ciclo de vida (UNEP/SETAC, 2012). O Custo do Ciclo de Vida de qualquer sistema é o custo total durante o seu período de vida útil. Representa os custos, por exemplo, desde a aquisição e instalação até a desmontagem e descarte final do equipamento ou sistema. A identificação de todas as parcelas envolvidas apresenta-se como uma etapa fundamental nesta metodologia. Quando o CCV é utilizado como uma ferramenta de comparação entre diferentes alternativas, o processo de cálculo do CCV indicará, de forma isenta, a solução que apresenta menor custo global, com base nas informações disponíveis.

Para Griffin (2007), o custo do ciclo de vida (CCV) é uma metodologia desenvolvida para a tomada de decisão nas aquisições de capital e em projetos, onde utiliza uma

compreensível análise econômica de alternativas competitivas; usa procedimentos contábeis universalmente aceitos para a determinação do custo total do projeto ou da aquisição de propriedade; leva em consideração todos os serviços previstos no período útil de vida, bem como todos os custos que aí incidem. O processo em si é basicamente matemático, mas extremamente dependente da informação disponível, logo, os resultados do processo apresentam, certamente, um grau de confiabilidade similar ao dos dados de base. A CCV aparece, então, como uma ferramenta capaz de auxiliar o tomador de decisão a encontrar soluções de compromisso, visando definir aquela com o melhor custo-benefício (BRICK e PILLA, 2011).

De maneira geral, o CCV pode ser utilizado para: avaliação da eficiência global do sistema; avaliação e comparação entre tecnologias alternativas no desenvolvimento de sistemas; avaliação de viabilidade econômica de projetos/produtos; avaliação de diferentes perfis operacionais de sistemas e cenários; avaliação de conceitos alternativos de manutenção e apoio logístico; avaliação de políticas de descarte e reciclagem; avaliação de alternativas de transporte de componentes, materiais e sobressalentes; avaliação e seleção de locais geográficos para instalação das unidades de operação e apoio; avaliação das decisões acerca dos estoques de sobressalentes; avaliação das decisões acerca da alocação de recursos na estrutura de apoio; planejamento financeiro de longo prazo (BRICK e PILLA, 2011).

A metodologia de análise do custo do ciclo de vida, de acordo com Da Silva Jr., Queiroz e Januzzi (2006) é a fusão de três técnicas conhecidas, sendo elas: a Análise de Engenharia/Economia (busca de inovações tecnológicas), o custo do ciclo de vida e o *Payback Period* (Período de Retorno do Investimento). A metodologia do valor presente líquido é utilizada em estudos de concepção de projetos, na área de saneamento básico, pelo Banco Interamericano de Desenvolvimento (BID).

O processo de determinação do CCV é basicamente matemático, dependente das informações disponíveis e apresenta um grau de confiabilidade similar aos dados da base. De acordo com Nascimento (2010) a metodologia proposta por Ramísio (2005) apresenta os custos do ciclo de vida como sendo a soma das seguintes parcelas, conforme Equação (2.1):

$$CCV = C_{ci} + C_{in} + C_e + C_o + C_m + C_{pp} + C_a + C_d \quad (2.1)$$

onde:  $C_{ci}$  - Custos iniciais;  $C_{in}$  - Custos de instalação e ensaios;  $C_e$  - Custos energéticos;  $C_o$  - Custos de operação;  $C_m$  - Despesas de manutenção, reparação e substituição;  $C_{pp}$  - Custos de paradas;  $C_a$  - Custos ambientais;  $C_d$  - Custo de desmontagem e demolição. Os fatores financeiros devem ser tomados em consideração no desenvolvimento do CCV.

Calculados segundo o critério de valor presente incluem a taxa de inflação, taxa de juros, custos de seguro, empréstimos e vida útil esperada (RAMÍSIO, 2005; NASCIMENTO, 2010).

O método de CCV, ao contrário da ACV, ainda não possui padronização internacional e uma de suas principais limitações é a falta de precisão das estimativas (KLOEPFFER, 2008; TORRES e OMETTO, 2011). Um grupo de trabalho em CCV dentro do SETAC, de 2002 até 2007, foi o primeiro a indicar uma metodologia de CCV (Hunkeler et al., 2008), que visa a criação de uma avaliação dos custos de um produto em todo seu ciclo de vida, consistente para uma ACV ambiental. Este trabalho foi a base para as diretrizes sobre uma metodologia (UNEP/SETAC/Life Cycle Initiative, 2012). A Figura 2.18 apresenta um exemplo de CCV para máquina de lavar roupas, com e sem a recirculação da água, onde foram calculados todos os custos relacionados a cada um dos dois cenários do estudo.

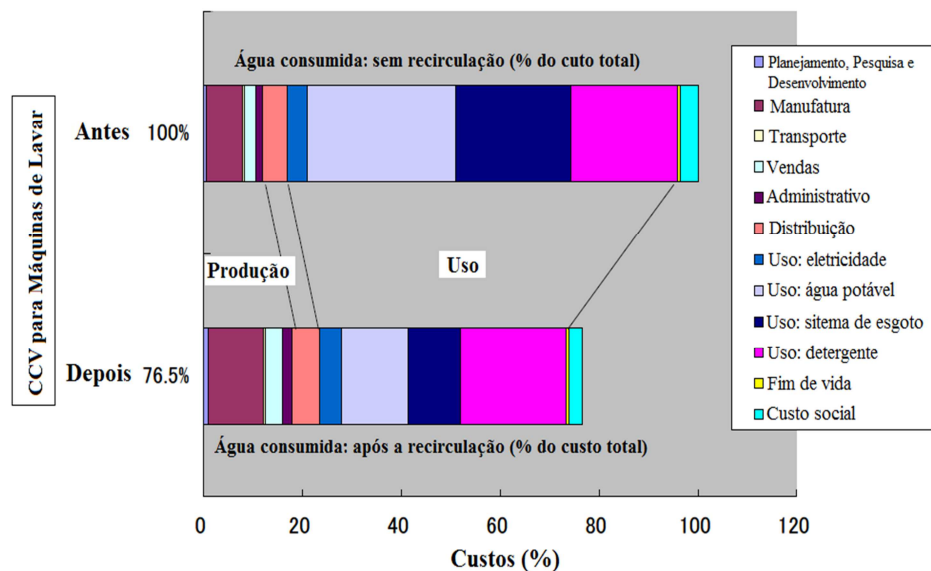


Figura 2.18 – Exemplo de CCV para máquina de lavar roupas.

(Fonte: Yamaguchi et al., 2007; UNEP/SETAC/Life Cycle Initiative, 2012).

Estudos de CCV vinculados à construção civil podem ser encontrados em Schade (2004), John e Oliveira (2005), Reich (2005) e Gluch e Baumann (2004), Kuhn (2006) e Nascimento (2010). No estudo de Reich (2005) é proposta uma combinação dos conceitos e ferramentas de ACV e CCV, resultando em uma análise de ciclo de vida ambiental, que é calculada com base no estabelecimento de valores para as emissões, utilizando a CCV como ferramenta de ponderação para a avaliação ambiental.

No contexto da construção sustentável, que é um conceito de longo prazo, a análise econômica medida na visão de curto prazo, com base em variações da análise de custo inicial, conduz a não viabilidade do empreendimento. Isto ocorre, pois as várias estratégias e

tecnologias sustentáveis têm custo inicial maior, e pagam-se ao longo de mais ou menos tempo. A análise de custos no ciclo de vida compõe o grupo das técnicas de gerenciamento e controle de custos - como processo de melhoria contínua de valor, engenharia de valor verde, projeto e construção enxuta, para demonstrar não só a viabilidade, mas também que construções com metas de sustentabilidade não implicam necessariamente em aumento de custos em relação a construções convencionais, podendo, inclusive, se bem integrados ao processo de entrega do empreendimento, chegar à redução de custos (SILVA e PARDINI, 2010).

Assim, o custo do ciclo de vida de uma edificação (ASTM E917 – 05, 2009, citado por SILVA e PARDINI, 2010) é definido como sendo seu custo ao longo da sua vida útil, representando, assim, a somatória dos custos de aquisição, instalação, ensaios, energia, operação, manutenção (preventiva e corretiva), ambientais e demolição. Esta metodologia é utilizada para elaboração da medição do desempenho econômico de um edifício ao longo do período de tempo especificado. De acordo com Pardini (2009), as considerações para a análise dos custos da fase de uso/operação de uma edificação devem ser: manutenção, reparos, reposição de componentes e sistemas; limpeza; utilidades e energia; flexibilidade (reconfigurações para acompanhar melhorias nos processos); e segurança e gerenciamento. Nascimento (2010) afirma que os estudos realizados em diversos países, para diferentes tipos de edificações, demonstram que os custos anuais envolvidos na operação e manutenção das edificações em uso variam entre 1% e 2% do seu custo inicial. Este valor pode parecer pequeno, porém acumulado ao longo da vida útil das edificações chega a ser equivalente ou até superior ao seu custo de construção.

Silva e Pardini (2010) referem que na ASTM E 917-05 (2009) é apresentada uma metodologia para cálculo do CCV de um edifício ou de um sistema de construção, comparando as alternativas de CCVs. Para isso é necessário, primeiramente, estabelecer os parâmetros comuns para todas as alternativas, como vida útil, inflação, taxa de desconto, imposto de renda (se for o caso) e fluxo de caixa. No método, o cálculo de um custo do ciclo de vida é feito em termos de valor presente - *Present Value Lyfe Cycle Cost (PVLCC)*, onde todos os fluxos de caixa relevantes no período de tempo  $t = 0$  até  $t = N$  são considerados em um mesmo ano e somados, conforme Equação (2.2).

$$PVLCC = \sum_{t=0}^N \frac{C_t}{(1+i)^t} \quad (2.2)$$

Onde:  $C_t$  = soma de todos os custos relevantes ocorridos no ano  $t$ ;  $N$  = duração do período de estudo, em anos;  $t$  = tempo considerado;  $i$  = taxa de desconto.

Deve-se considerar as incertezas e os riscos referentes a cada alternativa, em valores monetários. A análise de sensibilidade é um método usado para estudar as incertezas na construção civil. A Simulação de Monte Carlo pode ser usada para a medição dos custos de riscos para a construção. Após estas etapas e cálculos, pode-se comparar as alternativas e selecionar a alternativa de menor CCV (SILVA e PARDINI, 2010).

A SETAC publicou um código de práticas para ciclo de custo de vida ambiental (*Code of Practice for Environmental Life-cycle costing – LCC*), o qual traz descrições para a realização de avaliações e decisões consistentes (SWARR, et al. 2011). De acordo com UNEP/SETAC/Life Cycle Initiative (2012), através do PNUMA sobre Compras Públicas Sustentáveis, as economias emergentes e países em desenvolvimento estão cada vez mais utilizando e testando a incorporação do conceito de CCV em suas atividades de contratos públicos.

## 2.7 Análise integrada da sustentabilidade

Algumas iniciativas vêm sendo tomadas com o uso da ACV, em diversas áreas, para avaliar a sustentabilidade, de maneira integrada, sob os seus três focos, ambiental, social e econômica. Kloepffer (2008) afirma que é possível definir parâmetros quali-quantitativos para ACV, CCV e ACV-S, para serem usados na comparação entre dois produtos ou sistemas, a partir da definição de uma unidade funcional de base comum.

PESKINEN (2011) sugere a combinação da ACV com a Análise Multicritério (AMC) para análise das dimensões da sustentabilidade. Em 2009, Sanches e Cybis desenvolveram uma metodologia para avaliar a sustentabilidade de ETes, baseada na ACV, na Análise multicritério, e estudos de impactos, ambientais, sociais e econômicos. A Figura 2.19 ilustra o *Framework* do modelo de avaliação de sustentabilidade em ETes.

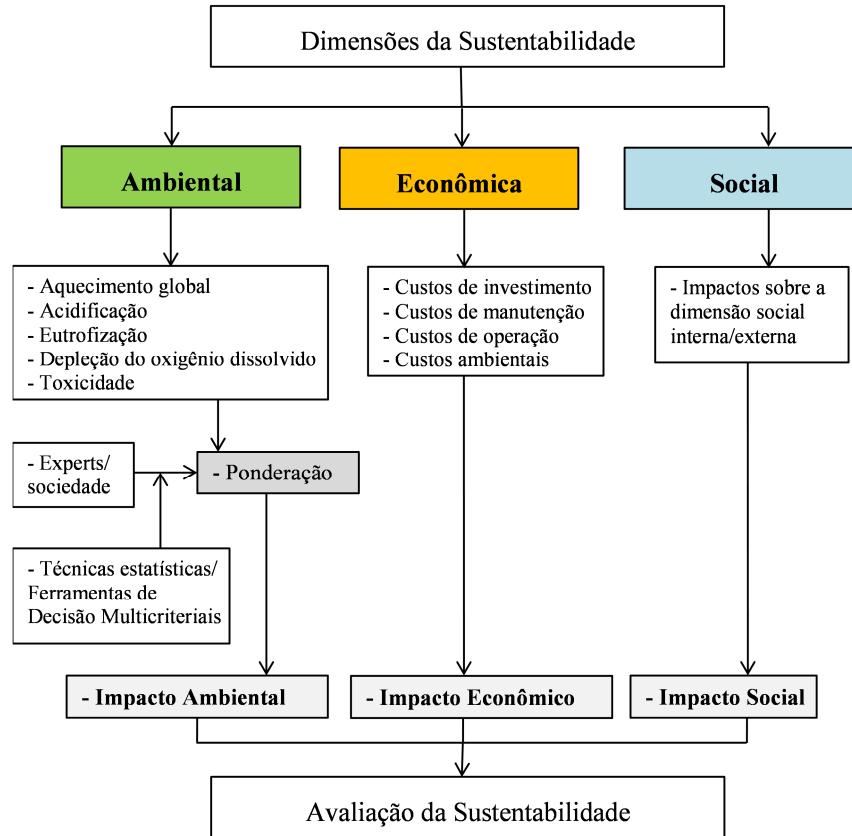


Figura 2.19 - *Framework* do modelo de avaliação de sustentabilidade em ETEs.

(Fonte: Adaptado de Sanches, 2009).

O modelo de SANCHES (2009) descreve os indicadores ambiental, econômico e social no escopo de uma ETE, bem como agrega e compatibiliza ferramentas de avaliação para estas três dimensões. Os resultados de três alternativas de projetos avaliadas neste estudo foram integrados em uma análise, como pode ser verificado na Figura 2.20.

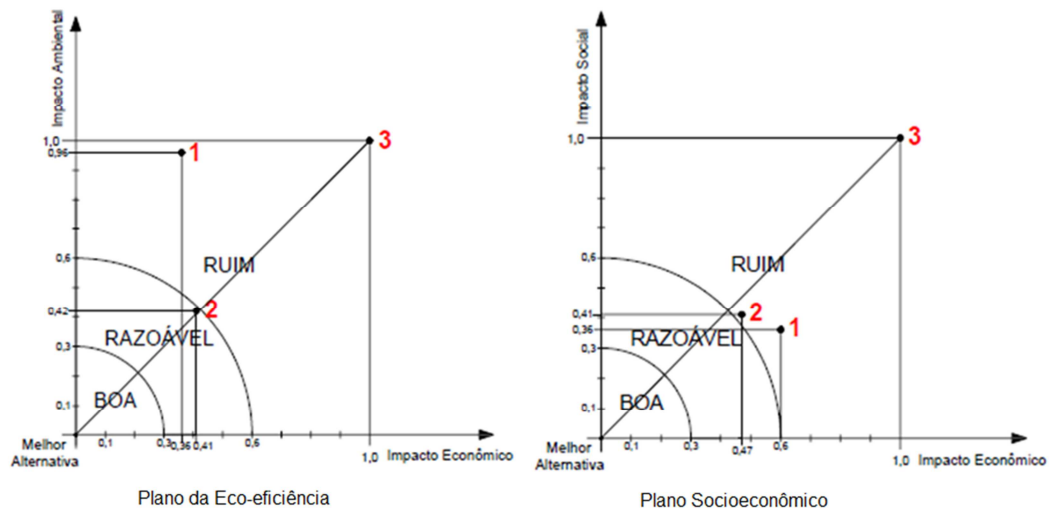


Figura 2.20 – Resultados da análise de sustentabilidade de ETEs.

(Fonte: Sanches, 2009).

Na Figura 2.20, os números 1, 2 e 3 representam as diferentes alternativas de projetos de ETEs analisadas na pesquisa. Os resultados apresentados significam que, em ambos os planos, a alternativa 3 é a que apresenta pior desempenho. E que a alternativa 2 é a que apresenta o melhor equilíbrio entre as dimensões ambientais, sociais e econômicas (SANCHES, 2009).

Pedroso e Teixeira (2010) apresentam um modelo de avaliação de sustentabilidade, com a análise da ACV, CCV e ACV-S para modais de transportes urbanos e passageiros. A Figura 2.21 apresenta a estrutura dos modelos combinados utilizados no estudo.

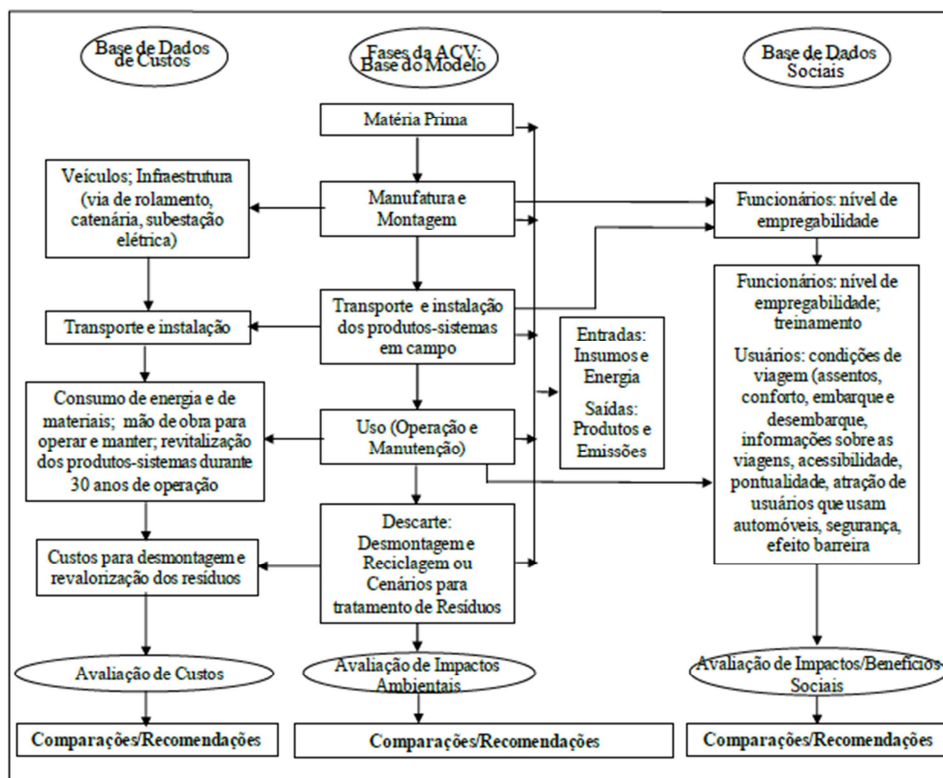


Figura 2.21 - Modelos combinados: CCV, ACV e ACV-S.

(Fonte: Pedroso e Teixeira, 2010).

As conclusões a que chegaram é que o VLT (Veículo Leve sobre Trilhos) apresenta melhor desempenho ambiental do que o VLP (Veículo Leve sobre Pneus), em seis dos sete parâmetros definidos para a avaliação comparativa. O sétimo tem a ver com uma maior utilização de materiais, principalmente aqueles ligados às cadeias de produção do aço e cobre. O VLP polui mais na fase de uso, por consumir combustível fóssil. Na dimensão econômica, o VLP é mais competitivo: material rodante e infraestrutura de via têm menor custo, apesar de o sistema necessitar de mais veículos para atender à especificação da unidade funcional. No aspecto social, o VLP emprega mais funcionários ao longo das etapas de fabricação e uso,



mas o VLT tem melhor desempenho em todos os outros parâmetros, principalmente naquele ligado à atratividade de usuários que usam diariamente seus automóveis (PEDROSO e TEIXEIRA, 2010).

Almeida et al. (2012) determinaram o nível de sustentabilidade de soluções de reabilitação energética para paredes exteriores de um edifício residencial: o nível de cada dimensão da sustentabilidade, consistiu na determinação do desempenho global da solução construtiva. A nota sustentável (NS) foi determinada através da Equação (2.3) de Mateus e Bragança (2006).

$$NS = W_a \cdot I_a + W_f \cdot I_f + W_e \cdot I_e \quad (2.3)$$

Na Equação (2.3), NS é o resultado da ponderação de cada dimensão  $I_j$  com o respetivo peso ( $W_j$ ), na avaliação da sustentabilidade. A soma dos pesos atribuídos aos três indicadores tem de ser igual a 1, de modo a se obter uma nota sustentável compreendida entre 0 e 1 (Mateus e Bragança, 2006). Como através da construção sustentável se pretende, principalmente, uma maior compatibilidade entre os ambientes construído e natural, sem que com isso se comprometa, em primeiro lugar, a funcionalidade e por fim a viabilidade econômica do projeto, consideraram na avaliação: Peso do indicador ambiental:  $W_a = 0,3$ ; Peso do indicador funcional:  $W_f = 0,5$ ; Peso do indicador econômico:  $W_e = 0,2$ . Calculados os índices de comparação foi possível avaliar, ao nível de cada parâmetro, se a solução construtiva em estudo é melhor ou pior do que a solução construtiva de referência.

Finkbeiner et al. (2010) afirmam que em uma análise de sustentabilidade pela metodologia de ciclo de vida, pode-se realizar uma comparação entre os indicadores e isso pode ser feito ao menos em dois níveis: Ponderação entre os indicadores individuais, dentro de cada dimensão da sustentabilidade; Ponderação entre as três dimensões da sustentabilidade. Os autores enfatizaram que não tiveram a intenção de recomendar a ponderação entre as dimensões da sustentabilidade resultando em um único score, mas sugerem que se ocorrer essa necessidade, que ela seja realizada de forma transparente.

Existem alguns métodos que analisam de maneira conjunta as dimensões da sustentabilidade. O barômetro de sustentabilidade (*Barometer of Sustainability*), por exemplo, analisa o bem estar social integrado com o bem estar ecológico. Já o *Dashboard of Sustainability* analisa, através de um painel, os índices de sustentabilidade de cada dimensão, e a partir do cálculo destes índices, pode-se obter o resultado final de cada mostrador.

O barômetro de sustentabilidade é uma ferramenta para a combinação de indicadores e mostra seus resultados por meio de índices. A escala utilizada, para cada um dos eixos do barômetro, varia de 0 a 100, consistindo em 100 pontos e uma base 0. Ela está dividida em cinco setores, de 20 pontos cada, mais sua base equivalente a 0. Cada setor corresponde a uma cor, que varia do vermelho até o verde; como pode ser observado na Figura 2.22. Trata-se de um gráfico bidimensional, onde os estados do bem-estar humano e do ecossistema são colocados nessas escalas relativas, indicando uma situação em relação à sustentabilidade. A localização do ponto definido por estes dois eixos, dentro do gráfico bidimensional, fornece uma medida de sustentabilidade ou insustentabilidade do sistema. A representação gráfica dos resultados obtidos com a utilização desta ferramenta pode ser visualizada na Figura 2.22.

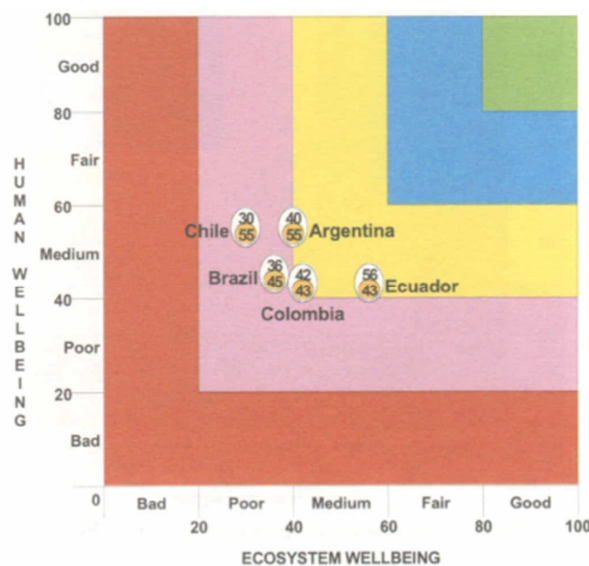


Figura 2.22 - O Barômetro de sustentabilidade.

(Fonte: Van Bellen, 2002).

O *Dashboard of Sustainability* analisa, através de um painel, os índices de sustentabilidade de cada dimensão e, a partir do cálculo destes índices, pode-se obter o resultado final de cada mostrador. A palavra *Dashboard*, "painel" em português, se refere ao conjunto de instrumentos de controle situado abaixo do para-brisa de um veículo. O termo *Dashboard of Sustainability* representa, para Hardi (2000), uma metáfora do painel de um automóvel. Para Hardi, o formato do *Dashboard of Sustainability* constitui uma importante ferramenta para auxiliar os tomadores de decisão, públicos e privados, a repensar suas estratégias de desenvolvimento e a especificação de suas metas. A representação esquemática deste painel do *Dashboard of Sustainability* é apresentada na Figura 2.23.

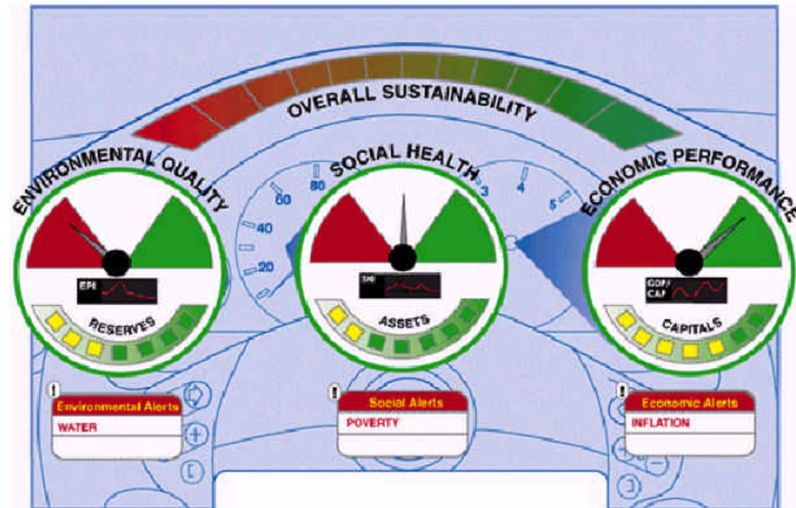


Figura 2.23 - *Dashboard of Sustainability*.

(Fonte: Van Bellen, 2005).

Os mostradores são denominados: de performance da economia, da saúde social e da qualidade ambiental, para o caso de um país; ou de performance da economia, da responsabilidade social e do desempenho ambiental, no caso de um empreendimento. Cada um dos mostradores possui uma seta que aponta para um valor que reflete a performance atual do sistema. Um gráfico procura refletir as mudanças de desempenho do sistema avaliado e existe um medidor que mostra a quantidade remanescente de alguns recursos críticos (VAN BELLEN, 2005). A performance do sistema é apresentada através de uma escala de cores, que varia do vermelho-escuro (crítico), passando pelo amarelo (médio), até o verde escuro (positivo).

Conceitualmente, o *Dashboard of Sustainability* é um índice agregado de vários indicadores, dentro de cada um dos mostradores, citados anteriormente; a partir do cálculo destes índices deve-se obter o resultado final de cada mostrador. Uma função adicional calcula a média destes mostradores, para que se possa chegar a um índice de sustentabilidade global ou *Sustainable Development Index*, SDI. Se o objetivo é avaliar o processo decisório, um índice de performance política, *Policy Performance Index*, PPI, é calculado.

FINKBEINER et al. (2010) sugerem duas alternativas de análise: o LCST – *Life Cycle Sustainability Triangle* e o LCSD – *Life Cycle Sustainability Dashboard*. Os autores consideram que os métodos devem passar por validação e aplicabilidade, para que possam ser utilizados para o desenvolvimento sustentável.

Em 2012, a UNEP/SETAC *Life Cycle Initiative* publicou um documento, cujo título é *Towards a Life Cycle Sustainability Assessment*, sobre a ASCV - Análise da Sustentabilidade do Ciclo de Vida, ou *Life Cycle Sustainability Assessment* (LCSA), onde se reconhecem os

fundamentos aportados por trabalhos e iniciativas, como a série ISO 14040 (Gestão ambiental – ACV – Princípios e Estrutura) e a ISO 26000 (Responsabilidade Social), e a contribuição de várias iniciativas internacionais pela avaliação de maneira integrada com o tripé da sustentabilidade, nos três focos de avaliação do ciclo de vida (ambiental: ACV, social: ACV-S e econômica: CCV).

Esse documento (UNEP/SETAC *Life Cycle Initiative*, 2012) recomenda que o limite geral da ASCV contenha todos os processos unitários relevantes para, pelo menos, uma das técnicas (ACV, ACV-S e CCV), como pode ser observado na Figura 2.24, que mostra todos os processos unitários incluídos dentro dos círculos. No caso em que uma ou mais fases do ciclo de vida não são avaliados em um estudo, a razão para a exclusão deve ser justificada. A Figura 2.25 apresenta um exemplo de dados de inventário para um processo unitário e níveis de organização de ASCV.

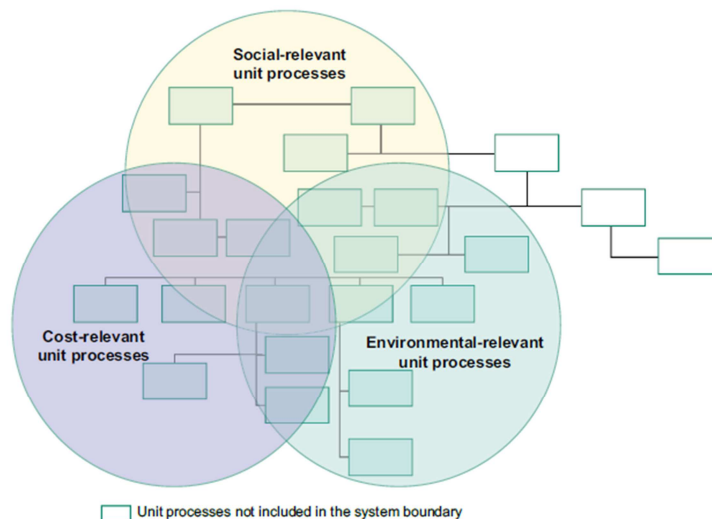


Figura 2.24 – Limites do sistema de uma ASCV.

(Fonte: UNEP/SETAC/Life Cycle Initiative, 2012).

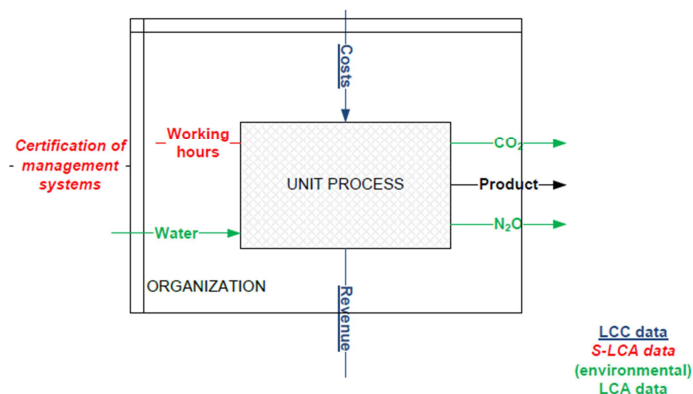


Figura 2.25 – Exemplo de dados de inventário para um processo unitário e níveis de organização de ASCV.

(Fonte: UNEP/SETAC/Life Cycle Initiative, 2012).

KLOEPFFER (2008) sugere, que em busca da sustentabilidade do ciclo de vida de produtos e serviços, seja utilizada a estrutura dos três pilares, como na Equação 2.4.

$$ASCV = ACV + CCV + ACV-S \quad (2.4)$$

Onde:

ACV – avaliação do ciclo de vida ambiental, normatizada pela ISO série 14040,

CCV – avaliação do custo do ciclo de vida ambiental,

ACV-S – avaliação do ciclo de vida social.

Ao avaliar os resultados de uma ASCV, recomenda-se que a qualidade dos dados seja analisada. Esta se refere às características dos dados e sua capacidade de satisfazer os requisitos estabelecidos (UNEP/SETAC *Life Cycle Initiative*, 2012).

O documento da UNEP/SETAC/*Life Cycle Initiative* (2012) apresenta um estudo de caso, como exemplo, de ASCV. No estudo foi possível identificar qual dos materiais comparados possui o melhor desempenho e situação mais sustentável, sob a ótica das três dimensões da sustentabilidade. Porém, os autores do documento UNEP/SETAC/*Life Cycle Initiative* (2012) reconhecem que ainda há áreas que necessitam de mais desenvolvimento, para poder avançar na implementação de ferramentas regulatórias da ASCV. Citam, por exemplo, a necessidade de realizar mais pesquisas sobre a avaliação da utilidade e a sustentabilidade dos produtos. Também apontam a necessidade de desenvolvimento de abordagens mais simplificadas, em que as empresas de softwares e bancos de dados possam facilitar aos usuários técnicas mais simplificadas e de baixo custo para promover a ASCV. Bem como apontam a necessidade de divulgar e validar um formato mais claro para a comunicação e divulgação dos resultados da ASCV para os tomadores de decisão, a fim de apoiar as escolhas de produtos e processos mais sustentáveis.

O Quadro 2.15 e a Figura 2.26 apresentam os resultados deste estudo de caso.

Quadro 2.15 – Exemplo de resultados de avaliação de impactos em estudo de caso de ASCV.

Impactos			Produtos			
			<i>Perfato di Silica A</i>	<i>Perfato di Silica B</i>	<i>Bianco Carrara C</i>	<i>Bianco Carrara D</i>
Código	Impacto	Unidade	ACV (ambiental)			
EE	Energia	MJ	1224,16	1470,52	696,66	1414,77
GWP	Potencial de aquecimento global	kgCO <sub>2</sub> eq	186,51	257,49	109,9	37,4
HTIP	Toxicidade humana	kg p-DCBeq	0,93	1,01	0,37	0,96
POCP	Ozônio fotoquímico	kg etileno <sub>2</sub> eq	0,03	0,0373	0,013	0,025
AP	Potencial acidificação	kg SO <sub>2</sub> eq	0,75	0,9774	0,425	0,789
EP	Potencial eutrofização	kg PO <sub>4</sub> <sup>++</sup> eq	0,07	0,0626	0,037	0,096
Código	Impacto	Unidade	CCV (econômica)			
EC01	Custo de extração e produtos	€/m <sup>3</sup>	251,02	213,75	89	20
EC03	Combustíveis	€/m <sup>3</sup>	16,58	27,61	n.d.	n.d.
EC04	Disposição final de resíduos	€/m <sup>3</sup>	0,51	0,05	1	n.d.
EC05	Eletricidade	€/m <sup>3</sup>	39,17	28,8	2	0,96
EC06	Rendimentos	€/m <sup>3</sup>	422,59	0	550	550
Código	Impacto	Unidade	ACV-S (social)			
S01	Núm. total de empregados	n/m <sup>3</sup>	0,0053	0,00278	0,00796	0
S02	Núm. de mulheres	n/m <sup>3</sup>	0,000154	0,000652	0,00317	0
S03	Trabalhadores com contrato ilimitado	n/m <sup>3</sup>	0,00071	0,001957		
S04	Trabalhadores com contrato limitado	n/m <sup>3</sup>	0,0000615	0	0,0002228	0
S06	Trabalho infantil	n/m <sup>3</sup>	0	0	0	0
S09	Horas de trabalho	€/hora	8,243077	1,548237		
S10	Salário por hora de trabalho	n/m <sup>3</sup>	0,000633	0,000184		
S11	Trabalhadores com plano saúde	n/m <sup>3</sup>	0,000769231	0,001956947		
S12	Trabalhadores com check-up anual	n/m <sup>3</sup>	0,000769	0,001957		

Fonte: Adaptado de UNEP/SETAC/Life Cycle Initiative (2012).

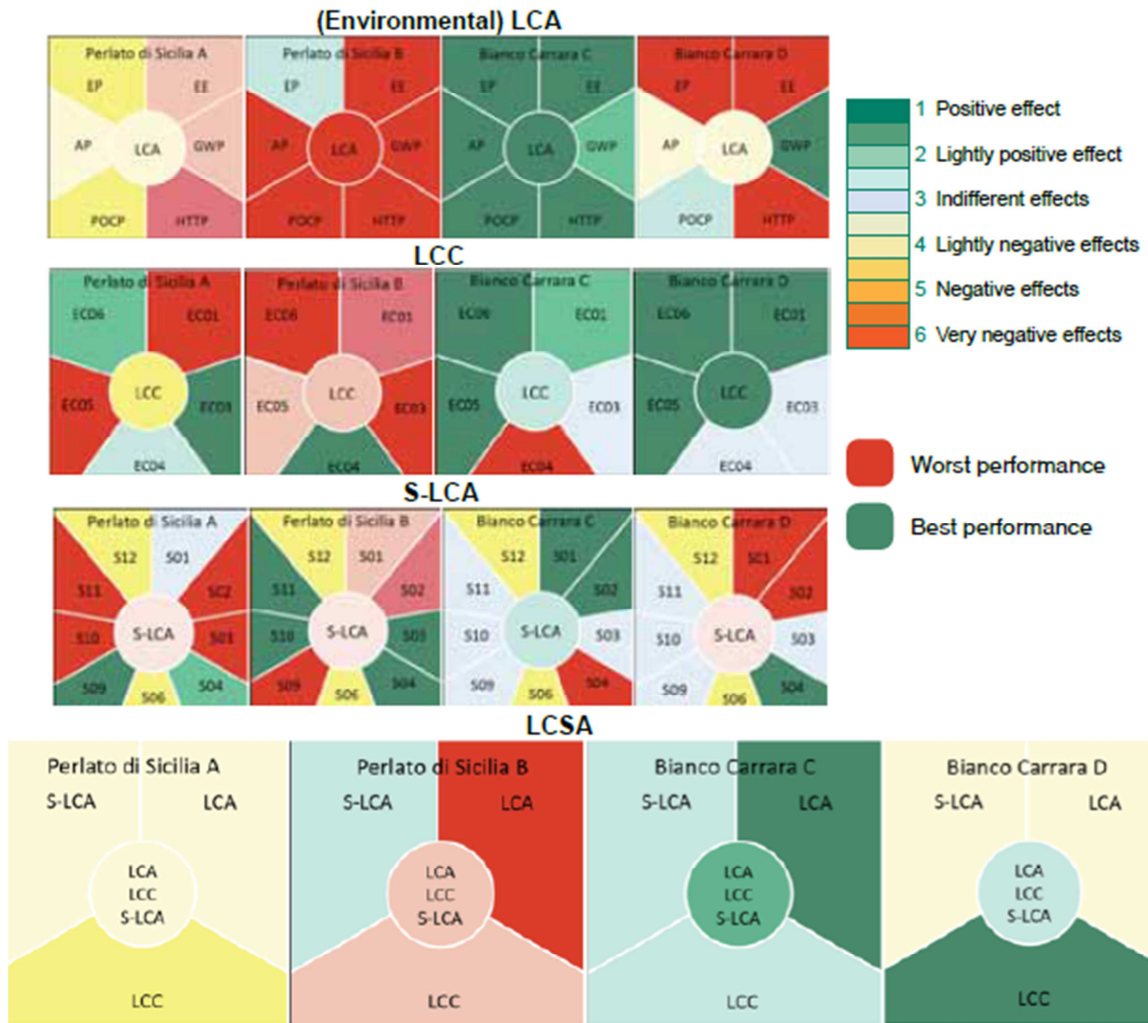


Figura 2.26 – Apresentação dos resultados da ASCV do estudo de caso.

(Fonte: Adaptado de Capitano et al., 2011; UNEP/SETAC/Life Cycle Initiative, 2012).

Os autores do documento concluem que a SCV tem grande potencial para ser usada por empresas, governos, agências de cooperação internacional e outras organizações na sociedade (como associações de consumidores) em seus esforços para produzir e consumir produtos mais sustentáveis. Isso implica em reduzir a degradação ambiental e o uso dos recursos naturais de forma lucrativa e, ao mesmo tempo, contribuir para o bem-estar social. A sua combinação em um estudo permite a tomada de decisão integrada no tripé do desenvolvimento sustentável: pessoas, planeta e lucro. Certamente, mais aplicativos, melhor acesso de dados e novas pesquisas sobre áreas específicas são necessárias. Cada vez mais, empresas, governos e gestores trabalham com especialistas para a obtenção da imagem de sustentabilidade completa por trás dos produtos (UNEP/SETAC/Life Cycle Initiative, 2012).

O método ASCV deve seguir os passos:

- definição de uma Unidade Funcional, como descrita no método de ACV;

- estabelecimento de objetivo e escopo da análise para cada dimensão, também segundo a norma de ACV;
- definição dos indicadores ambientais, econômicos e sociais para cada dimensão; seleção de indicadores pelos analistas segundo os interesses de cada caso de estudo;
- análise de inventário para cada dimensão (massas e energias que entram e saem do sistema para a dimensão ambiental; custos para a dimensão econômica; e impactos e benefícios sociais para a social);
- avaliação de impactos e ou benefícios para cada dimensão;
- opcionalmente, adotando-se a recomendação da norma de ACV, a realização de normalizações, agrupamentos, ponderações e análise das informações;
- limitações do estudo;
- conclusões, recomendações e publicação dos resultados de cada dimensão combinando, quando aplicável, as três dimensões e suas inter-relações.



### 3 METODOLOGIA DE PESQUISA

O desenvolvimento da metodologia consiste no levantamento de dados e impactos para a avaliação de sustentabilidade do uso da água em edificações de ensino superior.

A metodologia da pesquisa se divide em quatro etapas. Iniciando pela identificação e definição do diagnóstico do uso da água em edificações de ensino superior, como estudo de caso, através de adaptação da metodologia apresentada por Oliveira (1999) e manual FIESP/ANA/SINDUCON-SP (2005). Assim foram obtidos os dados primários para o levantamento dos indicadores de uso da água. Nesta etapa, foi realizada, também, a aplicação de questionários, entrevistas e análises de documentos, buscando os indicadores ambientais, sociais e econômicos utilizados no desenvolvimento da pesquisa. Para o estudo de caso, analisou-se uma edificação do Campus I, da Universidade de Passo Fundo, identificada como a edificação piloto do estudo (Prédio do ICB – Instituto de Ciências Biológicas).

Como segunda etapa, após a validação dos indicadores, empregou-se a ACV atribucional para avaliar os impactos do uso da água na edificação piloto – cenário atual. Para isso, foi definido o escopo e a função do modelo, a unidade funcional, os fluxos de referência e o inventário dos dados, conforme metodologia da NBR 14040 (ABNT, 2009a). Além da análise do ciclo de vida (ACV) dos impactos ambientais, foi considerada a análise social do ciclo de vida (ACV-S) e a análise de custo do ciclo de vida (CCV) do uso da água nesta edificação piloto, atendendo as três dimensões da sustentabilidade: ambiental, social e econômica.

A terceira etapa foi a análise do ciclo de vida do uso da água nos outros cenários desta edificação piloto: cenário aproveitamento das águas pluviais e cenário reúso de águas.

A quarta e última etapa consistiu em realizar a análise da sustentabilidade do ciclo de vida (ASCV) dos cenários, analisando de maneira integrada, as três dimensões de sustentabilidade, e compará-los para verificar qual, ou quais, os cenários mais sustentáveis de uso da água. Para tanto, buscou-se realizar as comparações possíveis entre os cenários, bem como identificar as áreas e os cenários com maiores impactos.

A partir dos resultados obtidos, são apresentadas sugestões que contribuirão no estabelecimento de procedimentos para a gestão sustentável da água, e as mais eficientes

opções de intervenções e melhorias para a redução do consumo da água em edificações similares, que poderão vir a servir de suporte à concepção de projetos de sistemas hidráulicos de água em edificações públicas, que sejam mais sustentáveis.

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma da metodologia desta tese.

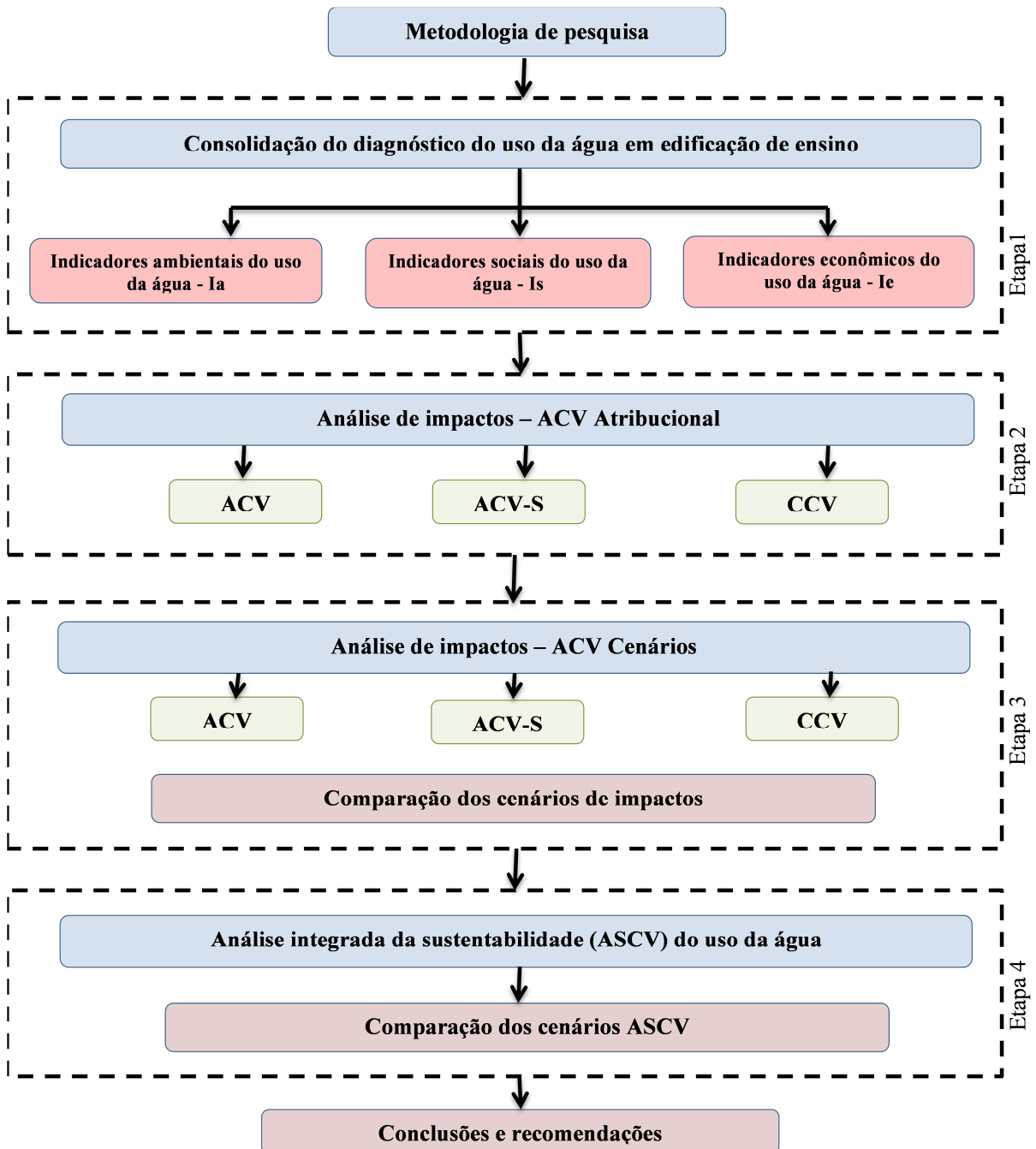


Figura 3.1 – Fluxograma do desenvolvimento da pesquisa.

Nos itens a seguir, está detalhada a metodologia da pesquisa.

### **3.1 Consolidação do diagnóstico do uso da água na edificação do estudo**

A consolidação do diagnóstico do uso da água nas edificações é dividida em três categorias do uso da água. São elas: indicadores de impactos ambientais, indicadores de impactos sociais e indicadores de impactos econômicos, conforme detalhamento a seguir.

#### **3.1.1 Indicadores de impactos ambientais**

No caso dos dados ambientais a análise considera o consumo de água, de energia e de produtos e as emissões, atmosféricas, no solo e nos recursos hídricos de todo o ciclo de vida. Desta forma é possível mensurar os impactos ambientais gerados, o quantitativo de recursos e outros valores ambientais, como ações de conservação de água, por exemplo.

Para a consolidação dos indicadores de impactos ambientais de uso da água na edificação foi realizada uma investigação detalhada quantitativa e qualitativa do uso da água, desde a entrada de água (captação), até a disposição final, como efluente, conforme descrição a seguir.

##### **3.1.1.1 Diagnóstico quantitativo do uso da água**

A metodologia utilizada para a determinação quantitativa do diagnóstico do uso da água na pesquisa foi uma adaptação da metodologia apresentada por Oliveira (1999) e o manual FIESP/ANA/SINDUCON-SP (2005), e assim foram obtidos os dados primários para o levantamento do uso da água no sistema. Foi investigado todo o ciclo de vida do uso da água, desde a entrada de água no sistema (superficial ou subterrânea), até o destino final da água, como forma de efluente.

Foi verificada, primeiramente, a oferta da água na edificação piloto do estudo. Essa etapa se deu através do levantamento das possibilidades de entrada de água nesta edificação. Foi investigada a existência de abastecimento de água através de concessionária, águas subterrâneas e fontes alternativas, como o reúso e o aproveitamento de águas pluviais.

Em seguida, para o levantamento da demanda, foi realizado o cadastramento de todos os ambientes, sanitários, cozinhas, banheiros, refeitórios, laboratórios e quaisquer ambientes que possuam aparelhos consumidores de água nas edificações do estudo. Foram analisados, também, os projetos dos sistemas hidráulicos prediais envolvidos. Também foi levantada a existência do uso de equipamentos convencionais e economizadores de água nas edificações do estudo.

Com isso, foi realizada a auditoria de consumo de água do estudo de caso. Nesta etapa foi possível o conhecimento da utilização da água no sistema, através de planejamento adequado para a realização de levantamento documental, das características físicas e funcionais do edifício e, em particular, do sistema hidráulico, por exemplo, as características físicas (como tipologia da edificação, de alimentação, de reservação, subsistemas existentes que utilizam água, idade do sistema, vazamentos visíveis e não-visíveis, entre outras); e as funcionais (como especialidade de atendimento, horário de pico de funcionamento, tipos de usuários, como funcionários, professores, alunos, etc., bem como os procedimentos dos usuários nas atividades relativas ao uso da água).

Para o levantamento dos hábitos dos usuários da água nas edificações do estudo, a ferramenta utilizada foi a aplicação de questionários e entrevistas, para cada tipo de usuário da água do sistema (professores, funcionários, alunos, laboratoristas), denominados comunidade interna, buscando informações complementares na obtenção dos dados, usos e hábitos de uso da água desses usuários e, na complementação dos indicadores. Também se buscou informações com encarregados administrativos (gestores), setor de saneamento ambiental e setor de recursos humanos da universidade.

Para esses questionários, além dos dados estabelecidos nas questões, são relacionadas questões com uma pontuação pré-estabelecida (de acordo com a Escala de Likert) para obtenção dos escores, com o intuito de demonstrar a resposta do usuário em relação aos indicadores de uso. Para cada indicador, o avaliador pesquisado assinalou seu grau de concordância e/ou discordância em uma escala de cinco pontos, onde foram utilizadas as seguintes variáveis: Discordo totalmente, Discordo parcialmente, Nem concordo, nem discordo, Concordo parcialmente, Concordo totalmente.

A Tabela 3.1 ilustra o conjunto de respostas definidas, bem como os escores numéricos associados, segundo a Escala de Lickert.

Tabela 3.1 - Variáveis e escores para os Indicadores.

VARIÁVEIS	ESCORES
Discordo totalmente	<b>1</b>
Discordo parcialmente	<b>2</b>
Nem concordo, nem discordo	<b>3</b>
Concordo parcialmente	<b>4</b>
Concordo totalmente	<b>5</b>

Desse modo, é atribuído um número a cada resposta, que reflete a direção da atitude do respondente em relação a cada item apresentado. Desta maneira, uma indicação de resposta “Concordo totalmente” denota uma atitude favorável, atingindo o escore máximo (5). A resposta “Discordo totalmente” reflete o escore de mínimo (1), significando divergência total com a afirmativa. A opção “Nem concordo, nem discordo” possui um escore de valor (3), apontando para uma neutralidade ou incerteza em relação à afirmativa. Seguindo essa valoração, os escores maiores que a neutralidade indicam satisfação e escores menores que a neutralidade apontam para fragilidades, pontos que requerem melhorias (FIORI, 2006).

O processo de hidrometração foi realizado no sistema hidráulico da edificação piloto, com o intuito de monitorar o consumo, além de identificar os horários de consumo de pico. O sistema de medição é remota, no qual os medidores, ao realizarem a leitura de consumo, emitem pulsos, lidos e transmitidos por um Cyble Pulsado a um Data Logger, modelo LOGBOX-AA IP65, este por sua vez armazena os dados de vazão em intervalos de tempo predefinidos, e são recolhidos de tempos em tempos, com o auxílio de uma Interface de Comunicação Ótica, modelo IrLink3-USB, transferem-se estas informações ao computador (notebook), possibilitando a criação de um perfil de consumo para o local. Após a instalação do hidrômetro é acoplado o leitor de pulsos e o Data Logger, responsáveis pela leitura e armazenagem de dados.

Após a conclusão do levantamento do sistema e do processamento dos dados, é consolidado o diagnóstico do sistema, apresentando as suas condições de operação, como a água é utilizada no sistema e as perdas de água provenientes de desperdícios e vazamentos (OLIVEIRA, 1999). As informações relativas ao período histórico são, por exemplo: número de agentes consumidores; consumo de água no período histórico, desperdícios ou procedimentos inadequados dos usuários relacionados ao consumo de água; perda por vazamento visível; perda por vazamento não-visível; perda total levantada no sistema; histórico de limpeza de reservatórios, entre outros.

Para determinação do diagnóstico quantitativo na edificação do estudo, foram utilizados, dentre outros, os equipamentos listados abaixo, pertencentes ao Laboratório de

Sistemas Prediais da Faculdade de Engenharia e Arquitetura (FEAR), da Universidade de Passo Fundo (UPF):

- **Data Logger** com 01 entrada de pressão (2000 kPa) e uma entrada de vazão (pulsos), com visor, modelo METROLOG P da marca Technolog. Acompanhado de software gerenciador, como mostra Figura 3.2.



Figura 3.2 – Metrolog P.

- **Geofone Eletrônico com filtro de ruídos selecionável**, modelo HG-10 AII, da marca Fuji Tecom, apresentado na Figura 3.3:



Figura 3.3 - Geofone Eletrônico.

- **Medidor Multijato Multimag**; classe C:  $Q_n$  (vazão nominal)  $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$  – diâmetro de  $\frac{3}{4}$ ”; como mostra a Figura 3.4:



Figura 3.4 - Medidor Multijato Multimag  $\frac{3}{4}$ ”.

- **Medidor Modelo Flodis** classe C:  $Q_n$  (vazão nominal)  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$  – diâmetro de  $\frac{3}{4}$ ”; apresentado na Figura 3.5:



Figura 3.5 - Medidor Flodis  $\frac{3}{4}$ ”.

- **Medidor Modelo Flodis** classe C:  $Q_n$  (vazão nominal)  $3,5 \text{ m}^3/\text{h}$  – diâmetro de 1”; como pode ser visto na Figura 3.6:



Figura 3.6 - Medidor Flodis 1”.

- **Cyble pulsados K1** : para ser usada em conjunto com os medidores de vazão a interface ótica e os Log Box. Como mostra a figura 3.7.



Figura 3.7 - Cyble pulsado K1.

- **LOGBOX-AA IP65:** para ser usada em conjunto com os medidores de vazão, a interface ótica e o cyble pulsado. Como mostra a figura 3.8:



Figura 3.8 - Log Box.

- **Interface de Comunicação Ótica:** IrLink3-USB com software, conforme Figura 3.9:



Figura 3.9 - Interface de comunicação ótica.

Foram verificados o destino final do esgoto sanitário gerado na Universidade e os dados quali-quantitativos históricos do tratamento do esgoto na ETE, bem como o fluxograma do sistema atual de tratamento na ETE.

Para completar o diagnóstico de uso da água, foi verificada a quantidade de energia gasta no ciclo de vida do uso da água na edificação piloto como, por exemplo, no sistema elevatório para a captação da água, nas bombas e na aeração da ETE, entre outros.

Neste estudo, os dados quantitativos disponíveis de água e esgoto foram disponibilizados pelo setor de saneamento da UPF. No caso da oferta de água potável e no caso dos dados da ETE, os dados históricos de vazão e qualidade, são disponibilizados desde o ano de 2006.

Com isso, é finalizado o diagnóstico quantitativo de uso da água no sistema, e assim caracterizado o uso da água na edificação. Conforme a metodologia de Oliveira (1999) o diagnóstico é a síntese organizada das informações obtidas na auditoria do consumo de água.



### 3.1.1.2 Diagnóstico qualitativo de uso da água

Para a consolidação dos dados qualitativos dos sistemas foi realizado um levantamento no Setor de Saneamento Ambiental da UPF, para obtenção dos parâmetros de qualidade. O período disponível de dados foi dos anos de 2006 a 2012. Além disso, foram realizadas coletas e análises qualitativas para complementação dos dados.

Para o sistema de água potável, os dados foram comparados com parâmetros de potabilidade da Portaria do Ministério da Saúde, MS 2914 de 2011.

Para sistemas de água pluvial (cenário aproveitamento de águas pluviais), foram consideradas análises quali-quantitativas da água nos reservatórios de armazenamento de águas pluviais, já existentes no Centro de Convivência da UPF, que é um sistema novo, implantado no ano de 2011. Neste caso, os dados tiveram um período coberto de dezesseis meses, finalizando o monitoramento no ano de 2012. Os dados foram comparados com parâmetros da NBR 15527 (ABNT, 2007) para fins não potáveis.

Para os elementos quali-quantitativos de esgoto, foram utilizados os parâmetros de operação da ETE da Universidade, e também as normas NBR 9649 (ABNT, 1986) e NBR 12209 (ABNT, 2011).

As análises qualitativas realizadas foram feitas no LACE (laboratório de análise e controle de efluentes), Laboratório de águas, no Laboratório de microbiologia e no Laboratório de saneamento ambiental da Universidade de Passo Fundo. Todas as análises são realizadas de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, AWWA, WEF, 1999).

Os valores obtidos de concentrações foram convertidos para cargas, em função da vazão considerada em cada cenário, de onde resultaram em valores médios anuais para o inventário de cada sistema.

A análise dos impactos na dimensão ambiental segue os preceitos da metodologia ACV, cujas considerações estão apresentadas no item 3.2.

### 3.1.2 Indicadores de impactos sociais

Os indicadores e aspectos para avaliar os impactos sociais foram levantados em conjunto com os dados ambientais, através de aplicação dos questionários e entrevistas,

análise de documentos da Instituição, e conforme adaptação das metodologias observadas na revisão de literatura.

Construiu-se um questionário estruturado para a comunidade acadêmica envolvida (comunidade interna), elaborado em uma linguagem acessível, onde foram medidos os graus de importância dos problemas e nível de satisfação, associados ao uso da água em edificação, bem como outros dados para os indicadores sociais. O questionário pode ser visualizado no Apêndice A. Foram aplicados questionários para os atores sociais da comunidade interna (alunos, professores, funcionários de secretaria, funcionários da limpeza, laboratoristas, responsável pela gestão da unidade ou encarregado administrativo). Os dados sociais foram analisados na Escala Lickert, com valores de 1 a 5, onde o menor valor significou insatisfação ou “não concordo” com o indicador e o maior (5) significou satisfação ou “concordo totalmente” com o indicador. E, também, alguns indicadores foram relacionados em percentualidade.

Os dados sociais da comunidade acadêmica (interna) foram: faixa etária, gênero, duração de jornadas de trabalho, benefícios sociais, à educação e à saúde, segurança e acidentes de trabalho, grau de instrução/titulação, sindicatos e associações coletivas, acesso à água potável, acesso a banheiros, hábitos de uso da água, satisfação em relação ao uso e a limpeza dos ambientes sanitários, nível de aceitação sobre fontes alternativas de água, atendimento às leis ambientais, por exemplo.

Em relação à comunidade externa os indicadores utilizados foram: comprometimento público com questões sustentáveis, contribuições para o desenvolvimento econômico, desenvolvimento tecnológico, e relacionamento com a sociedade. Os questionários foram aplicados nos principais órgãos públicos do município, escolas, unidades de saúde, empresas de consultoria ambiental e saneamento, e principais empresas que mantêm relação comercial com a Universidade.

A análise dos impactos na dimensão social segue os princípios da ACV-S, conforme apresentado na revisão de literatura.

### **3.1.3 Indicadores de impactos econômicos**

Em relação aos dados de custos (dados econômicos), os levantamentos realizados foram todos os custos envolvidos no ciclo de vida do uso da água de cada cenário da pesquisa. O período de vida útil foi considerado para 25 anos.

Os dados do cenário atual foram levantados junto aos setores respectivos na UPF. Quando o cenário envolveu o uso de fontes alternativas de água, optou-se por incluir no estudo o custo médio de investimento do sistema (de água pluvial) ou de melhorias na ETE (em função do reúso), com base em estimativas da literatura (TOMAZ, 2005; MIERZWA, 2005; VON SPERLING, 2005; JORDÃO e PESSOA, 2011; METCALF & EDDY, 2003). Os dados dos cenários de fontes alternativas foram calculados de acordo com a alocação feita, em termos de vazão e quantidades de produtos.

Como foi analisada a etapa de uso (operacional) de cada cenário, somente os custos vinculados ao uso da água (todo o ciclo de vida) e manutenção do sistema foram levados em consideração. Os custos de operação incluíram, basicamente, o pessoal do setor de saneamento (que opera a estação de tratamento, também responsáveis pelo abastecimento da água potável), assim como os custos referentes à energia elétrica e produtos químicos, às análises laboratoriais, licenciamentos ambientais, transportes, em média anual. Os custos de manutenção foram estimados, anualmente, com base em um percentual do investimento inicial necessário para a implantação de obras.

Em função da água no Campus ser de origem subterrânea, considerou-se, também, o valor por m<sup>3</sup> deixado de pagar pela Instituição à concessionária local pelo fornecimento da água potável, em todos os cenários.

A análise dos impactos na dimensão econômica foi realizada com os princípios da metodologia de CCV, conforme apresentado na revisão de literatura. Assim, o impacto econômico foi considerado como sendo igual aos custos totais de cada cenário.

### **3.1.4 Tamanho da amostra de questionários aplicados**

Foi construída uma amostra balanceada e representativa da comunidade em estudo, de forma a caracterizá-la em um dado espaço de tempo. O tamanho da amostra foi determinado estatisticamente, através do Método de Amostragem Aleatória Simples, que é um método onde os elementos da amostra são extraídos de forma aleatória. O nível de significância foi estabelecido em 95%, ou seja,  $\alpha = 0,05$ . O erro máximo de estimação ( $\epsilon$ ) foi fixado em 0,5. Com o valor total da população (comunidade interna), calculou-se o tamanho da amostra para a aplicação do questionário, conforme a Equação (3.1):

$$n = \frac{Z_{\alpha/2}^2 \cdot \sigma^2 \cdot N}{Z_{\alpha/2}^2 \cdot \sigma^2 + (N - 1) \cdot \epsilon^2} \quad (3.1)$$

Onde:

$n$  é o tamanho da amostra;

$Z_{\alpha/2}$  é o nível de significância (utilizou-se o nível de significância de 95% que está associado a  $Z = 1,96$  desvios-padrões da distribuição normal);

$\sigma^2$  é a variância da população;

$N$  é o número total da população pesquisada; e

$\epsilon$  é o erro, fixado em 0,5.

Assim, o tamanho da amostra recomendado seria de 64,15 questionários para a comunidade interna. Adotou-se o valor de 65 questionários para o tamanho da amostra.

### 3.2 Considerações sobre a aplicação da ACV

Para analisar os impactos ambientais do ciclo de vida do uso da água nos cenários da pesquisa, foi realizada a ACV de todo o processo de uso da água, desde a entrada de água no sistema (extração da água da natureza), até o destino final da água (lançamento do esgoto tratado no corpo hídrico receptor). Por esta razão, foi definido o objetivo, a função, a delimitação do sistema a ser analisado, assim como a unidade funcional, como forma de estabelecer o inventário de cada alternativa. Assim, tem-se que:

O objetivo da ACV é identificar e comparar os potenciais impactos causados especificamente pelo uso da água em edificações de ensino superior, aplicada em um estudo de caso na Universidade de Passo Fundo. Através disso, este estudo realiza a avaliação da sustentabilidade do uso da água em edificações e discute sobre diferentes cenários de fontes alternativas de água.

Foi possível identificar, a partir das investigações no local, que o ciclo de vida do uso da água na edificação pesquisada, no cenário atual, é composto, basicamente, por cinco etapas principais, que são: a captação/desinfecção/reservação da água subterrânea; o uso da água na edificação; a geração/transporte de esgoto; o tratamento na ETE; e o lançamento do esgoto tratado no corpo hídrico receptor.

Com isso, os limites do sistema estudado e os fluxogramas da pesquisa foram definidos para a fase de uso do sistema hidráulico, considerando, desde a captação da água subterrânea, até o seu descarte final. Não foram, portanto, considerados dados da fase de instalação dos sistemas e da construção da edificação, nem das fases anteriores a essa, como, por exemplo, extração de matéria-prima para fabricação dos equipamentos e instalações.

Em relação ao estabelecimento da função do sistema, foi definida: quantificar e avaliar o uso a água em uma edificação piloto e seus impactos associados. Assim, definiu-se como unidade funcional: o volume médio de água utilizado na edificação piloto ao longo de um ano, ou seja, o valor médio, em  $m^3$ , de uso da água na edificação em um ano ( $m^3 \cdot \text{ano}^{-1}$ ). Considerou-se um valor prático e representativo do uso da água em edificações. Como fluxo de referência: quais as cargas ambientais geradas pela unidade funcional da pesquisa?

O escopo, a função do modelo, a unidade funcional, os fluxos de referência, o inventário do ciclo de vida (ICV) e análise (ACV), foram realizados com base na NBR 14040 (ABNT, 2009a) e NBR 14044 (ABNT 2009b), e todos os dados utilizados na aplicação da ACV foram relacionados à unidade funcional.

Como a aplicação é em estudo de caso na UPF, as fronteiras do sistema foram consideradas: Geográfica, conforme a região de localização da Instituição; Temporal: com relação ao período dos dados, nesse caso, foram utilizadas informações que representassem a atualidade, da forma mais próxima possível, utilizando-se os dados obtidos no diagnóstico do uso da água na edificação piloto. Também foram utilizados dados de inventários de banco de dados levantados na literatura e, neste caso, adaptados e, no que concerne à qualidade dos dados, esses foram, preferencialmente, com idade inferior a dez anos e, sempre que possível, buscando refletir a realidade local.

Para o inventário do ciclo de vida (ICV), foram realizados os procedimentos de cálculo e foram utilizados: os dados quantitativos do diagnóstico dos usos da água na edificação piloto, que foram levantados através da adaptação da metodologia de Oliveira (1999) e FIESP/ANA/SINDUCON-SP (2005); dados levantados pela aplicação dos questionários aos usuários da água na edificação do estudo; dados qualitativos: de água potável, de águas pluviais e da ETE; e outros dados, como entrevistas, análises de documentos e levantamentos e medições *in loco*.

Alguns dados adaptados de inventários de banco de dados levantados na literatura, como, inventário da geração da energia elétrica no Brasil, da fabricação do hipoclorito de sódio utilizado no tratamento da água, para o transporte do resíduo sólido do tratamento de

esgoto (areia removida no desarenador) até o aterro sanitário, por exemplo. Neste caso, a biblioteca utilizada foi o *Ecoinvent* versão 2.1 (2009).

Para o ICV da pesquisa foram realizados os seguintes procedimentos:

- Preparação para a coleta de dados: esta etapa incluiu a construção de fluxogramas e a descrição dos processos unitários, a listagem das categorias de dados associados, a determinação das unidades de medida, dos métodos de coleta, e dos cálculos utilizados. Nesta etapa é que foram elaborados os questionários e as planilhas de coleta para aquisição dos dados;

- Coleta de dados: onde foram obtidos os valores das entradas e saídas consideradas;

- Procedimento de cálculo: após a coleta de dados, foram realizados os cálculos para adequá-los aos processos unitários e à unidade funcional, além de verificar sua validade através de balanços de massa e energia, e análise comparativa;

- Refinamento das fronteiras do sistema: foram feitas análises de sensibilidade para incluir apenas os aspectos mais significativos. A Figura 3.10 apresenta o esquema dos passos utilizados para a análise do inventário.

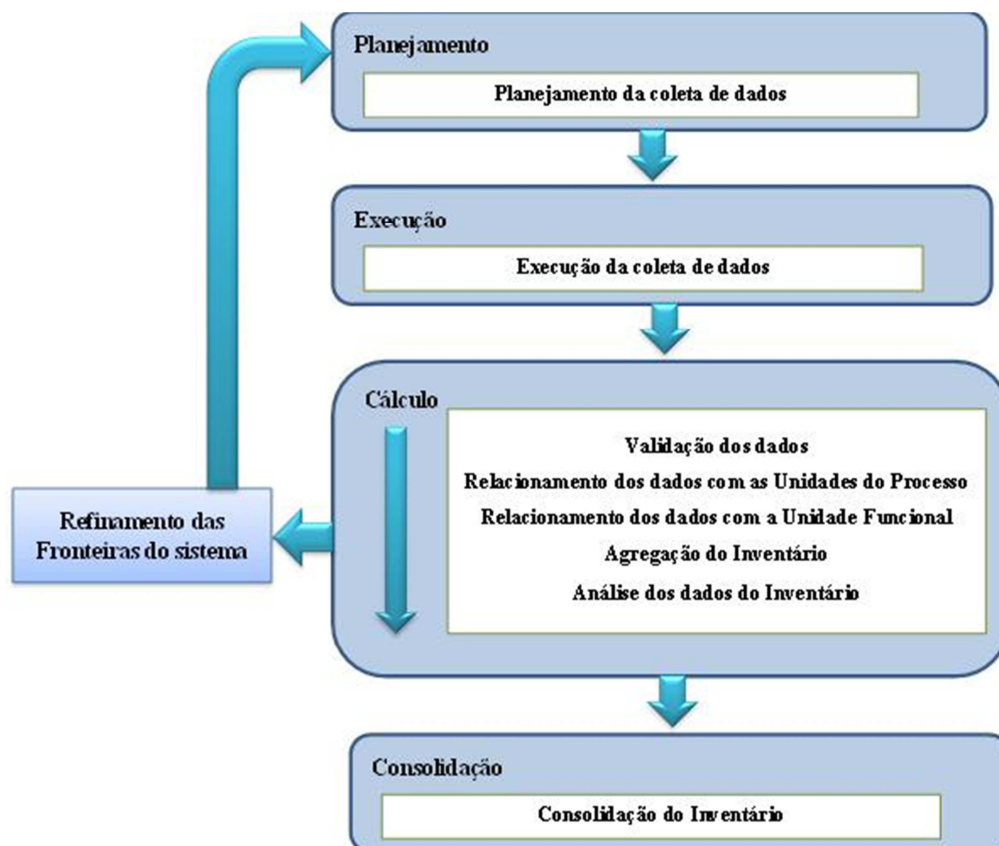


Figura 3.10 – Passos da análise de inventário.

(Fonte: Adaptado de ABNT, 2009a).

Para a elaboração do Inventário foram avaliadas as quantidades de poluentes, que contribuem nas categorias de impactos, que influenciam diretamente o corpo hídrico receptor. Para expressar a perda de qualidade da água devido ao acréscimo de substâncias pelo seu uso (degradação da água) foi necessário verificar as características qualitativas. Portanto, para cada etapa (subsistema) do ciclo de vida, foi preciso obter as características qualitativas e quantitativas dos fluxos de água, por meio da identificação das vazões, concentrações e cargas (massas) das substâncias presentes.

Para consolidar o inventário final do uso da água, foi necessário relacionar os valores encontrados em cada etapa com a unidade de referência do ciclo de vida, ou seja, o volume médio anual de cada cenário. Isso significa que todos os fluxos do uso da água foram transformados para esse valor de entrada (unidade funcional) e o valor de geração de esgotos. Levou-se em consideração a concentração média das principais substâncias presentes na água ou efluente, em mg/L, e seu volume anual, e com isso pode-se obter as entradas/saídas de cargas ambientais, em kg/ano.

Decidiu-se analisar os materiais que, por sua quantidade presente nos sistemas, fossem relevantes para o resultado final da pesquisa. De acordo com os objetivos deste estudo, têm-se como enfoque apenas os fluxos elementares relacionados ao uso da água. Utilizando-se critérios de corte, foi verificado que alguns parâmetros qualitativos do uso da água contribuem com menos de 1% para a alocação dos sistemas, não são representativos, ou não foram detectados nos métodos analíticos e, por esse motivo, não foram consideradas neste estudo.

De acordo com a NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b), quando a alocação não puder ser evitada, convém que as entradas e saídas do sistema sejam subdivididas entre seus produtos ou funções, de maneira a refletir as relações físicas subjacentes entre eles; isto é, convém que seja refletida a maneira pela qual as entradas e saídas são alteradas por mudanças quantitativas. Essa distribuição (alocação) deve ser realizada de forma proporcional, conforme algum critério de valorização destes subprodutos. Neste estudo, o critério de alocação empregado foi o de mudança quantitativa de vazões, em cada fase do uso da água e consequentes cargas ambientais (massas) relacionadas.

Os indicadores de consistência das diferenças tecnológicas, temporais e geográficas foram avaliados em: completamente representativo, parcialmente representativo, não representativo. Para esta pesquisa foram considerados completamente representativos os dados retirados do banco de dados do Ecoinvent e dados primários coletados. Os dados parcialmente representativos foram considerados aqueles retirados da literatura, que estão de

acordo com o escopo deste estudo. E os dados não representativos são representados pelos adaptados ou emprestados de processos similares (secundários).

Para análise dos impactos ambientais, AICV, utilizou-se o software SimaPro versão 7.3.2.. O SimaPro vem com bibliotecas na forma de bases de dados de materiais e processos, acoplados com ferramentas de cálculo de impactos, ou métodos de avaliação de impactos, como o EcoIndicator 99, Impact 2002+, Traci, CML 2001, entre outros. Realiza checagem dos balanços de massa, cálculos do inventário e da caracterização dos indicadores de categoria de impactos. Permite, também, a criação de vários ciclos de vida dos sistemas de produto, disponibiliza comparativos entre cenários e análise por diversas visões, e aplica o método de Monte Carlo para análise de incertezas (GOEDKOOOP et al., 2008). No estudo utilizou-se, em alguns fluxos, a biblioteca de inventários *Ecoinvent* v2.1 do SimaPro.

O método de avaliação de impactos selecionado foi o IMPACT 2002 +, por ser um método já bastante utilizado no mundo, mas, principalmente, por permitir resultados em nível *midpoint* e *endpoint*, por realizar a normalização e ponderação dos impactos, e por conter as categorias de danos: saúde humana, qualidade do ecossistema, mudanças climáticas e esgotamento de recursos naturais.

No método IMPACT 2002+, as categorias de impactos de ponto médio (*midpoints*) são expressas em massa de equivalente de substância, que é uma substância de referência que atinge a categoria com um impacto ponderado. Por exemplo, ecotoxicidade (expressa em kg de trietilenoglicol na água equivalentes, "kg TEG water eq"), a acidificação (kg de dióxido de enxofre no ar equivalente, "kg SO<sub>2</sub> eq") e eutrofização (kg de fosfato, "kg PO<sub>4</sub> eq"). Além destes, outras categorias de impacto podem ser avaliadas, como a emissão de substâncias carcinogênicas ou cancerígenas (em kg de cloroetano equivalente, "kg C<sub>2</sub>H<sub>3</sub>Cl eq"), ou categoria impacto do aquecimento global (kg CO<sub>2</sub> equivalente).

Os valores de referência de substâncias equivalentes são agrupados em categorias de danos (*endpoints*), para comparar o dano provocado. E as categorias de dano expressam o impacto sobre: a saúde humana, a qualidade do ecossistema, as alterações climáticas e o esgotamento de recursos naturais. Todos os resultados do ICV são ligados às categorias de impactos de ponto médio, e estas por sua vez, são ligadas às quatro categorias de danos. A publicação original deste método (JOLLIET et al., 2003) pode ser útil para a compreensão da metodologia de impacto, para as caracterizações de fluxos, e para os procedimentos de cálculos envolvidos.

O Quadro 3.1 apresenta as categorias de impacto, de danos e as unidades correspondentes do método IMPACT 2002+.



Quadro 3.1 – Categorias de impactos, de danos e unidades correspondentes no Impact 2002+.

Inventário	Categoria de Impacto (Midpoints)	Unidade	Categoria de dano correspondente (Endpoints)	Unidade
Resultados do ICV	→ Cancerígeno (toxicidade humana)	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq.	Saúde Humana	DALY
	→ Não cancerígeno	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq.		
	→ Efeitos respiratórios	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq.		
	→ Radiação iônica	Bq C-14 eq.		
	→ Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq.		
	→ Ecotoxicidade aquática	kg TEG water eq.	Qualidade do ecossistema	PDF.m <sup>2</sup> .yr
	→ Ecotoxicidade terrestre	kg TEG soil eq.		
	→ Ocupação terrestre	m <sup>2</sup> organic arable eq.		
	→ Acidificação aquática	kg SO <sub>2</sub> eq.	n/a	n/a
	→ Eutrofização aquática	kg PO <sub>4</sub> eq.		
	→ Aquecimento global	kg CO <sub>2</sub> eq.	Mudança climática	Kg CO <sub>2</sub> eq.
	→ Energia não renovável	MJ primary eq.	Recursos naturais	MJ energia
	→ Extração mineral	MJ surplus eq.		

Onde: n/a - não calculado pelo método de avaliação em nível de dano, mas relacionado à qualidade do ecossistema.

Fonte: Elaborado a partir de Jolliet et al., 2003; PRÉ Consultants, 2010.

No Quadro 3.1, a categoria de dano Saúde Humana envolve a ciência de que qualquer indivíduo pode ser prejudicado, tanto pela diminuição do tempo de vida por uma morte precoce, quanto pela redução, temporária ou permanente, de alguma das funções vitais do organismo. É expressa em DALY (*Disability Adjusted Life Years*), que, em português, seria Deficiência Ajustada de Anos de Vida, comparando tempo vivido com incapacidade e o tempo perdido devido à mortalidade prematura, em relação a uma esperança de vida ideal cujo padrão utilizado foi o do Japão, país com maior esperança de vida ao nascer do mundo (80 anos, para homens e 82,5 anos, para mulheres). O DALY é uma escala de pesos que foi desenvolvida para a OMS e para o Banco Mundial para diversas inaptidões causadas por doenças, cuja pontuação da escala varia de zero a um (PRÉ CONSULTANTS, 2010). O valor zero indica saúde perfeita, enquanto o valor um significa a morte. Dessa forma, para o cálculo da categoria danos a saúde humana, o fluxo de substâncias tóxicas e emissões, expressas em kg ou toneladas por ano, resultará em um número de DALY's.

Para medir a categoria de qualidade do ecossistema é utilizada a unidade PDF.m<sup>2</sup>.yr (*Potentially Disappeared Fraction* – PDF) ou Potencial de Desaparecimento de Espécies, por área por ano. Baseia-se no cálculo da fração potencial afetada (PAF) de espécies em relação à concentração de substâncias tóxicas. A PAF expressa a porcentagem de espécies que é exposta para uma concentração acima do limite no qual não se observa nenhum efeito. Já, a

para o caso de ocupação terrestre, os danos podem ser causados pelo aumento no tamanho da área ocupada, ou no tempo de ocupação de restauração, para uma área anteriormente convertida.

A categoria danos aos recursos naturais relaciona-se aos recursos naturais e aos combustíveis fósseis. Não renovável, diz respeito ao estoque finito de matéria-prima. A base para análise dos danos aos recursos é feita em função da necessidade adicional de energia para extração desses recursos, à medida que sua concentração decresce. Isto é, quanto mais recursos são extraídos, tanto maiores serão as necessidades de energia para sua extração no futuro. É expressa em MJ de energia.

A categoria mudanças climáticas, expressa o aquecimento global causado pelos gases do efeito estufa e é expressa em kg de CO<sub>2</sub> equivalentes. Aquecimento global refere-se ao aumento da temperatura média da Terra, que, por sua vez, causa alterações no clima terrestre. Estando o clima mais quente, isso leva a mudanças no regime de chuvas, aumento do nível do mar e diversos outros impactos no ambiente natural e no homem (JOLLIET et al., 2005).

Seguindo o método selecionado, para caracterização dos impactos foram escolhidas as seguintes categorias de impactos ambientais: potencial de aquecimento global, potencial de depleção da camada de ozônio, potencial de acidificação, de eutrofização, ecotoxicidade aquática e terrestre, carcinogênicos (toxicidade humana) e energia não renovável. Portanto, sua aplicação e análise foram realizadas de acordo com os passos realizados pelo programa, conforme seu manual (PRÉ CONSULTANTS, 2010).

O conjunto de dados do IMPACT 2002+ abrange uma ampla variedade de efeitos sobre o meio ambiente. As entradas referentes ao uso da água foram quantificadas, por exemplo, em metros cúbicos (m<sup>3</sup>) e as entradas referentes aos produtos em quilogramas (kg) de material. Para o consumo de energia, as entradas foram quantificadas em (kWh). As saídas relativas às emissões atmosféricas ao longo do ciclo de vida foram quantificadas em kg de gás emitido para a atmosfera. Já, as saídas relativas às emissões aquáticas foram quantificadas em kg de substância emitida nos cursos d'água, e às emissões no solo, em kg de substância despejada no solo.

Os resultados são posteriormente normalizados e ponderados, de modo a perceber a magnitude do impacto na globalidade do problema ambiental. Assim, o fator de dano é normalizado, dividindo-se o impacto por unidade de emissão, pelo impacto total de todas as substâncias da categoria específica para a qual existem fatores de caracterização, por pessoa por ano. O IMPACT 2002+ procede à normalização, com base nos efeitos causados por um cidadão europeu médio, ao longo de um ano. Esta informação é agrupada para a formação de

um escore final, que será o valor do indicador em pontuação única (Fator de Ponderação), em uma unidade chamada Ecopontos (Pt) ou quando o resultado em Pt é multiplicado por 1000 resulta em mPt. A magnitude deste valor numérico expressa a magnitude do impacto ambiental global. Quanto maior for o valor do indicador, maior será o impacto ambiental do produto, atividade ou exploração.

Como foram avaliados três cenários de uso da água, o atual e mais dois futuros, de uso de fontes alternativas de água, os resultados de cada cenário e análise dos impactos estão apresentados em subitens separados, no capítulo dos resultados da pesquisa, com o intuito de apresentar de forma mais clara as características de cada fase do ciclo de vida de cada cenário.

### **3.3 Análise da sustentabilidade do ciclo de vida - ASCV**

Baseados na definição do diagnóstico e validação dos indicadores foram analisados os impactos do uso da água em edificações de ensino, conforme exposto anteriormente na Figura 3.1, para verificar qual dos cenários analisados seria mais sustentável para o uso da água, sob o ponto de vista das três dimensões: ambiental, social e econômica.

Após discussão a cerca dos resultados obtidos, dentro do escopo da pesquisa, realizou-se uma análise comparativa entre os cenários, utilizando-se uma forma de agregação que possibilitou interpretar de maneira integrada as três dimensões de sustentabilidade, visto que, separadamente, a melhor alternativa por uma das dimensões não será necessariamente a melhor para as outras dimensões. A análise visa à integração das dimensões obtidas, para avaliação da situação de sustentabilidade do ciclo de vida de uso da água em edificações, e constatar qual, ou quais os cenários são mais sustentáveis de uso da água. A metodologia da ASCV utilizada foi baseada em UNEP/SETAC *Life Cycle Initiative* (2012).

Através das respostas nos questionários aplicados na comunidade interna e externa, sobre as dimensões ambientais, sociais e econômicos, foi possível mensurar os pesos para cada dimensão da sustentabilidade. Para evitar possíveis distorções na ponderação feita pela comunidade, a partir dos questionários, foi, então, incorporada a opinião de especialistas, com o intuito de se buscar o respaldo dos mesmos para o estudo em questão.

Quanto aos especialistas: neste estudo, foram denominados especialistas todos aqueles profissionais que atuam na área de saneamento ambiental, em pesquisa, projeto, operação e gestão, bem como especialistas que atuam na área social e econômica. Assim, foram

selecionados alguns profissionais enquadrados nestas áreas e o instrumento da pesquisa para avaliar os pesos das dimensões avaliadas, foi enviado por meio da Internet e/ou entregues pessoalmente. Nesta etapa da construção do peso, por não haver aplicação de método estatístico, não houve uma preocupação no estabelecimento do tamanho da amostra. A preocupação maior ficou centrada no equilíbrio de profissionais consultados, segundo as áreas mencionadas. Dos quarenta instrumentos enviados aos especialistas, trinta e quatro retornaram respondidos.

A priorização dos pesos foi baseada, então, no grau de importância que as pessoas entrevistadas atribuíram a eles.

Desta forma, foi obtido um valor com as médias dos pesos associado à comunidade e outro, aos especialistas. Como o valor resultante entre os mesmos mostrou-se conflitante, foram atribuídos pesos de importância para ambas as avaliações, e o valor de peso final foi obtido através da média ponderada entre os dois valores analisados. Cada cenário analisado resultou em um valor final de sustentabilidade do uso da água.

Tendo em vista os resultados dos pesos obtidos pela comunidade e especialistas, optou-se pela seguinte ponderação, no que diz respeito aos pesos de cada dimensão da sustentabilidade: 70% para os especialistas e 30% para a comunidade, para a ponderação do índice de sustentabilidade (IS).

### **3.4 Análise de incerteza da qualidade dos dados**

Análises de sensibilidade e incertezas podem ser realizadas em diferentes etapas da ACV. Na literatura existem diversas metodologias disponíveis para o cálculo. Para analisar as incertezas associadas com a análise do inventário, avaliação do impacto e os processos de normalização e ponderação, utilizou-se a análise de Monte Carlo, realizada pelo próprio software SIMAPRO.

O método de Monte Carlo, também chamado de amostragem estocástica, envolve a amostragem aleatória de cada distribuição de probabilidade, de acordo com o modelo, para produzir milhares de cenários. Cada distribuição de probabilidade dos dados de entrada é relacionada a uma grandeza de saída (SALLABERRY, 2009). O número de amostras aleatórias do método produz um erro aleatório, que depende do número de simulações a serem realizadas. O número de amostras deve ser suficientemente grande para assegurar que esse

erro seja suficientemente pequeno (SILVA et al., 2011). O método simula a variação dos parâmetros por meio do desvio-padrão e das probabilidades fornecidas, retornando uma nova média e desvio-padrão para cada parâmetro solicitado.

Para Lima et al., (2008) a simulação de Monte Carlo é uma forma de avaliação interativa de um modelo determinístico, usando números randomizados como entradas. Esse método é mais utilizado quando o modelo é complexo ou não linear, ou quando envolve um número razoável de parâmetros de incerteza. A Figura 3.11 ilustra o processo de simulação de Monte Carlo para uma situação com quatro variáveis.

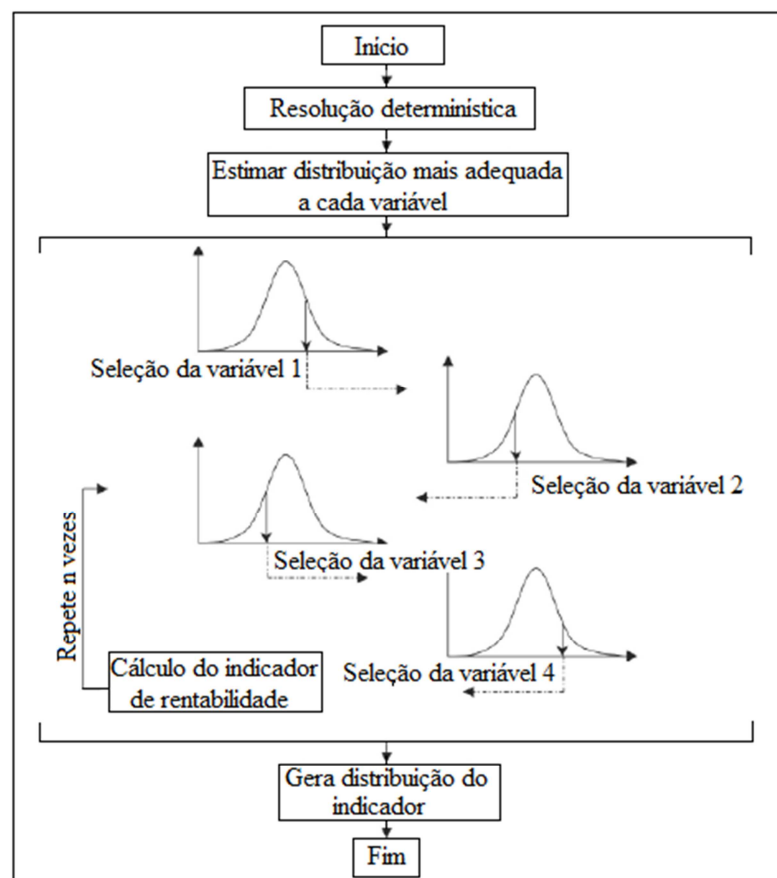


Figura 3.11 – Processo de simulação de Monte Carlo para uma situação com quatro variáveis.

(Fonte: Adaptado de Ponciano et al., 2004).

## 4 ESTUDO DE CASO NO CAMPUS UNIVERSITÁRIO I DA UPF

A seguir são descritas as características do estudo de caso no Campus Universitário, para a aplicação da pesquisa.

### 4.1 Caracterização do local

A aplicação do estudo de caso foi na Universidade de Passo Fundo, que está localizada no município de Passo Fundo, no norte do Estado do Rio Grande do Sul. Passo Fundo é a maior cidade da região, com uma densidade de 238,4 hab/km<sup>2</sup>, totalizando 186.051 habitantes, com uma área territorial de 780,40 km<sup>2</sup>, dados do ano de 2011 (FEE, 2012). A Figura 4.1 localiza o município de Passo Fundo e a Figura 4.2 apresenta a vista aérea do núcleo central da cidade de Passo Fundo.

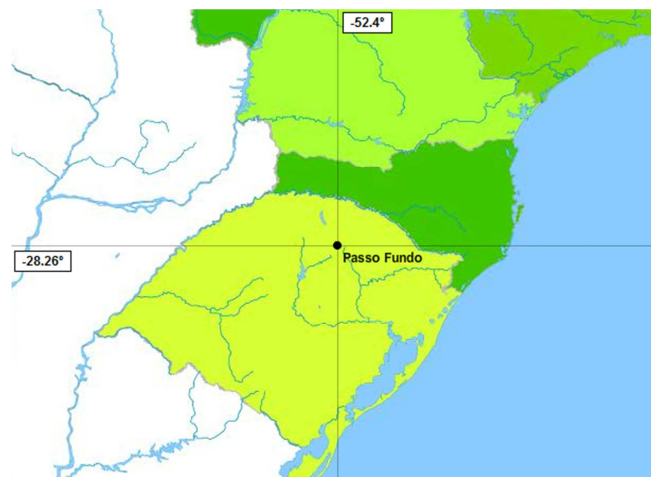


Figura 4.1 – Localização do município de Passo Fundo - RS.

(Fonte: IBGE, 2012).



Figura 4.2 - Vista aérea do núcleo central da cidade de Passo Fundo.

(Fonte: PMPF, 2006).

O município de Passo Fundo está localizado em um divisor de águas, com parte situada na Bacia Hidrográfica do Rio Passo Fundo (BHPPF) e parte na Bacia Hidrográfica do Alto Jacuí. Nos limites do município estão as nascentes do Rio Passo Fundo e do Rio Jacuí, sendo sede dos dois comitês dessas bacias hidrográficas (CBHPPF e COAJU) (DRH-SEMA/CBHPPF, 2012). A Bacia Hidrográfica do Rio Passo Fundo, na qual a Universidade, objeto do estudo de caso está inserida, abrange 30 municípios do norte do Estado e possui uma área de drenagem de 4.847,25 km<sup>2</sup>, desaguando no Rio Uruguai.

## 4.2 Caracterização do Campus Universitário

A maior função de uma Universidade é a difusão de conhecimentos. E nisso está à conscientização sobre as questões tecnológicas, econômicas, sociais e ambientais. Além do ensino, em uma universidade, se desenvolve pesquisa e atividades de extensão. E há também a parte administrativa nas suas atividades. Mas há abrangência entre as Instituições de Ensino Superior – IES, muitas vezes determinadas pelas necessidades e características de cada região.

A Universidade de Passo Fundo é uma instituição de ensino comunitária, que possui sua sede no município de Passo Fundo e seis campi em municípios da região. O Campus I foi implantado em 1968, fora da zona urbana, segundo o modelo anglo-saxão de localização dos centros universitários na periferia das cidades. Entretanto, o processo de crescimento de Passo Fundo mudou este panorama e, atualmente, apresenta seus limites ocupados com áreas urbanizadas, com um grande potencial de ocupação e de construção de residências para classe média, comércio e serviços (BRANDLI et al., 2007).

Atualmente, mais de 20 mil alunos, além dos professores e funcionários constroem a universidade em suas 12 unidades de ensino no Campus I, em Passo Fundo, e mais seis campi, instalados nas cidades de Casca, Carazinho, Lagoa Vermelha, Palmeira das Missões, Sarandi e Soledade. A UPF possui alunos nos mais diversos cursos de graduação, pós-graduação *latu e stricto sensu*, cursos técnicos, cursos de idiomas e curso integrado de nível médio. Os cursos funcionam nos turnos manhã, tarde e noite, também podendo haver aulas no vespertino. O Campus I da UPF está localizado nas margens da BR 285. A Figura 4.3 apresenta o Pórtico da entrada do Campus I da UPF, em Passo Fundo.



Figura 4.3 – Pórtico da entrada da UPF.

(Fonte: UPF, 2012).

A Figura 4.4 apresenta o mapa do Campus I da Universidade de Passo Fundo, onde FEAR - Faculdade de Engenharia e Arquitetura; CETEC - Centro Tecnológico da Engenharia Civil e Ambiental; ICB – Instituto de Ciências Biológicas; e ETE: localização da Estação de Tratamento de Esgotos da UPF.



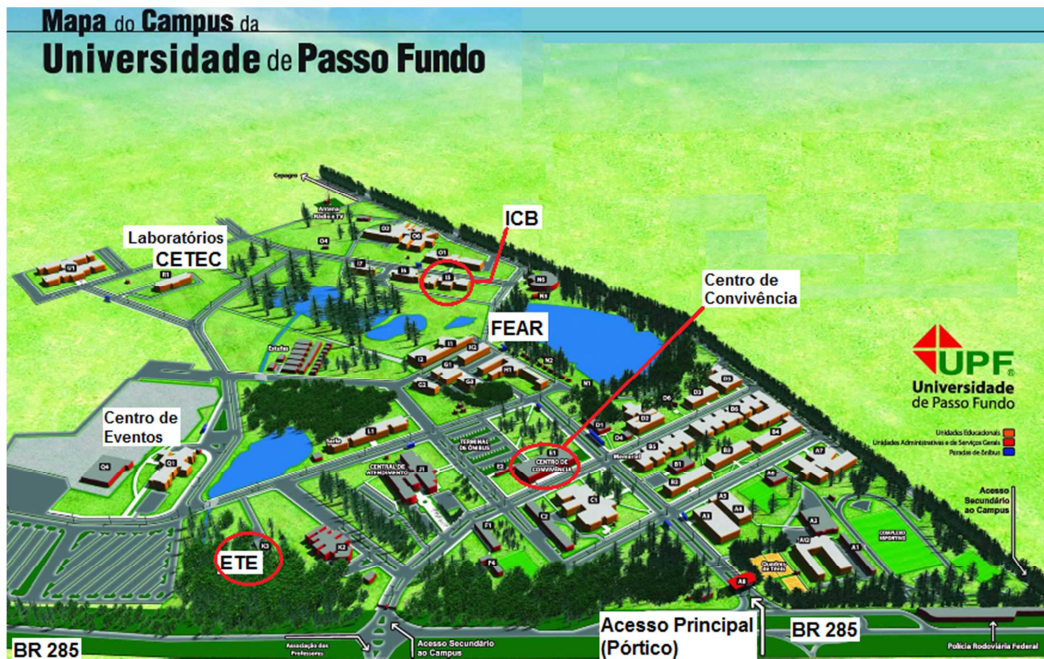


Figura 4.4 – Mapa do Campus I da UPF.

(Fonte: Adaptado de UPF, 2012).

A infraestrutura disponibilizada para a comunidade acadêmica teve grandes alterações nos últimos anos, com a construção de novos espaços e reforma de quase todos os prédios. Os alunos têm à sua disposição clínicas, laboratórios, anfiteatros e auditórios, 10 bibliotecas, salas de ensino prático experimental, museus, ginásios poliesportivos, salas de exposição, emissora de televisão universitária, emissoras de rádio, editora, zoológico, centro de línguas, centro de convivência, livrarias, além de ampla área verde.

#### 4.2.1 Descrição geral de uso da água no Campus I da UPF

Em relação ao uso da água no Campus I da UPF, existem diversos ambientes além dos ambientes sanitários, como, por exemplo, laboratórios, cozinhas, lanchonetes e refeitórios, ambientes de manutenção e limpeza, irrigação, piscinas, hospital veterinário, zoológico, entre outros.

A oferta de água na UPF se dá, principalmente, através da captação de água subterrânea, com desinfecção com hipoclorito de sódio, feita no próprio local de captação.

Algumas edificações no Campus fazem uso de sistemas de aproveitamento da água pluvial para fins não potáveis como, por exemplo, o CETEC e o Centro de Convivência do Campus I. Este último possui sistema de aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis, para uso em sistema de combate a incêndios e descargas de bacias sanitárias na própria edificação, já em funcionamento, com medição individualizada da água e histórico das leituras dos hidrômetros. A Figura 4.5 apresenta o Centro de Convivência da UPF, que possui área construída de 3.695 m<sup>2</sup>, com diferentes lojas, farmácia, livraria, agência bancária, praça de alimentação, entre outros. Na Figura 4.6 são mostrados os reservatórios do sistema de aproveitamento de águas pluviais do Centro de Convivência da UPF.



Figura 4.5 – Centro de convivência do Campus I da UPF.



Figura 4.6 – Reservatórios do sistema de aproveitamento de águas pluviais do centro de convivência da UPF.

Quanto às águas de reúso, atualmente, nenhuma edificação do Campus utiliza essa fonte alternativa.

Em relação aos esgotos, existe uma Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) no Campus I da UPF, que começou a operar no ano de 2006, e tem como função tratar apenas o esgoto sanitário gerado na Instituição. Os efluentes gerados nos laboratórios da instituição não são encaminhados para a ETE e têm destino específico, onde empresas terceirizadas e aptas fazem o tratamento e/ou descarte final. Das edificações mais antigas, algumas ainda continuam tendo seus esgotos tratados por tanque séptico, filtros e sumidouros individuais e, outras, depois do sistema individual de tanque séptico, já foram conectadas à rede coletora e ETE da UPF.

Nas edificações novas do Campus, os efluentes sanitários são lançados diretamente na rede coletora, através das caixas de passagem e, em algumas edificações, como o Centro de Convivência, em função dos restaurantes, foram instaladas caixas de gordura ou caixas separadoras de gordura que separam parte dos óleos e graxas, antes de serem conectadas à rede de esgotos. As caixas de gordura passam por manutenção periódica, para remoção dessas substâncias que são encaminhadas para tratamento específico, fora do Campus.

A ETE da UPF foi projetada para atender o esgoto gerado por uma população máxima de 18.000 pessoas, operando nos dias atuais com uma população aproximada de 16.000 contribuintes. É do tipo compacta e o seu sistema apresenta tratamento preliminar, tanque de equalização; tratamento secundário (biológico): fase anaeróbia (UASB), fase aeróbia (tanque de aeração), decantador secundário; desinfecção e disposição final, como pode ser observado na Figura 4.7, que apresenta o fluxograma do tratamento. A introdução de ar no tanque de aeração (lodo ativado) é proporcionada por dois aeradores aspirados de 7,5 cv, cada um. As Figuras 4.8 e 4.9 apresentam a vista geral da ETE da UPF.

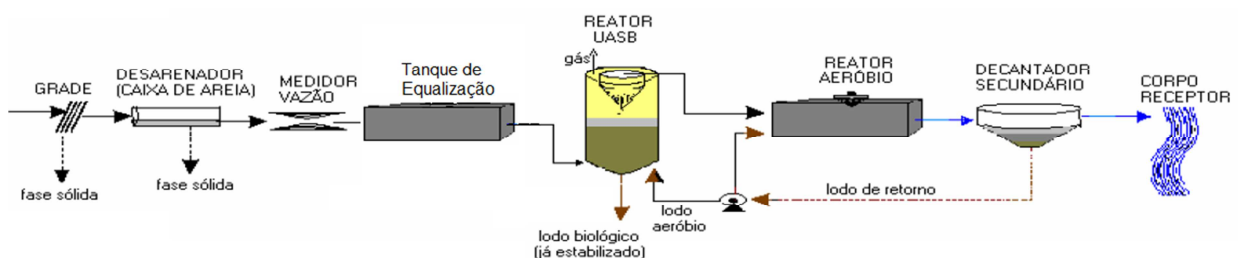


Figura 4.7 – Fluxograma do tratamento da ETE da UPF.

(Fonte: Adaptado de Von Sperling, 2005).



Figura 4.8 – ETE da UPF.



Figura 4.9 – Vista geral da ETE da UPF.

A rede coletora de PVC existente no Campus I da UPF conduz o esgoto sanitário até o sistema de entrada da ETE e tem uma extensão de 6,5 km. O esgoto bruto chega até a estação de tratamento, com vazão aproximadamente de 6 a 8 m<sup>3</sup>/h, no entanto esta vazão não é constante, tendo redução nos finais de semana e, principalmente, no período de férias. A rede coletora chega ao tanque de acúmulo da ETE toda por gravidade, e com baixa declividade, devido às boas condições topográficas. O tanque tem como finalidade manter um fluxo aproximadamente constante no bombeamento para o reator anaeróbio (UASB). A parte sólida excedente do tratamento é removida e disposta no leito de secagem.

A eficiência de tratamento da ETE é de aproximadamente 80% para a matéria orgânica, mas os parâmetros fósforo e nitrogênio, não estão sendo removidos com a eficiência a níveis ideais, permanecendo acima dos padrões estabelecidos do Conama e Consema. Atualmente, foi complementado o tratamento com uma etapa final de desinfecção, localizada na saída da ETE, antes da disposição final do efluente tratado no curso d'água receptor, atingindo assim o padrão permitido de lançamento.

Existe um setor de saneamento na Instituição responsável pelos efluentes líquidos e resíduos sólidos e também pelas análises de água e esgoto, o qual disponibilizou os dados qualitativos e quantitativos da ETE, desde o início de seu funcionamento.

Os efluentes dos laboratórios não são direcionados para tratamento na ETE. Esses são acondicionados nos próprios laboratórios, temporariamente, e após, são recolhidos pelo setor de saneamento ambiental da universidade, o qual os encaminha para o tratamento em ETE específica, fora do município.

## **5 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

### **5.1 Etapa 1: Investigação do ciclo de vida do uso da água em edificação**

Com os trabalhos e pesquisa de campo, análise documental da edificação do estudo, questionários aplicados e busca de dados referentes aos sistemas predial e arquitetônico, entre outros, obteve-se a auditoria do uso da água nos diferentes cenários. Nesta etapa, são apresentados os resultados do levantamento dos diagnósticos e inventários do estudo de caso de uso da água em edificações.

#### **5.1.1 Uso da água na edificação piloto do estudo – Cenário atual**

A edificação piloto do estudo é o Prédio do Instituto de Ciências Biológicas – ICB, visualizado na Figura 5.1. A escolha por essa edificação se deu em função de suas características de uso, salas de aulas e laboratórios, e pelos dados de diagnóstico de água pré-existentes.

O diagnóstico do uso da água na edificação piloto do estudo (ICB) é iniciado pela oferta de água, a qual se constatou ser através da captação da água subterrânea, somente. Na edificação piloto da pesquisa, atualmente, não há nenhum sistema de uso de água de fonte alternativa: pluvial ou reúso.



Figura 5.1 – Edificação piloto do estudo – ICB.

Os poços de captação da Instituição são, no total de nove poços, distribuídos pelo Campus Universitário, todos licenciados pelo DRH (Departamento de Recursos Hídricos, do Estado), em aquífero fraturado na Formação Serra Geral, na Bacia Hidrográfica do rio Passo Fundo. As finalidades de uso da outorga são para o consumo humano, dessedentação de animal, irrigação, pesquisa, sanitários e prevenção a incêndios. Todos os poços possuem hidrômetro para a medição da vazão, e dispositivo de desinfecção com hipoclorito de sódio, feita no próprio local da captação.

O poço relativo à edificação piloto é o de matrícula PA-01 HV, está localizado próximo ao Hospital Veterinário (HV), e abastece, além do ICB, outros edifícios do campus, como o HV. A vazão autorizada no licenciamento é de  $35 \text{ m}^3/\text{dia}$ , em um regime de bombeamento de  $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ , 14 horas por dia, durante 7 dias por semana. A Figura 5.2 apresenta o ponto da captação de água do poço PA-01, com o Hidrômetro e a Figura 5.3 apresenta o detalhamento da desinfecção por hipoclorito de sódio, neste poço.



Figura 5.2 – Poço Artesiano PA-01 HV – UPF.



Figura 5.3 – Sistema de desinfecção por hipoclorito de sódio no Poço Artesiano PA-01 HV - UPF.

A quantificação de volumes da água captada no poço PA-01 HV, para o período estudado, está apresentada na Tabela 5.1. Os dados qualitativos da água subterrânea captada podem ser verificados no Apêndice B.

Tabela 5.1 - Volume médio de água subterrânea captada (m<sup>3</sup>/mês).

Médias históricas de volume captado (m <sup>3</sup> /mês)											
Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
930,5	769,4	1045,2	1106,3	1346,3	1177,5	1005,2	1242,5	1100,7	1007,3	1261,1	917,2
Média anual de captação da água subterrânea: 12909,2 m <sup>3</sup> /ano											



Em relação à demanda da água na edificação piloto do estudo, no cenário atual, os dados foram obtidos após hidrometração da edificação e aplicação da metodologia adaptada de Oliveira (1999). Os dados do diagnóstico do estudo de caso podem ser verificados no Apêndice B. A caracterização da edificação piloto do estudo está apresentada na Tabela 5.2.

Tabela 5.2 - Caracterização da edificação piloto da pesquisa.

<b>Característica</b>	<b>Edificação Piloto – ICB</b>
Nº de consumidores (professores, alunos e funcionários)	286*
Nº de salas	59
Nº de secretarias	4
Nº de cozinhas	2
Nº de laboratórios	16
Nº. Banheiros/vestiários	10
Nº. Bacias sanitárias	66
Nº. Mictórios	8
Nº. Torneiras	119
Nº. de destiladores	3
Nº de chuveiros de emergência	13
Área construída (m <sup>2</sup> )	5232

Onde: ICB – Instituto de Ciências Biológicas; \* além desses usuários, foram considerados no estudo alunos e professores, de outras unidades do Campus, que têm aulas nesta edificação, principalmente vinculados aos cursos de engenharia.

Foram instalados hidrômetros na edificação piloto, a fim de se obter os dados quantitativos de uso de água. As leituras dos hidrômetros foram obtidas através do aparelho Logobox e transmitidas para o programa computacional LOGCHART II. A Figura 5.4 demonstra a obtenção dos dados em hidrômetro instalado. Com a instalação dos hidrômetros foram coletados os dados diários de vazão, e com isso, os dados médios históricos do uso da água na edificação foram quantificados. A Figura 5.5 apresenta um exemplo de levantamento de dados obtidos pelos hidrômetros instalados.



Figura 5.4 – Obtenção dos dados em hidrômetro instalado.

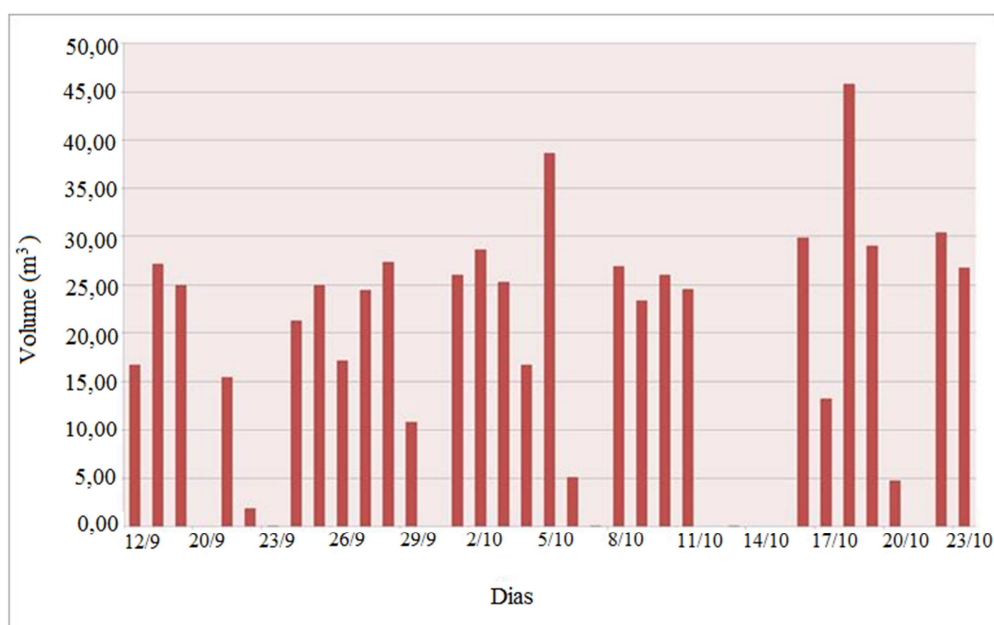


Figura 5.5 – Exemplo de dados obtidos com a instalação dos hidrômetros na edificação piloto do estudo.

Com os dados obtidos das leituras dos hidrômetros, o consumo médio ( $C_m$ ) de água na edificação piloto do estudo, para um período anual em 2011/2012, foi de  $3459,07 \text{ m}^3/\text{ano}$ . O setor de saneamento ambiental é responsável pelas análises para a potabilidade da água subterrânea. A dosagem média de hipoclorito de sódio, utilizada para a desinfecção da água,

foi considerada 51 mg/L. Portanto, a quantidade de hipoclorito de sódio para o tratamento da água subterrânea captada, em um ano, foi 622,67 kg.

Em relação aos procedimentos de limpezas, existem funcionários específicos para este fim em cada Unidade do Campus, e nesta edificação os hábitos de uso da água foram verificados através de inspeções *in loco* e aplicação de questionários.

Para manutenção dos equipamentos de uso da água na edificação da pesquisa, foi considerada apenas a limpeza dos arejadores a cada seis meses, tanto para modelos convencionais, quanto para economizadores de água. A limpeza é realizada pela própria equipe de manutenção do campus e não ocasiona consumo de água representativo para este estudo de caso. A Figura 5.6 apresenta o ponto de uso (torneira) para a utilização da água para limpezas em geral. A Figura 5.7 demonstra um momento de limpeza de pisos na edificação piloto, onde, atualmente, é realizada com água potável.



Figura 5.6 – Ponto de uso para limpezas na edificação piloto.



Figura 5.7 – Limpeza de pisos na edificação piloto.

Na edificação não há nenhum reservatório de água. O reservatório que armazena a água do poço artesiano PA1 HV, está localizado próximo à captação, antes da distribuição para as edificações. Portanto, como foi instalado um hidrômetro na entrada da edificação

piloto do estudo, não foi considerado o uso da água para limpezas de reservatórios, ficando fora do limite do sistema.

Quanto às perdas de água por vazamentos, através da confirmação nos hidrômetros e de inspeções *in loco*, não foram constatadas perdas por vazamentos, visíveis ou não visíveis, na edificação do estudo. Mas a perda de água por desperdício diário estimado (Dde) foi de 17,3 m<sup>3</sup>/mês, ou seja, aproximadamente 6% do valor total do consumo.

Portanto, no cenário atual, através da hidrometria obteve-se a entrada de água para uso na edificação para os cálculos do ICV, cujo valor foi 3,46E3 m<sup>3</sup>/ano (unidade funcional). A perda de água por desperdício foi 207,6 m<sup>3</sup>/ano e o índice de captação de água da natureza (subterrânea) da edificação foi 49,6 L/usuário por dia. Para o cálculo do índice de captação de água subterrânea e posterior comparação entre os cenários de análise são considerados a média de 244 dias de uso por ano.

Para os cálculos de volume de esgoto gerado na edificação, foi considerado o valor do coeficiente de retorno esgoto/água da NBR 9649 (ABNT, 1986) de 0,8. Com isso, foi possível estimar o volume de esgoto gerado pelo uso da água na edificação do estudo, cujo valor calculado foi de 2,77E03 m<sup>3</sup>/ano, e assim as cargas ambientais relativas. A infiltração, no sistema de esgotamento sanitário, ocorre através de tubos defeituosos, conexões, juntas ou paredes de poços de visita. A taxa de infiltração é, normalmente, expressa em termos de vazão por extensão de rede coletora, de acordo com a NBR 9649 (ABNT, 1986) e para o caso em estudo, foi calculado um valor de 1,32E02 m<sup>3</sup>/ano. E por fim, considerando-se a retirada da vazão de lodo da ETE de 2,83E02 m<sup>3</sup>/ano, o volume médio anual de esgoto tratado, lançado no corpo hídrico receptor foi estimado em 2,62E03 m<sup>3</sup>/ano.

Em relação aos dados qualitativos do esgoto gerado na edificação piloto e direcionado à ETE da UPF, os dados da operação da ETE foram analisados, cuja amostragem para as análises qualitativas são do tipo composta. Optou-se em utilizar no estudo os dados de 2011/2012, como últimos anos de operação em função de serem dados mais recentes. Os valores utilizados na pesquisa, referentes aos dados qualitativos e de vazão da ETE, podem ser verificados no Apêndice B.

### **5.1.2 Inventário dos subsistemas do uso da água no cenário atual**

Neste subitem, são apresentados e discutidos os resultados relacionados aos fluxos envolvidos no ciclo de vida do uso da água na edificação piloto do estudo, no cenário atual.

Dessa forma, para cada subsistema, são demonstrados os dados referentes aos fluxos de água em cada etapa, a energia e as quantidades de produtos utilizadas, e cargas geradas para a unidade funcional (valor médio de uso da água em um ano na edificação piloto, em m<sup>3</sup>/ano). A Figura 5.8 apresenta o fluxograma com os limites da ACV e os subsistemas considerados.

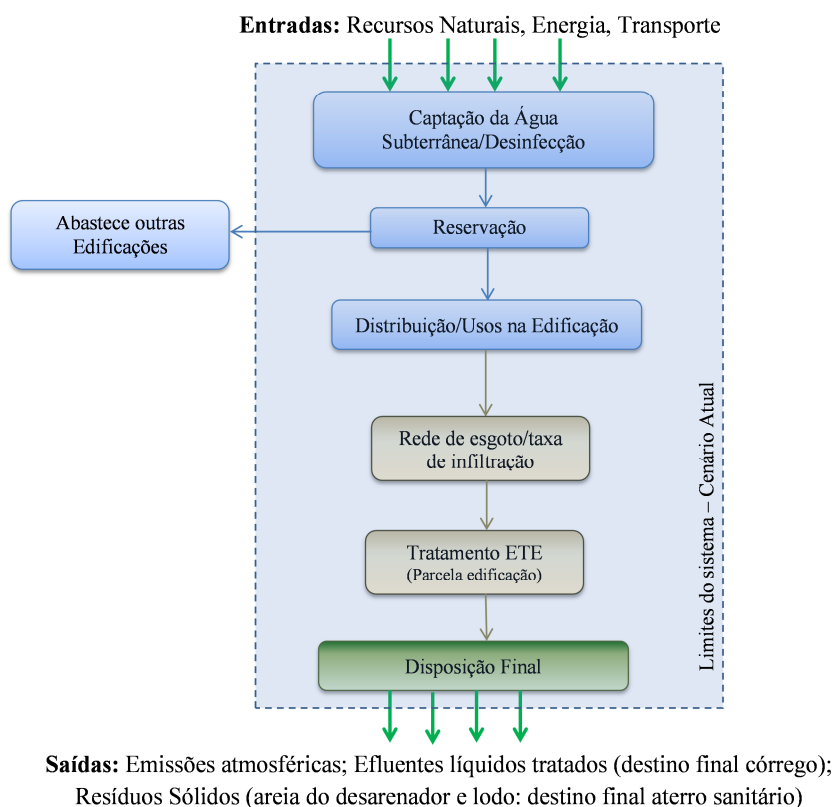


Figura 5.8 – Limites do sistema da ACV - Cenário Atual.

A partir da obtenção dos dados levantados no diagnóstico de uso da água, foi possível determinar os valores dos fluxos de água envolvidos em cada subsistema do ciclo de vida. Não foi considerada a reservação da água como subsistema, pois na edificação piloto do estudo não há reservatório de água. O reservatório geral, à montante da edificação, reserva toda a água captada nesse poço, mas abastece a edificação piloto do estudo e outras edificações do Campus.

Em função disso, foi utilizada para o ICV do estudo a alocação, e como critério de alocação do sistema, o volume de água que abastece somente a edificação piloto (vazão em m<sup>3</sup>/ano) e que vai ser distribuído para uso nesta edificação. Da mesma forma, foi considerada, para o tratamento na ETE, somente a parcela referente às contribuições da edificação do estudo, realizando alocação com o critério volume. O fluxograma do balanço de vazões para o ICV do cenário de uso da água na situação atual está apresentado na Figura 5.9.

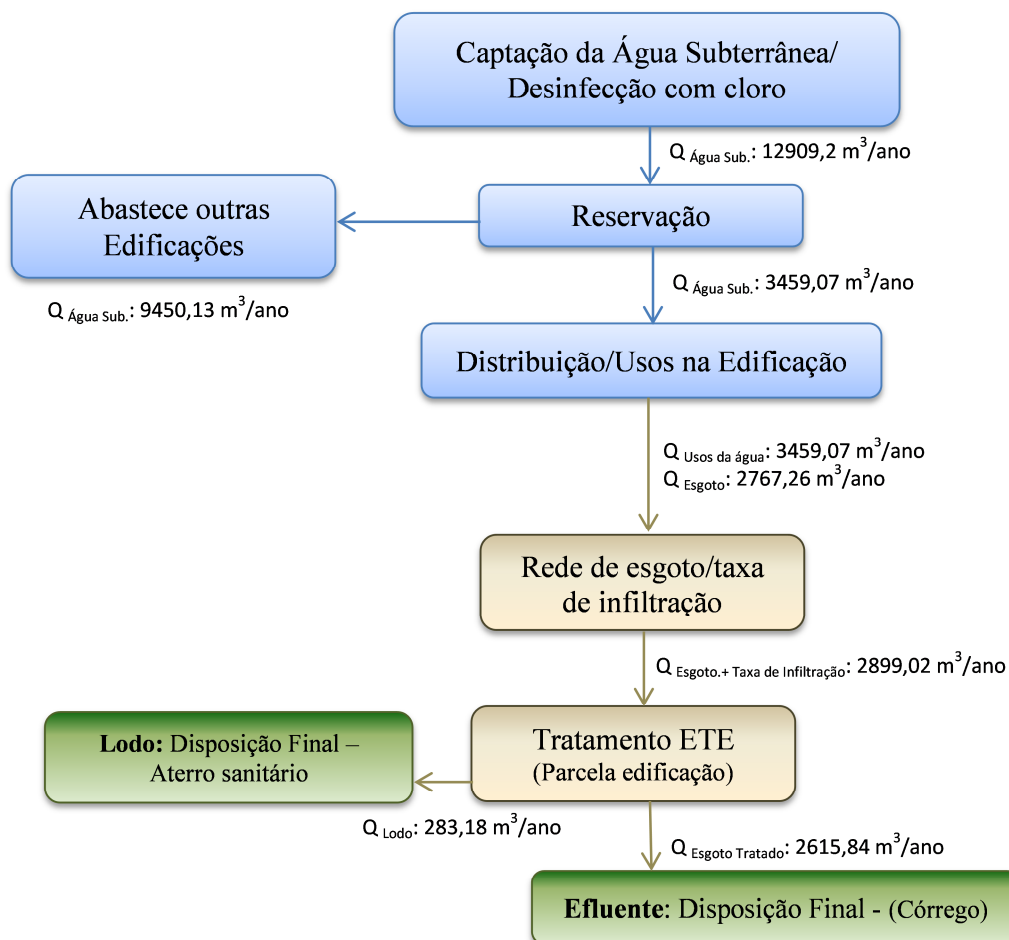


Figura 5.9 – Fluxograma de vazões do uso da água no cenário atual.

No cenário atual, de toda a água subterrânea captada (100%), ou 12909,2 m<sup>3</sup>/ano, 73% abastece outras edificações (9450,13 m<sup>3</sup>/ano) e 27% abastece a edificação piloto do estudo (3459,07 m<sup>3</sup>/ano).

Ressalta-se que, conforme descrito anteriormente, não é necessário quantificar a concentração de todas as substâncias emitidas e, portanto, foram consideradas somente as que apresentaram os resultados mais críticos. Portanto, todas as informações apresentadas a seguir foram organizadas para a consolidação do ICV do uso da água na edificação.

#### 5.1.2.1 Subsistema Captação da Água Subterrânea/Desinfecção

A Tabela 5.3 apresenta os valores do balanço de massas das substâncias presentes e energia utilizada, no fluxo da água neste subsistema no cenário atual.

Tabela 5.3 - Valores no subsistema Captação da água subterrânea/Desinfecção – Cenário atual.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Entradas - Captação/tratamento (geral do Poço PA01 – HV):		
Volume de água subterrânea captada	m <sup>3</sup> /ano	1,29E+04
Alumínio	kg/ano	2,58E+00
Nitrato	kg/ano	5,11E+00
Cloretos	kg/ano	5,91E+01
Dureza Total	kg/ano	6,52E+02
Fluoretos	kg/ano	1,42E+00
Sódio	kg/ano	2,83E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	1,56E+03
Bactérias Heterotróficas	UFC/ano	2,42E+08
Hipoclorito de Sódio para o tratamento da água <sup>1</sup>	kg/ano	6,58E+02
Energia elétrica <sup>2</sup>	kW/ano	1,25E+02
Cloro residual	kg/ano	9,81E+00
Saídas - Somente para a edificação piloto do estudo:		
Volume de água potável	m <sup>3</sup> /ano	3,46E+03
Cloro residual	kg/ano	2,63E+00
Alumínio	kg/ano	6,92E-01
Nitrato	kg/ano	1,37E+00
Fluoretos	kg/ano	3,80E-01
Cloretos	kg/ano	1,58E+01
Sódio	kg/ano	7,59E+01
Dureza Total	kg/ano	1,75E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	4,17E+02
Bactérias Heterotróficas	UFC/ano	6,49E+07
Emissões atmosféricas consideradas <sup>3</sup> :		
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	kg/ano	7,80E+01
Monóxido de carbono (CO)	kg/ano	3,62E-03
Hidrocarbonetos	kg/ano	1,35E-04
NOx	kg/ano	1,50E-01
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	kg/ano	9,25E-02

<sup>1</sup> – Os dados da fabricação (em kg/ano) e transporte (em tkm – tonelada. km) do Hipoclorito de sódio foram considerados do Ecoinvent, adaptados e convertidos para a unidade funcional da pesquisa. Os valores referentes ao transporte são por meio rodoviário, conforme a distância em km, em caminhão a óleo diesel.

<sup>2</sup> – Os dados utilizados, referentes à produção da eletricidade no Brasil (hidrelétricas), foram obtidos do Ecoinvent e convertidos para a unidade funcional da pesquisa.

<sup>3</sup> - Os dados referentes às emissões do processo, para a unidade funcional, foram obtidos do Ecoinvent.

## 5.1.2.2 Subsistema Distribuição/Usos da Água na edificação

A Tabela 5.4 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no subsistema Distribuição/Usos da Água na Edificação, no cenário atual.

Tabela 5.4 - Valores no subsistema Distribuição/Usos da Água na Edificação – Cenário atual.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Entradas (água potável na edificação):		
Volume de água potável	m <sup>3</sup> /ano	3,46E+03
Cloro residual	kg/ano	2,63E+00
Alumínio	kg/ano	6,92E-01
Nitrato	kg/ano	1,37E+00
Fluoretos	kg/ano	3,80E-01
Cloretos	kg/ano	1,58E+01
Sódio	kg/ano	7,59E+01
Dureza Total	kg/ano	1,75E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	4,17E+02
Bactérias Heterotróficas	UFC/ano	6,49E+07
Saídas (esgoto gerado na edificação):		
Volume de esgoto gerado	m <sup>3</sup> /ano	2,77E+03
DBO	kg/ano	1,01E+03
DQO	kg/ano	2,10E+03
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	2,04E+03
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	5,95E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	1,30E+03
Nitrogênio	kg/ano	1,43E+02
Nitrato	kg/ano	2,27E+01
Nitrito	kg/ano	2,55E+00
Fósforo	kg/ano	3,82E+01
Amônia	kg/ano	8,22E+01
Cloretos	kg/ano	9,19E+01
Óleos e graxas	kg/ano	2,77E+01
Surfactantes	kg/ano	2,60E+01
Cloro residual livre	kg/ano	1,02E+00
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	1,25E+16



### 5.1.2.3 Subsistema Rede de esgoto coletora/Taxa de infiltração

A Tabela 5.5 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no subsistema Rede de esgoto coletora/Taxa de infiltração, no cenário atual.

Tabela 5.5 – Valores no subsistema Rede de esgoto coletora/Taxa de infiltração – Cenário atual.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Volume esgoto gerado na edificação	m <sup>3</sup> /ano	2,77E+03
Volume de Rede+Taxa infiltração	m <sup>3</sup> /ano	2,90E+03
DBO	kg/ano	1,01E+03
DQO	kg/ano	2,10E+03
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	3,60E+03
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	5,95E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	2,86E+03
Nitrogênio	kg/ano	1,43E+02
Nitrato	kg/ano	2,27E+01
Nitrito	kg/ano	2,55E+00
Fósforo	kg/ano	3,82E+01
Amônia	kg/ano	8,22E+01
Cloretos	kg/ano	9,19E+01
Óleos e graxas	kg/ano	2,77E+01
Surfactantes	kg/ano	2,60E+01
Cloro residual livre	kg/ano	1,02E+00
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	1,25E+16

### 5.1.2.4 Subsistema Tratamento na ETE

A Tabela 5.6 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no subsistema Tratamento na ETE, no cenário atual.

Tabela 5.6 – Valores no subsistema Tratamento na ETE – Cenário atual.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Entrada de esgoto bruto na ETE*:		
Volume esgoto bruto	m <sup>3</sup> /ano	2,90E+03
DBO	kg/ano	1,01E+03
DQO	kg/ano	2,10E+03
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	3,60E+03
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	5,95E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	2,86E+03
Nitrogênio	kg/ano	1,43E+02
Nitrato	kg/ano	2,27E+01
Nitrito	kg/ano	2,55E+00
Fósforo	kg/ano	3,82E+01
Amônia	kg/ano	8,22E+01
Cloretos	kg/ano	9,19E+01
Óleos e graxas	kg/ano	2,77E+01
Surfactantes	kg/ano	2,60E+01
Cloro residual livre	kg/ano	1,02E+00
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	1,25E+16
Hipoclorito de sódio na ETE <sup>1</sup>	kg/ano	1,51E-01
Energia elétrica <sup>2</sup>	kW/ano	3,42E+03
Saída de esgoto tratado da ETE*:		
Volume de esgoto tratado	m <sup>3</sup> /ano	2,62E+03
DBO	kg/ano	1,97E+02
DQO	kg/ano	2,71E+02
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	2,07E+02
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	5,27E+01
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	1,04E+02
Nitrogênio	kg/ano	7,90E+01
Nitrato	kg/ano	1,74E+01
Nitrito	kg/ano	2,12E+00
Fósforo	kg/ano	2,31E+01
Amônia	kg/ano	2,75E+01
Cloretos	kg/ano	1,76E+01
Óleos e graxas	kg/ano	8,95E+00
Surfactantes	kg/ano	7,16E+00
Cloro residual livre	kg/ano	2,15E+00
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	2,81E+10
Areia removida no desarenador <sup>3</sup>	kg/ano	8,70E-02

## Emissões atmosféricas consideradas\*

Metano (CH <sub>4</sub> )	kg/ano	5,02E-01
Monóxido de carbono (CO)	kg/ano	1,91E-01
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	kg/ano	3,95E+02
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	kg/ano	2,02E-03
NOx	kg/ano	6,02E-02
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	kg/ano	4,71E-01

\* Parcela referente à Edificação da pesquisa.

<sup>1</sup> – Os dados da fabricação (em kg/ano) e transporte (em tkm – tonelada.km) do Hipoclorito de sódio foram considerados do Ecoinvent, adaptados e convertidos para a unidade funcional da pesquisa.

<sup>2</sup> – Os dados utilizados, referentes à produção da eletricidade no Brasil, foram obtidos do Ecoinvent e convertidos para a unidade funcional da pesquisa, juntamente com as emissões para o ar do processo. Os valores referentes ao transporte do lodo e areia da ETE são por meio rodoviário em caminhão de 27,2 t de capacidade de carga e desempenho 2,2 km/l de óleo diesel.

<sup>3</sup> – Areia removida é transportada ao aterro sanitário, como resíduo para tratamento. Dados de aterros sanitários obtidos do Ecoinvent, adaptados e convertidos para a quantidade anual da pesquisa.

Continuação da Tabela 5.6.

## 5.1.2.5 Subsistema Lançamento no corpo hídrico receptor

A Tabela 5.7 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no subsistema Lançamento no corpo hídrico receptor, no cenário atual.

Tabela 5.7 – Valores no subsistema Lançamento no corpo hídrico receptor – Cenário atual.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Volume de esgoto tratado (saída da ETE)*	m <sup>3</sup> /ano	2,62E+03
DBO	kg/ano	1,97E+02
DQO	kg/ano	2,71E+02
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	2,07E+02
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	5,27E+01
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	1,04E+02
Nitrogênio	kg/ano	7,90E+01
Nitrito	kg/ano	1,74E+01
Nitrito	kg/ano	2,12E+00
Fósforo	kg/ano	2,31E+01
Amônia	kg/ano	2,75E+01
Cloretos	kg/ano	1,76E+01
Óleos e graxas	kg/ano	8,95E+00
Surfactantes	kg/ano	7,16E+00
Cloro residual livre	kg/ano	2,15E+00
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	2,81E+10

### 5.1.3 Dados sociais levantados

As Tabelas 5.8 e 5.9 apresentam os indicadores sociais: Faixa etária, Horas de trabalho e Perfil, levantados com a aplicação dos questionários.

Tabela 5.8 – Resultado dos indicadores sociais – Faixa etária e Horas de Trabalho.

Indicadores	Resultados		
	Alunos	Professores	Funcionários
Faixa etária (anos)	Abaixo de 18 (0%) Até 21 (69%) 22 a 30 (26%) 31 a 40 (5%) Acima 41 (0%)	Abaixo de 30 (25%) 31 a 40 (40%) 41 a 50 (24%) Acima de 51 (11%)	Abaixo de 18 (0%) 22 a 30 (54%) 31 a 40 (30%) 41 a 50 (13%) Acima de 51 (3%)
Horas de trabalho (horas por semana)	-	Até 20 (14%) 21 a 25 (14%) 26 a 30 (22%) 31 a 40 (48%) Acima de 40 (2%)	Até 20 (11%) 21 a 25 (7%) 26 a 30 (8%) 31 a 40 (71%) Acima de 40 (3%)

Tabela 5.9 – Principais resultados dos indicadores sociais – Perfil.

Indicadores	Resultados		
	Alunos	Professores	Funcionários
Gênero	Fem. (44%) Masc. (56%)	Fem. (45%) Masc. (55%)	Fem. (94%) Masc. (6%)
Turnos em que está na UPF (Onde: M, T e N, correspondem aos turnos: Manhã, Tarde e Noite)	M (2%) T (6%) N (58%) M/N (17%) M/T (3%) T/N (14%)	M (9%) T (8%) N (8%) M/N (8%) M/T (10%) T/N (57%)	M (0%) T (3%) N (8%) M/N (2%) M/T (35%) T/N (52%)
Titulação/Escolaridade	-	Espec. (5%) Mestrado (56%) Doutorado (28%) Pós-Doutorado (11%)	Ens. Fundamental (9%) Ens. Médio (63%) Ens. Superior (28%) Sup. em andamento (39%)
Satisfação trabalho/ Salário Justo	-	Conc. Totalm. (22%) Conc. Parc. (33%) N Conc./N Disc. (11%) Disc. Parc. (34%) Disc. Totalm. (0%)	Conc. Totalm. (27%) Conc. Parc. (33%) N Conc./N Disc. (13%) Disc. Parc. (27%) Disc. Totalm. (0%)
Sindicato e associações coletivas	-	Sim (70%) Não (30%)	Sim (52%) Não (48%)
Plano de saúde	-	Sim (80%) Não (20%)	Sim (87%) Não (13%)
Benefício social e previdência privada	-	Sim (67%) Não (33%)	Sim (35%) Não (65%)
Satisfação ambiente de trabalho/estudo	Conc. Totalm. (22%) Conc. Parc. (30%) N Conc./N Disc. (13%) Disc. Parc. (27%) Disc. Totalm. (3%)	Conc. Totalm. (29%) Conc. Parc. (33%) N Conc./N Disc. (18%) Disc. Parc. (34%) Disc. Totalm. (0%)	Conc. Totalm. (21%) Conc. Parc. (32%) N Conc./N Disc. (16%) Disc. Parc. (30%) Disc. Totalm. (1%)

Para os indicadores: Plano de Saúde e Plano de Previdência, a escolha é opcional no momento da contratação na Instituição. Isto é, o professor/funcionário da Instituição deve escolher se deseja ter plano de saúde e plano de previdência privada. Em relação ao sindicato, a escolha também é opcional. Na instituição existe uma Comissão Interna de Prevenção a Acidentes (CIPA), com a participação de funcionários, e atualmente está sendo elaborado um Programa de Responsabilidade Social, de acordo com a NBR 26000 (ABNT, 2010).

A Tabela 5.10 apresenta os indicadores sociais do uso da água. Na Tabela 5.10 os valores variam de 1 a 5, onde 1 significa “Discordo Totalmente” e 5 significa “Concordo Totalmente”. Valores mais próximos de 1 demonstram insatisfação e valores mais próximos de 5 demonstram satisfação dos usuários questionados.

Tabela 5.10 – Principais resultados dos indicadores sociais – Uso da água.

Indicadores	Média e (Desvio Padrão)		
	Alunos	Professores	Funcionários
Há acesso a água potável para seu uso?	4,602 (0,796)	4,008 (0,133)	4,312 (0,503)
Há acesso a banheiros em número suficiente?	3,205 (2,194)	3,002 (0,692)	3,748 (0,107)
Número de bacias sanitárias/mictórios dos banheiros é suficiente?	3,973 (1,124)	4,111 (0,927)	3,684 (1,204)
Número de torneiras nos lavatórios dos banheiros é suficiente?	4,180 (0,948)	4,555 (0,527)	3,684 (1,204)
A vazão de água que sai das torneiras e o tempo de acionamento são suficientes para seu uso pessoal?	4,247 (1,027)	4,444 (0,726)	3,947 (1,177)
Quantidade de água por descarga das bacias sanitárias é suficiente e adequada?	4,138 (1,089)	4,111 (1,054)	4,052 (1,223)
As instalações (em geral) dos ambientes sanitários são adequadas?	3,966 (0,994)	3,777 (1,092)	3,578 (1,216)
Limpeza dos ambientes sanitários é adequada?	3,705 (1,194)	3,277 (0,592)	3,842 (1,067)
Acesso/satisfação com pontos de uso para limpezas/instalações suficientes?	3,008 (1,521)	3,494 (0,413)	3,119 (0,992)
Você concorda com utilizar a água pluvial nesta edificação para lavagens de pisos e descargas das bacias sanitárias?	4,917 (0,038)	5 (0)	4,941 (0,138)
Você concorda com utilizar água de reúso (esgoto tratado para reúso) nesta edificação para descargas das bacias sanitárias?	4,501 (0,396)	4,888 (0,333)	3,218 (1,281)
Você acredita ser sustentável o uso da água hoje nesta edificação? (satisfação)	1,421 (1,002)	1,108 (0,421)	1,445 (1,213)
E se fosse utilizada a água da chuva nesta edificação, você concorda que fica sustentável o uso da água?	4,975 (0,011)	5 (0)	4,838 (0,120)
E se fosse utilizada a água de reúso nesta edificação, você concorda que fica sustentável o uso da água?	4,012 (0,310)	4,219 (0,112)	3,904 (0,566)
Você tem o conhecimento de que é utilizada água da chuva para o uso das descargas dos banheiros do Centro de Convivência da UPF?	Sim (55%)		Não (45%)
Você considera importante a busca por novas fontes alternativas de água (como água da chuva, de reúso, etc)?	Sim (96%)		Não (0,4%)

Nota-se, de uma forma geral, na Tabela 5.10, que há uma boa satisfação dentre todos os aspectos mencionados. Pode-se observar o resultado da satisfação sobre os usos da água em edificação de ensino pesquisada. Os professores pesquisados, em geral, se mostraram mais satisfeitos com os aspectos pesquisados de uso da água, pois os resultados foram maiores para estes usuários da água, do que para alunos e funcionários.

A Tabela 5.11 apresenta os indicadores sociais gerais analisados entre a comunidade acadêmica e a sociedade. Na Tabela 5.11 os valores variam de 1 a 5, onde 1 significa insatisfação (piores resultados do indicador social) e 5 satisfação (melhores valores sociais).

Tabela 5.11 – Resultado dos indicadores sociais gerais.

Indicador	Resultado
Comunidade interna:	
Carga horária de trabalho	3,612 (0,503)
Diálogo entre funcionário e empresa	3,948 (1,107)
Proteção à maternidade	5 (0)
Apoio ao desenvolvimento da capacidade	3,984 (1,204)
Segurança (CIPA)	4,047 (0,577)
Promoção da responsabilidade social	3,052 (1,223)
Promoção do sistema de gestão ambiental e atendimento às leis ambientais	3,878 (1,216)
Respeito da propriedade intelectual	3,941 (0,238)
Comunidade externa:	
Comprometimento público com questões sustentáveis	4,284 (0,604)
Contribuições para o desenvolvimento econômico	4,817 (0,138)
Desenvolvimento tecnológico	4,033 (0,820)
Relacionamento com a sociedade	3,884 (1,076)

#### 5.1.4 Custos do uso da água

Para os dados de custos contabilizados na análise do custo do ciclo de vida foram considerados os custos médios anuais, relacionado à unidade funcional da pesquisa (o valor médio, em m<sup>3</sup>/ano, de água na edificação). Considerou-se todos os custos envolvidos no ciclo de vida do uso da água, em cada cenário considerado nas edificações do estudo, no escopo da pesquisa, conforme descrito na metodologia.

Os custos de demanda e consumo de energia elétrica foram calculados com base nas especificações dos equipamentos eletromecânicos e nas tarifas praticadas pela concessionária de energia elétrica (RGE), tendo como base o ano de 2012. Os custos com produtos químicos

(o hipoclorito de sódio), bem como os custos de transporte de lodo e areia removida da ETE, foram considerados tendo por referência os custos médios praticados no mercado, tomando-se como referência o ano de 2012. No que se refere ao transporte do hipoclorito de sódio, considerou-se que este está contemplado no custo unitário do produto químico.

Para os custos de salários e horas de funcionários relacionados, considerou-se os funcionários internos da instituição (do setor de saneamento ambiental, laboratórios, da manutenção, auxiliares e limpeza) e os externos (serviços terceirizados para as análises e tratamento da água subterrânea). O dimensionamento das despesas com pessoal e respectivos encargos sociais baseou-se no Quadro de funcionários da UPF, tendo como referência o valor médio anual em 2012. Para as despesas administrativas e de manutenção, considerou-se o percentual de 5% sobre os custos operacionais (do ciclo de vida de uso de água).

Para os valores deixados de pagar da água tratada pela concessionária (em função da água subterrânea), foi considerado o valor do m<sup>3</sup> de água tratada pela concessionária no município (Corsan), com referência ao ano de 2012.

Neste estudo, não serão divulgados os valores calculados em Reais. Será apresentada a relação de alteração de custos proporcionais às modificações consideradas em cada cenário.

Quando o cenário envolveu o uso das fontes alternativas de água (água pluvial e reúso), optou-se por incluir no estudo o custo médio de investimento do sistema e investimentos de melhorias na ETE. Assim, em relação aos custos do cenário Aproveitamento de Águas Pluviais, foi considerado o investimento com a instalação/tratamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais, além do custo global do cenário atual de uso da água (valor médio anual para a unidade funcional). E em relação aos custos do cenário Reúso de Águas, foi considerado o investimento com a melhoria no tratamento da ETE, adequações ao sistema, e instalações/adaptações para sistema de reúso de águas nas bacias sanitárias, além do custo global do cenário atual de uso da água.

Assim, os custos de instalações/adequações previstos nos cenários futuros foram calculados conforme relações propostas por Von Sperling (2005); Jordão e Pessoa (2011); e Metcalf & Eddy (2003), para sistemas de tratamento de esgoto, em US\$/habitante e transformados em reais. E para os custos de instalações de sistemas de águas pluviais foi considerada a relação de Tomaz (2005); e Mierzwa (2005). Os custos de manutenção previstos consideraram um índice anual de 2,5% sobre o custo estimado para as obras de implantação.

O Quadro 5.1 apresenta os indicadores selecionados para a análise da dimensão econômica. Para cada indicador foi realizada a distribuição de custos descritos acima, relativos à unidade funcional e alocação de vazões.

Quadro 5.1 – Indicadores selecionados da dimensão econômica.

Indicador	Código
Custo de captação/bombeamento da água subterrânea	CBA
Custo de tratamento e análises da água potável	CTA
Custo de tratamento e análises da ETE	CTE
Custo de tratamento e análises de fonte alternativa	CFA
Custos adicionais do cenário	CAD
Custos totais	Total

## 5.2 Etapa 2: Análise dos impactos do uso da água – Cenário atual

Nesta etapa, são apresentados os resultados da análise dos impactos do uso da água na edificação piloto do estudo, no cenário atual. Os resultados foram obtidos com a utilização do software SimaPro 7.3.2, conforme descrito no item 3.2.2, e serão apresentados como duas fases: Captação da água subterrânea (para expressar a retirada do recurso natural ‘água’ do meio ambiente) e Processo final do uso da água (representado o uso da água na edificação, até o lançamento do efluente tratado no corpo hídrico receptor).

A Figura 5.10 apresenta a distribuição dos volumes de água no ciclo de vida do uso da água na edificação piloto da pesquisa, no cenário atual.

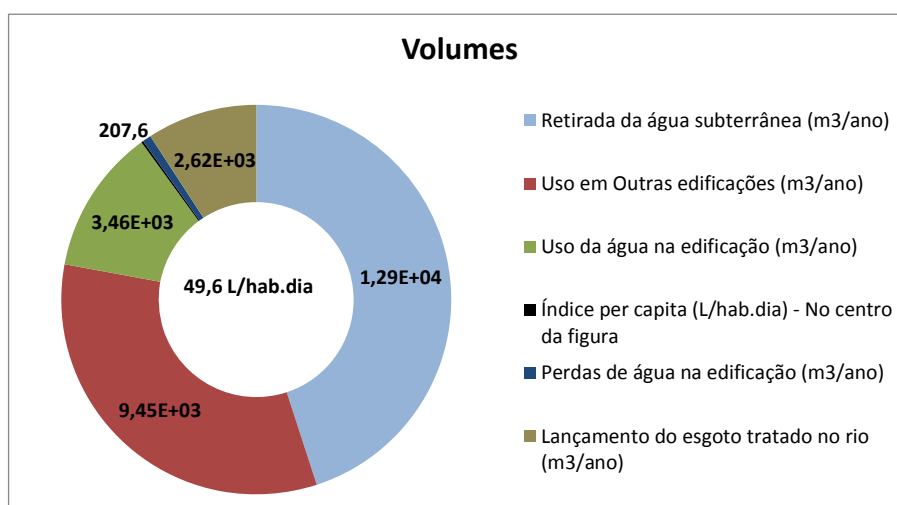


Figura 5.10 – Distribuição de volumes de água na edificação piloto da pesquisa, no cenário atual.



Pode-se observar na Figura 5.10, que o índice de água per capita deste cenário foi 49,6 Litros por usuário por dia. O uso da água na edificação foi  $3,46E+03 \text{ m}^3$  por ano, ou  $14,18 \text{ m}^3$  por dia, e o lançamento do esgoto tratado na ETE ao córrego foi de  $2,62E+03 \text{ m}^3$  por ano ou  $10,72 \text{ m}^3$  por dia.

### 5.2.1 – Análise dos impactos ambientais no cenário atual

A Tabela 5.12 apresenta a caracterização de impactos ambientais, por categoria de impactos, do uso da água na edificação piloto no cenário atual, entre os processos da “Captação e tratamento da água subterrânea” e “Processo final de uso da água na edificação”. A análise foi realizada pelo Método Impact 2002+. Optou-se por selecionar as categorias de impactos apresentadas na Tabela 5.12, em função dos resultados da análise.

Tabela 5.12 – Resultado da caracterização dos impactos ambientais do uso da água na edificação, no cenário atual.

Categoria de Impacto	Unidade	Total	Captação da água	Processo final do uso da Água
Cancerígenos (toxicidade humana)	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq	0,221	0,0262	0,194
Não cancerígenos	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq	2,08	0,788	1,29
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq	1,07E-6	4,65E-7	6,02E-7
Efeitos respiratórios	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	0,0108	0,00754	0,00331
Ecotoxicidade aquática	kg TEG water	3,39E6	5,24E3	3,38E6
Ecotoxicidade terrestre	kg TEG soil	3,06E3	117	2,94E3
Acidificação aquática	kg SO <sub>2</sub> eq	1,2E4	0,133	1,2E4
Eutrofização aquática	kg PO <sub>4</sub> eq	1,78E4	0,0645	1,78E4
Aquecimento global	kg CO <sub>2</sub> eq	225	14,7	210
Energia não renovável	MJ primary	318	208	110

A maioria das categorias de impactos ambientais apresentadas tem relação com a fase de tratamento do esgoto na ETE e sua disposição final no corpo hídrico receptor, principalmente a eutrofização, ecotoxicidade e acidificação. O uso do hipoclorito de sódio está relacionado, principalmente, às categorias cancerígenos, não cancerígenos e depleção da camada de ozônio. As categorias de impactos: aquecimento global, acidificação, energia não renovável e efeitos respiratórios, estão associadas à energia elétrica consumida nos processos, com o consumo de combustível fóssil em transportes, e também pelo tratamento do esgoto.

A acidificação é o impacto ambiental associado com precipitações atmosféricas de ácidos, predominantemente ácido sulfúrico H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e ácido nítrico HNO<sub>3</sub>, por meio de chuva,

neblina ou neve. Pode ter efeitos distantes da origem da poluição, provocando uma redução da vegetação. A eutrofização é o impacto ambiental resultante da acumulação de nutrientes na água, que ocasiona a queda do nível de oxigênio, afetando a vida aquática. Esses nutrientes, em sua maior parte, são fosfatos oriundos de detergentes, amônia, compostos nitrogenados e outros oriundos de efluentes residências, industriais e agrícolas. E ecotoxicidade são impactos ambientais ocasionados por substâncias tóxicas que afetam organismos aquáticos e terrestres. Normalmente interpretado como estresse tóxico e não necessariamente produzindo danos observáveis nos organismos vivos (JOLLIET et al., 2005).

A toxicidade humana (carcinogênicos e não carcinogênicos) está relacionada a agentes, misturas ou circunstâncias de exposição para as quais a Agência Internacional de Pesquisa do Câncer (IARC) classifica em grupos, conforme as evidências disponíveis de carcinogenia. A substância de referência da toxicidade humana é cloroetileno emitido no ar. No IMPACT 2002+ é calculada para os compartimentos ar, água e solo. Efeitos Respiratórios são as substâncias orgânicas e inorgânicas relacionadas a efeitos respiratórios em seres humanos tais como material particulado ( $PM_{2,5}$  e  $PM_{10}$  no ar),  $NO_x$ ,  $NH_3$ ,  $SO_3$ ,  $O_3$ ,  $CO$ , COVs (compostos orgânicos voláteis) e  $SO_x$ . Depleção na camada de ozônio é referente aos impactos associados com a diminuição dos níveis de ozônio na camada estratosférica da atmosfera, devido às emissões de substâncias como CFC (JOLLIET et al., 2005).

Na Figura 5.11 pode ser observada a comparação da caracterização de impactos ambientais do uso da água na edificação por categoria de impactos, no cenário atual.

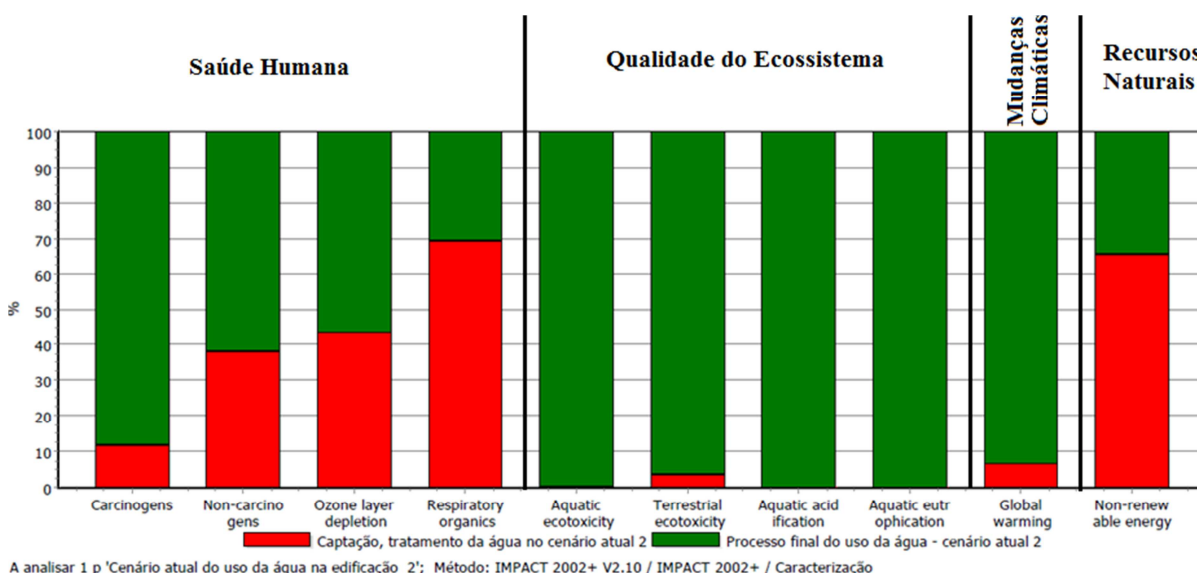


Figura 5.11 – Comparação da caracterização por categoria de impactos ambientais no cenário atual de uso da água.

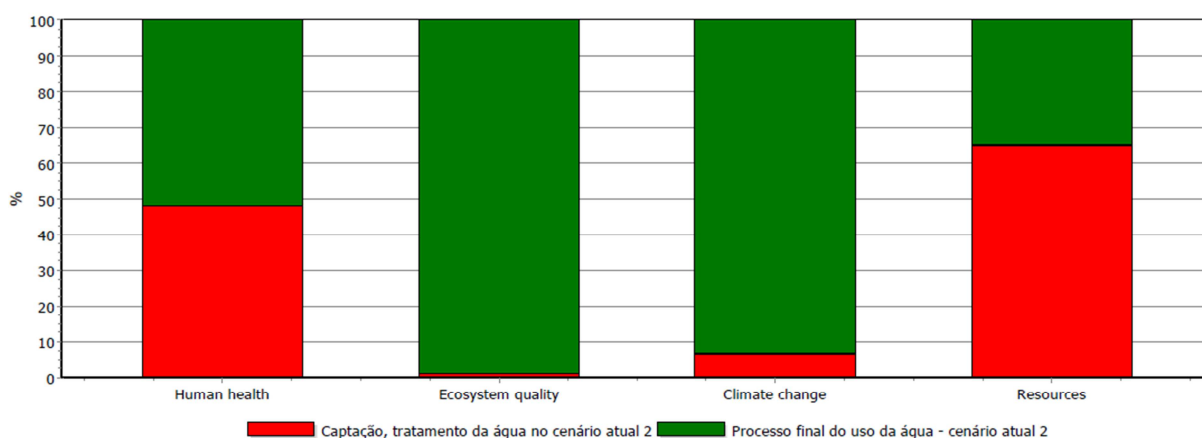
Os resultados apresentados na análise evidenciam o processo final de uso da água como o maior responsável pelos impactos ambientais do ciclo de vida do uso da água, principalmente, devido à geração e tratamento do esgoto da edificação, emissões atmosféricas relacionadas, e ao lançamento do esgoto tratado no corpo hídrico receptor. Além disso, grande parcela da energia elétrica utilizada para o uso da água na edificação está apresentada nesse processo, devido ao tratamento do esgoto por lodo ativado, sobretudo.

Já, para o processo captação da água subterrânea, os impactos ocorrem devido à extração da água da natureza (recurso natural) e, principalmente, pela utilização do hipoclorito de sódio para desinfecção da água, e também pela energia elétrica para a sua captação/bombeamento. Em relação aos recursos não renováveis da análise, ocorre, principalmente, pelo uso de combustíveis fósseis (do petróleo), como a gasolina e diesel, utilizados no transporte do cloro utilizado no tratamento da água (da fabricação/venda) e do transporte dos resíduos (areia removida do desarenador, e lodo do leito de secagem, por exemplo), da ETE até o aterro sanitário. A Tabela 5.13 apresenta a avaliação dos impactos ambientais, por categoria de danos, do uso da água na edificação piloto no cenário atual.

Tabela 5.13 – Avaliação dos impactos ambientais por categoria de danos, no cenário atual.

Categoria de Danos	Unidade	Total	Captação da água	Processo final do uso da Água
Impacto na Saúde humana	DALY	2,75E-5	1,3E-5	1,4E-5
Impacto na Qualidade do ecossistema	PDF*m <sup>2</sup> yr	195	1,81	193
Impacto nas Mudanças climáticas	kg CO <sub>2</sub> eq	225	14,7	210
Impacto no esgotamento dos recursos naturais	MJ	319	209	110

A Figura 5.12 apresenta a avaliação dos impactos ambientais, por categoria de danos, do uso da água na edificação piloto, no cenário atual.



A analisar 1 p 'Cenário atual do uso da água na edificação 2'; Método: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+ / Avaliação de danos

Figura 5.12 – Comparação da avaliação dos impactos ambientais, por categoria de danos.

Como explicado anteriormente na metodologia, a avaliação dos impactos em nível de danos é normalizada, dividindo-se o impacto por unidade de emissão, pelo impacto total de todas as substâncias da categoria específica para a qual existem fatores de caracterização, por pessoa, por ano. A normalização é uma etapa opcional dentro da ACV, que transforma cada valor de potencial em magnitudes relativas do potencial de impacto, para cada categoria e apresenta o resultado em um formato adequado para a etapa subsequente de ponderação. Os fatores de normalização são determinados pela razão entre o valor do impacto, por unidade de emissão, dividido pelo total do impacto de todas as substâncias da categoria específica (para o qual existe o fator de caracterização), por pessoa, por ano. A Figura 5.13 apresenta a normalização da avaliação de impactos nas categorias de danos, no cenário atual.

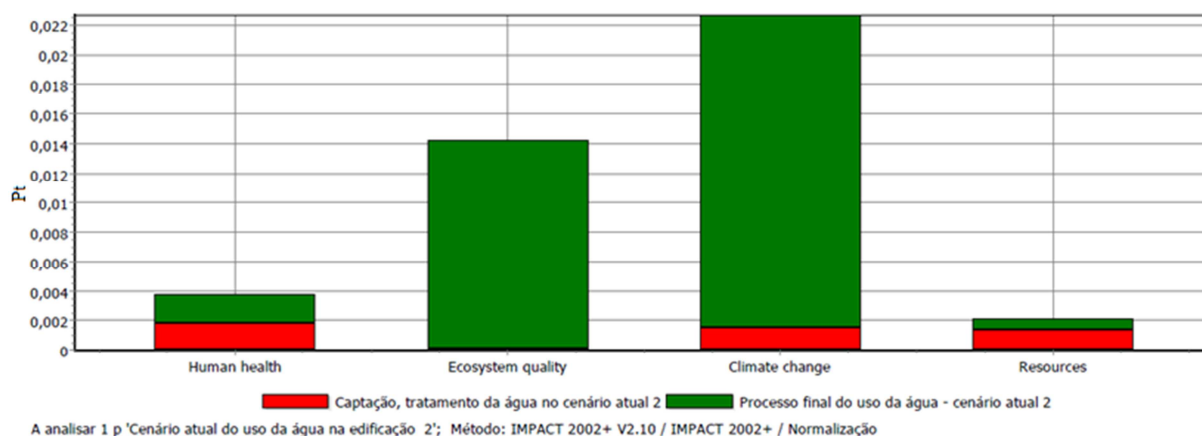
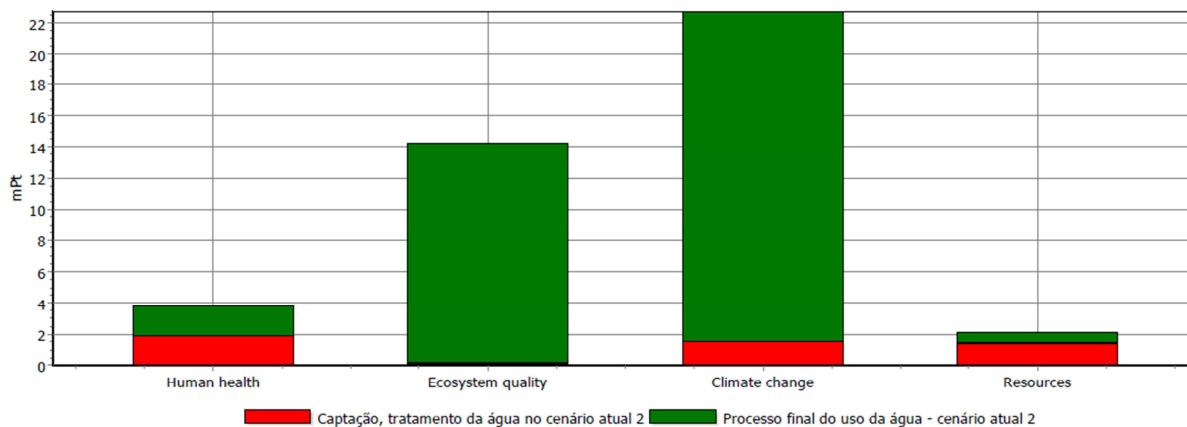


Figura 5.13 – Normalização da avaliação de impactos ambientais, no cenário atual.

Os resultados da normalização apresentados na Figura 5.13 significam que o impacto ambiental na categoria Saúde Humana é 0,0038 Daly/pessoa.ano; o impacto ambiental na categoria Qualidade do Ecossistema é 0,0142 PDF\*m<sup>2</sup>, por pessoa por ano, onde PDF é o potencial de desaparecimento de espécies; o impacto ambiental na categoria Mudança Climática é 0,0227 kgCO<sub>2</sub>eq/pessoa.ano; e o impacto ambiental na categoria Recursos é 0,00211 MJ/pessoa.ano.

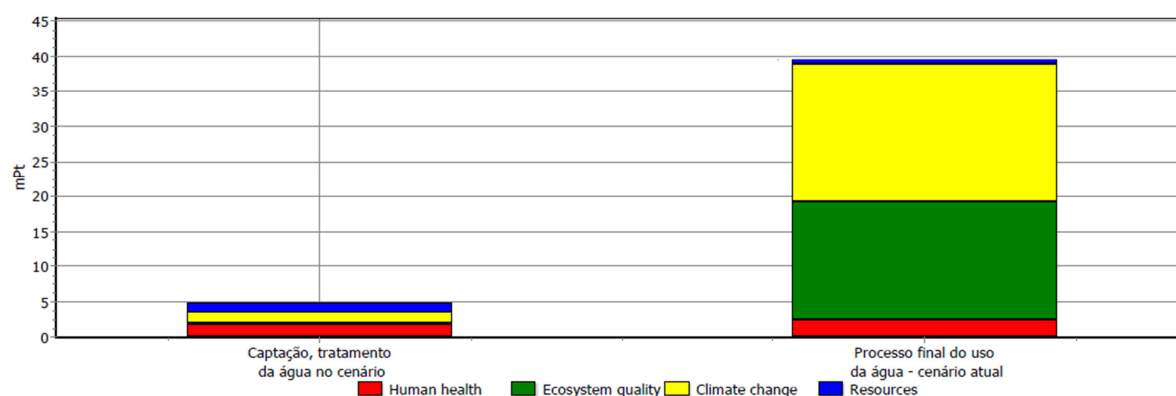
A ponderação tem o objetivo de ordenar, elencar ou agregar diferentes categorias de impacto, em uma ordem de importância relativa. Normalmente, resultados ponderados são apresentados para justificar políticas ambientais, sob a forma de metas a serem atingidas. O método IMPACT 2002+ apresenta os resultados da avaliação de impactos ambientais ponderados, em mPt, que são os resultados da normalização multiplicados por 1000. Como pode ser observado na Figura 5.14.



A analisar 1 p 'Cenário atual do uso da água na edificação 2'; Método: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+ / Ponderação

Figura 5.14 – Ponderação da avaliação de impactos ambientais por categoria de danos, no cenário atual.

Por fim, o agrupamento é uma etapa da avaliação de impacto na qual as categorias de impactos são agregadas em um ou mais conjuntos. Essa etapa opcional por norma pode ser realizada como um agrupamento simples, ou seja, um somatório de todos os escores de mesma unidade, em um valor único. O método IMPACT 2002+ agrupa os resultados da ponderação em uma pontuação única (indicador) em mPt, de cada processo. A magnitude deste valor numérico expressa a magnitude do impacto ambiental global. Quanto maior for o valor do indicador, maior será o impacto ambiental do produto, atividade ou exploração. A Figura 5.15 apresenta o resultado final, com as categorias de danos, da avaliação dos impactos ambientais do uso da água na edificação, agrupados em pontuação única, dos processos captação e uso da água no cenário atual.



A analisar 1 p 'Cenário atual do uso da água na edificação 2'; Método: IMPACT 2002+ V2.10 / IMPACT 2002+ / Pontuação única

Figura 5.15 – Comparação da avaliação dos impactos ambientais em pontuação única, no cenário atual.

Na Figura 5.15 pode ser observado que o processo de captação da água subterrânea, resultou em um indicador final (pontuação única) menor, de 0,00482 Pontos (Pt) ou 4,82 mPt. E o processo final do uso da água na edificação resultou em um indicador final (pontuação

única) maior, de 0,038 Pontos, ou 38 mPt. Totalizando um indicador ambiental global final com valor de 0,0428 Pontos, ou 42,8 mPt para o uso da água no cenário atual.

### 5.2.2 – Análise dos impactos sociais no cenário atual






A Tabela 5.14 apresenta os valores dos resultados da análise de impactos na dimensão social, ACV-S, do cenário atual da edificação da pesquisa. A escala de valores considerada para análise de impactos sociais pode ser observada na Tabela 5.15.

Tabela 5.14 – Resultados da ACV-S (social) no cenário atual.

ACV-S (social)	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10
	CI	CE	UA	APO	ABS	SAS	APU	AP	RA	US
	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt
Cenário Atual de uso da água	3,795	4,255	3,216	4,334	3,318	3,608	3,207	n.a.	n.a.	1,325

Onde: S01 – Indicador social geral – comunidade interna; S02 – Indicador social geral – comunidade externa; S03 – Indicador geral de satisfação de uso da água; S04 – Acesso/satisfação com água potável para uso; S05 – Acesso/satisfação com banheiros/instalações suficientes; S06 – Satisfação com ambientes sanitários; S07 – Acesso/satisfação com pontos de uso para limpezas/instalações suficientes; S08 – Uso águas pluviais; S09 – Uso Reúso de águas; S10 – Percepção quanto ao uso sustentável da água no cenário; n.a.- não se aplica no cenário. Pt – Pontos médios obtidos com a escala de Lickert.

Tabela 5.15 – Escala de valores atribuída aos impactos sociais.

Impactos sociais	Escala de valores	Escala de cores
Efeito muito positivo (melhor performance)	4,21 a 5,0	
Efeito positivo	3,41 a 4,20	
Efeito indiferente (nulo)	2,61 a 3,40	
Efeito negativo	1,81 a 2,60	
Efeito muito negativo (pior performance)	1,0 a 1,8	

A Figura 5.16 apresenta os resultados da análise de impactos na dimensão social, ACV-S, do cenário atual da edificação da pesquisa.

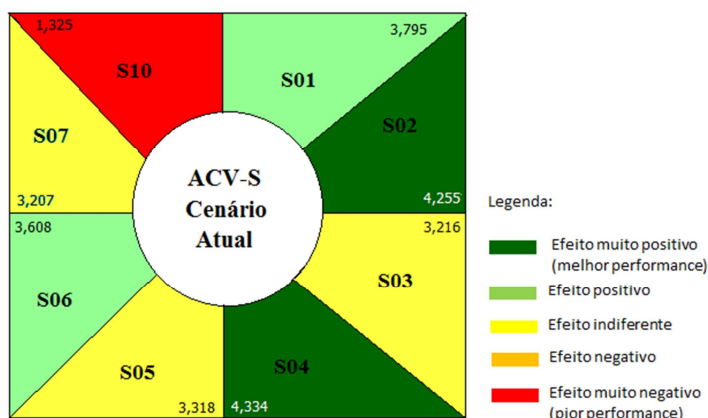


Figura 5.16 – Resultados da ACV-S (social) no cenário atual.

Observa-se na Figura 5.16, que, nos indicadores sociais gerais analisados (S01 e S02), a comunidade externa exibe um impacto social melhor do que o da comunidade interna, apontando que a universidade é vista de maneira mais positiva, pelos atores externos, do que internamente. Em relação aos indicadores “uso geral da água pelos usuários” (S03), “satisfação/installações sanitárias suficientes” (S05) e “acesso/satisfação com pontos de uso para limpezas/installações suficientes” (S07), o resultado foi neutro (nem positivo nem negativo), o que representa também um ponto para melhoria de condições nesses itens. O indicador social final “percepção quanto ao uso sustentável da água no cenário” (S10) foi o que apresentou pior resultado, demonstrando que no cenário atual os atores sociais envolvidos percebem a necessidade de melhoria de condições e processos para a busca pela sustentabilidade da água.

### 5.2.3 – Análise dos impactos econômicos no cenário atual

A Tabela 5.16 e a Figura 5.17 apresentam os resultados da análise de impactos na dimensão econômica, CCV, do cenário atual da pesquisa.

Tabela 5.16 – Resultados da dimensão econômica no cenário atual (em %).

Dimensão econômica	CO1	CO2	CO3	CO4	CO5	CO6
	CBA	CTA	CTE	CFA	CAD	Total
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Cenário atual de uso da água	8,61	20,29	56,7	n.a.	14,4	100

Onde: CO1 – Custo de captação/bombeamento da água subterrânea; CO2 – Custo de tratamento e análises da água potável; CO3 – Custo de tratamento e análises da ETE; CO4 – Custo de tratamento e análises de fonte alternativa; CO5 – Custos adicionais do cenário; n.a. - não se aplica no cenário.

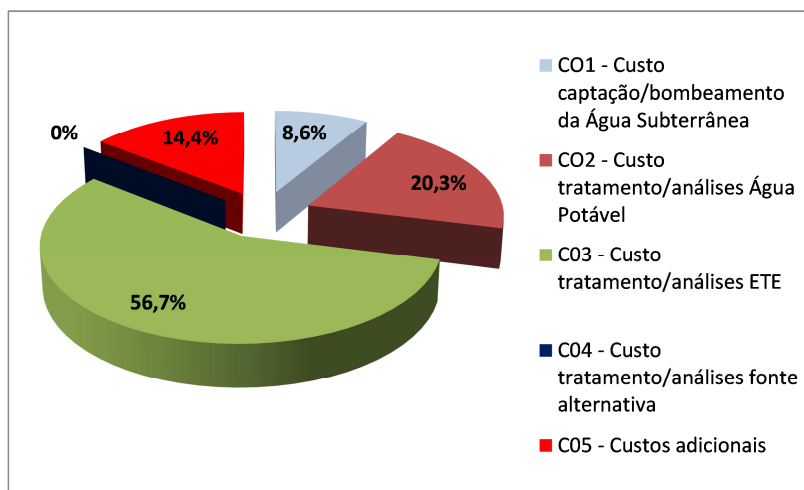


Figura 5. 17 - Resultados da dimensão econômica no cenário atual.

Na dimensão econômica, os resultados da análise do cenário atual mostram que o maior custo está relacionado com a ETE, seguido do tratamento e análises da água potável e custos adicionais (que envolve custos com pessoal do setor, administrativos, licenças ambientais, energia elétrica não relacionada ao tratamento, entre outros).

### **5.3 Etapa 3: Análise dos impactos do uso da água em diferentes cenários**

Nesta etapa, são apresentados os resultados da análise dos impactos do uso da água em diferentes cenários com o uso de fontes alternativas de água na edificação piloto do estudo.

#### **5.3.1 Uso da água na edificação – Cenário aproveitamento da água pluvial**

Neste subitem, são apresentados os resultados da análise dos impactos do uso da água no cenário Aproveitamento da Água Pluvial.

Para a criação deste cenário foi estabelecido um cenário de demanda de água e o sistema de aproveitamento de águas pluviais foi dimensionado de acordo com a NBR 15527 (ABNT, 2007) e a NBR 10844 (ABNT, 1989). Segundo a NBR 15527 o sistema de aproveitamento da água pluvial deve conter dispositivo de descarte, para a remoção de detritos (grades ou telas), e um sistema para o descarte da água de escoamento inicial. Foi considerado que 80% da água coletada dos telhados seria aproveitada, sendo que os 20% restantes seriam perdidos pela interceptação no telhado, evaporação, respingos e *first flush* (sistema de descarte da água da lavagem dos telhados, do escoamento inicial). Assim, foi utilizado o coeficiente de *runoff* de 0,80 e foi considerado para o cenário, o descarte de 2 mm da precipitação inicial.

Na edificação piloto da pesquisa, não existe ainda o aproveitamento da água pluvial e as águas pluviais são descartadas no sistema de drenagem do campus, sem nenhum aproveitamento. A Figura 5.18 demonstra um condutor vertical do sistema de águas pluviais da edificação piloto.





Figura 5.18 – Condutor vertical do sistema de águas pluviais na edificação piloto.

Neste cenário, foi considerado que o aproveitamento da água pluvial será para uso no abastecimento de descargas de bacias sanitárias e limpezas, em geral, dos pisos das salas de aula, laboratórios, corredores e banheiros. Foi considerada na análise da demanda, a redução de consumo, em função do período de férias, por exemplo, e a periodicidade de limpezas. Assim, a demanda média anual de água não potável na edificação, calculada para os fins considerados foi de 675,06 m<sup>3</sup>/ano.

Em relação aos dados hidrológicos locais, a Estação Meteorológica da Embrapa-Trigo, localizada no município, proporciona os dados de pluviometria, mensais e anuais de Passo Fundo, além de outros dados locais de climatologia. A média pluviométrica mensal, nos últimos 24 anos, em Passo Fundo, é de 164,3 mm/mês. E a média histórica anual é 1.964,06mm.

A Figura 5.19 mostra o balanço hídrico climático do município, ou seja, a relação entre precipitação e evapotranspiração, baseada nos dados históricos de 24 anos, obtidos junto à Embrapa-Trigo, em Passo Fundo.

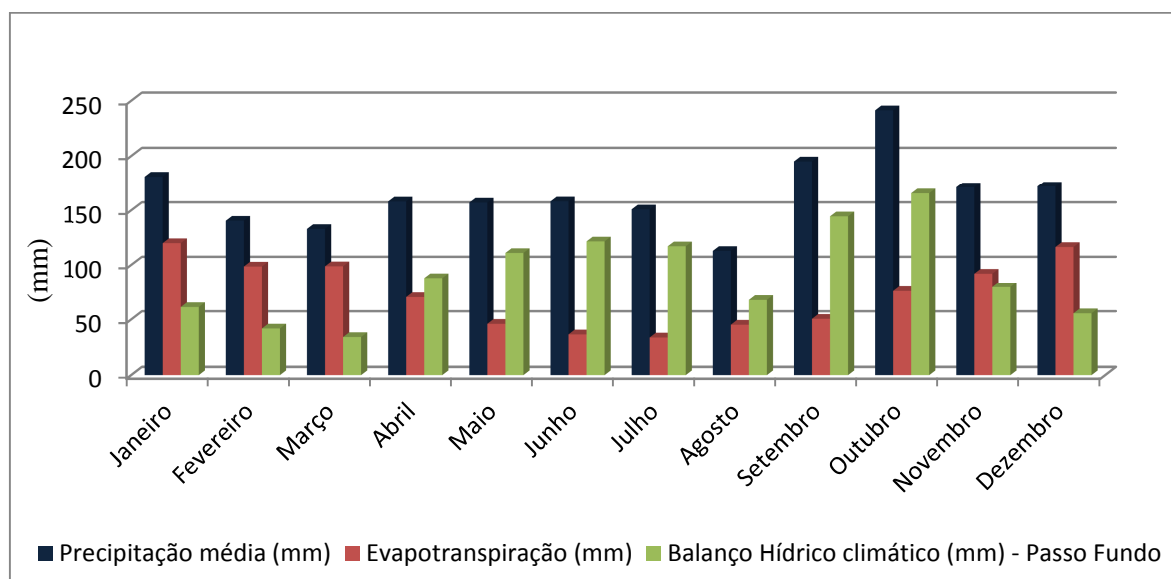


Figura 5.19 - Balanço hídrico climático do município de Passo Fundo - RS.

(Fonte: Elaborado a partir de dados Embrapa-Trigo, 2012).

A equação de intensidade máxima média de precipitações, para a cidade de Passo Fundo, é apresentada na Equação (5.1), determinada por Denardin e Freitas (1982).

$$i = \frac{670,74 \cdot T^{0,21}}{(t+7,9)^{0,74}} \quad (5.1)$$

Onde:  $i$  é a intensidade de precipitação, em mm/h;  $T$  é o período de retorno, em anos;  $t$  é a duração da precipitação, em minutos.

A NBR 10844/89, de instalações prediais de águas pluviais, determina que o período de retorno da equação deva ser fixado em um ano, para áreas pavimentadas onde empoçamentos possam ser tolerados, cinco anos para coberturas e/ou terraços, e 25 anos para coberturas e áreas onde empoçamentos ou extravasamentos não possam ser tolerados. A partir disto, para a duração de precipitação de cinco minutos, a maior intensidade de precipitação é demonstrada na Tabela 5.17.

Tabela 5.17 - Resultados de intensidade de precipitação da Equação 5.1 - Passo Fundo.

Tempo de retorno (T) - em anos	Tempo de duração (t) – em minutos	Intensidade de precipitação (i) - em mm/h
1	5	101,10
5	5	141,74
25	5	198,74

Com isso, foi realizado o dimensionamento da reservação da água pluvial da edificação, através de vários métodos de dimensionamento descritos na norma NBR 15527 (ABNT, 2007), e os resultados estão apresentados na Tabela 5.18. Como os métodos são aproximados, devendo a decisão final ser do projetista, ao final do dimensionamento adotou-se para o volume de reservatório de aproveitamento da água pluvial deste cenário o valor de  $50\text{m}^3$ .

Tabela 5.18 – Dimensionamento do reservatório de água pluvial da edificação piloto.

Método de dimensionamento	Volume necessário do Reservatório ( $\text{m}^3$ ) *
Método Azevedo Neto	41,245
Método prático alemão	40,503
Método prático inglês	49,102
Método prático australiano	45 (C=91,97%)
Método de Rippl	47,53
Valor adotado para reservatório de águas pluviais	50

\*Conforme NBR15527/07.

Deste modo, o valor do aproveitamento de água pluvial considerado deste cenário foi de  $600\text{ m}^3/\text{ano}$  (volume de água que entra na edificação para fins não potáveis).

A qualidade da água do sistema pluvial depende de vários fatores: da limpeza urbana e sua frequência, da intensidade da precipitação e sua distribuição temporal e espacial, da época do ano e do tipo de uso da área urbana (TUCCI et al., 2000). Em relação aos parâmetros qualitativos das águas pluviais, foram considerados os dados obtidos do sistema instalado no Centro de Convivência da UPF, e que estão apresentados no Apêndice C.

Considerou-se para a estimativa da perda pelo uso da água, neste cenário, o mesmo valor de 6%, encontrado no diagnóstico realizado do cenário atual, em função de hábitos dos usuários atuais. Então, neste cenário de Aproveitamento de Águas Pluviais, a entrada de água potável na edificação foi reduzida, em relação ao cenário atual,  $600\text{ m}^3/\text{ano}$ , ou seja, 17,3%. As perdas de água totais consideradas foram  $207,54\text{ m}^3/\text{ano}$  e o índice de captação de água subterrânea da edificação foi 40,98 L/usuário por dia. O volume de esgoto tratado, lançado no córrego pelo uso da água na edificação do estudo, foi  $2,61\text{E}3\text{ m}^3/\text{ano}$ . O fluxograma do balanço de vazões, calculado para o inventário do cenário de Aproveitamento da água pluvial pode ser observado na Figura 5.20.

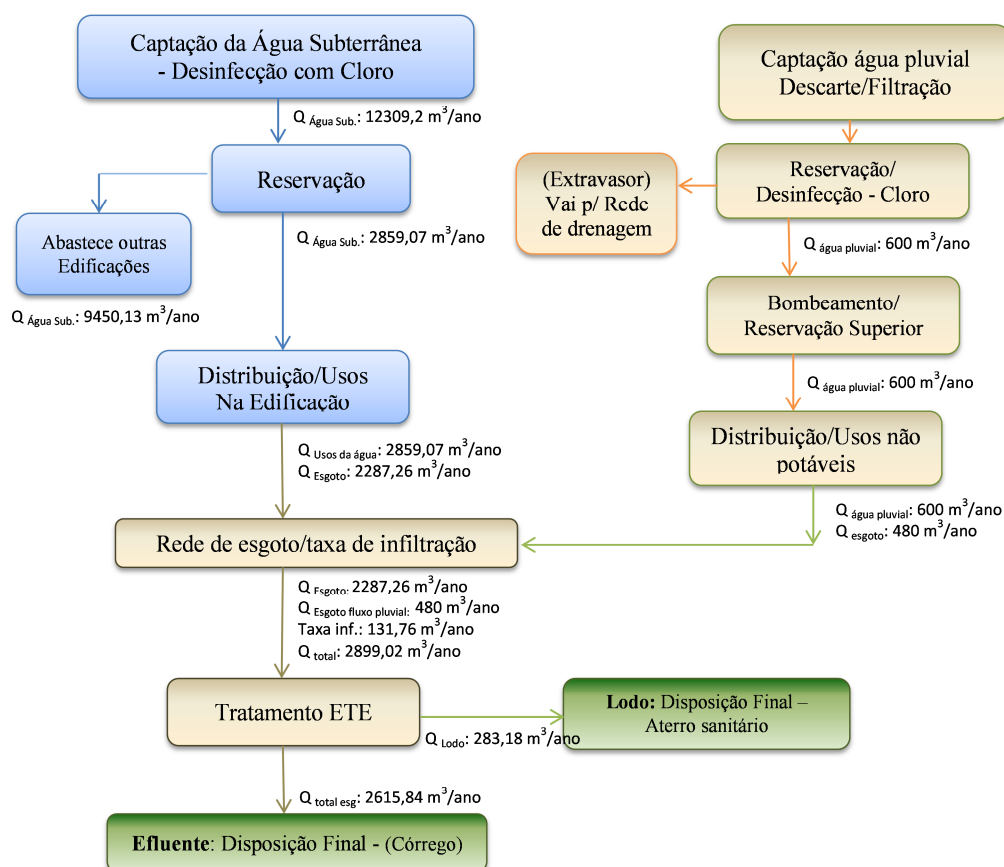


Figura 5.20 – Fluxograma de vazões do uso da água no cenário Aproveitamento da Água Pluvial.

Nos subitens a seguir, serão apresentados e discutidos os resultados relacionados aos fluxos envolvidos no ciclo de vida do uso da água na edificação piloto do estudo, no cenário Aproveitamento da Água Pluvial (AP). Neste cenário foram incluídos os Subsistemas relativos ao aproveitamento da água pluvial (Captação da AP/Reservação inferior/Desinfecção com cloro; Bombeamento/Reservação superior; e Distribuição/Usos não potáveis). Dessa forma, para cada subsistema, serão demonstrados os dados referentes aos fluxos de água, em cada etapa, a energia e as quantidades de produtos utilizadas, e cargas geradas para a unidade funcional (valor médio de uso da água, em um ano, na edificação piloto).

### 5.3.1.1 Subsistema Captação da Água Subterrânea/Desinfecção com cloro

A Tabela 5.19 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes e energia no fluxo da água neste subsistema, no cenário Aproveitamento da Água Pluvial.

Tabela 5.19 – Valores no subsistema Captação da água subterrânea/Desinfecção com cloro – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Entradas - Captação/tratamento (geral do Poço PA01 – HV):		
Volume de água subterrânea captada	m <sup>3</sup> /ano	1,23E+04
Hipoclorito de Sódio para o tratamento da água <sup>1</sup>	kg/ano	6,26E+02
Alumínio	kg/ano	2,46E+00
Nitrato	kg/ano	4,87E+00
Cloretos	kg/ano	5,64E+01
Dureza Total	kg/ano	6,22E+02
Fluoretos	kg/ano	1,35E+00
Sódio	kg/ano	2,70E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	1,49E+03
Bactérias Heterotróficas	UFC/ano	2,31E+08
Cloro residual	kg/ano	9,35E+00
Energia elétrica <sup>2</sup>	kW/ano	1,19E+02
Saídas - Somente para a edificação piloto do estudo:		
Volume de água potável	m <sup>3</sup> /ano	2,86E+03
Cloro residual	kg/ano	2,17E+00
Alumínio	kg/ano	5,72E-01
Nitrato	kg/ano	1,13E+00
Fluoretos	kg/ano	3,14E-01
Cloretos	kg/ano	1,31E+01
Sódio	kg/ano	6,27E+01
Dureza Total	kg/ano	1,44E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	3,45E+02
Bactérias Heterotróficas	UFC/ano	5,36E+07
Emissões atmosféricas consideradas <sup>3</sup> :		
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	kg/ano	6,60E+01
Monóxido de carbono (CO)	kg/ano	2,60E-03
Hidrocarbonetos	kg/ano	1,15E-04
NOx	kg/ano	1,01E-01
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	kg/ano	8,25E-02

<sup>1</sup> – Os dados da fabricação (em kg/ano) e transporte (em tkm – tonelada. km) do Hipoclorito de sódio foram considerados do Ecoinvent, adaptados e convertidos para a unidade funcional da pesquisa. Os valores referentes ao transporte são por meio rodoviário, conforme a distância em km, em caminhão a óleo diesel.

<sup>2</sup> – Os dados utilizados, referentes à produção da eletricidade no Brasil (hidrelétricas), foram obtidos do Ecoinvent e convertidos para a unidade funcional da pesquisa.

<sup>3</sup> - Os dados referentes às emissões do processo, para a unidade funcional, foram obtidos do Ecoinvent.

Como já justificado anteriormente, não foi considerado o subsistema reservação da água, pois na edificação piloto do estudo não há reservatório.

### 5.3.1.2 Subsistema Distribuição/Usos da Água Potável na edificação

A Tabela 5.20, apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água, no subsistema Distribuição/Usos da água potável na Edificação, no cenário Aproveitamento da Água Pluvial.

Tabela 5.20 – Valores no subsistema Distribuição/Usos da água potável na Edificação – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Entradas (água potável na edificação):		
Volume de água potável	m <sup>3</sup> /ano	2,86E+03
Cloro residual	kg/ano	2,17E+00
Alumínio	kg/ano	5,72E-01
Nitrato	kg/ano	1,13E+00
Fluoretos	kg/ano	3,14E-01
Cloretos	kg/ano	1,31E+01
Sódio	kg/ano	6,27E+01
Dureza Total	kg/ano	1,44E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	3,45E+02
Bactérias Heterotróficas	UFC/ano	5,36E+07
Saídas (esgoto gerado na edificação)*:		
Volume de esgoto gerado	m <sup>3</sup> /ano	2,29E+03
DBO	kg/ano	8,33E+02
DQO	kg/ano	1,74E+03
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	1,69E+03
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	4,92E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	1,07E+03
Nitrogênio	kg/ano	1,18E+02
Nitrato	kg/ano	1,87E+01
Nitrito	kg/ano	2,10E+00
Fósforo	kg/ano	3,16E+01
Amônia	kg/ano	6,79E+01
Cloretos	kg/ano	7,59E+01

Óleos e graxas	kg/ano	2,29E+01
Surfactantes	kg/ano	2,15E+01
Cloro residual livre	kg/ano	8,46E-01
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	1,03E+16

\* considerando o fluxo de esgoto gerado pelo uso da água potável.

Continuação da Tabela 5.20.

### 5.3.1.2 Subsistema Captação Água Pluvial/Reservação/Desinfecção com cloro

A Tabela 5.21 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no Subsistema Captação da água pluvial/Reservação/Desinfecção com cloro.

Tabela 5.21 – Valores no subsistema Captação da água pluvial/Reservação/Desinfecção com cloro – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial.

Materiais	Unidade	Quantidade anual
Volume de água pluvial aproveitada	m <sup>3</sup> /ano	6,00E+02
Hipoclorito de Sódio - tratamento da água pluvial <sup>1</sup>	kg/ano	3,06E+01
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	1,09E+00
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	2,79E+01
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	3,08E+01
Cloro residual	kg/ano	1,05E+00
Ferro	kg/ano	6,00E-04
DBO	kg/ano	4,08E-01
Nitrato	kg/ano	2,34E-01
Nitrogênio	kg/ano	2,88E-01
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	6,00E+08
Emissões atmosféricas consideradas <sup>2</sup> :		
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	kg/ano	3,36E+01
Monóxido de carbono (CO)	kg/ano	1,68E-04
Hidrocarbonetos	kg/ano	2,67E-06
NO <sub>x</sub>	kg/ano	4,65E-03
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	kg/ano	4,30E-03

<sup>1</sup> – Os dados da fabricação (em kg/ano) e transporte (em tkm – tonelada. km) do Hipoclorito de sódio foram considerados do Ecoinvent, adaptados e convertidos para a unidade funcional da pesquisa. Os valores referentes ao transporte são por meio rodoviário, conforme a distância em km, em caminhão a óleo diesel.

<sup>2</sup> - Os dados referentes às emissões do processo, para a unidade funcional, foram obtidos do Ecoinvent.

### 5.3.1.3 Subsistema Bombeamento Água Pluvial/Reservatório Superior

A Tabela 5.22 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes e energia no fluxo da água no Subsistema Bombeamento da Água Pluvial/Reservação Superior.

Tabela 5.22 – Valores no subsistema Bombeamento/Reservação superior – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Volume de água pluvial aproveitada	m <sup>3</sup> /ano	6,00E+02
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	1,09E+00
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	2,79E+01
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	3,08E+01
Cloro residual	kg/ano	1,05E+00
Ferro	kg/ano	6,00E-04
DBO	kg/ano	4,08E-01
Nitrato	kg/ano	2,34E-01
Nitrogênio	kg/ano	2,88E-01
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	6,00E+08
Energia elétrica/bombeamento água pluvial <sup>1</sup>	kW/ano	2,81E+00
Emissões atmosféricas consideradas:		
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	kg/ano	1,36E+00
Monóxido de carbono (CO)	kg/ano	8,68E-05
Hidrocarbonetos	kg/ano	3,07E-06
NOx	kg/ano	3,35E-03
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	kg/ano	2,07E-03

<sup>1</sup> – Os dados utilizados, referentes à produção da eletricidade no Brasil, foram obtidos do Ecoinvent e convertidos para a unidade funcional da pesquisa.

### 5.3.1.4 Subsistema Distribuição Água Pluvial/Usos não potáveis

A Tabela 5.23 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no subsistema Distribuição/Usos da água pluvial na Edificação, no cenário Aproveitamento da Água Pluvial.



Tabela 5.23 – Valores no subsistema Distribuição/Usos da água pluvial na Edificação – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Entradas (água pluvial na edificação):		
Volume de água pluvial	m <sup>3</sup> /ano	6,00E+02
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	1,09E+00
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	2,79E+01
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	3,08E+01
Cloro residual	kg/ano	1,05E+00
Ferro	kg/ano	6,00E-04
DBO	kg/ano	4,08E-01
Nitrato	kg/ano	2,34E-01
Nitrogênio	kg/ano	2,88E-01
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	6,00E+08
Saídas (esgoto gerado na edificação)*:		
Volume de esgoto gerado	m <sup>3</sup> /ano	4,80E+02
DBO	kg/ano	1,75E+02
DQO	kg/ano	3,65E+02
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	3,54E+02
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	1,03E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	2,25E+02
Nitrogênio	kg/ano	2,50E+01
Nitrato	kg/ano	4,32E+00
Nitrito	kg/ano	4,42E-01
Fósforo	kg/ano	6,62E+00
Amônia	kg/ano	1,43E+01
Cloretos	kg/ano	1,59E+01
Óleos e graxas	kg/ano	4,80E+00
Surfactantes	kg/ano	4,51E+00
Cloro residual livre	kg/ano	5,90E-01
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	2,35E+15

\* considerando o fluxo de esgoto gerado pela parcela de uso da água pluvial tratada no sistema.

### 5.3.1.5 Subsistema Rede de esgoto coletora/Taxa de infiltração

A Tabela 5.24 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no subsistema Rede de esgoto coletora/Taxa de infiltração, no cenário Aproveitamento da Água Pluvial.

Tabela 5.24 – Valores no subsistema Rede de esgoto coletora/Taxa de infiltração – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Volume esgoto gerado na edificação*	m <sup>3</sup> /ano	2,77E+03
Volume de Rede+Taxa infiltração	m <sup>3</sup> /ano	2,90E+03
DBO	kg/ano	1,01E+03
DQO	kg/ano	2,10E+03
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	3,63E+03
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	5,96E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	2,89E+03
Nitrogênio	kg/ano	1,43E+02
Nitrito	kg/ano	2,82E+01
Nitrito	kg/ano	2,55E+00
Fósforo	kg/ano	3,82E+01
Amônia	kg/ano	8,22E+01
Cloretos	kg/ano	9,19E+01
Óleos e graxas	kg/ano	2,77E+01
Surfactantes	kg/ano	2,60E+01
Cloro residual livre	kg/ano	1,55E+00
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	1,26E+16

\* considerando o fluxo de esgoto gerado pelos usos da água potável e pluvial.

### 5.3.1.6 Subsistema Tratamento na ETE

A Tabela 5.25 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no subsistema Tratamento na ETE, no Aproveitamento da Água Pluvial.

Tabela 5.25 – Valores no subsistema Tratamento na ETE – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Entrada de esgoto bruto na ETE*:		
Volume de esgoto bruto	m <sup>3</sup> /ano	2,90E+03
DBO	kg/ano	1,01E+03
DQO	kg/ano	2,10E+03
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	3,63E+03
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	5,96E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	2,89E+03
Nitrogênio	kg/ano	1,43E+02
Nitrato	kg/ano	2,82E+01
Nitrito	kg/ano	2,55E+00
Fósforo	kg/ano	3,82E+01
Amônia	kg/ano	8,22E+01
Cloretos	kg/ano	9,19E+01
Óleos e graxas	kg/ano	2,77E+01
Surfactantes	kg/ano	2,60E+01
Cloro residual livre	kg/ano	1,55E+00
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	1,26E+16
Hipoclorito de sódio para o tratamento do esgoto <sup>1</sup>	kg/ano	1,31E-01
Energia elétrica para o tratamento do esgoto <sup>2</sup>	kW/ano	3,16E+03
Saída de esgoto tratado da ETE*:		
Volume de esgoto tratado	m <sup>3</sup> /ano	2,62E+03
DBO	kg/ano	1,98E+02
DQO	kg/ano	2,74E+02
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	2,08E+02
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	5,28E+01
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	1,05E+02
Nitrogênio	kg/ano	7,93E+01
Nitrato	kg/ano	2,16E+01
Nitrito	kg/ano	2,12E+00
Fósforo	kg/ano	2,31E+01
Amônia	kg/ano	2,75E+01
Cloretos	kg/ano	1,76E+01
Óleos e graxas	kg/ano	8,95E+00
Surfactantes	kg/ano	7,16E+00
Cloro residual livre	kg/ano	3,27E+00
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	2,83E+10
Areia removida no desarenador <sup>3</sup>	kg/ano	8,70E-02

## Emissões atmosféricas consideradas\*

Metano (CH <sub>4</sub> )	kg/ano	4,35E-01
Monóxido de carbono (CO)	kg/ano	1,65E-01
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	kg/ano	3,42E+02
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	kg/ano	1,75E-03
NOx	kg/ano	5,24E-02
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	kg/ano	4,08E-01

\* Parcela referente à Edificação da pesquisa.

<sup>1</sup> – Os dados da fabricação (em kg/ano) e transporte (em tkm – tonelada.km) do Hipoclorito de sódio foram considerados do Ecoinvent, adaptados e convertidos para a unidade funcional da pesquisa.

<sup>2</sup> – Os dados utilizados, referentes à produção da eletricidade no Brasil, foram obtidos do Ecoinvent e convertidos para a unidade funcional da pesquisa, juntamente com as emissões para o ar do processo. Os valores referentes ao transporte do lodo e areia da ETE são por meio rodoviário em caminhão de 27,2 t de capacidade de carga e desempenho 2,2 km/l de óleo diesel.

<sup>3</sup> – Areia removida é transportada ao aterro sanitário, como resíduo para tratamento. Dados de aterros sanitários obtidos do Ecoinvent, adaptados e convertidos para a quantidade anual da pesquisa.

Continuação da Tabela 5.25.

## 5.3.1.7 Subsistema Lançamento no corpo hídrico receptor

A Tabela 5.26 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no subsistema Lançamento no corpo hídrico receptor, no cenário Aproveitamento da Água Pluvial.

Tabela 5.26 – Valores no subsistema Lançamento no corpo hídrico receptor – Cenário Aproveitamento da Água Pluvial.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Volume de esgoto tratado (Saída ETE)*	m <sup>3</sup> /ano	2,62E+03
DBO	kg/ano	1,98E+02
DQO	kg/ano	2,74E+02
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	2,08E+02
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	5,28E+01
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	1,05E+02
Nitrogênio	kg/ano	7,93E+01
Nitrato	kg/ano	2,16E+01
Nitrito	kg/ano	2,12E+00
Fósforo	kg/ano	2,31E+01
Amônia	kg/ano	2,75E+01
Cloretos	kg/ano	1,76E+01

Óleos e graxas	kg/ano	8,95E+00
Surfactantes	kg/ano	7,16E+00
Cloro residual livre	kg/ano	3,27E+00
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	2,93E+10

\* Parcela referente à Edificação da pesquisa.

Continuação da Tabela 5.26.

### 5.3.2 Análise de impactos – cenário: Aproveitamento de águas pluviais

A Figura 5.21 apresenta a distribuição dos volumes de água no ciclo de vida do uso da água na edificação piloto da pesquisa, no cenário Aproveitamento de águas pluviais.

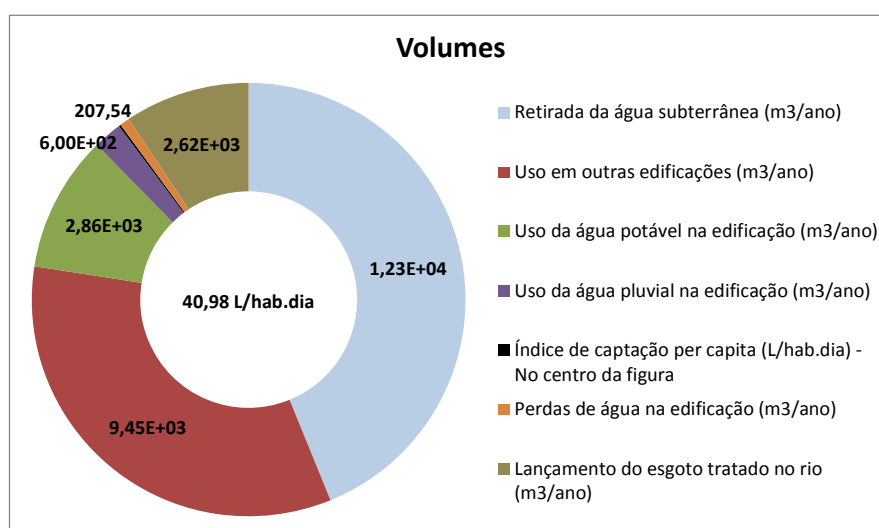


Figura 5.21 – Distribuição de volumes de água na edificação piloto da pesquisa, no cenário Aproveitamento de águas pluviais.

Pode-se observar na Figura 5.21, que, neste cenário, o índice per capita da água subterrânea foi 40,98 Litros, por usuário por dia. O uso da água potável na edificação foi de 2,86E+03 m<sup>3</sup> por ano, ou 11,72 m<sup>3</sup> por dia e o lançamento do esgoto tratado na ETE ao córrego foi 2,62E+03 m<sup>3</sup> por ano, ou 10,72 m<sup>3</sup> por dia.

A Tabela 5.27 apresenta a caracterização de impactos ambientais, por categoria de impactos, do uso da água na edificação piloto no cenário Aproveitamento de águas pluviais, entre os processos da “Captação e tratamento da água subterrânea” e “Processo final de uso da água na edificação”. A análise foi realizada pelo Método IMPACT 2002+.

Tabela 5.27 – Resultado da caracterização dos impactos ambientais do uso da água na edificação, no cenário Aproveitamento de águas pluviais.

Categoria de Impacto	Unidade	Total	Captação da água	Processo final do uso da Água
Cancerígenos	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq	0,175	0,015	0,16
Não cancerígenos	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq	1,72	0,451	1,27
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq	7,66E-7	2,66E-7	5E-7
Efeitos respiratórios	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	0,00704	0,00431	0,00273
Ecotoxicidade aquática	kg TEG water	3,7E6	3E3	3,69E6
Ecotoxicidade terrestre	kg TEG soil	2,53E3	66,9	2,47E3
Acidificação aquática	kg SO <sub>2</sub> eq	1,32E4	0,0763	1,32E4
Eutrofização aquática	kg PO <sub>4</sub> eq	1,94E4	0,0369	1,94E4
Aquecimento global	kg CO <sub>2</sub> eq	182	8,42	173
Energia não renovável	MJ primary	210	119	90,4

Na Figura 5.22 pode ser observada a comparação da avaliação de impactos ambientais do uso da água na edificação por categoria de impactos, no cenário Aproveitamento de águas pluviais. E a Tabela 5.28 apresenta a avaliação dos impactos ambientais por categoria de danos, do uso da água na edificação piloto no cenário Aproveitamento de águas pluviais.

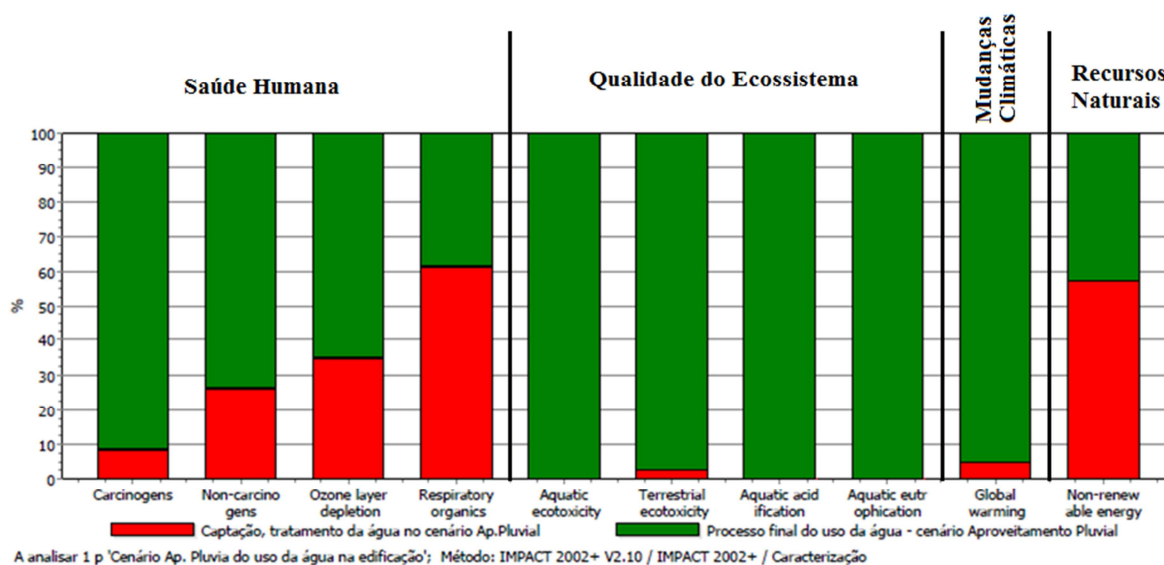


Figura 5.22 – Comparação da caracterização por categoria de impactos ambientais, no cenário Aproveitamento de águas pluviais.

Tabela 5.28 – Avaliação dos impactos ambientais por categoria de danos do uso da água na edificação, no cenário Aproveitamento de águas pluviais.

Categoria de Danos	Unidade	Total	Captação da água	Processo final do uso da Água
Impacto na Saúde humana	DALY	1,95E-5	7,42E-6	1,21E-5
Impacto na Qualidade do ecossistema	PDF*m <sup>2</sup> yr	206	1,03	205
Impacto nas Mudanças climáticas	kg CO <sub>2</sub> eq	182	8,42	173
Impacto no esgotamento dos recursos naturais	MJ	211	119	91

A Figura 5.23 apresenta a avaliação dos impactos ambientais por categoria de danos, do uso da água na edificação piloto no cenário Aproveitamento de águas pluviais.

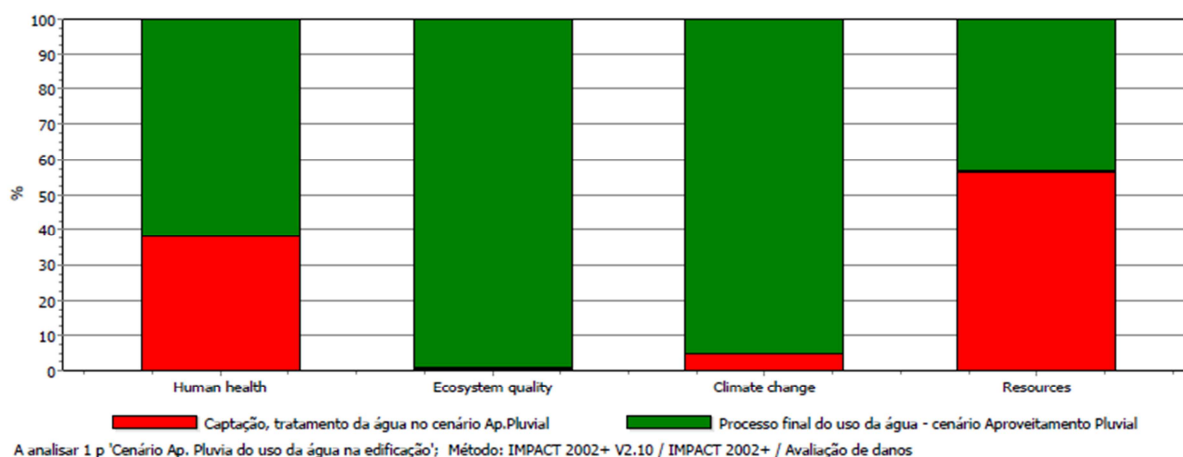


Figura 5.23 – Comparação da avaliação dos impactos ambientais por categoria de danos.

Após a normalização, os resultados para o cenário Aproveitamento de águas pluviais foram: impacto ambiental na categoria Saúde Humana é 0,00275 Daly/pessoa.ano; o impacto ambiental na categoria Qualidade do Ecossistema é 0,0151 PDF\*m<sup>2</sup> por pessoa por ano, onde PDF é o potencial de desaparecimento de espécies; o impacto ambiental na categoria Mudança Climática é 0,0183 kgCO<sub>2</sub>eq/pessoa.ano; e o impacto ambiental na categoria Recursos é 0,00139 MJ/pessoa.ano. Multiplicando-se os resultados da normalização por 1000, têm-se os resultados da Ponderação em Pontuação Única (mPt). Os resultados da Ponderação podem ser visualizados na Figura 5.24, impactos ambientais por categorias de danos.

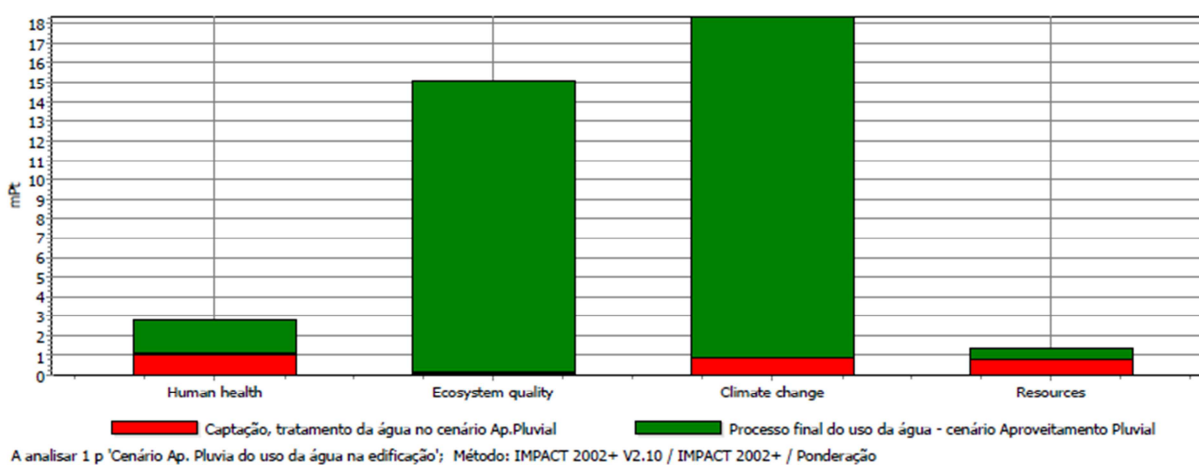


Figura 5.24 – Ponderação da avaliação dos impactos ambientais por categoria de danos, no cenário Aproveitamento de águas pluviais.

A Figura 5.25 apresenta o resultado final da avaliação dos impactos ambientais do uso da água na edificação no cenário Aproveitamento de águas pluviais, agrupados em Pontuação única por tipo de processo, ou seja, captação/tratamento e uso/lançamento da água.

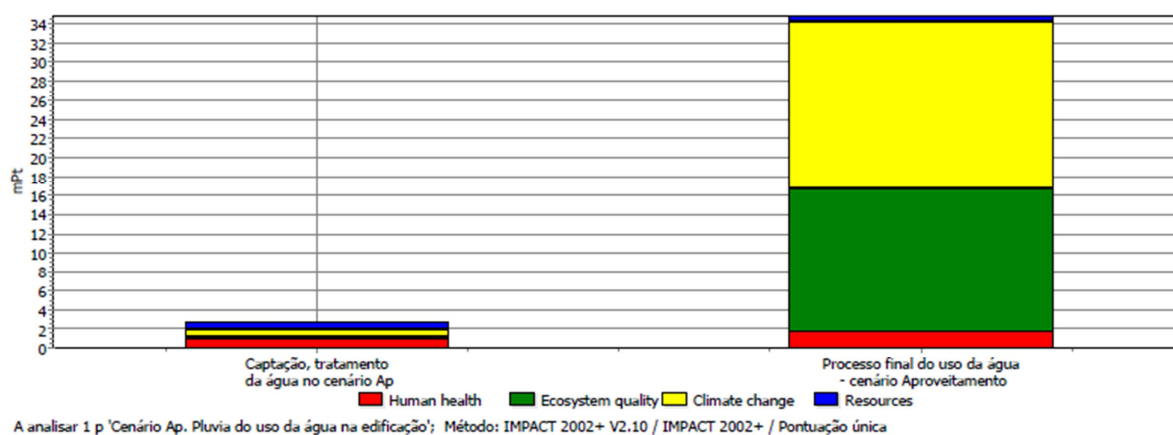


Figura 5.25 – Comparação da avaliação dos impactos ambientais em pontuação única, no cenário Aproveitamento de águas pluviais.

A avaliação final dos impactos ambientais, na Figura 5.25, resultou em um indicador final de pontuação única de 0,00276 Pontos (Pt) ou 2,76 mPt para o processo de captação/tratamento da água subterrânea,. E para o processo final do uso da água na edificação resultou em um indicador de 0,0348 Pontos, ou 34,8 mPt. Totalizando, para o uso da água no cenário Aproveitamento de águas pluviais, um indicador ambiental global final de 0,0375 Pontos, ou 37,5 mPt.

A Tabela 5.29 apresenta os valores dos resultados da análise de impactos na dimensão social, ACV-S, no cenário Aproveitamento de águas pluviais.

Tabela 5.29 – Resultados da ACV-S (social) no cenário Aproveitamento de águas pluviais.

ACV-S (social)	SO1	SO2	SO3	SO4	SO5	SO6	SO7	SO8	SO9	SO10
	CI	CE	UA	APO	ABS	SAS	APU	AP	RA	US
	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt
Cenário Ap. águas pluviais	4,201	4,306	4,679	4,334	3,318	3,608	4,254	4,946	n.a.	4,938

Onde: S01 – Indicador social geral – comunidade interna; S02 – Indicador social geral – comunidade externa; S03 – Indicador geral de satisfação de uso da água; S04 – Acesso/satisfação com água potável para uso; S05 – Acesso/satisfação com banheiros/instalações suficientes; S06 – Satisfação com ambientes sanitários; S07 – Acesso/satisfação com pontos de uso para limpezas/instalações suficientes; S08 – Uso águas pluviais; S09 – Uso Reúso de águas; S10 – Percepção quanto ao uso sustentável da água no cenário; n.a.- não se aplica no cenário. Pt – Pontos médios obtidos com a escala de Lickert.

A Figura 5.26 apresenta os resultados da análise de impactos na dimensão social, ACV-S, no cenário Aproveitamento de águas pluviais.



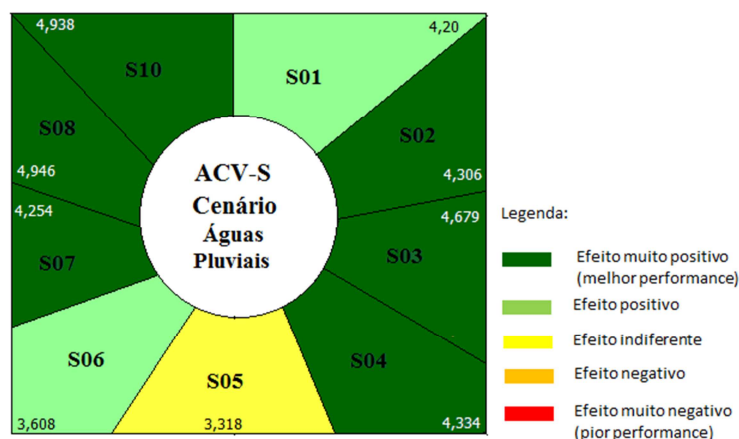


Figura 5.26 – Impactos sociais no Cenário Aproveitamento de águas pluviais.

Neste cenário, observa-se uma melhora nos indicadores, em especial no indicador social final “percepção quanto ao uso sustentável da água no cenário” (S10), que apresentou resultado muito positivo, demonstrando que no cenário Aproveitamento de águas pluviais os atores sociais envolvidos aceitariam o uso dessa fonte alternativa de água e entendem que, dessa forma, contribui-se para a busca pela sustentabilidade da água.

A Tabela 5.30 e a Figura 5.27 apresentam os resultados da análise de impactos na dimensão econômica, CCV, do cenário Aproveitamento de águas pluviais da pesquisa.

Tabela 5.30 – Resultados econômicos no cenário Aproveitamento águas pluviais (em %).

Dimensão econômica	CO1	CO2	CO3	CO4	CO5	CO6
	CBA	CTA	CTE	CFA	CAD	Total
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Cenário Ap. águas pluviais	6,21	14,51	47,5	4,98	26,8	100

Onde: CO1 – Custo de captação/bombeamento da água subterrânea; CO2 – Custo de tratamento e análises da água potável; CO3 – Custo de tratamento e análises da ETE; CO4 – Custo de tratamento e análises de fonte alternativa (água pluvial); CO5 – Custos adicionais do cenário.

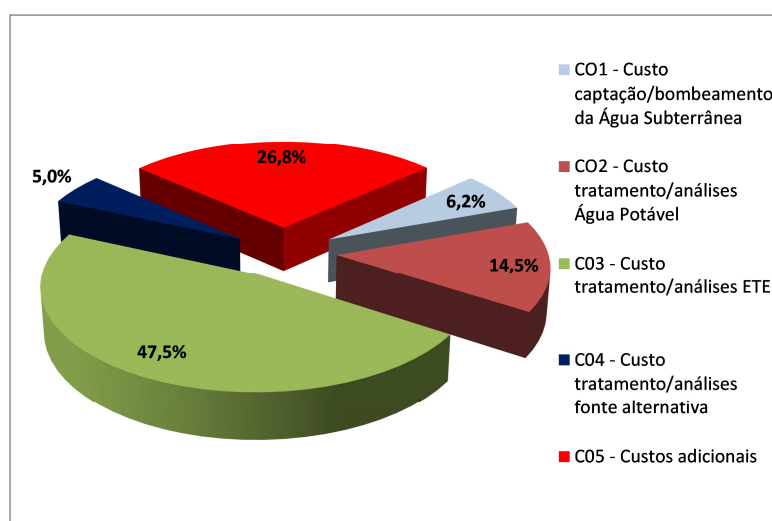


Figura 5.27 - Resultados econômicos do cenário Aproveitamento de águas pluviais.

Na dimensão econômica, os resultados da análise deste cenário mostram que o maior custo ainda está relacionado com a ETE. Os menores custos estão relacionados com a captação da água subterrânea e o tratamento da fonte alternativa. Custos adicionais neste cenário envolvem custos com instalações e adequações do sistema para o aproveitamento da água pluvial, além de custos com pessoal do setor, administrativos, licenças ambientais, energia elétrica não relacionada ao tratamento, entre outros.

### **5.3.3 Uso da água na edificação – Cenário reúso de águas**

Neste cenário, o fim destinado para a água de reúso foi somente para uso nas descargas de bacias sanitárias. A demanda de água não potável para uso nas bacias sanitárias foi obtida com base nos dados do diagnóstico levantado na edificação piloto, sendo considerado o valor de 360 m<sup>3</sup>/ano. Os parâmetros quali-quantitativos do esgoto sanitário tratado na ETE da UPF e os padrões de reúso para bacia sanitária podem ser observados no Apêndice D.

Para o uso não potável considerado neste cenário da pesquisa, foram observados os limites estabelecidos no manual de conservação e reúso de água em edificações (FIESP/ANA/SINDUSCON-SP, 2005); os valores para reúso urbano, do *Guidelines for water reuse* (USEPA, 2012); e na NBR 13969 (ABNT, 1997), o item 5.6 – Reúso Local – Grau de tratamento necessário Classe 3 (bacia sanitária).

Verificou-se que, para o cenário de reúso da pesquisa, há a necessidade de adequações no tratamento da ETE existente, com um pós-tratamento, para poder fazer o reúso do efluente tratado nas descargas das bacias sanitárias da edificação. Assim, para estimar os índices qualitativos deste cenário, foram considerados os limites máximos permitidos para reúso em bacias sanitárias, conforme Classe 1 da Tabela D.1 do Apêndice D (FIESP/ANA/SINDUSCON-SP, 2005), e foram consideradas relações de alocação entre os parâmetros do cenário atual, com o de reúso.

Em relação ao sistema de reúso, considerou-se, para o cálculo do balanço de massas e vazões, a recirculação do esgoto em função do reúso, e que a cada passagem, há o acréscimo de vazão e massa, gerando uma nova parcela do esgoto a tratar. A recirculação foi recalculada até o sistema entrar em estado estacionário, ou seja, até o ponto em que o acréscimo resultante

da última recirculação considerada possa ser admitido como desprezível em relação às anteriores (JORDÃO e PESSOA, 2011).

A Figura 5.28 apresenta o balanço de vazões calculado para esse cenário de reúso.

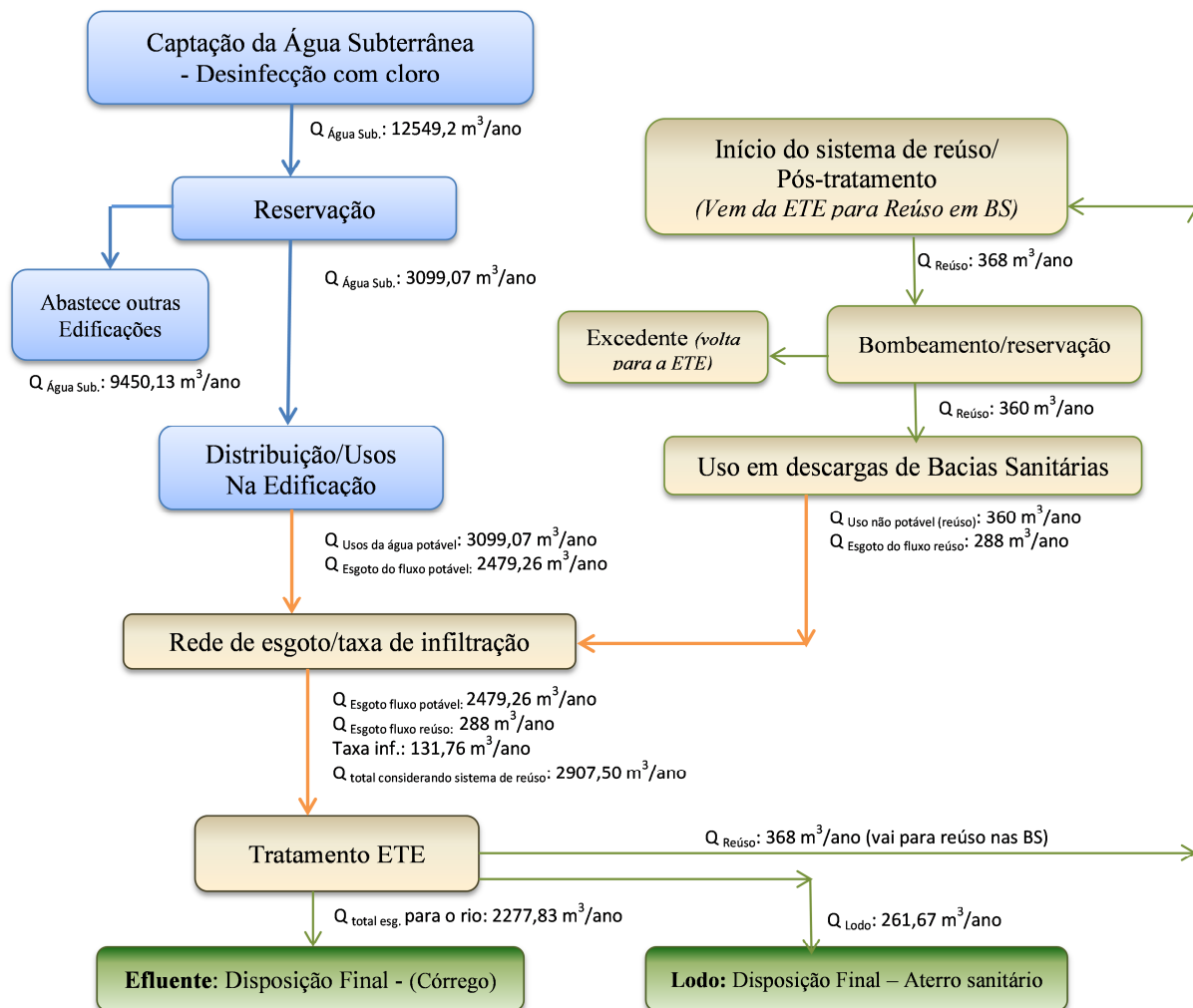


Figura 5.28 - Balanço de vazões do cenário Reúso de Águas.

Nos subitens a seguir, são apresentados e discutidos os resultados relacionados aos fluxos envolvidos no ciclo de vida do uso da água, na edificação piloto do estudo, no cenário Reúso de águas. Neste cenário foram incluídos os Subsistemas relativos ao reúso: Início do sistema de reúso (tubulação que vem da ETE para o reúso)/Pós-tratamento; Bombeamento/Reservação; e Reúso em bacias sanitárias. Dessa forma, para cada subsistema, são demonstrados os dados referentes aos fluxos de água, em cada etapa, e as quantidades de produtos utilizadas e cargas geradas para a unidade funcional (valor médio de água potável utilizado em um ano, na edificação piloto).

### 5.3.3.1 Subsistema Captação da Água Subterrânea/Desinfecção com cloro

A Tabela 5.31 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes e energia no fluxo da água neste subsistema, no cenário Reúso de águas.

Tabela 5.31 – Valores no subsistema Captação da água subterrânea/Desinfecção com cloro – Cenário Reúso de águas.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Entradas - Captação/tratamento (geral do Poço PA01 – HV):		
Volume de água subterrânea captada	m <sup>3</sup> /ano	1,25E+04
Hipoclorito de Sódio para o tratamento da água <sup>1</sup>	kg/ano	6,37E+02
Alumínio	kg/ano	2,51E+00
Nitrato	kg/ano	4,97E+00
Cloretos	kg/ano	5,75E+01
Dureza Total	kg/ano	6,34E+02
Fluoretos	kg/ano	1,38E+00
Sódio	kg/ano	2,75E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	1,51E+03
Bactérias Heterotróficas	UFC/ano	2,35E+08
Cloro residual	kg/ano	9,54E+00
Energia elétrica para a captação <sup>2</sup>	kW/ano	1,21E+02
Saídas - Somente para a edificação piloto do estudo:		
Volume de água potável	m <sup>3</sup> /ano	3,10E+03
Cloro residual	kg/ano	2,36E+00
Alumínio	kg/ano	6,20E-01
Nitrato	kg/ano	1,23E+00
Fluoretos	kg/ano	3,41E-01
Cloretos	kg/ano	1,42E+01
Sódio	kg/ano	6,80E+01
Dureza Total	kg/ano	1,57E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	3,74E+02
Bactérias Heterotróficas	UFC/ano	5,81E+07
Emissões atmosféricas consideradas <sup>3</sup> :		
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	kg/ano	7,30E+01
Monóxido de carbono (CO)	kg/ano	3,22E-03
Hidrocarbonetos	kg/ano	1,15E-04
NOx	kg/ano	1,20E-01

Dióxido de Enxofre (SO<sub>2</sub>) kg/ano 8,85E-02

<sup>1</sup> – Os dados da fabricação (em kg/ano) e transporte (em tkm – tonelada. km) do Hipoclorito de sódio foram considerados do Ecoinvent, adaptados e convertidos para a unidade funcional da pesquisa. Os valores referentes ao transporte são por meio rodoviário, conforme a distância em km, em caminhão a óleo diesel.

<sup>2</sup> – Os dados utilizados, referentes à produção da eletricidade no Brasil (hidrelétricas), foram obtidos do Ecoinvent e convertidos para a unidade funcional da pesquisa.

<sup>3</sup> - Os dados referentes às emissões do processo, para a unidade funcional, foram obtidos do Ecoinvent.

Continuação da Tabela 5.31.

Como já justificado anteriormente, não foi considerado o subsistema reservação da água, pois na edificação piloto do estudo não há reservatório.

### 5.3.3.2 Subsistema Distribuição/Usos da Água Potável na edificação

A Tabela 5.32 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no subsistema Distribuição/Usos da água potável na Edificação, no cenário Reúso de águas.

Tabela 5.32 – Valores no subsistema Distribuição/Usos da água potável na Edificação – Cenário Reúso de águas.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Entradas (água potável na edificação)*:		
Volume de água potável	m <sup>3</sup> /ano	3,10E+03
Cloro residual	kg/ano	2,36E+00
Alumínio	kg/ano	6,20E-01
Nitrato	kg/ano	1,23E+00
Fluoretos	kg/ano	3,41E-01
Cloretos	kg/ano	1,42E+01
Sódio	kg/ano	6,80E+01
Dureza Total	kg/ano	1,57E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	3,74E+02
Bactérias Heterotróficas	UFC/ano	5,81E+07
Saídas (esgoto gerado na edificação)*:		
Volume de esgoto gerado	m <sup>3</sup> /ano	2,48E+03
DBO	kg/ano	9,02E+02
DQO	kg/ano	1,88E+03
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	1,83E+03

Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	5,33E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	1,16E+03
Nitrogênio	kg/ano	1,28E+02
Nitrato	kg/ano	2,03E+01
Nitrito	kg/ano	2,28E+00
Fósforo	kg/ano	3,42E+01
Amônia	kg/ano	7,36E+01
Cloretos	kg/ano	8,23E+01
Óleos e graxas	kg/ano	2,48E+01
Surfactantes	kg/ano	2,33E+01
Cloro residual livre	kg/ano	9,17E-01
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	1,12E+16

\* considerando o fluxo de esgoto gerado pelo uso da água potável.

Continuação da Tabela 5.32.

### 5.3.3.3 Subsistema Início do sistema de reúso/Pós-tratamento/reservação

A Tabela 5.33 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no subsistema Início do sistema de reúso/Pós-tratamento, no cenário Reúso de águas, já considerando os valores dos acréscimos de massas do sistema de reúso.

Tabela 5.33 – Valores no subsistema Início do sistema de reúso/pós tratamento/reservação – Cenário Reúso de águas.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Volume de esgoto tratado da ETE que vai para o fluxo do sistema de reúso:	m <sup>3</sup> /ano	3,68E+02
DBO	kg/ano	1,26E+02
DQO	kg/ano	2,62E+02
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	2,54E+02
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	6,90E+00
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	1,36E+01
Nitrogênio	kg/ano	1,86E+01
Nitrato	kg/ano	3,87E+00
Nitrito	kg/ano	3,67E-01
Fósforo	kg/ano	4,75E+00
Amônia	kg/ano	3,70E+00

Cloretos	kg/ano	2,38E+00
Óleos e graxas	kg/ano	4,48E+00
Surfactantes	kg/ano	3,34E+00
Cloro residual livre	kg/ano	1,67E-01
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	3,89E+07
Considerando as reduções* no pós-tratamento para o reúso em BS:		
Volume pós-tratado para reúso nas BS	m <sup>3</sup> /ano	3,68E+02
DBO	kg/ano	3,60E+00
DQO	kg/ano	4,95E+00
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	1,80E+00
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	1,26E+00
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	9,05E-01
Nitrogênio	kg/ano	7,20E+00
Nitrato	kg/ano	3,60E+00
Nitrito	kg/ano	3,60E-01
Fósforo	kg/ano	3,60E-02
Amônia	kg/ano	2,50E+00
Cloretos	kg/ano	2,95E+00
Óleos e graxas	kg/ano	3,60E-01
Surfactantes	kg/ano	4,68E-01
Cloro residual livre	kg/ano	3,60E-01
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	3,60E+07
Energia elétrica – reúso	kW/ano	1,73E+02
Emissões atmosféricas consideradas**		
Metano (CH <sub>4</sub> )	kg/ano	1,44E-02
Monóxido de carbono (CO)	kg/ano	5,47E-03
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	kg/ano	1,13E+01
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	kg/ano	5,78E-05
NO <sub>x</sub>	kg/ano	1,72E-03
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	kg/ano	1,34E-02

\* Usados os valores limites permitidos para reúso em bacias sanitárias (Tabela D.1 do Apêndice D).

\*\* Parcela referente à Edificação da pesquisa.

Continuação da Tabela 5.33.

#### 5.3.3.4 Subsistema Reúso em bacias sanitárias

A Tabela 5.34 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no subsistema Reúso em bacias sanitárias, no cenário Reúso de águas.

Tabela 5.34 – Valores no subsistema Reúso em bacias sanitárias – Cenário Reúso de águas.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Reúso em bacias sanitárias (entradas):		
Volume de reúso em bacias sanitárias	m <sup>3</sup> /ano	3,60E+02
DBO	kg/ano	3,60E+00
DQO	kg/ano	4,95E+00
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	1,80E+00
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	1,26E+00
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	9,05E-01
Nitrogênio	kg/ano	7,20E+00
Nitrato	kg/ano	3,60E+00
Nitrito	kg/ano	3,60E-01
Fósforo	kg/ano	3,60E-02
Amônia	kg/ano	2,50E+00
Cloretos	kg/ano	2,95E+00
Óleos e graxas	kg/ano	3,60E-01
Surfactantes	kg/ano	4,68E-01
Cloro residual livre	kg/ano	3,60E-01
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	3,60E+07
Esgoto gerado pelo fluxo de reúso (saídas):		
Volume de esgoto gerado pelo reúso	m <sup>3</sup> /ano	2,88E+02
DBO	kg/ano	1,08E+02
DQO	kg/ano	2,24E+02
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	2,14E+02
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	6,32E+01
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	1,36E+02
Nitrogênio	kg/ano	2,22E+01
Nitrato	kg/ano	6,19E+00
Nitrito	kg/ano	6,25E-01
Fósforo	kg/ano	4,01E-01
Amônia	kg/ano	1,11E+01
Cloretos	kg/ano	1,25E+01
Óleos e graxas	kg/ano	3,24E+00
Surfactantes	kg/ano	3,18E+00
Cloro residual livre	kg/ano	7,14E-01
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	1,41E+15



### 5.3.3.5 Subsistema Rede de esgoto coletora/Taxa de infiltração

A Tabela 5.35 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no subsistema Rede de esgoto coletora/Taxa de infiltração, no cenário Reúso de águas, já considerando os valores de acréscimo de massas do sistema de reúso.

Tabela 5.35 – Valores no subsistema Rede de esgoto coletora/Taxa de infiltração – Cenário Reúso de águas.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Volume de Rede+Taxa infiltração*	m <sup>3</sup> /ano	2,91E+03
DBO	kg/ano	1,02E+03
DQO	kg/ano	2,14E+03
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	3,67E+03
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	5,99E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	2,93E+03
Nitrogênio	kg/ano	1,52E+02
Nitrato	kg/ano	2,85E+01
Nitrito	kg/ano	2,60E+00
Fósforo	kg/ano	3,86E+01
Amônia	kg/ano	8,47E+01
Cloretos	kg/ano	9,48E+01
Óleos e graxas	kg/ano	2,84E+01
Surfactantes	kg/ano	2,72E+01
Cloro residual livre	kg/ano	1,03E+00
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	1,26E+16

\* considerando o fluxo de esgoto gerado pelos usos da água potável e reúso, e com recirculação.

### 5.3.3.6 Subsistema Tratamento na ETE

A Tabela 5.36 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no subsistema Tratamento na ETE, no cenário Reúso de águas.

Tabela 5.36 – Valores no subsistema Tratamento na ETE – Cenário Reúso de águas.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Entrada de esgoto bruto na ETE*:		
Volume de esgoto bruto	m <sup>3</sup> /ano	2,91E+03
DBO	Kg/ano	1,02E+03
DQO	Kg/ano	2,14E+03
Sólidos Totais (ST)	Kg/ano	3,67E+03
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	Kg/ano	5,99E+02
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	Kg/ano	2,93E+03
Nitrogênio	Kg/ano	1,52E+02
Nitrato	Kg/ano	2,85E+01
Nitrito	Kg/ano	2,60E+00
Fósforo	Kg/ano	3,86E+01
Amônia	Kg/ano	8,47E+01
Cloretos	Kg/ano	9,48E+01
Óleos e graxas	Kg/ano	2,84E+01
Surfactantes	Kg/ano	2,72E+01
Cloro residual livre	Kg/ano	1,03E+00
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	1,26E+16
Hipoclorito de sódio para o tratamento	Kg/ano	1,27E-01
Energia elétrica para o tratamento	KW/ano	2,91E+03
Areia removida no desarenador	Kg/ano	8,11E-03
Emissões atmosféricas consideradas*		
Metano (CH <sub>4</sub> )	Kg/ano	4,91E-01
Monóxido de carbono (CO)	Kg/ano	1,86E-01
Dióxido de carbono (CO <sub>2</sub> )	Kg/ano	3,83E+02
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	Kg/ano	1,96E-03
NO <sub>x</sub>	Kg/ano	5,88E-02
Dióxido de Enxofre (SO <sub>2</sub> )	Kg/ano	4,60E-01

<sup>1</sup> – Os dados da fabricação (em kg/ano) e transporte (em tkm – tonelada.km) do Hipoclorito de sódio foram considerados do Ecoinvent, adaptados e convertidos para a unidade funcional da pesquisa.

<sup>2</sup> – Os dados utilizados, referentes à produção da eletricidade no Brasil, foram obtidos do Ecoinvent e convertidos para a unidade funcional da pesquisa, juntamente com as emissões para o ar do processo. Os valores referentes ao transporte do lodo e areia da ETE são por meio rodoviário em caminhão de 27,2 t de capacidade de carga e desempenho 2,2 km/l de óleo diesel.

<sup>3</sup> – Areia removida é transportada ao aterro sanitário, como resíduo para tratamento. Dados de aterros sanitários obtidos do Ecoinvent, adaptados e convertidos para a quantidade anual da pesquisa.

\* Parcela referente à Edificação da pesquisa.

### 5.3.3.7 Subsistema Lançamento no corpo hídrico receptor

A Tabela 5.37 apresenta os valores do Balanço de massas das substâncias presentes no fluxo da água no subsistema Lançamento no corpo hídrico receptor, no cenário Reúso de águas.

Tabela 5.37 – Valores no subsistema Lançamento no corpo hídrico receptor – Cenário Reúso de águas.

<b>Materiais</b>	<b>Unidade</b>	<b>Quantidade anual</b>
Volume de esgoto tratado (Saída ETE para o rio)*	m <sup>3</sup> /ano	2,28E+03
DBO	kg/ano	2,01E+02
DQO	kg/ano	2,97E+02
Sólidos Totais (ST)	kg/ano	2,11E+02
Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)	kg/ano	6,08E+01
Sólidos Dissolvidos Totais (SDT)	kg/ano	1,33E+02
Nitrogênio	kg/ano	1,13E+02
Nitrito	kg/ano	2,22E+01
Nitrito	kg/ano	2,37E+00
Fósforo	kg/ano	2,35E+01
Amônia	kg/ano	2,75E+01
Cloretos	kg/ano	1,82E+01
Óleos e graxas	kg/ano	9,22E+00
Surfactantes	kg/ano	7,53E+00
Cloro residual livre	kg/ano	2,87E+00
Coliformes termotolerantes	NMP/ano	2,76E+10

\* Parcela referente à Edificação da pesquisa, no cenário Reúso de águas, considerando o fluxo potável e de reúso.

### 5.3.4 Análise de impactos do uso da água – cenário: Reúso de águas

A Figura 5.29 apresenta a distribuição dos volumes de água no ciclo de vida do uso da água na edificação piloto da pesquisa, no cenário Reúso de águas.

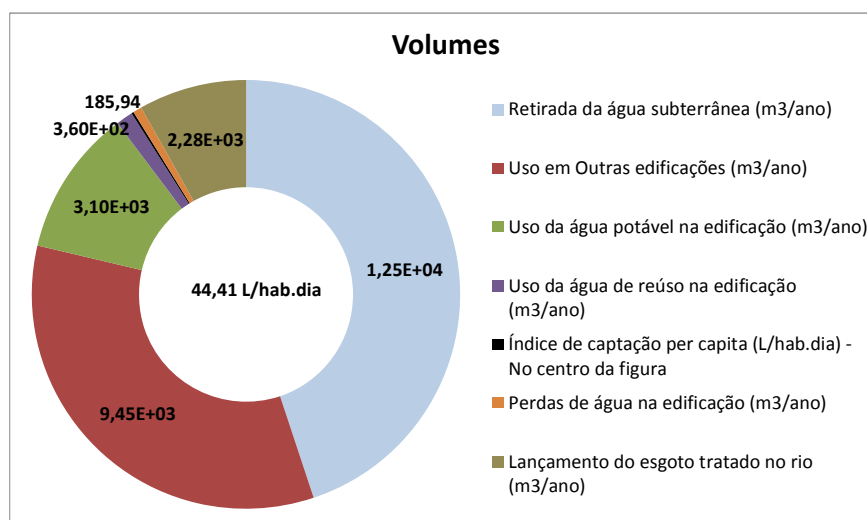


Figura 5.29 – Distribuição de volumes de água na edificação piloto da pesquisa, no cenário Reúso de águas.

Pode-se observar na Figura 5.29, que o índice de captação per capita da água subterrânea foi 44,41 litros, por usuário, por dia. O uso da água potável na edificação foi de 3,10E+03 m<sup>3</sup> por ano, ou 12,705 m<sup>3</sup> por dia e o lançamento do esgoto tratado na ETE ao córrego foi 2,28E+03 m<sup>3</sup> por ano, ou 9,33 m<sup>3</sup> por dia.

A Tabela 5.38 apresenta a caracterização de impactos ambientais, por categoria de impactos, do uso da água na edificação piloto no cenário Reúso de águas, entre os processos da “Captação e tratamento da água subterrânea” e “Processo final de uso da água na edificação”. A análise foi realizada pelo Método IMPACT 2002+.

Tabela 5.38 – Resultado da caracterização dos impactos ambientais do uso da água na edificação, no cenário Reúso de águas.

Categoria de Impacto	Unidade	Total	Captação da água	Processo final do uso da água
Cancerígenos	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq	0,24	0,025	0,215
Não cancerígenos	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq	2,18	0,751	1,42
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq	1,11E-6	4,47E-7	6,65E-7
Efeitos respiratórios	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	0,0108	0,00719	0,00365
Ecotoxicidade aquática	kg TEG water	3,74E6	5E3	3,73E6
Ecotoxicidade terrestre	kg TEG soil	3,36E3	111	3,25E3
Acidificação aquática	kg SO <sub>2</sub> eq	1,33E4	0,127	1,33E4
Eutrofização aquática	kg PO <sub>4</sub> eq	1,96E4	0,0615	1,96E4
Aquecimento global	kg CO <sub>2</sub> eq	246	14	232
Energia não renovável	MJ primary	320	199	121

Na Figura 5.30 pode ser observada a comparação da avaliação de impactos ambientais do uso da água na edificação por categoria de impactos, no cenário Reúso de águas.

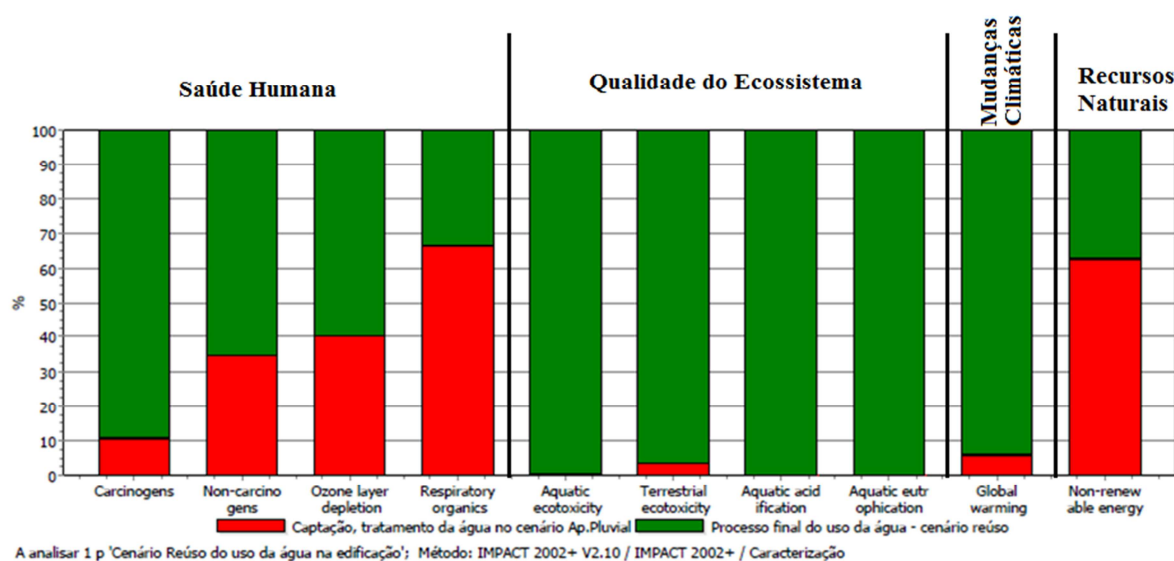


Figura 5.30 – Comparação da caracterização por categoria de impactos ambientais, no cenário Reúso de águas.

A Tabela 5.39 e a Figura 5.31 apresentam a avaliação de impactos ambientais, por categoria de danos, do uso da água na edificação piloto, no cenário Reúso de águas.

Tabela 5.39 – Avaliação dos impactos ambientais por categoria de danos do uso da água na edificação, no cenário Reúso de águas.

Categoria de Danos	Unidade	Total	Captação da água	Processo final do uso da Água
Impacto na Saúde humana	DALY	2,78E-5	1,24E-5	1,54E-5
Impacto na Qualidade do ecossistema	PDF*m <sup>2</sup> yr	215	1,72	213
Impacto nas Mudanças climáticas	kg CO <sub>2</sub> eq	246	14	232
Impacto no esgotamento dos recursos naturais	MJ	320	199	121

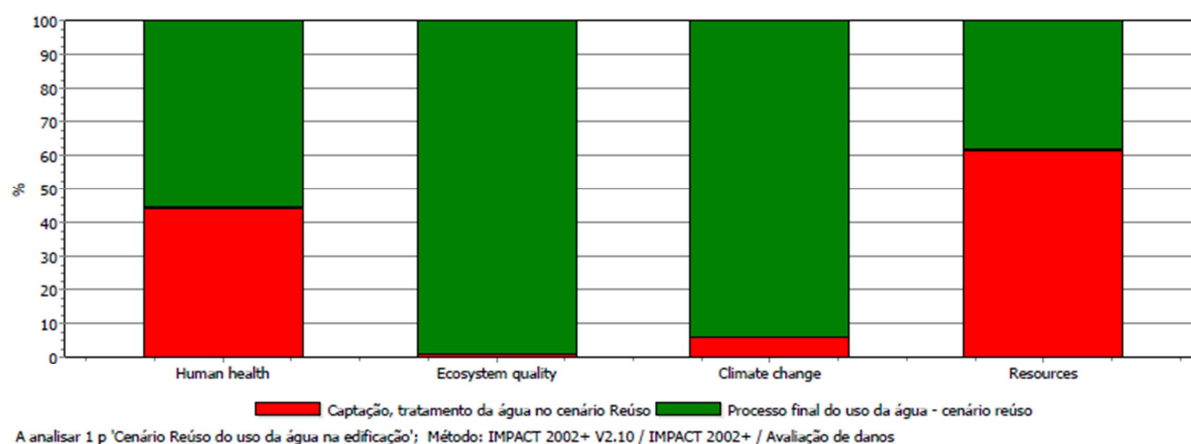


Figura 5.31 – Comparação da avaliação dos impactos ambientais por categoria de danos.

Após a normalização, os resultados dos impactos ambientais para o cenário Reúso de águas foram: impacto ambiental na categoria Saúde Humana é 0,00392 Daly/pessoa.ano; o impacto ambiental na categoria Qualidade do Ecossistema é 0,0157 PDF\*m<sup>2</sup> por pessoa por ano, onde PDF é o potencial de desaparecimento de espécies; o impacto ambiental na categoria Mudança Climática é 0,0248 kgCO<sub>2</sub>eq/pessoa.ano; e o impacto ambiental na categoria Recursos é 0,00212 MJ/pessoa.ano. Multiplicando-se os resultados da normalização por 1000, têm-se os resultados da Ponderação em Pontuação Única (mPt). Os resultados da Ponderação podem ser visualizados na Figura 5.32, por categorias de danos.

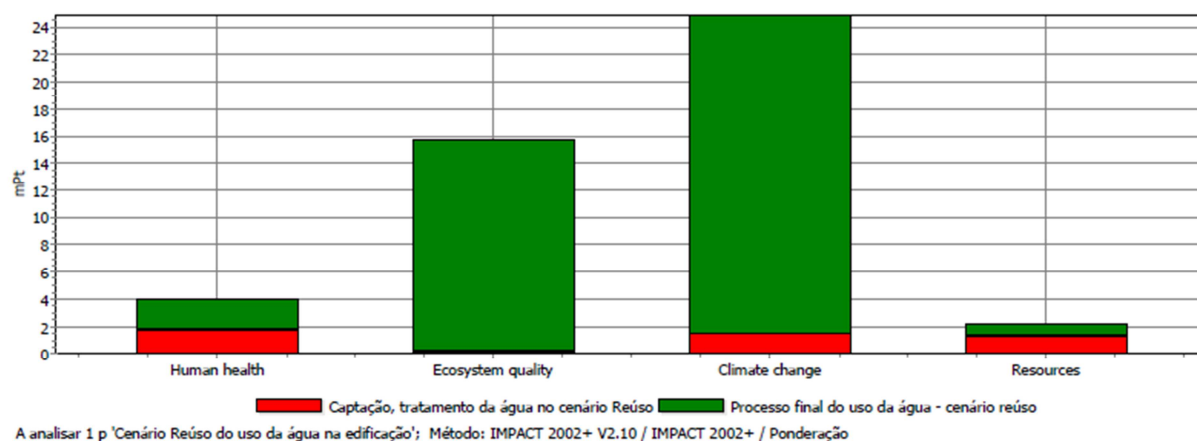


Figura 5.32 – Ponderação por categoria de danos no cenário Reúso de águas.

A Figura 5.33 apresenta o resultado final da avaliação dos impactos ambientais do uso da água na edificação no cenário Reúso de águas, agrupados em Pontuação única por tipo de processo, ou seja, captação/tratamento e uso/lançamento da água.

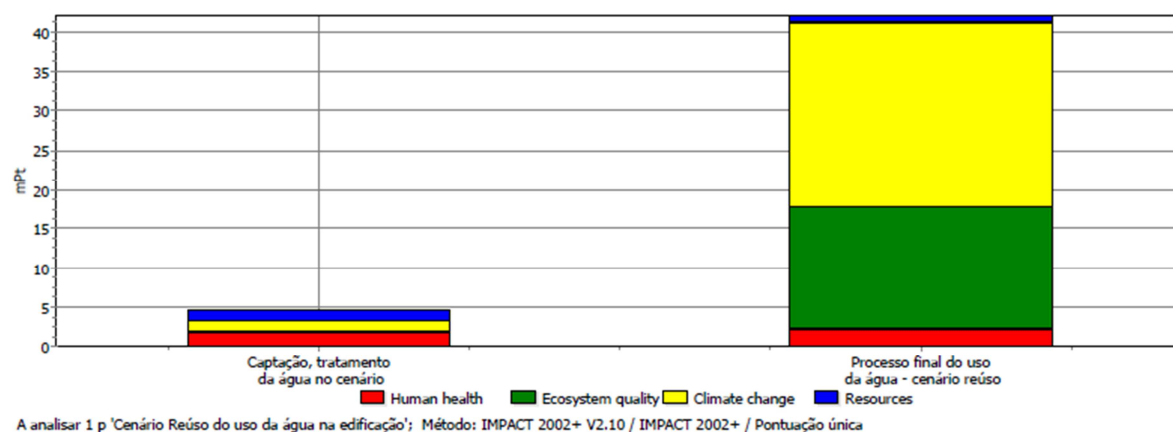


Figura 5.33 – Comparação da avaliação em pontuação única, no cenário Reúso de águas.

Na Figura 5.33, a avaliação dos impactos ambientais resultou em um indicador final de pontuação única de 0,0046 Pontos (Pt) ou 4,6 mPt para o processo de captação/tratamento da

água subterrânea. E o processo final do uso da água na edificação resultou em um indicador de 0,042 Pontos, ou 42 mPt. Totalizando, para todo o uso da água no cenário Reúso de águas, um indicador ambiental global final de 0,0466 Pontos, ou 46,6 mPt.

A Tabela 5.40 apresenta os valores dos resultados da análise de impactos na dimensão social, ACV-S, do cenário Reúso de águas da edificação da pesquisa.

Tabela 5.40 – Resultados da ACV-S (social) do cenário Reúso de águas.

ACV-S (social)	S01	S02	S03	S04	S05	S06	S07	S08	S09	S10
	CI	CE	UA	APO	ABS	SAS	APU	AP	RA	US
	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt
Cenário Reúso de águas	4,201	4,306	4,065	4,334	3,318	3,608	3,207	n.a.	4,119	4,046

Onde: S01 – Indicador social geral – comunidade interna; S02 – Indicador social geral – comunidade externa; S03 – Indicador geral de satisfação/sustentabilidade de uso da água; S04 – Acesso/satisfação com água potável para uso; S05 – Acesso/satisfação com banheiros/instalações suficientes; S06 – Satisfação com ambientes sanitários; S07 – Acesso/satisfação com pontos de uso para limpezas/instalações suficientes; S08 – Uso águas pluviais; S09 – Uso Reúso de águas; S10 – Percepção quanto ao uso sustentável da água do cenário; n.a.- não se aplica no cenário. Pt – Pontos médios obtidos com a escala de Lickert.

A Figura 5.34 apresenta os resultados da análise de impactos na dimensão social, ACV-S, do cenário Reúso de águas da edificação da pesquisa.

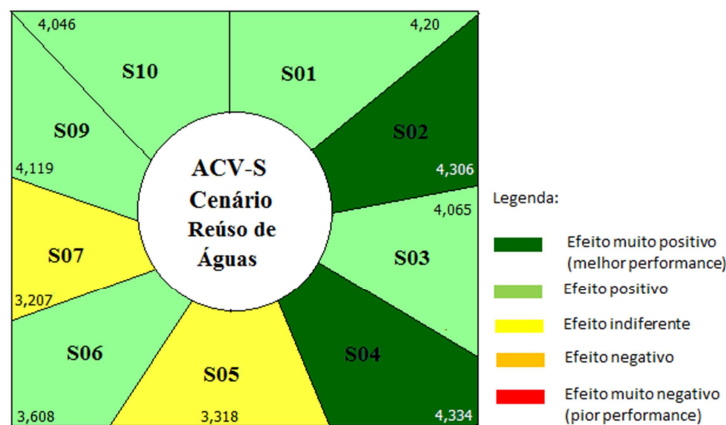


Figura 5.34 – Resultados da ACV-S (social) do cenário Reúso de águas.

Observa-se na Figura 5.34 que neste cenário ainda existem indicadores com resultado indiferente (nem positivo nem negativo), são eles: “Satisfação/instalações sanitárias suficientes” (S05) e “Acesso/satisfação com pontos de uso para limpezas/instalações suficientes” (S07), que representa um ponto para melhoria de condições nesses itens. O indicador social final “percepção quanto ao uso sustentável da água no cenário” (S10) apresentou resultado positivo neste cenário, demonstrando que, no cenário Reúso de águas os

atores sociais envolvidos entendem que utilizando essa fonte alternativa com segurança contribui-se, para a busca pela sustentabilidade da água.

A Tabela 5.41 e a Figura 5.35 apresentam os resultados da análise de impactos na dimensão econômica, CCV, do cenário Reúso de águas da pesquisa.

Tabela 5.41 – Resultados da dimensão econômica, no cenário Reúso de águas (em %).

Dimensão econômica	CO1	CO2	CO3	CO4	CO5	C06
	CBA	CTA	CTE	CFA	CAD	Total
	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
Cenário Reúso de águas	3,94	10,55	35,27	8,70	41,54	100

Onde: CO1 – Custo de captação/bombeamento da água subterrânea; CO2 – Custo de tratamento e análises da água potável; CO3 – Custo de tratamento e análises da ETE; CO4 – Custo de tratamento e análises de fonte alternativa (reúso); CO5 – Custos adicionais do cenário.

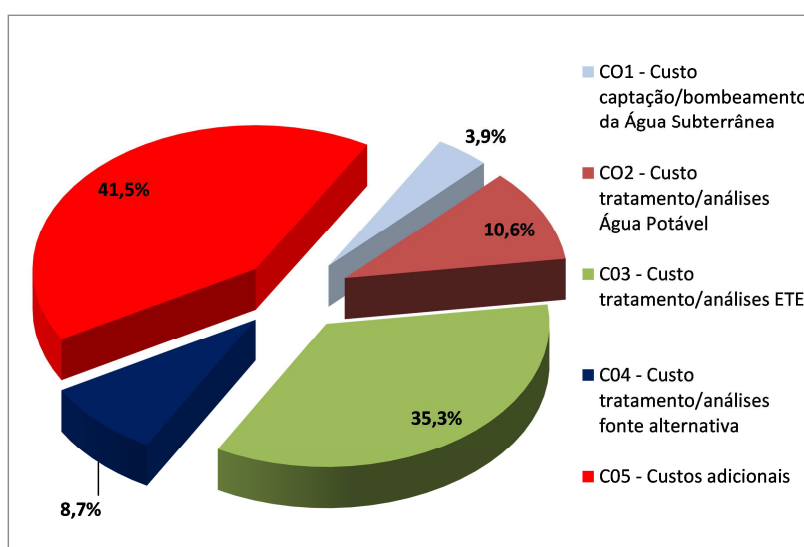


Figura 5. 35 - Resultados econômicos do cenário Reúso de águas.

Na dimensão econômica, os resultados da análise deste cenário mostram que o maior custo está relacionado aos custos adicionais (que envolve custos com instalações e adequações do sistema para o reúso, além de custos com pessoal do setor, administrativos, licenças ambientais, energia elétrica não relacionada ao tratamento, entre outros), seguido dos custos com a ETE.

### 5.3.5 Comparação dos impactos ambientais, sociais e econômicos

A comparação dos resultados quantitativos de uso da água nos diferentes cenários pode ser observada na Tabela 5.42 e Figura 5.36.



Tabela 5.42 – Comparação dos resultados quantitativos de uso da água nos diferentes cenários.

Valores de vazão	Unidade	Cenário Atual	Cenário A. Pluvial	Cenário Reúso
Índice per capita de captação da água subterrânea (q)	L/hab.dia	49,6	40,98	44,41
Uso da água potável na edificação ( $Q_{uso}$ )	$m^3/ano$	3,46E+03	2,86E+03	3,10E+03
	$m^3/dia$	14,18	11,72	12,705
Lançamento do esgoto tratado no córrego ( $Q_{lanç}$ )	$m^3/ano$	2,62E+03	2,62E+03	2,28E+03
	$m^3/dia$	10,72	10,72	9,33
Volume de lodo da ETE ( $Q_{lodo}$ )	$m^3/ano$	2,83E+02	2,83E+02	2,61E+02
Relação de captação do recurso natural (água subterrânea) com cenário atual	-	1	0,83	0,90
Relação de lançamento do esgoto tratado no rio com cenário atual	-	1	1	0,87

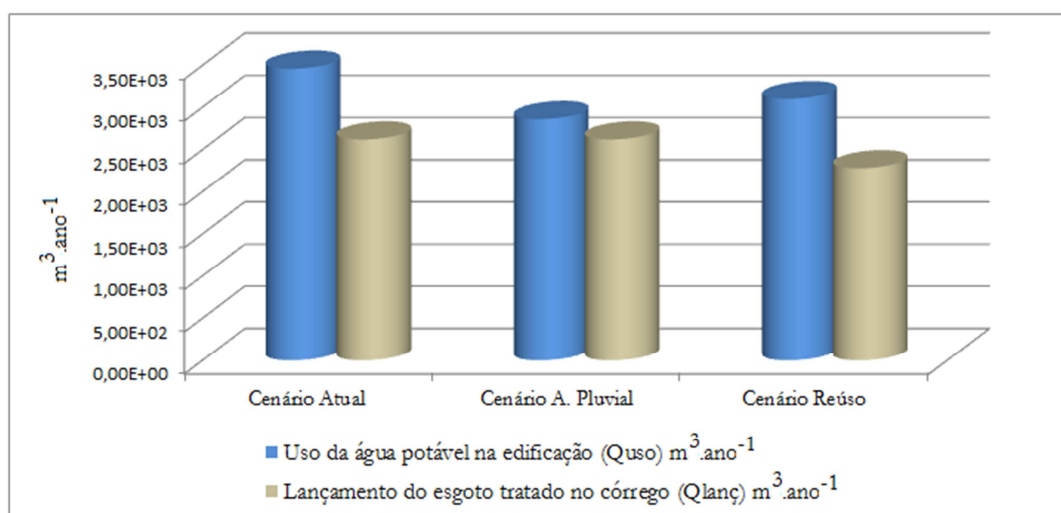


Figura 5.36 – Comparação de volumes dos diferentes cenários analisados.

Em termos quantitativos, observa-se nos resultados da Tabela 5.42 e Figura 5.36 que a menor retirada da água subterrânea da natureza está no cenário Aproveitamento de águas pluviais, cuja relação foi 0,83, comparando-se ao cenário atual, ou seja, 17% menor. Já, em relação ao lançamento da água utilizada na edificação, tratada na ETE e com seu destino final no córrego, a menor relação foi estabelecida no cenário Reúso de águas, 13% menor que o valor do cenário atual.

Na Tabela 5.43 pode-se observar a comparação dos resultados das categorias de impactos ambientais para os cenários analisados.

Tabela 5.43 – Comparação dos resultados das categorias de impactos para os cenários analisados.

Categorias de impactos ambientais	Unidade	Cenário		
		Atual	A. Pluvial	Reúso
Cancerígenos (toxicidade humana)	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq	0,221	0,175	0,24
Não cancerígenos	kg C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> Cl eq	2,08	1,72	2,18
Depleção da camada de ozônio	kg CFC-11 eq	1,07E-6	7,66E-7	1,11E-6
Efeitos respiratórios	kg C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> eq	1,08E-2	7,04E-3	1,08E-2
Ecotoxicidade aquática	kg TEG water	3,39E6	3,7E6	3,74E6
Ecotoxicidade terrestre	kg TEG soil	3,06E3	2,53E3	3,36E3
Acidificação aquática	kg SO <sub>2</sub> eq	1,2E4	1,32E4	1,33E4
Eutrofização aquática	kg PO <sub>4</sub> eq	1,78E4	1,94E4	1,96E4
Aquecimento global	kg CO <sub>2</sub> eq	225	182	246
Energia não renovável	MJ primary	318	210	320

Fonte: elaborado a partir de SIMAPRO: método IMPACT 2002+.

A Figura 5.37 apresenta a comparação dos resultados da análise de impactos ambientais, em nível de ponto médio, dos três cenários considerados na pesquisa – Cenário Aproveitamento de Águas Pluviais; Cenário Atual de uso da água; e Cenário Reúso de Águas.

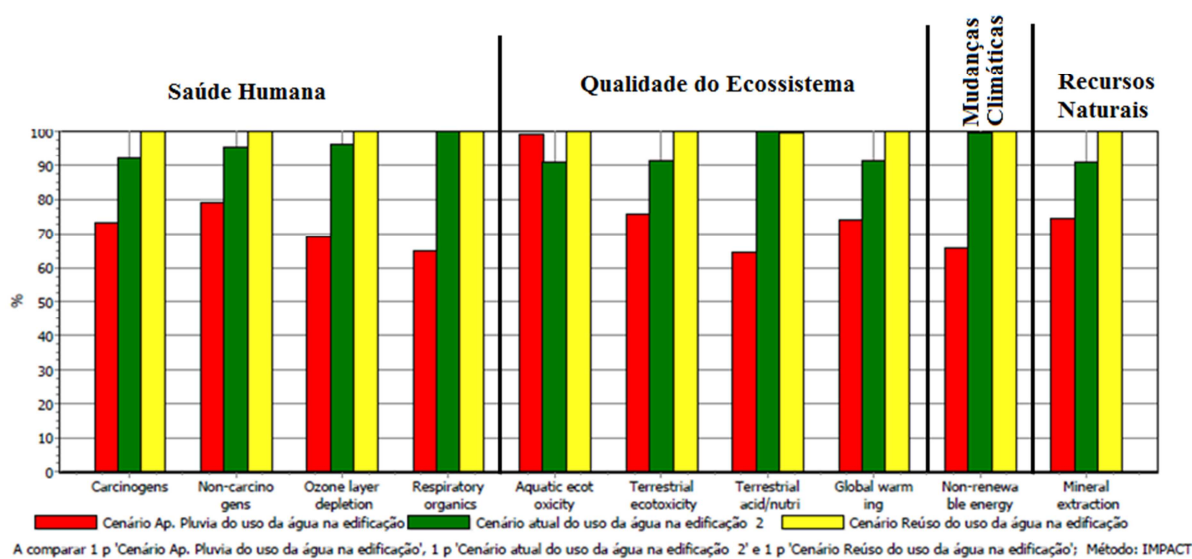


Figura 5.37 – Comparação dos diferentes cenários analisados, por categoria de impactos ambientais.

Pode-se observar na Figura 5.37 que os menores impactos ambientais de ponto médio estão associados ao cenário Aproveitamento de águas pluviais, para a maioria dos parâmetros analisados, com exceção da categoria ecotoxicidade aquática, onde o menor impacto ocorre no cenário atual de uso da água. Isso ocorre devido ao aumento de cargas em função do uso da fonte alternativa tratada para fins não potáveis no sistema, nos cenários: águas pluviais e reúso de águas.

Na Tabela 5.44 pode-se observar a comparação dos resultados das categorias de danos para os cenários analisados.

Tabela 5.44 – Comparação dos resultados das categorias de danos para os cenários analisados.

Categorias de danos	Unidade	Cenário		
		Atual	A. Pluvial	Reúso
Impacto na Saúde humana	DALY	2,75E-5	1,95E-5	2,78E-5
Impacto na Qualidade do ecossistema	PDF*m <sup>2</sup> yr	195	206	215
Impacto nas Mudanças climáticas	kg CO <sub>2</sub> eq	225	182	246
Impacto no esgotamento dos recursos naturais	MJ	319	211	321

Fonte: elaborado a partir de SIMAPRO: método IMPACT 2002+.

A Figura 5.38 apresenta a comparação dos resultados da análise de impactos ambientais, em nível de danos, dos três cenários considerados na pesquisa – Cenário Aproveitamento de Águas Pluviais; Cenário Atual de uso da água; e Cenário Reúso de Águas.

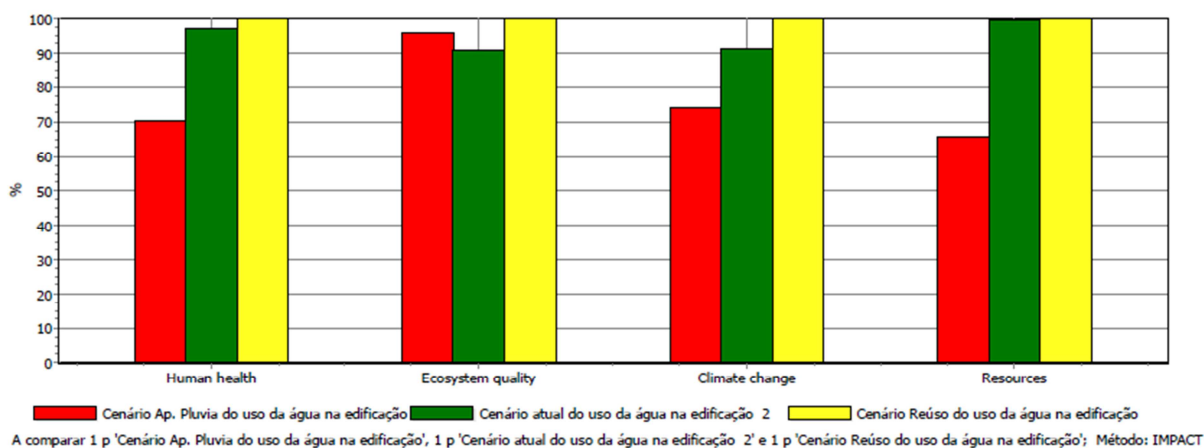


Figura 5.38 – Comparação dos diferentes cenários analisados, por categoria de danos.

De maneira geral, os resultados apresentados nos três cenários analisados tiveram comportamentos que confirmaram as expectativas iniciais da pesquisa. Observa-se que o cenário Aproveitamento de águas pluviais se apresenta com reduções dos valores de impactos em relação aos outros cenários, o que já era esperado, devido, principalmente, à redução na vazão de captação de água subterrânea, quando comparado ao cenário atual da edificação, e devido à redução de cargas ambientais, quando comparado ao cenário reúso de águas.

Na categoria Qualidade do ecossistema, os valores se apresentaram maiores no cenário Aproveitamento de águas pluviais, em relação ao cenário Atual, devido ao aumento de cargas ambientais causadas pelo fato da água do sistema de águas pluviais não ser potável.

A Tabela 5.45 apresenta a comparação dos resultados finais da análise de impactos na dimensão ambiental dos três cenários considerados na pesquisa – ACV (ambiental), e os valores do indicador ambiental global final da Pontuação única (A05) de cada cenário.

Tabela 5.45 – Comparação dos diferentes cenários da ACV (ambiental).

ACV (ambiental)	A01	A02	A03	A04	A05
	Saúde Humana	Qualidade do Ecossistema	Mudanças Climáticas	Esgotamento dos recursos naturais	Total
	mPt	mPt	mPt	mPt	mPt
Cenário Atual de uso da água	3,8	14,2	22,7	2,11	42,8
Cenário Aproveitamento de águas pluviais	2,75	15,1	18,3	1,39	37,5
Cenário Reúso de águas	3,92	15,7	24,8	2,12	46,6

A Figura 5.39 apresenta a comparação dos cenários analisados após a Normalização/Ponderação.

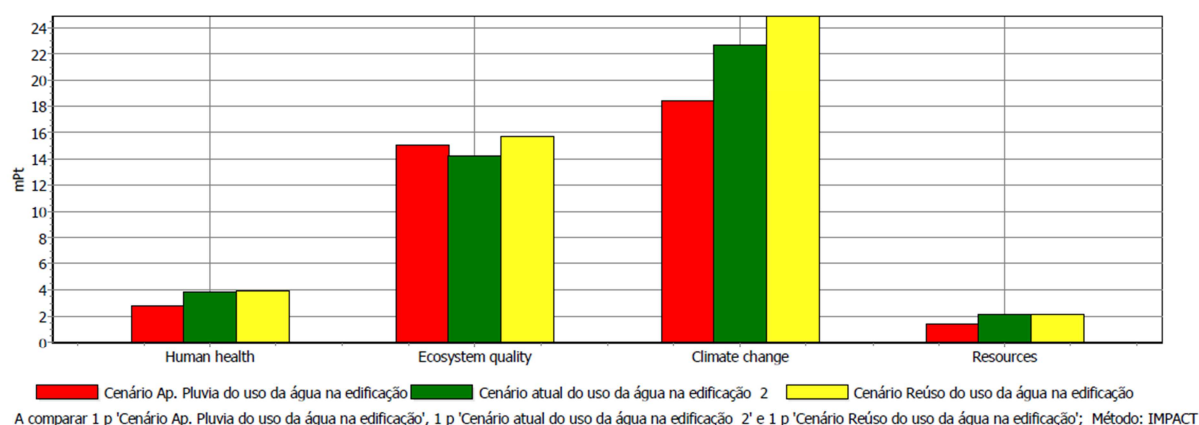


Figura 5.39 – Comparação da ponderação dos diferentes cenários analisados.

A Figura 5.40 apresenta a comparação dos resultados finais da análise de impactos na dimensão ambiental dos três cenários considerados na pesquisa, com a representação ambiental final da Pontuação única (A05) de cada cenário.

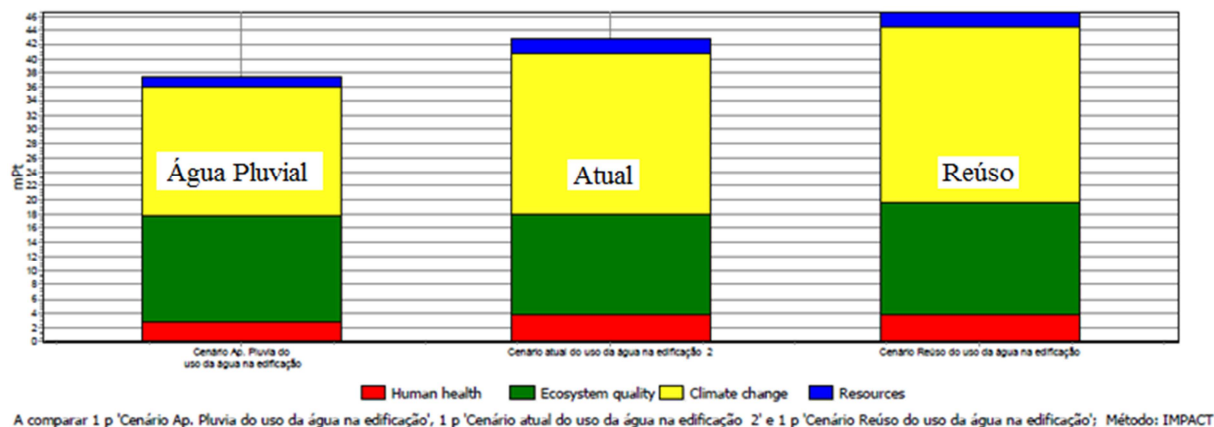


Figura 5.40 – Comparação dos resultados ambientais finais dos diferentes cenários analisados.

Pode-se observar na análise da pontuação única (ou indicador ambiental global final) de cada cenário considerado, que o cenário Aproveitamento de águas pluviais apresenta o menor valor global de impactos ambientais (37,5 mPt); o cenário atual de uso da água apresenta valor final de 42,8 mPt; e o cenário que apresenta o maior valor global de impactos ambientais foi o cenário Reúso de águas, com 46,6 mPt.

Para os três cenários analisados, no que se refere à variável ambiental, as mudanças climáticas seguidas da qualidade do ecossistema, foram os problemas mais relevantes. No que se refere ao Aquecimento Global (categoria de impacto ambiental que compõe a categoria de danos mudanças climáticas), se observa que ele está associado ao processo anaeróbico da ETE, onde não foi previsto no projeto um sistema de captação e recuperação do metano, bem como está vinculado à energia elétrica consumida no processo de tratamento aeróbico (lodo ativado) da ETE e transportes rodoviários associados aos insumos e rejeitos. Quanto aos impactos na qualidade do ecossistema está associado, principalmente, ao lançamento do esgoto tratado no rio, com excesso de fósforo e nitrogênio, responsáveis pela eutrofização.

As Tabelas 5.46 e 5.47 e a Figura 5.41 apresentam a comparação com os valores dos resultados da análise de impactos na dimensão social, ACV-S, dos três cenários considerados na pesquisa.

Tabela 5.46 – Comparação dos diferentes cenários da ACV-S (social).

ACV-S (social)	SO1	SO2	SO3	SO4	SO5	SO6	SO7	SO8	SO9	SO10
	CI	CE	UA	APO	ABS	SAS	APU	AP	RA	US
	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt	Pt
Cenário Atual de uso da água	3,795	4,255	3,216	4,334	3,318	3,608	3,207	n.a.	n.a.	1,325
Cenário Ap. águas pluviais	4,201	4,306	4,679	4,334	3,318	3,608	4,208	4,992	n.a.	4,938
Cenário Reúso de águas	4,201	4,306	4,065	4,334	3,318	3,608	3,207	n.a.	4,119	4,046

Onde: SO1 – Indicador social geral – comunidade interna; SO2 – Indicador social geral – comunidade externa; SO3 – Indicador geral de satisfação/sustentabilidade de uso da água; SO4 – Acesso/satisfação com água potável para uso; SO5 – Acesso/satisfação com banheiros/instalações suficientes; SO6 – Satisfação com ambientes sanitários; SO7 – Acesso/satisfação com pontos de uso para limpezas/instalações suficientes; SO8 – Uso águas pluviais; SO9 – Uso Reúso de águas; SO10 – Percepção quanto ao uso sustentável da água no cenário; n.a.- não se aplica no cenário. Pt – Pontos médios obtidos com a escala de Lickert.

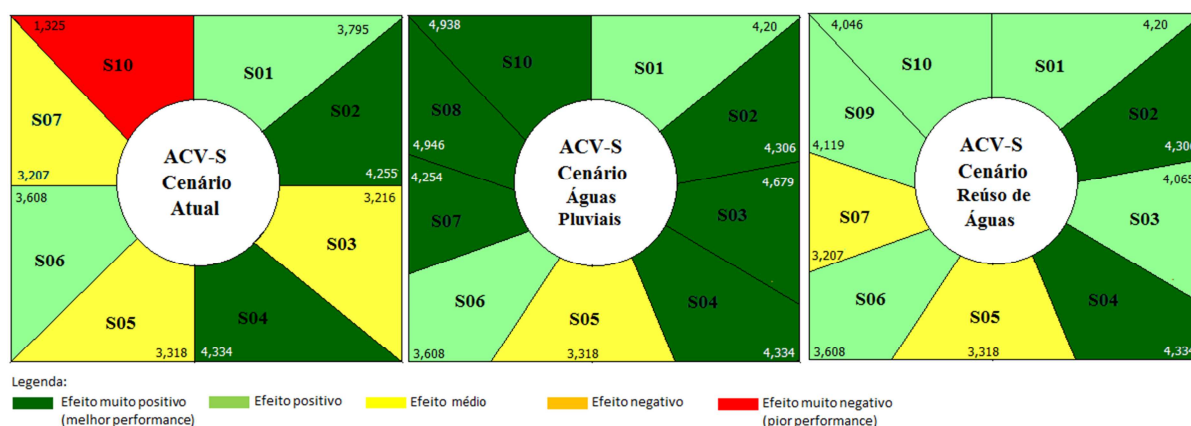


Figura 5.41 - Comparação dos diferentes cenários da ACV-S (social).

Tabela 5.47 – Resultado final da ACV-S nos três cenários analisados.

Cenários analisados	Resultado ACV-S <sup>1</sup> (Pt)	Resultado ajustado (Pt)
Cenário atual de uso da água	3,382	1,618
Cenário Aproveitamento de águas pluviais	4,288	0,712
Cenário Reúso de águas	3,912	1,088

<sup>1</sup> – na dimensão social o menor valor obtido nos resultados foi o impacto mais negativo, ao contrário das outras dimensões em que o maior valor foi o mais negativo. Em função disso houve a necessidade de se ajustar os valores da escala de Lickert para a posterior normalização.

Na análise da dimensão social, observa-se que, em relação ao cenário atual da ACV-S, houve uma melhoria na projeção dos cenários futuros. O cenário Aproveitamento de águas pluviais foi o que apresentou melhores resultados dos impactos sociais analisados. O indicador “Percepção quanto ao uso sustentável da água no cenário” (S10) variou de um resultado de efeito muito negativo, no cenário atual (1,325), para efeito positivo no cenário reúso de águas (4,046) e efeito muito positivo no cenário Aproveitamento de águas pluviais (4,938), demonstrando que os atores sociais envolvidos entendem que, com o uso de fontes alternativas, pode-se buscar a sustentabilidade hídrica.

A Tabela 5.48 e as Figuras 5.42 e 5.43 apresentam a comparação dos resultados na dimensão econômica dos três cenários considerados na pesquisa. Na Tabela 5.48 os valores da dimensão econômica foram calculados em relação aos valores do cenário atual da edificação piloto da pesquisa. Com os valores totais dos custos dos cenários foi possível fixar o valor do cenário atual (1 unidade) e calcular a relação diferença em unidades dos demais cenários. Desta forma, ao valor de impacto econômico do cenário atual foi atribuído o valor 1, e aos valores dos outros cenários calculou-se a fração resultante. Como exceção, o indicador C05 (custos de tratamento de fontes alternativas), cujo valor no cenário atual não se aplica (n.a.), e o valor 1 foi atribuído ao cenário Aproveitamento de águas pluviais.

Tabela 5.48 – Comparação dos diferentes cenários da CCV (econômica), em unidades.

CCV (econômica)	CO1	CO2	CO3	CO4	CO5	CO6
	CBA	CTA	CTE	CFA	CAD	Total
	Un	Un	Un	Un	Un	Un
Cenário Atual de uso da água	1	1	1	n.a.	1	1
Cenário Aproveitamento de águas pluviais	0,74	0,74	0,92	1	1,62	1,02
Cenário Reúso de águas	0,91	0,91	1,32	3,4	5,97	2,07

Onde: Un – Unidade: diferença em relação ao cenário cuja unidade é o valor inteiro (uma unidade); CO1 – Custo de captação/bombeamento da água subterrânea; CO2 – Custo de tratamento/análises da água potável; CO3 – Custo de tratamento/análises ETE; CO4 – Custo de tratamento/análises de fonte alternativa; CO5 – Custos adicionais do cenário; n.a. - não se aplica no cenário.

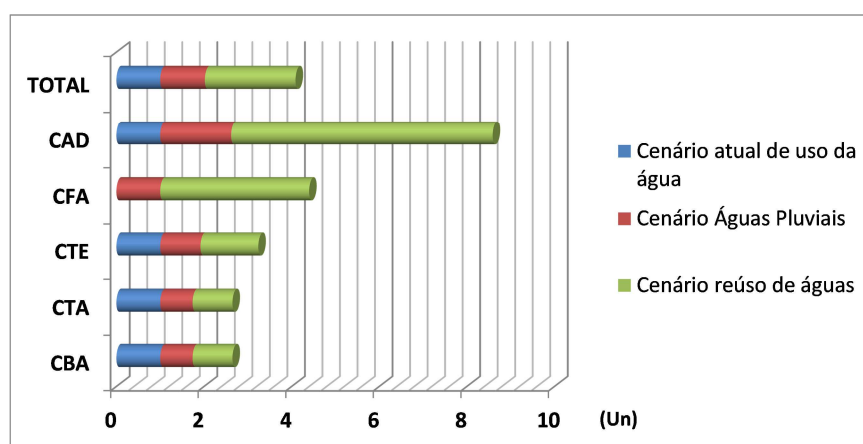


Figura 5.42 – Comparação dos diferentes cenários da CCV (econômica).

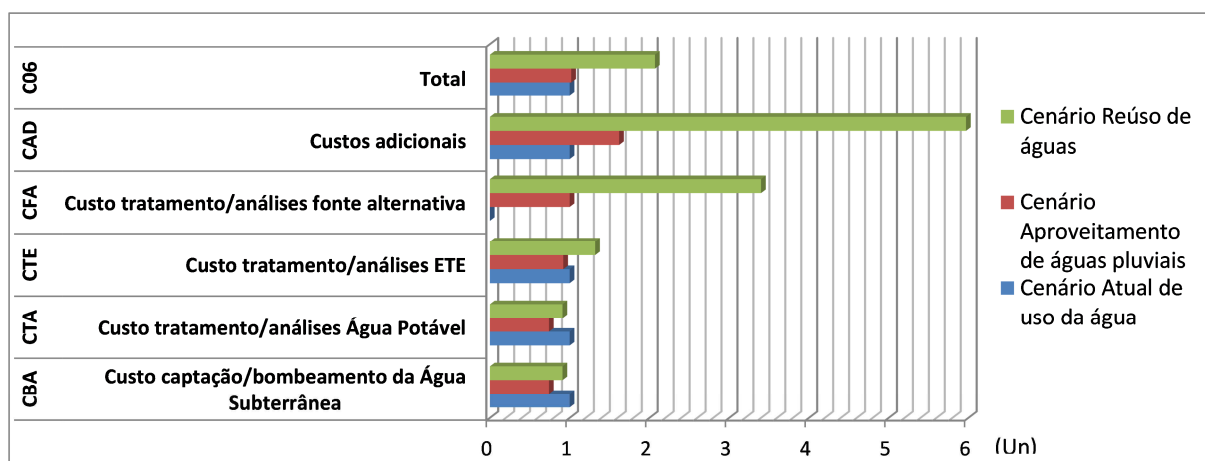


Figura 5.43 – Comparação dos diferentes cenários da CCV (econômica), por indicador.

Na análise da dimensão econômica, observa-se que, em relação ao cenário atual da CCV, houve um aumento de custos na projeção dos cenários futuros, com exceção à captação e tratamento da água potável. Os demais custos todos aumentaram, principalmente devido à parcela de adequações e instalações de sistemas para fontes alternativas. O cenário Reúso de águas foi o que apresentou os resultados mais elevados dos impactos econômicos analisados.

## 5.4 Etapa 4: Análise da sustentabilidade do ciclo de vida - ASCV

O objetivo principal de uma ASCV é fornecer uma avaliação conjunta e integrada de um produto ou sistema. Os resultados de uma ASCV podem demonstrar, não apenas os impactos negativos, mas também os benéficos, da sustentabilidade. Neste item, são apresentados os resultados da análise integrada de cada cenário, através da ASCV.

A avaliação da sustentabilidade foi realizada integrando-se as três dimensões, conforme descrito na metodologia, e está apresentada a seguir.

### 5.4.1 Análise da sustentabilidade do ciclo de vida do uso da água

A Tabela 5.49 apresenta o resumo dos impactos ambiental, econômico e social, do cenário atual, de uso da água na edificação da pesquisa.

Tabela 5.49 – Resumo dos impactos de uso da água nos cenários analisados.

Cenário	Impactos		
	Ambientais	Sociais	Econômicos
	mPt	Pt	Un
Cenário Atual de uso da água	42,8	1,618	1
Cenário Aproveitamento de águas pluviais	37,5	0,712	1,02
Cenário Reúso de águas	46,6	1,088	2,07

Para estruturar de forma gráfica os impactos das três dimensões, foi considerado o princípio da normalização. Deste modo, os valores dos impactos ambiental, econômico e social, de maior impacto de efeito negativo, foram considerados como tendo o valor 1,0 (maior valor adverso) e os demais foram referenciados em relação a este. Assim sendo, para a construção da integração das dimensões da sustentabilidade, os impactos obtidos nas três dimensões foram normalizados. Com a normalização dos impactos nas três dimensões, foi possível fazer o comparativo dos cenários analisados. A Tabela 5.50 apresenta os valores normalizados nas três dimensões e a Figura 5.44 apresenta o perfil dos impactos normalizados.



Tabela 5.50 – Impactos normalizados de uso da água nos diferentes cenários da pesquisa.

Cenário	Impactos normalizados		
	Ambientais (Ia)	Sociais (Is)	Econômicos (Ie)
Cenário Atual de uso da água	0,918	1	0,483
Cenário Aproveitamento de águas pluviais	0,804	0,440	0,492
Cenário Reúso de águas	1	0,672	1

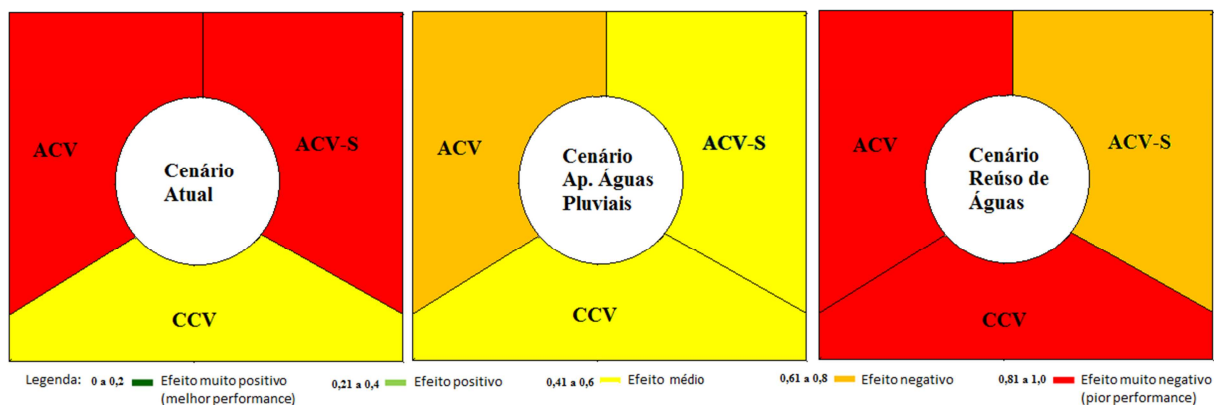


Figura 5.44 – Perfil de impactos normalizados nos diferentes cenários.

Na Figura 5.45 observa-se que, ao se realizar a análise de maneira individualizada, dentro de cada dimensão da sustentabilidade, percebe-se que, separadamente, a melhor alternativa por uma das dimensões não é, necessariamente, a melhor para as outras dimensões do mesmo cenário.

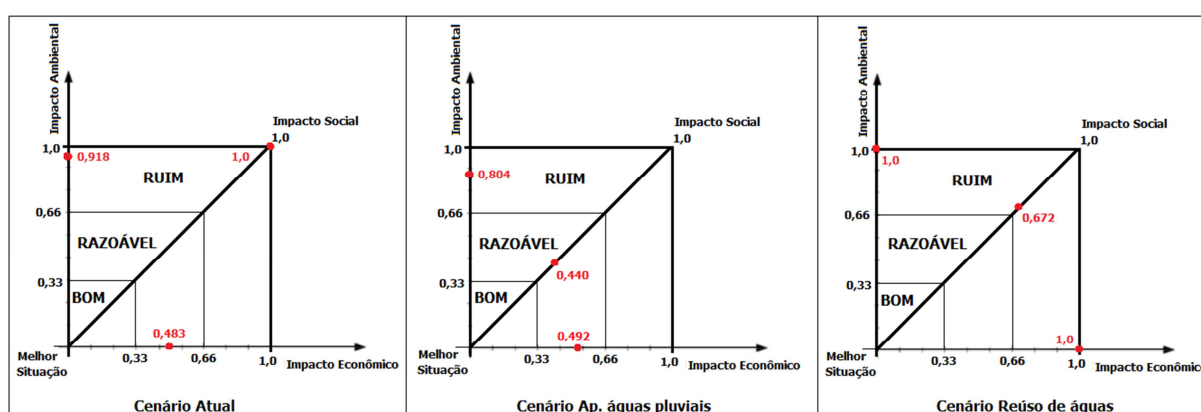


Figura 5.45 – Análise individualizada de impactos normalizados nos diferentes cenários.

Realizou-se então uma análise que possibilitou interpretar de maneira integrada as três dimensões de sustentabilidade. O resultado final da sustentabilidade de cada cenário foi calculado considerando-se os pesos atribuídos pela comunidade envolvida e os especialistas,

para as dimensões da sustentabilidade. O nível de cada dimensão da sustentabilidade consistiu na determinação do desempenho global da análise do uso de água na edificação da pesquisa, em cada cenário. O índice de sustentabilidade (IS) foi determinado através da Equação (5.2).

$$IS = I_a.W_a + I_s.W_s + I_e.W_e \quad (5.2)$$

Na Equação 5.2, IS é o resultado da ponderação de cada dimensão  $I_j$  com o respetivo peso ( $W_j$ ), na avaliação da sustentabilidade (ambiental, social e econômica). A soma dos pesos atribuídos aos três indicadores tem de ser igual a 1, de modo a se obter um índice sustentável compreendido entre 0 e 1. A Tabela 5.51 apresenta os pesos médios obtidos com a aplicação dos questionários.

Tabela 5.51 – Resultados dos pesos médios das dimensões da sustentabilidade.

Peso	Dimensão			Total
	Ambiental ( $W_a$ )	Social ( $W_s$ )	Econômica ( $W_e$ )	
Peso médio atribuído pela comunidade	0,56	0,26	0,18	1
Peso médio atribuído pelos especialistas	0,34	0,35	0,31	1

Como os pesos considerados pela comunidade e pelos especialistas foram muito divergidos, optou-se em calcular o indicador de sustentabilidade para cada um e, após, o índice de sustentabilidade final, com os seguintes valores: 30% para a comunidade e 70% para os especialistas, conforme Equação 5.3.

$$IS = (IS_{\text{Comunidade}}).0,30 + (IS_{\text{Especialistas}}).0,70 \quad (5.3)$$

Assim, obteve-se o resultado final da avaliação integrada da sustentabilidade do uso da água de cada cenário, que está apresentado na Tabela 5.52, onde os menores valores de IS indicam situação mais sustentável. A Tabela 5.52 e a Figura 5.46 apresentam os resultados da Análise de Sustentabilidade do Ciclo de Vida - ASCV - do uso da água na edificação da pesquisa, nos três cenários analisados.

Tabela 5.52 – Avaliação integrada da sustentabilidade de uso da água em cada cenário.

Cenário atual	Dimensão			Valor Final
	Ambiental	Social	Econômica	
IS atribuído pela comunidade	0,514	0,26	0,087	0,861
IS atribuído pelos especialistas	0,312	0,35	0,150	0,812
Avaliação da comunidade (Peso 30%)				0,258
Avaliação dos especialistas (Peso 70%)				0,568
<b>Valor final da sustentabilidade de uso da água do cenário atual (IS<sub>atual</sub>)</b>				<b>0,826</b>
Cenário Aproveitamento de águas pluviais	Ambiental	Social	Econômica	Valor Final
IS atribuído pela comunidade	0,450	0,114	0,089	0,653
IS atribuído pelos especialistas	0,273	0,154	0,152	0,579
Avaliação da comunidade (Peso 30%)				0,196
Avaliação dos especialistas (Peso 70%)				0,405
<b>Valor final da sustentabilidade de uso da água do cenário Ap. águas pluviais (IS<sub>A.pluvial</sub>)</b>				<b>0,601</b>
Cenário Reúso de águas	Ambiental	Social	Econômica	Valor Final
IS atribuído pela comunidade	0,56	0,175	0,18	0,915
IS atribuído pelos especialistas	0,34	0,235	0,31	0,885
Avaliação da comunidade (Peso 30%)				0,274
Avaliação dos especialistas (Peso 70%)				0,619
<b>Valor final da sustentabilidade de uso da água do cenário reúso de águas (IS<sub>reúso</sub>)</b>				<b>0,894</b>

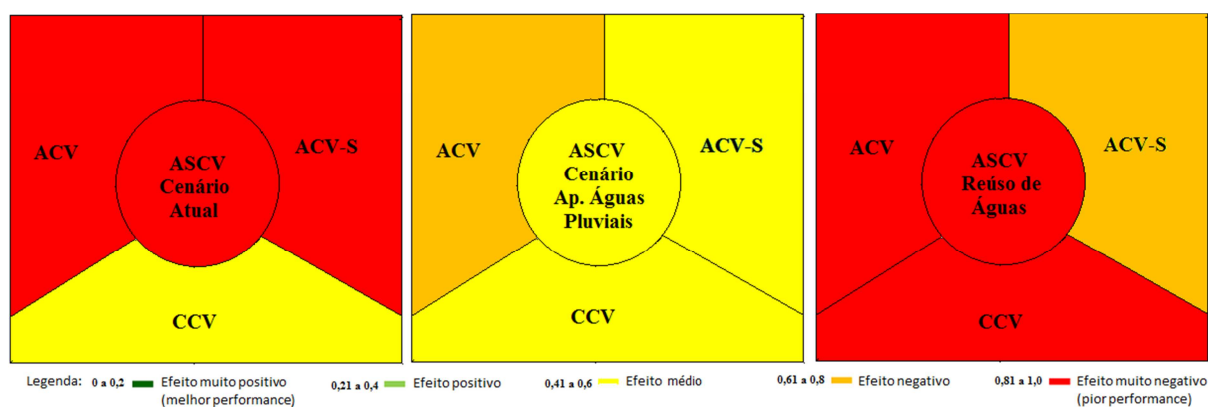



Figura 5.46 – Apresentação dos resultados da ASCV do uso da água.

Com base nos resultados das Tabelas 5.51 e 5.52, e na Figura 5.46, observa-se que o Cenário Aproveitamento de águas pluviais é aquele que apresenta melhor resultado da situação de sustentabilidade, frente aos demais cenários analisados, com relação às três dimensões da sustentabilidade consideradas simultaneamente (ASCV). Ainda que tal cenário apresente um impacto ambiental de efeito negativo (para a ACV), globalmente ela apresenta um melhor equilíbrio entre os impactos analisados, o que lhe confere um melhor desempenho, à luz dos conceitos da sustentabilidade.

O Cenário Reúso de águas possui o pior desempenho, pois apresenta os maiores impactos nas dimensões ambiental e econômica. O Cenário atual apresenta o pior desempenho para a dimensão social. E quando as dimensões destes dois cenários são analisadas de maneira integrada, o resultado é muito negativo para a sustentabilidade do uso da água, conforme observado na Figura 5.46.

A Tabela 5.53 apresenta a hierarquização por ordem decrescente de sustentabilidade de uso da água dos cenários analisados.

Tabela 5.53 – Hierarquização por ordem decrescente de sustentabilidade.

Cenário	Índice de Sustentabilidade	Situação
Cenário Ap. águas pluviais	IS = 0,601	 Mais Sustentável Menos Sustentável
Cenário Atual de uso da água	IS = 0,826	
Cenário Reúso de águas	IS = 0,894	

Diante disso, observa-se que em todos os cenários analisados há impactos. E mesmo que com todas as reduções e mitigações possíveis de serem feitas, ainda assim haverá impactos (mesmo que mínimos possíveis). Nesse sentido, ao se compreender a sustentabilidade, principalmente na dimensão ambiental, com a meta de ser sustentável sendo praticamente inatingível, as alternativas podem ser classificadas como mais ou menos próximas a ela.

Assim, nesta pesquisa se avaliou a situação de sustentabilidade dos cenários do estudo de caso, dentro de seu escopo. Observa-se que, ainda há muitas ações e melhorias a serem feitas para que a sustentabilidade do uso da água seja atingida de maneira satisfatória, ou seja, com efeito positivo, mesmo para o melhor cenário da pesquisa. A partir dos resultados obtidos, são apresentadas sugestões que contribuirão no estabelecimento de procedimentos para a gestão sustentável da água, e opções de intervenções e melhorias para a redução do consumo da água em edificações e minimização dos impactos relacionados. Após a observação de etapas críticas, estas ações seriam:

- No que se refere à redução de impactos na dimensão ambiental:

Para o caso da categoria qualidade do ecossistema, principalmente o efluente tratado e lançado no rio, devem ser revistos os processos e eficiências na ETE, a fim de melhorar os parâmetros nitrogênio e fósforo, especialmente, pois são os maiores problemas ambientais relacionados à eutrofização aquática, entre outros. A utilização de um processo químico, ou de membranas filtrantes, para pós-tratamento do efluente da atual ETE seria o indicado.

Assim, com a utilização deste pós-tratamento, seria possível suprimir o atual método de desinfecção da ETE, diminuindo os riscos e impactos ambientais associados.

Quanto à matéria orgânica, observa-se que o efluente tratado está dentro dos preceitos da legislação ambiental. Julga-se, desta forma, que o estabelecimento de algumas ações, no que se refere à emissão de gases contribuintes ao efeito estufa, seria necessário. Do ponto de vista de uma melhora na categoria de impactos: mudanças climáticas, uma recuperação energética do metano produzido pelo processo anaeróbio (reator anaeróbio da ETE), apresentaria melhores condições ambientais resultando, assim, em uma diminuição nas cargas e emissões atmosféricas geradas no processo, reduzindo gases do efeito estufa, e tornando possível uma redução na energia elétrica gasta na própria ETE.

Para o leito de secagem, principalmente nos meses de inverno, deve-se melhorar o grau de desidratação e desinfecção, tornando-as eficientes, reduzindo o teor de umidade e a quantidade de agentes patogênicos viabilizando, assim, o reúso do lodo para fins agrícolas, por exemplo, em aplicações no solo como fertilizante, aplicações em áreas de reflorestamento, ou até restauração de solos, de acordo com as Resoluções CONAMA 375/2006 e 380/2006. Eliminando, assim, seu transporte até o aterro sanitário e reduzindo cargas ambientais relacionadas ao transporte e deposição no aterro sanitário.

- No que se refere à dimensão econômica:

O impacto econômico é maior para cenário Reúso de águas, devido às melhorias na ETE e às instalações consideradas para o sistema de reúso. E, ao se considerar um sistema utilizado para captar e recuperar o metano gerado no reator anaeróbio, este impacto sofreria um incremento significativo quando associado aos custos de operação.

Porém, ao se considerar, para ambos os cenários, a recuperação energética e utilização de energia alternativa na operação da própria ETE, e o uso do lodo do leito de secagem como fertilizante agrícola, os custos e impactos econômicos podem ser compensados ao longo dos anos.

- Em relação à dimensão social:

O impacto social tem efeito mais positivo para o cenário Aproveitamento de águas pluviais, devido ao fato de os atores sociais entenderem que o uso dessa fonte alternativa estaria vinculado ao aumento da sustentabilidade do uso da água em edificações, pois conservaria a água potável para os fins mais nobres. Já, o cenário atual foi o que apresentou o pior desempenho dos impactos sociais, seguido do cenário Reúso de águas. Para o caso do cenário atual estaria associado, principalmente, a percepção negativa dos atores sobre a

situação atual do uso da água na edificação. Para ambos, estaria também associado aos riscos no ambiente laboral, em função da operação da ETE e sistema de reúso.

Partindo-se da hipótese que haveria as melhorias e devidos controles nos processos, e que os gases, gerados pelo processo anaeróbio, seriam devidamente captados e reaproveitados, os riscos de exposição no meio ambiente de trabalho certamente diminuiriam trazendo, assim, esses cenários para uma posição mais próxima do cenário Aproveitamento de águas pluviais, sob a ótica social. Neste aspecto, também são indicadas melhorias nos indicadores sociais que apresentaram os menores valores no questionário aplicado (pontos críticos) nas condições gerais de uso da água como, por exemplo, instalações (em geral) e limpeza dos ambientes sanitários, número de banheiros insuficientes, e nos sociais gerais, como a promoção da responsabilidade social e promoção do sistema de gestão ambiental.

Desta forma, julga-se que a análise de um novo cenário, que considere essas melhorias e que contemple uma estrutura de captação/recuperação do metano, com redução na energia elétrica da operação da ETE, diminuição das cargas ambientais lançadas no rio, reúso do lodo desidratado no leito de secagem, em vez de disposição no aterro sanitário, associado a todas as consequências desta implementação, nas dimensões ambiental, econômica e social, poderia, talvez, alterar os resultados obtidos neste estudo, tornando esse novo cenário mais sustentável no uso da água.

## **5.5 Análise de incerteza e qualidade dos dados**

Tendo por objetivo respaldar os resultados da ASCV dos cenários cotejados, foi aplicada a análise de incerteza e qualidade dos dados.

A consistência dos dados utilizados na pesquisa foi analisada em função do atendimento total, parcial ou não dos indicadores. O produto comparado nos cenários é de mesma função, definido, no escopo, como a água utilizada na edificação; assim o item diferenças na função entre produtos, foi atendido totalmente. Da mesma forma, o item diferenças temporais, em função de ser igual para os cenários. Já, as diferenças nas fontes, precisão dos dados, tecnológicas e geográficas, foram atendidas parcialmente, em função de cada ICV ter sido obtido a partir de dados coletados, banco de dados e fontes secundárias. Mas isso foi definido no escopo da pesquisa como aceito. Os itens atendidos de maneira

parcial foram avaliados como representativos, parcialmente representativos e não representativos.

As incertezas e qualidade dos dados associadas aos processos são avaliadas conforme o método de Monte Carlo. No SimaPro, esse método pode ser aplicado através da matriz pedigree, pela qual fatores são concedidos aos dados dos processos em consideração aos seguintes critérios: confiabilidade, completude, correlações temporal, geográfica e tecnológica, e tamanho da amostra (Apêndice F). A partir dos dados da pesquisa, aplicou-se uma análise de Monte Carlo nos cenários da pesquisa, gerando os resultados. Foram realizados 10.000 iterações e o coeficiente de confiança adotado foi de 95%. Cada cenário possui um valor médio, a mediana, desvio-padrão, o coeficiente de variação, um valor mínimo e um valor máximo, que são os valores de 2,5% e 97,5%, respectivamente, e o erro padrão da média. A Tabela 5.54 apresenta os valores da análise de incerteza dos cenários analisados.

Tabela 5.54 – Resultados da análise de incerteza dos diferentes cenários de uso da água.

Cenário	Categoria de Dano	Média	Mediana	DP	CV	2,5%	97,5%	e
Cenário Atual do uso da água	SH	0,00379	0,00365	0,000891	13,5%	0,00257	0,00605	0,0074
	QE	0,0143	0,014	0,00107	7,51%	0,013	0,0174	0,0024
	MC	0,0226	0,0198	0,0109	28,3%	0,0092	0,0496	0,0153
	RN	0,00211	0,00204	0,000443	11%	0,00147	0,0033	0,0066
	PU	0,0428	0,0404	0,0112	14,2%	0,0281	0,0702	0,0079
Cenário Aproveitam. de águas pluviais	SH	0,00276	0,00259	0,000811	19,4%	0,0018	0,00488	0,0093
	QE	0,0151	0,0148	0,00102	6,78%	0,0141	0,018	0,0021
	MC	0,0182	0,0162	0,00921	30,5%	0,00732	0,0401	0,016
	RN	0,00138	0,0013	0,000388	18%	0,000931	0,00241	0,0087
	PU	0,0375	0,0354	0,000959	15,6%	0,0258	0,0598	0,0081
Cenário Reúso de águas	SH	0,00393	0,00369	0,00103	16,4%	0,00265	0,00635	0,0083
	QE	0,0157	0,0154	0,00123	7,83%	0,0144	0,0191	0,0024
	MC	0,0249	0,022	0,0126	30,7%	0,00967	0,056	0,0161
	RN	0,00212	0,00201	0,000544	15,7%	0,00149	0,0035	0,0081
	PU	0,0467	0,0438	0,0132	18,2%	0,0302	0,0778	0,0089

Nota: DP = desvio-padrão; CV = coeficiente de Variação; e = erro padrão da média.

SH = Saúde Humana; QE = Qualidade no ecossistema; MC = Mudanças climáticas; RN = Recursos Naturais;

PU = Pontuação única (final do cenário).

Fonte: elaborado a partir de SIMAPRO: método Impact 2002+, intervalo de confiança: 95%, indicador: Ponderação; Unidade: Pt.

A Tabela 5.54 indica que as maiores incertezas são referentes às categorias de impacto ambiental: mudanças climáticas e em saúde humana. Tal fato decorre do menor conhecimento

em relação aos processos modelados, que são mais afetados pelas categorias referidas. Avaliando-se os resultados da Tabela 5.54, é visível que o coeficiente de variação da categoria de danos Mudanças climáticas é bastante elevado, quando comparado com as outras categorias, em todos os cenários. Também se observa que o resultado do erro padrão dessa categoria foi o mais elevado, maior que 1%, porém menor que 5%. Ao se analisar o resultado do erro nas outras categorias e no resultado final (da pontuação única), todos os cenários apresentaram um valor menor que 1%. Com isso, considerou-se que a análise de incerteza dos dados é aceita, dentro do limite esperado.

Construíram-se gráficos para facilitar a visualização dos resultados da análise de incerteza. As Figuras 5.47, 5.48 e 5.49 apresentam a representação da análise de incertezas das categorias de danos dos cenários, Atual, Aproveitamento de águas pluviais e Reúso de águas, respectivamente.

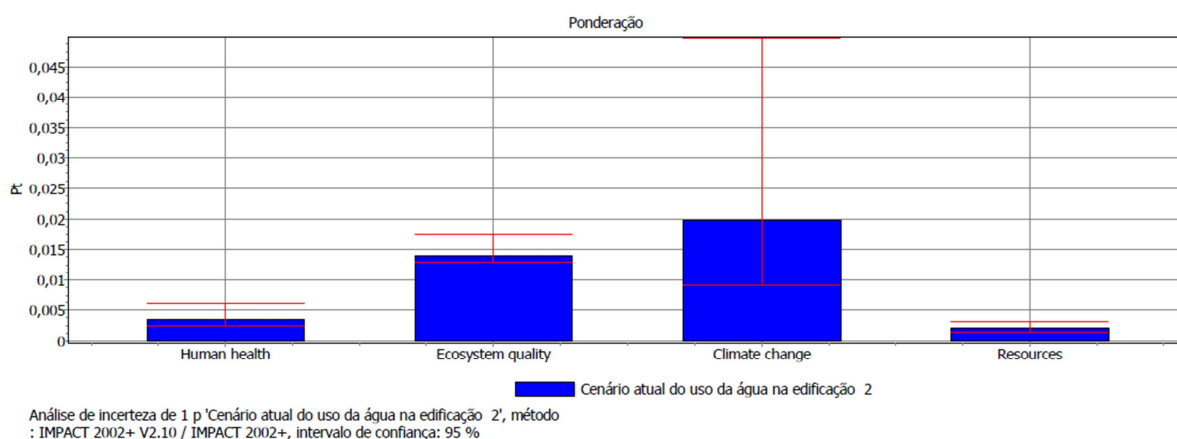


Figura 5.47 – Representação do resultado da análise de incerteza do cenário atual.

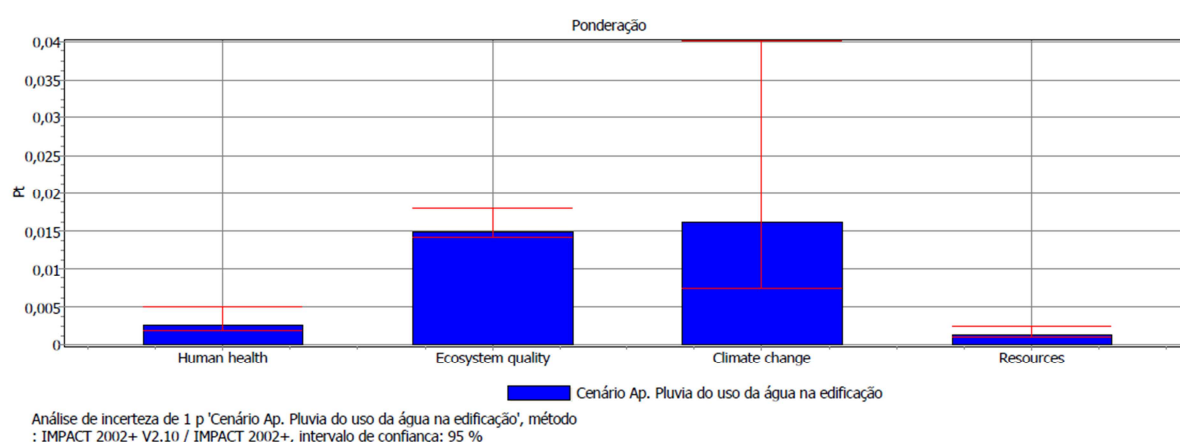


Figura 5.48 - Representação da análise de incerteza do cenário Aproveitamento de águas pluviais.



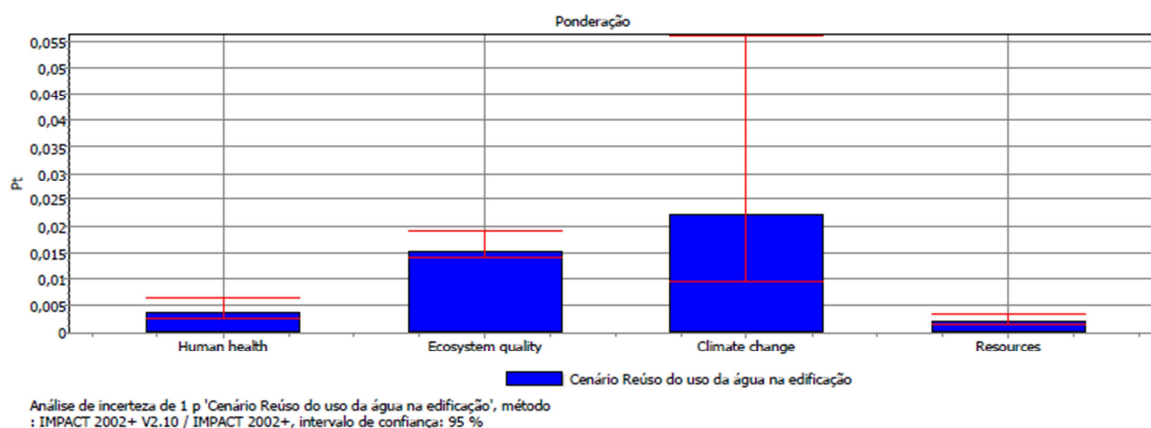


Figura 5.49 – Representação da análise de incerteza do cenário Reúso de águas.

Pode-se visualizar, nas Figuras 5.47 a 5.49, que a categoria de dano que apresentou maior variabilidade na análise foi Mudanças climáticas, em todos os cenários.

Nas Figuras 5.50 a 5.52, se observa a representação da análise de incertezas da Pontuação Única, dos cenários da pesquisa.

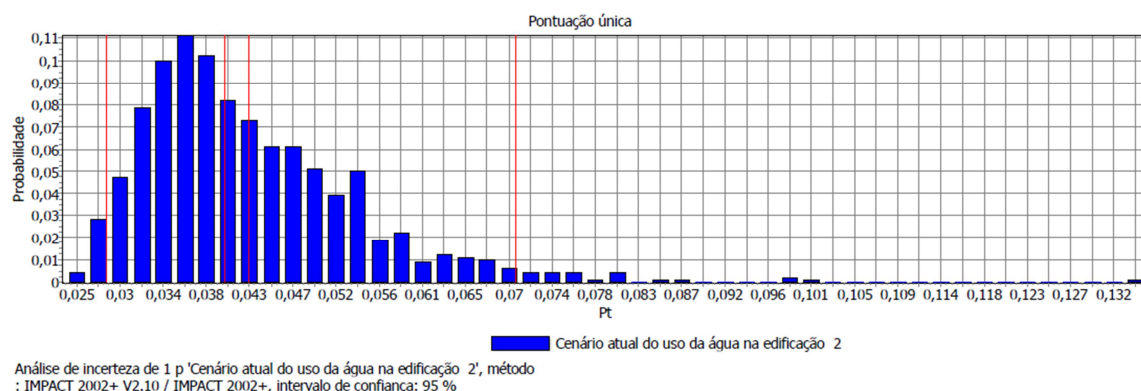


Figura 5.50 - Análise de incerteza (pontuação única) do cenário Atual do uso da água.

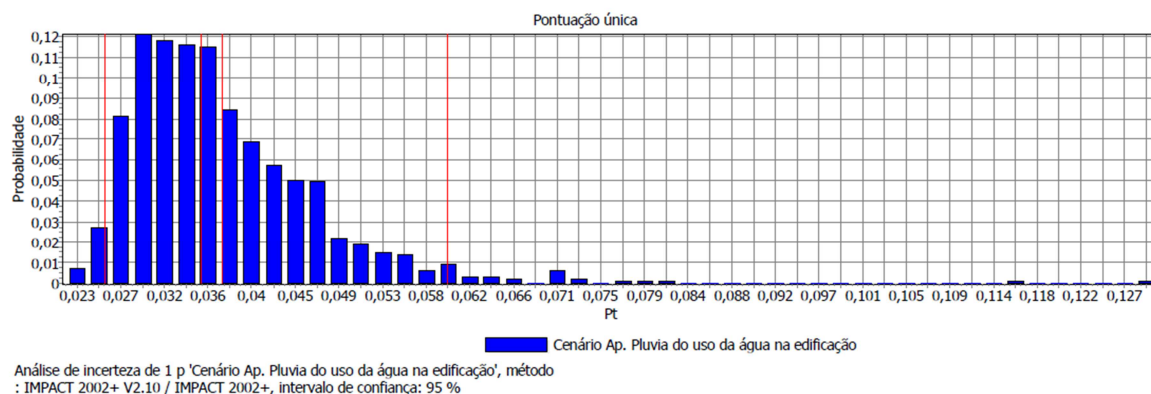


Figura 5.51 - Análise de incerteza (pontuação única) do cenário Aproveitamento de águas pluviais.

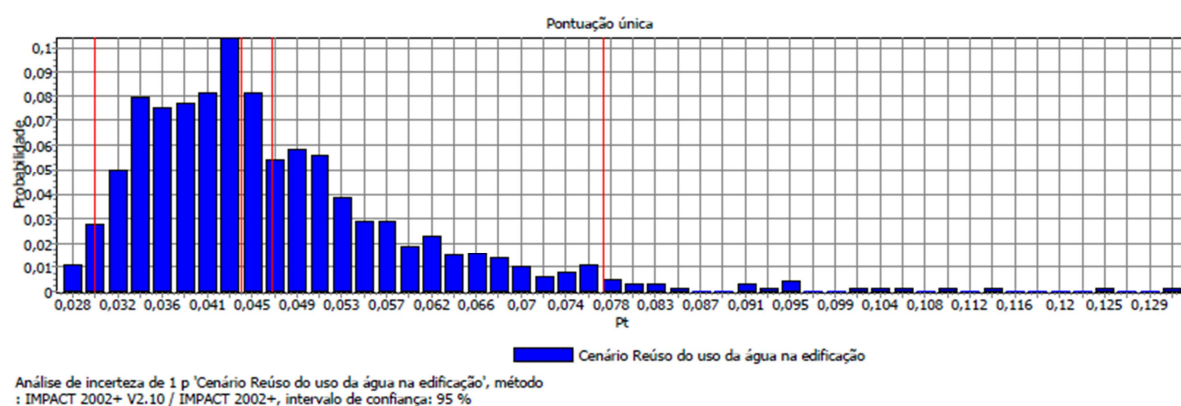


Figura 5.52 – Análise de incerteza (pontuação única) do cenário reúso de águas.

Observando-se as Figuras 5.50 a 5.52 se confirmou que o cenário que apresentou melhor resultado na análise de incerteza foi o cenário atual do uso da água. Isso se deve ao fato de que a maioria dos dados utilizados foram coletados na pesquisa (ou primários), e do Ecoinvent, avaliados na análise como completamente representativos. Já, nos cenários Aproveitamento de águas pluviais e Reúso de águas, foram utilizados mais dados secundários (da literatura), considerados parcialmente representativos na análise e, por isso, apresentaram distribuição aleatória mais dispersa que o cenário atual.

## 6 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

A água doce é um recurso valioso e cada vez mais escasso. Isso é crítico para as funções do ecossistema e ao mesmo tempo essencial para os seres humanos. O Brasil, apesar da grande disponibilidade de recursos hídricos, possui diversas regiões que se encontram atualmente sob desequilíbrio hídrico, seja quali ou quantitativo.

A gestão da sustentabilidade necessita de métodos e indicadores para avaliações e estabelecimentos de metas de desempenho de sistemas, equipamentos e produtos. A contribuição deste trabalho neste sentido foi a de apresentar uma pesquisa focada em pontos críticos do tema sustentabilidade, essenciais para a eficaz e efetiva mensuração de impactos nos planos ambiental, econômico e social. O exercício do método, feito em um estudo específico, é aplicável para outros similares, pois os conceitos são gerais. As informações sistematicamente agrupadas neste trabalho são úteis para os tomadores de decisão, que tratam com o tema da sustentabilidade, particularmente no segmento de conservação de águas.

No estudo, foram analisados os impactos associados ao uso da água em edificações, e, buscou-se uma ferramenta de gestão possível de avaliar a situação de sustentabilidade. Dentro deste cenário, inseriu-se a Avaliação de Sustentabilidade do Ciclo de Vida (ASCV) aplicada ao uso da água em edificações, que avaliou os indicadores ambientais, econômicos e sociais, e impactos relacionados, no escopo da pesquisa. Para isso, foi realizada a análise ambiental (ACV), social (ACV-S) e econômica (CCV) do ciclo de vida do uso da água em edificações de diferentes cenários. Um ponto relevante é a importância da academia se engajar no acompanhamento dos estudos de normalização que buscam integrar os métodos de ACV, CCV e ACV-S.

O atendimento aos objetivos da pesquisa se dá por meio da quantificação do diagnóstico e inventário do ciclo de vida do uso da água na edificação do estudo, e, na caracterização e avaliação dos impactos relacionados. Da mesma forma, a comparação dos diferentes cenários da análise e a obtenção da situação da sustentabilidade do uso da água de cada um deles, através da ASCV, atendem aos objetivos específicos da tese.

Através da aplicação da ASCV o estudo conclui que é possível utilizá-la como ferramenta de gestão sustentável, pois a metodologia permite identificar pontos críticos nos

três pilares da sustentabilidade e, em diferentes cenários, permite identificar qual apresenta melhor ou pior resultado no índice de sustentabilidade (IS), indicando melhorias.

Por meio dos resultados da ASCV da pesquisa conclui-se que, apesar dos cenários das fontes alternativas reduzirem as retiradas de água doce da natureza, não se obteve situação totalmente sustentável (ou de efeito positivo) de uso da água, em função dos impactos associados. Isso torna as melhorias indicadas no estudo, juntamente com maiores incentivos e cuidados de gestão, altamente relevantes, para que o aproveitamento da água pluvial ou reúso de águas sejam considerados contribuintes das soluções mitigadoras, principalmente de alterações no clima e poluição antrópica. Igualmente a redução no consumo de água e seu uso racional, sem desperdícios, contribuem significativamente para a diminuição dos impactos relacionados ao uso da água em edificações, melhorando a situação da sustentabilidade hídrica.

Cabe salientar que, ao se utilizar água de fonte alternativa, os critérios de projeto, uso, controle sanitário e operacional, manutenção e disposição final, devem ser realizadas sempre de forma adequada e responsável, sob responsabilidade técnica de profissional habilitado, tanto no projeto, quanto no controle e manutenção do sistema, a fim de evitar problemas relacionados ao projeto ou uso inadequado, para as dimensões ambiental (relacionados ao meio ambiente), social (sanitários e de qualidade de vida para a população direta ou indiretamente afetada) e econômica (aumento de custos devido a problemas).

Diante do exposto, devem-se criar incentivos para que, permanentemente, sejam aplicadas as ações consideradas sustentáveis, e que no dia-a-dia os usuários, gestores, projetistas se sintam responsáveis pela busca de uma situação cada vez mais sustentável. Para o estudo de caso analisado, isso pode ser realizado, por exemplo através de um programa de educação ambiental para o uso consciente e racional da água no campus, onde periodicamente se realizam ações educativas e instrutivas para os usuários (alunos, professores, funcionários, gestores), demonstrando a importância do uso racional e eliminação das perdas por desperdícios, alertando para os possíveis impactos nas três dimensões, bem como relatando ações já realizadas e, principalmente, ressaltando a importância de cada um como indivíduo, na busca da conservação de um bem comum a todos, a água doce.

Em relação ao uso da metodologia ACV, destaca-se que, apesar da importância da água, os impactos sobre seu uso têm sido pouco representados, desde o início da metodologia da ACV. Até o momento, os poucos métodos de AICV que possuem a categoria “uso da água” não incluem as significativas consequências ambientais da redução da qualidade e disponibilidade local da água. Nesse aspecto, os métodos de AICV necessitam ainda avançar

como, por exemplo, na disponibilidade hídrica local, oferta e demanda de água dos usos, dados qualitativos, entre outros. Outro aspecto na aplicação da ACV, é que no Brasil, a utilização de metodologias já desenvolvidas em outros países é prática comum, visto que não há ainda nenhuma metodologia desenvolvida especificamente para o país. Há uma enorme necessidade de se adaptar ou criar novas metodologias de avaliação de impactos com a finalidade de levar em consideração categorias de impactos inerentes ao contexto brasileiro como, por exemplo, erosão/assoreamento, impactos nos recursos hídricos, fauna e flora, etc. Contudo, a contribuição do método ACV não se esgota apenas na sua aplicação plena. Encontra-se razoavelmente difundida a compreensão de que enseja um modo de pensar que amplia a percepção dos impactos e contribui significativamente com a construção da sustentabilidade.

A ACV é um enfoque metodológico poderoso, que inclui todo o ciclo de vida do produto, processos ou atividades, abrangendo a extração, processamento de matérias primas, produção, distribuição, uso, reúso, manutenção, reciclagem e disposição final. A ASCV é embasada na ACV. Entretanto, há grandes dificuldades de realização, por exemplo: decisões subjetivas na interpretação de dados, necessidade de um grande número de dados, metodologia social e econômica não consolidada, e falta de bancos de dados locais. Como ponto crítico do estudo, cita-se a dificuldade em se identificar e quantificar os parâmetros associados aos indicadores das dimensões econômica e social. A dimensão ambiental da sustentabilidade conta com bases de dados já presentes em ferramentas de software próprias, aqui utilizado o Ecoinvent e o programa SimaPro, possíveis de serem adaptadas às condições locais. Motivadas por questões estratégicas ou sigilosas, parâmetros econômicos não são regularmente publicados. E os parâmetros da dimensão social muitas vezes são valorizados com avaliações subjetivas e, como tal, índices adotados para casos particulares podem não ser de uso generalizado para outras aplicações.

No estudo de caso foram analisados os requisitos de qualidade dos dados e observou-se que a maioria dos dados é completamente ou parcialmente representativa. A análise de Monte Carlo apresentou uma análise aleatória consistente e foi considerada adequada. A categoria mudanças climáticas demonstrou a maior dispersão dos dados. A análise de incertezas do estudo de caso demonstrou que a ACV pode ser uma ferramenta adequada para a caracterização e avaliação de impactos do uso da água.

Portanto, a principal contribuição desta pesquisa está na caracterização e avaliação dos impactos do ciclo de vida do uso da água, sob a ótica das três dimensões da sustentabilidade e utilização da metodologia ASCV como ferramenta de gestão que as integra. A metodologia

utilizada se mostrou válida como um ferramental de gerenciamento, planejamento e coordenação do uso sustentável da água, para a concepção e gestão de outras edificações similares, pois identifica os problemas relacionados, sob os focos ambiental, social e econômico, podendo subsidiar intervenções e auxiliar na gestão sustentável de programas de conservação de águas, bem como pode auxiliar técnicos e gestores nas soluções e decisões sobre sistemas hidráulicos mais sustentáveis.

### **6.1 Resumo das principais considerações do estudo de caso**

As principais considerações do estudo de caso são:

Em termos quantitativos, observou-se que a menor retirada da água subterrânea da natureza está no cenário aproveitamento de águas pluviais, cuja relação foi 0,83 comparando-se ao cenário atual, ou seja, 17% menor. Já, em relação ao lançamento da água que foi utilizada na edificação, que foi tratada na ETE e com seu destino final no córrego, a menor relação foi estabelecida no cenário Reúso de águas, 8% menor que o valor do cenário atual.

Considerando-se a análise na dimensão ambiental, o cenário aproveitamento de águas pluviais se apresenta com reduções dos valores de impactos em relação aos outros cenários, o que já era esperado, devido, principalmente, à redução na vazão de captação de água subterrânea, quando comparado ao cenário atual da edificação, e devido à redução de cargas ambientais, quando comparado ao cenário reúso de águas. Os resultados apresentados evidenciam o processo final de uso da água como o maior responsável pelos impactos ambientais do ciclo de vida do uso da água, principalmente devido à geração e tratamento do esgoto da edificação, emissões atmosféricas relacionadas, e ao lançamento do esgoto tratado no corpo hídrico receptor. Além disso, grande parcela da energia elétrica utilizada para o uso da água na edificação está apresentada nesse processo devido ao tratamento do esgoto por lodo ativado, sobretudo. Já, para o processo captação da água subterrânea, os impactos ocorrem devido à extração da água da natureza (recurso natural) e, principalmente, pela utilização do hipoclorito de sódio para desinfecção da água e também pela energia elétrica para a sua captação/bombeamento. Em relação aos recursos não renováveis da análise, ocorre principalmente pelo uso de combustíveis fósseis (do petróleo), como a gasolina e diesel, utilizados no transporte do cloro utilizado no tratamento da água (da fabricação/venda) e do

transporte dos resíduos (areia removida do desarenador, e lodo do leito de secagem, por exemplo) da ETE até o aterro sanitário.

Considerando-se os impactos ambientais normalizados em nível de dano, as Mudanças climáticas, seguidas da Qualidade do ecossistema, foram os problemas mais relevantes. No que se refere ao Aquecimento Global (categoria de impacto ambiental que compõe a categoria de danos ambientais: Mudanças climáticas), está associado à emissão de gases de efeito estufa, e pode-se observar que, principalmente, ao processo anaeróbico da ETE, onde não foi previsto um sistema de captação e recuperação do metano. Também, ocorre devido à energia elétrica consumida no processo de tratamento aeróbico (de lodo ativado) da ETE e ao transporte rodoviário de insumos e rejeitos. Quanto aos impactos na Qualidade do ecossistema está associado, principalmente, ao lançamento do esgoto tratado no rio com excesso de nitrogênio e fósforo, responsáveis pela eutrofização.

Quanto ao impacto ambiental final (ou indicador ambiental global final), o cenário aproveitamento de águas pluviais apresenta o menor valor global de impactos ambientais e o cenário que apresenta o maior valor global de impactos ambientais foi o cenário reúso de águas. Ou seja, o cenário Aproveitamento de águas pluviais apresentou impactos ambientais 12,4% menores que o cenário Atual (referência) e o cenário Reúso de águas apresentou impactos ambientais 8,9% maiores que o cenário Atual.

Considerando-se a análise na dimensão social, em relação ao cenário atual da ACV-S, houve uma melhoria na projeção dos cenários futuros. O cenário aproveitamento de águas pluviais foi o que apresentou melhores resultados dos impactos sociais analisados, pois, nesse cenário, a água potável seria conservada para os fins mais nobres, associando a menores impactos. Já, o cenário atual foi o que apresentou o pior desempenho dos impactos sociais. O indicador “Percepção quanto ao uso sustentável da água no cenário” variou de um resultado de efeito muito negativo no cenário atual (1,325), para efeito positivo no cenário reúso de águas (4,046) e efeito muito positivo no cenário aproveitamento de águas pluviais (4,938).

Na análise da dimensão econômica, observa-se que, em relação ao cenário atual, houve um aumento de custos na projeção dos cenários futuros, com exceção à captação e tratamento da água potável. Nos demais, todos aumentaram, principalmente devido à parcela de adequações e instalações de sistemas para fontes alternativas. O impacto econômico é maior para cenário reúso de águas, devido às melhorias na ETE e as instalações consideradas para o sistema de reúso.

Ao se realizar a análise de maneira individualizada de cada dimensão da sustentabilidade, percebe-se que, separadamente, a melhor alternativa por uma das dimensões

não é necessariamente a melhor para as outras dimensões do mesmo cenário. A integração das dimensões (ASCV) dimensionou o resultado final da situação de sustentabilidade de cada cenário, e foi calculado considerando-se os pesos atribuídos pela comunidade envolvida e especialistas. O nível de cada dimensão da sustentabilidade consistiu na determinação do desempenho global da análise do uso de água na edificação da pesquisa, em cada cenário (índice de sustentabilidade, IS). Os valores encontrados em cada cenário, por hierarquia de melhor situação, foram:  $IS_{A,pluvial}$  (0,601),  $IS_{Atual}$  (0,826) e  $IS_{Reúso}$  (0,894).

Através da ASCV o estudo concluiu que o cenário aproveitamento de águas pluviais é aquele que apresenta melhor resultado no índice de sustentabilidade (IS), frente aos demais cenários analisados, em função de que os menores valores de IS indicam situação mais sustentável. O cenário com maior valor de IS foi o cenário reúso de águas, indicando situação mais insustentável. Com o estudo foi possível identificar os pontos críticos e sugerir melhorias.

## 6.2 Recomendações para trabalhos futuros

Tendo como base os resultados e conclusões do estudo, é possível apontar algumas recomendações para trabalhos futuros:

- a) Realizar a ACV por mais de um método de avaliação de impacto, para comparar com este estudo;
- b) Realizar a análise para outro cenário de uso da água, com as melhorias indicadas no estudo, e comparar os resultados;
- c) Realizar a análise para uso da água em outras edificações, para comparar com este estudo;
- d) Buscar o desenvolvimento de método computacional que avalie o uso da água conforme a disponibilidade e qualidade hídrica local;
- e) Buscar o desenvolvimento de uma ferramenta nacional para ACV, com fatores de caracterização e normalização específicos para o território nacional e suas especificidades regionais;
- f) Construção de inventário nacional, de modo geral;



- g) Criação de padronização para ACV-S e CCV, assim como já existem normas para a ACV;
- h) Avaliação sistemática das diversas edificações, gerando dados de referência e promovendo a inclusão dos aspectos da sustentabilidade no desenvolvimento de novos projetos hidráulicos.

## REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. C. **Avaliação social do ciclo de vida de produtos**: proposta de método e avaliação preliminar do álcool etílico hidratado combustível. Tese (Doutorado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

ALMEIDA, M. L. et al. **Avaliação da sustentabilidade de soluções de reabilitação energética para paredes exteriores de um edifício residencial**. Universidade do Minho. Guimarães, Portugal, 2012.

ALTHAUS, H. et al. **Ecoinvent**: overview and methodology. Data v 2.0. Dubendorf: Swiss centre for life cycle inventories, 2007, 68 p.

ALVARENGA, R. A. F. **Avaliação de métodos de AICV**: Um estudo de caso de quatro cenários de ração para frangos de corte. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. **Utilizações da Água**. Disponível em: <[http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/Catalogo\\_Publicacoes/UtilizacoesdaAgua.asp](http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/CDOC/Catalogo_Publicacoes/UtilizacoesdaAgua.asp)> Acesso em: dezembro de 2009.

APHA, AWWA, WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 Ed. CD-ROM, 1999.

ARAÚJO, M. G. **Modelo de avaliação do ciclo de vida para a gestão de resíduos de equipamentos eletroeletrônicos no Brasil**. Tese (doutorado). Programa de Planejamento Energético. UFRJ/ COPPE. Rio de Janeiro, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DAS NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro: ABNT, 1998.

\_\_\_\_\_. **NBR 5674**: Manutenção de edificações – Procedimento. Rio de Janeiro, 1999a.

\_\_\_\_\_. **NBR 8160**: Instalações prediais de esgotos sanitários – Procedimento. Rio de Janeiro, 1999b.

\_\_\_\_\_. **NBR 9648**: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário – Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1986a.

\_\_\_\_\_. **NBR 9649**: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro: ABNT, 1986b.

\_\_\_\_\_. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro: ABNT, 1989.

\_\_\_\_\_. **NBR 13969**: Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14040**: Gestão Ambiental – Avaliação do ciclo de vida – Princípios e estrutura. Rio de Janeiro, 2009a.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 14044**: Gestão Ambiental: Avaliação do ciclo de vida: Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro, 2009b.

\_\_\_\_\_. **NBR 12209**: Projeto hidro-sanitário de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, ABNT, 2011a.

\_\_\_\_\_. **NBR 15527**: Água de Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Rio de Janeiro: ABNT, 2007.

\_\_\_\_\_. **NBR ISO 26000**: Diretrizes sobre Responsabilidade Social. Rio de Janeiro: ABNT, 2010.

**ASTM E 917 – 05** – Standard Practice for Measuring Life-Cycle Costs of Buildings and Building Systems. United States, 2009.

BARBOSA, JR. A. F. et al. Conceitos e aplicações de ACV no Brasil. In: XXVII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Foz do Iguaçu, 2007. *Anais...* Foz do Iguaçu, 2007.

BARBOSA, D. de O. et al. **Guia técnico ambiental da indústria gráfica**: Série P+L. 2 ed. São Paulo: CETESB: SINDIGRAF, 2009. 59 p.

BARE, J. C. et al. The Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts. **Journal of Industrial Ecology**. V. I 3-4, p. 46 -78, 2002.

BARRETO, D. Programa de economia de água para edifícios. **Revista Técnica**, Editora PINI, Edição 114. Set. 2006.

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

BAUMANN, H.; TILLMAN, A. **The Hitchhiker's Guide to LCA: An orientation in Life Cycle Assessment Methodology and Application**. Studentlitteratur Sweden, 2004.

BAUER, R.A. (Ed.). **Social Indicators**. The M.I.T. Press, Cambridge, Mass., London, 1996.

BAYART, J. B.; MARGNI, M. et al. Framework for assessment of offstream freshwater use within LCA. **Int J. Life Cycle Assess**, 15 (5): 439, 2010.

BENOIT, C. et al. The guidelines for social life cycle assessment of products: just in time! **International Journal of Life Cycle Assessment**, vol. 15, pp. 156-163, 2010.

BERGER, M.; FINKBEINER, M. Water footprint: how to address water use in Life Cycle Assessment? **Sustainability**, v. 2, p. 919-944, 2010.

BOULLAY, A. et al. Categorizing water for LCA inventory. **Int J. of Life Cycle Assessment**, v. 16, p. 639–651, 2011.

BRANDLI, L.L.; FRANDOLOSO, M.L.; TAUCHEN, J.; RODRIGUES, F. B.;  
CECONELLO, V. Gestão Ambiental em Instituições de Ensino Superior: uma abordagem às práticas de sustentabilidade da Universidade de Passo Fundo. **OLAM Ciência & Tecnologia**, Rio Claro, 7, 3, dez., 2007, p.24-45.

BRIBIÁN, I. Z.; USÓN, A. A.; SCARPELLINI, S. LCA in buildings: state-of-the-art and simplified LCA methodology as a complement for building certification. **Building and environment**. V. 44, n. 12, p. 2510-2520. Elsevier, 2009.

BRICK, E. S.; PILLA, L.H.L. **Modelo conceitual de um processo de Análise de Custo de Ciclo de Vida**. Disponível em: <[www.producao.uff.br/conteudo/rpep/.../015relpesq103.doc](http://www.producao.uff.br/conteudo/rpep/.../015relpesq103.doc)> Acesso em setembro de 2011.

BRUNTLAND, G. H. **Our common future**: The World Commission on Environment and Development. Oxford: Oxford University Press. 1987. 398 p.

CAJAZEIRA, J.; BARBIERI, J. **A Nova Norma ISO 14.001**: Atendendo à Demanda das Partes Interessadas. Disponível em:

<[http://cempre.org.br/download/clipping/FANPAD-2520Barbieri%2520e%2520Cajazeira.doc&rct=j&q=CMMAD&ei=1Vd2TuWNGYbr0gGK-MDDDQ&usg=AFQjCNFvU0hlrif1HFNi7Gvbi\\_aGqZWB8Q](http://cempre.org.br/download/clipping/FANPAD-2520Barbieri%2520e%2520Cajazeira.doc&rct=j&q=CMMAD&ei=1Vd2TuWNGYbr0gGK-MDDDQ&usg=AFQjCNFvU0hlrif1HFNi7Gvbi_aGqZWB8Q)> Acesso em: junho de 2011.

CAPITANO, C.; TRAVERSO, M.; RIZZO, G.; FINKBEINER, M. Life Cycle Sustainability Assessment: An Implementation to Marble Products. Proceedings of the LCM 2011 Conference. **Anais...** Berlin, 29–31, August, 2011.

CEF. Financiamento da Caixa Econômica Federal. Disponível em:

<<http://www.emprestimoconsignado.com.br/financiamentos/financiamentos-da-caixaeconomica-carta-de-credito-habitacao/>>. Acesso em: Jun. 2012.

CHEHEBE, José R. B. **Análise de Ciclo de Vida de Produtos** - Ferramenta Gerencial da ISO 14000. Rio de Janeiro: Qualitymark Editora Ltda, 2002.

CHEVALIER, J.; ROUSSEAU, P. Classification in LCA: building of a coherent family of criteria. **International Journal LCA**, Vol. 4, No. 6, pp.352–356, 1999.

CLARCKE, A.; GRANT, N.; THORNTON, J. **Quantifying the energy and carbon effects of water saving**: full technical report. Environment Agency. Great Britain, 2009.

CMMAD - COMISSÃO MUNDIAL SOBRE O MEIO AMBIENTE E DESENVOLVIMENTO. **Nosso Futuro Comum**. Rio de Janeiro: Editora Fundação Getúlio Vargas, 1991.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357**. Brasil, Ministério do Meio Ambiente, 2005.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 375**. Brasil, Ministério do Meio Ambiente, 2006.

\_\_\_\_\_. **Resolução nº 430**. Brasil, Ministério do Meio Ambiente, 2011.

CONMETRO – CONSELHO NACIONAL DE METROLOGIA, NORMALIZAÇÃO E QUALIDADE INDUSTRIAL. **Resolução n.º 03, de 22 de abril de 2010**. Ministério do Desenvolvimento, Indústria e Comércio Exterior, 2010.

CONSEMA – Conselho Estadual de Meio Ambiente. **Resolução CONSEMA nº 128**. Rio Grande do Sul, Secretaria do meio ambiente, 2006.

CORRÊA, S. R. da C. **Avaliação Social do Ciclo de Vida de um Produto**: Estudo de Caso em uma micro-empresa do Ramo Automotivo. 2009. Dissertação (Mestrado em Tecnologia) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2009.

CORRÊA, S. R. da C.; UGAYA, C. M. L. Avaliação Social do Ciclo de Vida de um produto automotivo: Satisfação dos trabalhadores. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA EM PRODUTOS E SERVIÇOS. 2010, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ACV, 2010.

COSTA, M. S. **Mobilidade urbana sustentável**: um estudo comparativo e as bases de um sistema de gestão para Brasil e Portugal. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Civil. Área de concentração Transportes). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo. 2003.

CRITCHII, A Jr. **Incorporação de indicadores sociais relacionados ao trabalho à avaliação do ciclo de vida**: Estudo de caso em uma indústria metal-mecânica. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais) – UTFPR, Curitiba, 2007.

CULTRI, C. N.; SAAVEDRA, Y.; OMETTO, A. R. Indicadores sociais como subsídios para a Avaliação Social do Ciclo de Vida: uma revisão da literatura. In: XXX ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO. São Carlos, Outubro de 2010. **Anais...** São Carlos: ENEGEP, 2010.

CURRAN, M. A. et al. The international workshop on electricity data for life cycle inventories. **Journal of Cleaner Production**, v. 13, 2005.

DA SILVA JR., H. X.; QUEIROZ, G. C.; JANUZZI, G. M. Aplicação da metodologia de análise de custo do ciclo de vida (ACCV): refrigeradores comercializados no Brasil. **Recie**, Uberlândia, v. 15, n. 1/2, p. 19-26, jan.-dez. 2006.

DENARDIN, J.L., FREITAS, P.L. Características fundamentais da chuva no Brasil. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v.17, n.10, p.1409-1416, 1982.

DREYER, L. C.; HAUSCHILD, M. Z.; SCHIERBECK, J. A. Framework for social life cycle impact assessment. **Int J. of Life Cycle Assessment**. V. 11, n.2, p. 88-97, 2006.

DRH-SEMA/CBHPF. **Planejamento do uso da água da Bacia Hidrográfica do Rio Passo Fundo**. Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Passo Fundo/Infrageo, Passo Fundo: Poá, 2012.

ECO-INDICATOR 99. **Manual for designers**. 2000. Disponível em: <[http://www.pre-sustainability.com/download/manuals/EI99\\_Manual.pdf](http://www.pre-sustainability.com/download/manuals/EI99_Manual.pdf)> Acesso em: Dezembro de 2011.

ECOINVENT. **Ecoinvent** data Vol.2.2: Implementation of Life Cycle Impact Assessment Method; Suíça: Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2010.

EMBRAPA. **Embrapa trigo**. Passo Fundo, RS. Disponível em: <http://www.cnpt.embrapa.br/pesquisa/agromet/app/principal/agromet.php>. Acesso em: Jun. 2012.

FAVA, J. (Ed.), Consoli, F., Denson, R., Dickson, K., Mohin, T. and Vigon, B. **A Conceptual Framework for Life-Cycle Impact Assessment**. Workshop Report, Society for Environmental Toxicology and Chemistry and SETAC Foundation for Environmental Education, Inc., Pensacola, FL, 1993.

FEE – FUNDAÇÃO DE ECONOMIA E ESTATÍSTICA. Disponível em: <[http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg\\_municipios\\_detalhe.php?municipio=Passo+Fundo](http://www.fee.tche.br/sitefee/pt/content/resumo/pg_municipios_detalhe.php?municipio=Passo+Fundo)> Acesso em: Janeiro de 2012.

FERREIRA, J. V. R. **Análise do ciclo de vida dos produtos**. Instituto Politécnico de Viseu, Portugal, 2004. Disponível em: <<http://www.estv.ipv.pt/paginaspessoais/jvf/gest%C3%A3o%20ambiental%20-%20an%C3%A1lise%20de%20ciclo%20de%20vida.pdf>> Acesso em: agosto de 2011.

FERRÃO, P. **Ecologia Industrial**: princípios e ferramentas. Ed: IST PRESS. Lisboa, 2009.

FIESP/ANA/SINDUSCON-SP. **Conservação e reúso da água em edificações** – Manual. São Paulo, 151 p., 2005. Disponível em: <<http://www.ambiente.sp.gov.br/.../ManualConservacaoReusoAguaEdificacao>> Acesso em maio de 2009.

FIESP/CIESP/ANA. **Conservação e reúso de água**: Manual de orientações para o setor industrial. FIESP/CIESP/ANA: vol. 1. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/Destaque/docs/d179-reuso.pdf>> Acesso em 30 set. 2007.

FINKBEINER, M. et al. **Towards Life Cycle Sustainability Assessment**. *Sustainability*, v. 2, p. 3309-3322, oct, 2010.

FINNVEDEN, G. et al. Recent developments in life cycle assessment. *Journal of Environmental Management*, V. 91. n. 1. p. 1-21. Elsevier, 2009.

FIORI, S. **Indicadores urbanos: avaliação, adequação, e aplicação em Passo Fundo – RS/Brasil**. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

FIRJAN. **Manual de conservação e reúso da água na indústria**. Rio de Janeiro: DIM, 2006. 38 p. Disponível em: <<http://www.firjan.org.br/.../2C908CE9215B0DC4012164A77509221B.htm>> Acesso em: maio de 2008.

FONTINELE, G. A. de A. **Avaliação Social do Ciclo de Vida de Produto: Desenvolvimento de fichas metodológicas que possibilitem a pesquisa de indicadores para as subcategorias de impacto da parte interessada Trabalhador**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica e de Materiais). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2010.

FONTINELE, G. A. A.; UGAYA, C.M. Avaliação Social do Ciclo de Vida de produto: Metodologia para desenvolvimento de indicadores. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA EM PRODUTOS E SERVIÇOS. 2010, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ACV, 2010.

FRISCHKNEHCT, R. et al. **Implementation of Life Cycle Impact Assessment Methods**. Data v2.0 Ecoinvent report No.3. Swiss Centre for Life Cycle Inventories, 2007.

GABI. **GaBi Software: to drive product sustainability!** Disponível em: <<http://www.gabi-software.com/brazil/software/gabi-software/>> Acesso em: outubro de 2011.

GLUCH, P. BAUMANN, H. The Life Cycle Costing (LCC) Approach a Conceptual Discussions of its Usefulness for Environmental Decision Making. *Building and Environmental*, Elsevier, v. 39. N. 5, p.571-580, 2004.

GOEDKOOP, M.; OELE, M. ;SCHRYVER, A.D.; VIEIRA, M. **SIMAPRO Database manual: Methods Library 7**. Pre Consultant, The Netherlands, 2008.

GOEDKOOP, M.; SCHRYVER, A.D.; OELE, M; DURKSK, S.; de ROEST, D. **Introduction to LCA with SIMAPRO 7**. Pre Consultant, The Netherlands, 2010.



GONÇALVES, R. F. et. Al. **Uso Racional da Água em Edificações**. Ricardo Franci Gonçalves (Coord.). Rio de Janeiro : ABES, 2006. 352 p. Projeto PROSAB.

GONÇALVES, R. F. et. al. **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Ricardo Franci Gonçalves (coordenador). Rio de Janeiro: ABES, 2009. 352p. Projeto PROSAB.

GRIFFIN J.J. Life cycle costing: a decision aid, In: Bull, J. W. **Life cycle costing for construction**. London: Taylor & Francis, 2007, p. 135-146.

GUINÉE, J. B.; GORRÉE, M.; HEIJUNGS, R.; HUPPES, G.; KLEIJIN, R.; VAN OERS, L.; WEGENER SLEESWIJK, A.; SUH, S.; UDO DE HAES, H. A.; DE BRUIJN, H.; VAN DUIN, R.; HUIJBREGTS, M. A. J. **Handbook on Life Cycle Assessment: Operational Guide to the ISO Standards**, Dordrecht, Holanda: Kluwer Academic Publisher, 2002.

HAUSCHILD, M. Z. et al. Identifying best existing practice for characterization modeling in life cycle impact assessment. **International Journal of Life Cycle Assessment**, set. 2012.

HAUSCHILD, M. et al. From Life Cycle Assessment to Sustainable Production: Status and Perspectives. In: CIRP. **Anais...** CIRP, 2005.

HARDI, P.; ZDAN, T. J. **The Dashboard of Sustainability**. Draft paper, Winnipeg: IISD, 2000.

HOEKSTRA, A. Y et al. **The water footprint Assessment Manual: Setting the global standard**. Enshede: WFN, Londres: Earthscan, 2011.

HOEKSTRA, A. Y.; HUNG, P. Q. **Virtual water trade: a quantification of virtual water flows between nations in to international crop trade**. Value of water research report series, n. 11. Delft: UNESCO, 2002.

HUNKELER, D. Societal LCA methodology and case study. **Int J. of Life Cycle Assessment**. V. 11, n. 6, p. 371-382, 2006.

HUNKELER, D., et al.; Steen, B. **Environmental Life Cycle Costing**. SETAC-CRC, Pensacola, FL, 2008.

IBGE. **Indicadores de desenvolvimento sustentável: Brasil, 2010**. <<http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/recursosnaturais/ids/ids2010.pdf>> Acesso em outubro de 2011.

IBICT. Série ISO – **Avaliação do Ciclo de Vida**. IBICT, 2009. Disponível em: <<http://acv.ibict.br/normas>> Acesso em: julho de 2011.

ILHA, M. S. O.; ARAÚJO, L.S.M. PEDROSO, L.P. et al. **Manual de manutenção de sistemas prediais de água fria**. Campinas: Gráfica da UNICAMP, 2002.

ILHA, M. S. O. et al. Impact of installation of water saving technologies at the International Airport of São Paulo in Brazil. **Symposium CIB W062**. Sydney, 2010.

INTERNATIONAL COUNCIL FOR RESEARCH AND INNOVATION IN BUILDING AND CONSTRUCTION. **Agenda 21 on sustainable construction**. Rotterdam, 1999.

IPCC, 2007. Fourth Assessment Report (AR4). **Changes in atmospheric constituents and in radioactive forcing**. Disponível em: <<http://www.ipcc.ch/pdf/assessment-report/ar4/wg1/ar4-wg1-chapter2.pdf>> Acesso em: agosto de 2011.

JANNUZZI, P. de M. **Indicadores Sociais no Brasil**. 3ª ed. 2ª impressão. Editora Alínea. Campinas, SP, 2006

JESWANI, H. K.; AZAPAGIC, A. Water footprint: methodologies and a case study for assessing the impacts of water use. **Journal of Cleaner Production**, p. 1-12, 2011.

JOHN, V. M.; OLIVEIRA, D. P. **CrITÉrios de Sustentabilidade para a Seleção de Materiais e Componentes**: uma perspectiva de países em desenvolvimento (2005). Disponível em: <<http://pcc2540.pcc.usp.br/Material%202007/cap%207%20-selecao%20de%20materiais.pdf>>. Acesso em: 05 de dez. de 2007.

JOLLIET, O.; SAADÉ, M.; CRETТАZ, P. **Analyse du cycle de vie**: comprendre et realizer un ecóbilan. Lausanne: Press Polytechniques et Universitaires Romandes, 2005.

JOLLIET, O. et al. Impact 2002+: a new life cycle impact assessment methodology. **Int J. of Life Cycle Assessment**. V. 8, n. 6, p. 324-330, 2003.

JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 6. ed. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011. 1050 p. ;

JORGENSEN, A.; LE BOCQ, A. et al. Methodologies for Social Life Cycle Assessment. **Int J. of Life Cycle Assessment**. V. 13, n. 2, p. 96-103, 2008.

KAMMERBAUER, J. **Las Dimensiones de la Sostenibilidad: fundamentos ecológicos, modelos paradigmáticos y senderos.** [S.l.]: INSI, v.26, n.8, p.353-359, 2001.

KATES, W. C. et al. Sustainability Science. **Science**, [S.l.], v.292, p.641-642, 2001.

KLOEPFFER, W. Life Cycle Sustainability Assessment of products. **Int J. of Life Cycle Assessment**. V. 13, n. 2, p. 89-95, 2008.

KRUSE, S. A. et al. Socioeconomic indicators as a complement to LCA: an application to Salmon production systems. **Int J. of Life Cycle Assessment**. V. 14, n. 1, p. 8-18, 2009.

KUHN, E. A. **Avaliação da sustentabilidade ambiental do protótipo de habitação de interesse social Alvorada.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2006.

LASSAUX, S.; RENSONI, R.; GERMAIN, A. Life Cycle Assessment of water from the pumping station to the wastewater treatment plant. **Int J. of Life Cycle Assessment**. V. 12, n. 2, p. 118 – 126, 2007.

LEAP. Life Cycle Environmental Assessment and Policy. Disponível em: <<http://www.auto21.ca/en/subcontent?page=ae2505>> Acesso em: outubro de 2011.

LIFE CYCLE ASSESSMENT LINKS. **Evaluation of the life cycle, trends, methodologies and current execution.** Disponível em: < <http://www.life-cycle.org/> >. Acesso em: agosto de 2011.

LIMA, E. C. P., VIANA, J. C., LEVINO, N. A., MOTA, C. M. M. Simulação de Monte Carlo auxiliando a análise de viabilidade econômica de projetos. IV Congresso Nacional de Excelência em gestão. **Anais...** Niterói - RJ, 2008.

LIRA, M. G.; GOMES, R. C.; JACOVINE, L. A. G. O papel dos stakeholders na sustentabilidade da empresa: contribuições para construção de um modelo de análise. **Revista de administração contemporânea**. V.13, Curitiba, June, 2009.

LLOYD, S.; LANDFIELD, A.; GLAZEBROOK, B. Integrating LCA into green building design. **Building design & construction**. Illinois, 2005.

LOURENÇO, M. S. **Questões técnicas na elaboração de indicadores de sustentabilidade.** Disponível em:

<[http://www.unifae.br/publicacoes/pdf/Sustentabilidade/marcus\\_lourenco.pdf](http://www.unifae.br/publicacoes/pdf/Sustentabilidade/marcus_lourenco.pdf)>. Acesso em: nov. 2010.

MAGALHÃES JR., A. P. **Indicadores ambientais e recursos hídricos: realidade e perspectivas para o Brasil a partir da experiência francesa.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2007.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H. F. dos. (Editores). **Reúso de água.** Barueri, SP: Manole, 2003.

MANHART, A.; GRIEBHAMMER, R. **Social impacts of the production of notebook PCs – Contribution to the development of a Product Sustainability Assessment (PROSA).** Öko-Institut, Freiburg, Germany, 2006.

MANTOVANI, V. A. **Avaliação do ciclo de vida.** UNESP, Sorocaba, 2012. Disponível em: <<http://www2.sorocaba.unesp.br/professor/mancini/arquivos/reciclagem/acv-vanessa.pdf>> Acesso em: Dezembro de 2012.

MARINHO, E. C. A. **Uso racional da água em edificações públicas.** Monografia (Curso de especialização em construção civil). Universidade Federal de Minas Gerais, 2007. Disponível em: <http://www.cecc.eng.ufmg.br/trabalhos/pg1/USO%20RACIONAL%20DA%20C1GUA%20EM%20EDIFICAC7%D5ES%20P%DABLICAS.pdf> . Acesso em: 20 mar. 2011.

MARZULLO, R.C.M; FRANCKE, I.; e MATAI, P.H.L.S. Pegada hídrica da água tratada: necessidade de água para obtenção de água. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA EM PRODUTOS E SERVIÇOS. 2010, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ACV, 2010.

MATEUS, R.; BRAGANÇA, L. **Tecnologias construtivas com tecnologias construtivas para a sustentabilidade da construção.** Edições Ecopy: Porto, 2006.

MATHIESEN, B. V. et al. Uncertainties related to the identification of the marginal energy technology in consequential life cycle assessments. **Journal of Cleaner Production**, 17, 2009.

MELLO, E.; RABELLO JR., M. Leitura de medidores de água por radiofrequência: a experiência bem sucedida de um serviço público de saneamento. In: 26º CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2011. **Anais...** Porto Alegre: 26º CBESA, 2011.

METCALF & EDDY; TCHOBANOGLOUS, GEORGE; BURTON, FRANKLIN L.; STENSEL, H. DAVID. (Rev.). **Wastewater engineering: treatment and reuse**. Boston: McGraw-Hill, 2003.

MIERZWA, J. C. **O uso racional e o reúso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria**: estudo de caso da Kodak Brasileira. Tese (Doutorado em Engenharia). Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 2002.

MIERZWA, J. C. **Água na indústria**: uso racional e reúso. São Paulo, ed. Oficina de textos, 2005.

MMA – Ministério do meio ambiente. **Agenda 21 brasileira**. Disponível em: <<http://www.ana.gov.br/AcoesAdministrativas/RelatorioGestao/Agenda21/iniciar.html>> Acesso em: 25 mar. De 2011.

MS – Ministério da Saúde. **Portaria n. 2914**. Brasil, Ministério da Saúde, 2011.

MORETTI, T. V. **Métodos de avaliação da estrutura de inventários de ciclo de vida**: análise para casos brasileiros. Dissertação (Mestrado) Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

MOURAD, A. L.; GARCIA, E. E. C.; VILHENA, A. **Avaliação do Ciclo de Vida**: Princípios e Aplicações. Campinas: CETEA/CEMPRE, 92p. 2002.

MUELLER, K.G. et al. Parameterised inventories for life cycle assessment: systematically relating design parameters to the life cycle inventory. **International Journal of LCA**. V. 9. n. 4. p. 227–235, 2004.

MUNIZ, V. C. F.; SILVA, G. A. Avaliação do ciclo de vida consequencial – visão do GP2. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA EM PRODUTOS E SERVIÇOS. 2010, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ACV, 2010.

MUNIZ, V. C. F. **Análise da fundamentação da avaliação do ciclo de vida consequencial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2012.

NASCIMENTO, T. C. **Influência da eficiência no uso da água e energia no custo do ciclo de vida de uma moradia multifamiliar popular em Belo Horizonte – Brasil**. Dissertação (Mestrado em Construção Civil). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

NESS, B. et al. Categorising Tools for Sustainability Assessment. **Ecological Economics**, Elsevier, v.60, 3p. 498-508, 2007.

NORRIS, G. A. Social impacts in product life cycles: towards life cycle attribute assessment. **Int J. of Life Cycle Assessment**. V. 11, n. 1, p. 97-104, 2006. Special Issue.

NUNES, S.S. **Estudo da conservação de água em edifícios localizados no Campus da Universidade Estadual de Campinas**. Dissertação. (Mestrado) Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2000.

NUNES, R.T. S. **Conservação da água em edifícios comerciais: potencial de uso racional e reúso em Shopping Center**. Mestrado. (Dissertação de Mestrado). COPPE/UFRJ, 2006.

O'BRIEN, M.; DOIG, A. CLIFT, R. Social and environmental life cycle assessment. **Int J. of Cycle Assessmet**. V. 1, n. 4, p.231-237, 1996.

OEKO-Institut e.V.; Buchert, M. et al.: **Critical metals for future sustain-able technologies and their recycling**. Final report (in cooperation with United Nations Environment Programme). Darmstadt, 2009.

OLIVEIRA, L.H. **Metodologia para Implantação de Programa de Uso Racional da Água em Edifícios**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 1999.

OLIVEIRA, L. H. **A gestão da água em edifícios mais sustentáveis**. São Paulo, 2007. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.gov.br/noticentro/2007/10/lucia.pdf>> . Acesso em: 10 jun. de 2011.

OLIVEIRA, G.; SCAZUFCA, P.; MARCATO, F. S. **Cenários e Condições para a Universalização do Saneamento no Brasil – Parte 1**. Informações FIPE. Temáticas de economia aplicada. Disponível em: <[www.fipe.org.br/publicacoes/downloads/bif/2011/1\\_18-24-gegn.pdf](http://www.fipe.org.br/publicacoes/downloads/bif/2011/1_18-24-gegn.pdf)> Acesso em: agosto de 2011.

ORTIZ, O.; CASTELLS, F.; SANNEMANN, 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.

PARDINI, A. F. **Contribuição ao entendimento da aplicação do LEED e do conceito de custos no ciclo de vida em empreendimentos mais sustentáveis no Brasil.** Dissertação (Mestrado), Universidade Estadual de Campinas, São Paulo – 2009. 227 p.

PASSUELLO, A.C.B. **Aplicação da Avaliação do Ciclo de Vida em Embalagens Descartáveis para Frutas: estudo de caso.** Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2007.

PEDROSO, L. P. **Subsídios para a implementação de sistemas de manutenção em campus universitário, com ênfase em conservação de água.** Dissertação (Mestrado). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo. 2002.

PEDROSO, G.; TEIXEIRA, C. E. Modelo de avaliação de sustentabilidade: Integração de ACV, LCC e SLCA para estudo de modais de transportes urbanos de passageiros. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA EM PRODUTOS E SERVIÇOS. 2010, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ACV, 2010.

PEGORARO, L. A. et al. **Life Cycle Impact Assessment (LCIA) and some 198mportante considerations to Brazil.** In: CILCA – Conferência Internacional do Ciclo de Vida. São Paulo, 2007.

PEGORARO, L. A. **Desenvolvimento de fatores de caracterização para toxicidade humana em avaliação do impacto do ciclo de vida no Brasil.** Dissertação (Mestrado em Engenharia). Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, UTFPR. Curitiba, 2008.

PENNINGTON, D. W. et al. Spatial versus non-spatial multimedia fate and exposure modeling: Insights for Western Europe. **Environmental Science and Technology**. V. 39 n. 4, 2005.

PIORR, H.P. Environmental Policy, Agri-environmental Indicators and Landscape Indicators. Agriculture. **Ecosystems & Environment**, [S.l.], v. 98, 1-3 p. 17-33, 2003.

PNSB – **Pesquisa Nacional de Saneamento Básico** – 2000 a 2008. IBGE, 2008. Disponível em: < [www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/.../PNSB\\_2008.pdf](http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/.../PNSB_2008.pdf)> Acesso em agosto de 2011.

PRé Consultants. **Introduction to LCA witch SimaPro 7.** Netherlands, November, 2010.

PMPF - PREFEITURA MUNICIPAL DE PASSO FUNDO. Disponível em: <<http://www.pmpf.com.br>>. Acesso em: 20 mai. de 2011.

PNCDA - PROGRAMA NACIONAL DE COMBATE AO DESPERDÍCIO DE ÁGUA. Disponível em: <<http://www.pncda.gov.br>> . Acesso em jan. de 2005.

PNUMA - PROGRAMA DAS NAÇÕES UNIDAS PARA O MEIO AMBIENTE, 1981. Disponível em:< <http://www.brasilpnuma.org.br/>>. Acesso em: jul. 2007.

PONCIANO, N. J.; SOUZA, P. M.; MATA, H. T. C.; VIEIRA, J. R.; MORGADO, I. F. Análise de Viabilidade Econômica e de Risco da Fruticultura na Região Norte Fluminense. **Revista de Economia e Sociologia Rural**, Rio de Janeiro, vol. 42, n. 04, p. 615-635, 2004.

PROGRAMA DE ECONOMIA DE ÁGUA DE CONSUMO DOMÉSTICO – SABESP. **Uso Racional da Água**. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br>>, acesso em julho de 2010.

PROGRAMA DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA DA UNICAMP – PRÓ-ÁGUA – Disponível em: <http://www.fec.unicamp.br/~milha/proagua.htm>> Acesso em: 20 jun. 2010.

PROGRAMA DE USO RACIONAL DA ÁGUA DA UFBA – ÁGUAPURA UFBA. Disponível em: <<http://teclim.ufba.br/aguapura>> . Acesso Jul. de 2010.

PURA. **Programa de Uso Racional da Água**. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 1995.

QUANTIS. **Water footprint in life cycle assessment**: state of the Science and framework to assess impacts of water use in life cycle assessment. V. 1.0, Lausanne, 2010.

RAMÍSIIO, Paulo J. **Manual de Engenharia**: Sistemas de Pressurização – O custo do ciclo de vida como Fator de economia. Bombas Grundfos Portugal, SA, 2005.

RAMIREZ, P.; PETTI, L.; BRONES, F.; C.M.L., U. **Método de avaliação de subcategoria em acv social**: aplicação para trabalhadores no sabonete de cacau da natura. 2009.

REICH, M. C. Economic assessment of municipal waste management systems – case studies using a combination of life cycle assessment (LCA) and life cycle costing (LCC). **Journal of Cleaner Production**. V. 13, p. 253-263, 2005.

RESENDE NETO, A. **Sustentabilidade, água virtual e pegada hídrica**: um estudo exploratório no setor bioenergético. UFRGS. 2011. Dissertação (Mestrado). Programa de pós graduação em Engenharia de Produção. Porto Alegre, 2011.



RIDOUTT, B. G.; PFISTER, S. A revised approach to water footprint to make transparent the impacts of consumption and production on global freshwater scarcity. **Global Environmental Change**, v. 20, p. 113-120, 2010.

SALLABERRY, R. R. **Emprego da avaliação do ciclo de vida para levantamento dos desempenhos ambientais do biodiesel de girassol e do óleo diesel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia) Programa de Pós Graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SANCHES, A. B. **Avaliação da sustentabilidade de sistemas de tratamento de esgotos sanitários**: uma proposta metodológica. Tese (Doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009.

SANCHES, R. **A avaliação de impacto ambiental e as normas de gestão ambiental da série ISO 14000**: características técnicas, comparações e subsídios à integração. Dissertação (Mestrado em Ciências da Engenharia Ambiental). Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2011.

SANTOS, C.V.J.; CYBIS, L.F., Análise do Ciclo de Vida Aplicada à Indústria da Construção Civil: Estudo de Caso. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 2000, Porto Alegre. **Anais...**Porto Alegre: ABES, 2000.

SANTOS, D. C. Os sistemas prediais e a promoção da sustentabilidade ambiental. Ambiente Construído: **Revista da Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído**, ANTAC, Porto Alegre, v.2, n.4, p. 7-18, out./dez. 2002.

SANTOS, L.A.; UGAYA, C.M.L.; HABERLAND, N.T. Avaliação do ciclo de vida social: desenvolvimento de método de análise de inventário e avaliação de impacto. In: XVII SICITE - SEMINÁRIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA E TECNOLÓGICA DA UTFPR. 2012, Curitiba. **Anais...** Disponível em: <http://conferencias.utfpr.edu.br/ocs/index.php/sicite/2012/paper/viewFile/772/200> Acesso em: setembro de 2012.

SATTLER, M.A. Sustainable communities: teaching and design activities at NORIE. In: CIB Symposium on Construction & Environment - Theory into Practice. **Anais...** São Paulo, 2000.

SATTLER, M.A. Edificações e comunidades sustentáveis: atividades em desenvolvimento no NORIE/UFRGS. In: IV SEMINÁRIO IBERO-AMERICANO DA REDE CYTED XIV.C. - Capacitação e Transferência de Tecnologia para Habitação de Interesse Social - Em busca de novas tecnologias, 2002. **Anais...** Disponível em:

<<http://www.habitare.org.br/pdf/publicacoes/arquivos/189.pdf>> Acesso em: Dezembro de 2011.

SAUTCHUK, C., FARINA, H., HESPANHOL, I., OLIVEIRA, L. H., COSTI, L. O., ILHA, M.S.O., GONÇALVES, O.M., MAY, S., BONI, S.S.N., SCHMIDT, W. **Conservação e reúso da água em edificações** – Manual da FIESP. São Paulo. 151 p., 2005.

SCHADE, J. **Life Cycle Cost Calculation Models for Buildings**. 2004. Disponível em: <[http://www.inpro-project.eu/media/lcc\\_juttaschade.pdf](http://www.inpro-project.eu/media/lcc_juttaschade.pdf)>. Acesso em: 04 de abril de 2011.

SHUBO, T. **Sustentabilidade do abastecimento e da qualidade da água potável urbana**. Dissertação (Mestrado em Ciências em Saúde Pública). Escola Nacional de Saúde Pública da Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 2003.

SILVA, D. A. L. **Avaliação do ciclo de vida da produção do painel de madeira MDP no Brasil**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais). Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2012.

SILVA, G. A.; YOKOTE, A. Y.; RIBEIRO, P. H. **Desenvolvimento de banco de dados brasileiro para Avaliação do Ciclo de Vida**. Global Conference – Construindo o mundo sustentável. São Paulo, 2002.

SILVA, G.S. **Programas permanentes de uso racional da água em Campi Universitários: Programa de uso racional da água da Universidade de São Paulo**. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Departamento da Engenharia de Construção Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2004.

SILVA, R. T. (coord.). **Indicadores de perdas nos sistemas de abastecimento de água**. Ministério do Planejamento e Orçamento. Secretaria de Política Urbana. Brasília, 1998.

SILVA, R. M. S.; MALHEIROS, A. P. V. S.; PEREIRA, A. N. A.; SANTANA, E. F.; MARTINS, M. P. Simulação de Monte Carlo em decisão de investimento para fabricação de produtos de compósito polimérico com fibra de coco. 6º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação. **Anais...** Caxias do Sul, 2011.

SILVA, V. G. **Avaliação da Sustentabilidade de Edifícios de Escritórios Brasileiros: diretrizes e base metodológica**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2003.

SILVA; V. G.; PARDINI, A. F.. Contribuição ao entendimento da aplicação da certificação LEED e do conceito de custos no ciclo de vida em empreendimentos mais sustentáveis no Brasil. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 10, n.3, p. 81-97, 2010.

SIMAPRO. **About SimaPro**: The world's leading LCA software chosen by industry, research institutes, and consultants in more than 80 countries. Ecoinvent. Pré Consultants. Disponível em: < [http://www.pre-sustainability.com/content/simapro-lca-software?gclid=CMvLr\\_GM-a0CFQtZ7AodqGxKtA](http://www.pre-sustainability.com/content/simapro-lca-software?gclid=CMvLr_GM-a0CFQtZ7AodqGxKtA)> Acesso em: outubro de 2011.

SNIS – Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental. SNIS. **Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento**: diagnóstico dos serviços de água e esgotos – 2009. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2011. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: junho de 2011.

SOUZA, D. M; et al. A Life Cycle Impact Assessment Method for the Brazilian Context. In: CONFERÊNCIA INTERNACIONAL CICLO DE VIDA, 2007. **Anais...** São Paulo, 2007.

SONNEMANN G. W., SCHUHMACHER M. and CASTELLS F. Uncertainty Assessment By a Monte Carlo Simulation in a Life Inventory of Electricity Produced by a Waste Incinerator. **Journal of Cleaner Production**, 11: 279–292. 2003.

SPILLEMAECKERS, S. et al. **Integrated Product Assessment** - The Development of the Label 'Sustainable Development' for Products Ecological, Social and Economical Aspects of Integrated Product Policy. Belgian Science Policy, Belgium, 2004.

SWARR, T. E. et al. Environmental life-cycle costing: a code of practice. **International Journal Life Cycle Assessment**, v.16, p.389-391, Apr 2011.

TAMAKI, H. O. **A medição setorizada como instrumento de gestão da demanda de água em sistemas prediais** – Estudo de caso: Programa de Uso Racional da Água da Universidade de São Paulo. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Escola Politécnica da USP, São Paulo, 2003.

TAKAEDA, A.; TACHARD, A. L.; OMETTO, A. R. Levantamento de métodos de avaliação de impacto de ciclo de vida (AICV) mais recorrentes em estudos. In: 2º CONGRESSO BRASILEIRO EM GESTÃO DE CICLO DE VIDA EM PRODUTOS E SERVIÇOS. 2010, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: ACV, 2010.

Tabelas de Composições de Preços para Orçamentos (TCPO) – 14ª edição – São Paulo: PINI, 2010.

THRANE, M. SCHMIDT, J. **Life Cycle Assessment, LCA**. Cap. 4: LCA. Department of Development and Planning, Aalborg University, 2006.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**: para áreas urbanas e fins não potáveis. 2. ed. São Paulo: Navegar, 2005.

TOMAZ, P. **Conservação da água**. Guarulhos: Ed. Parma, 2000.

TORRES, Y. T. K.; OMETTO, A. R. **Revisão Sistemática de Metodologias de Análise de Custo de Ciclo de vida**. Escola de Engenharia de São Carlos. Disponível em: <<https://sistemas.usp.br/siicusp/cdOnlineTrabalhoVisualizarResumo?numeroInscricaoTrabalho=240&numeroEdicao=18>> Acesso em setembro de 2011.

TRACI. **Tool for the Reduction and Assessment of Chemical and Other Environmental Impacts**. Disponível em: <<http://www.epa.gov/nrmrl/std/sab/traci/>> Acesso em: outubro de 2011.

TUCCI, C. E. M.; HESPANHOL, I.; CORDEIRO NETTO, O. **Gestão da água no Brasil**. Brasília: UNESCO, 2001. 156p. Disponível em: <<http://www.camaradecultura.org/gestao-da-agua.pdf>>. Acesso em: 20 nov. de 2006.

TUCCI, C. E. M., HESPANHOL, I. e CORDEIRO, O. **Relatório Nacional sobre o Gerenciamento da Água no Brasil**. Rio Grande do Sul: Instituto de Pesquisas Hidráulicas – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2000.

UDO DE HAES, H.A. et al. **Life Cycle Impact Assessment**: striving towards the best practice. Brussels: SETAC, 2002, 249 p.

UMBERTO. Disponível em: <<http://www.umberto.de/en>> Acesso em: outubro de 2011.

UNEP – United Nations Environment Programme. **Global Environment Monitoring System – GEMS**. Water Programme. GEMSat, 2009. Disponível em: <[gemswater.org](http://gemswater.org)> Acesso em: agosto de 2011.

UNEP. United Nations Global Compact – The CEO Water Institute. **Corporate water accounting**: an analysis of methods and tools for measuring water use and its impacts. Oakland, 2010.

UNEP/SETAC. **Guidelines for Social Life Cycle Assessment of Products**. UNEP/SETAC - Life Cycle Initiative at UNEP, CIRAIG, FAQDD and the Belgium Federal Public Planning

Service, 2009. Disponível em: [http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DITx1164xPA-guidelines\\_sLCA.pdf](http://www.unep.fr/shared/publications/pdf/DITx1164xPA-guidelines_sLCA.pdf) Acesso em: Outubro de 2012.

UNEP/SETAC/Life Cycle Initiative. **Towards a Life Cycle Sustainability Assessment: Making informed choices on products.** UNEP/SETAC/Life Cycle Initiative, 2012.

UPF - UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO. Disponível em: <<http://www.upf.br>> . Acesso em: Jun. 2012.

USEPA. **Guidelines for water reuse.** USEPA, 2012. Disponível em : <http://www.waterrreuseguidelines.org/> - Acesso em: novembro de 2012.

USEPA. **Water Conservation Plan Guidelines.** U.S. Washington, DC: EPA, Ago. 1998. Disponível em: <<http://www.epa.gov>> . Acesso em: 15 jan. 2005.

USEPA. **LCAccess** – LCA 01, 2001. Disponível em: <<http://www.epa.gov/ORD/NMRL/lcaccess/lca101htm>>. Acesso em: 01 de mai. de 2011.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de Sustentabilidade: uma análise comparativa.** Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. CPGEF/UFSC, 250 p., 2002.

VAN BELLEN, H. M. **Indicadores de sustentabilidade:** uma análise comparativa. Rio de Janeiro: FGV Editora, 2005. 256 p.

VINCE et al. LCA tool for the environmental evaluation of potable water production. **Desalination.** V. 220, n. 1, p. 37-56. Elsevier, 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais, 2005.

WEIDEMA, B. Market information in life cycle assessment. **Environmental Project n. 863,** Danish Environmental Protection Agency, Copenhagen, Denmark, 2003.

WEIDEMA, B. P. ISO 14044 also applies to Social LCA. **Int J. of Life Cycle Assessment.** V. 10, n. 6, p. 381-381, 2005.

WEIDEMA, B. P. The integration of economic and social aspects in Life Cycle Impact Assessment. **Int J. of Life Cycle Assessment.** V. 11, n. 1, p. 89-96, 2006. Special Issue.

WFN - WATER FOOTPRINT NETWORK – WFN. **The Water Footprint Assessment Manual**. University of Twente. Enschede, 2011. Disponível em: <<http://www.waterfootprint.org/index>> Acesso em: agosto de 2011.

WILLIS, R. M. et al. Quantifying the influence of environmental and water conservation attitudes on household end use water consumption. **Journal of Environmental Management**. V. 92. n. 8. p. 1996-2009. Elsevier, 2011.

WUCB. **A water conservation guide for commercial, institutional and industrial users**. USA: Ed. Water Use and Conservation Bureau, New Mexico Office of the State Engineer, 1999.

WWF. **Pegada Hídrica incentiva o uso responsável da água**. Março, 2011. Disponível em: <<http://www.wwf.org.br/?27822/Pegada-Hdrica-incentiva-o-uso-responsvel-da-gua>> . Acesso em: maio de 2011.

XING, S.; XU, Z.; JUN, G. Inventory analysis of LCA on Steel-and Concrete – Construction Buildings. **Energy and Buildings**. Lausane, n. 40, p.1168-1193, 2008.

YWASHIMA, L. A. **Avaliação do uso de água em edifícios escolares públicos e análise de viabilidade econômica da instalação de tecnologias economizadoras nos pontos de consumo**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

## **APÊNDICE A**

### **Questionário utilizado para levantamento de dados sociais da pesquisa**

## APÊNDICE B

### Dados utilizados no inventário do Cenário Atual da Edificação Piloto

As análises qualitativas da água captada no poço PA-01 HV, para o período estudado, estão apresentadas nas Tabelas B.1.

Tabela B.1 – Análises qualitativas da água subterrânea do poço PA-01 HV.

Parâmetro	Resultado médio do período	Desvio padrão	VPM – Potabilidade
pH	7,34	0,236	6 – 9,5
Turbidez (uT)	0,12	0,056	1*
Cloretos (Cl <sup>-</sup> mg/L)	4,58	3,36	250
Dureza total (CaCO <sub>3</sub> mg/L)	50,54	7,29	500
Ferro total (mg/L)	ND	-	0,3
Sódio (Na <sup>+</sup> mg/L)	21,94	2,614	200
Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N mg/L)	0,396	0,69	10
Nitritos (NO <sub>2</sub> <sup>-</sup> -N mg/L)	ND	-	1
Alumínio (mg/L)	0,2	-	0,2
Fluoretos (mg/L)	0,11	0,07	1,5
Sólidos totais dissolvidos (mg/L)	120,67	22,27	1000
Cor aparente (uH)	1	1,155	15
Chumbo (mg/L)	ND	-	0,01
Cloro residual livre (mg/L)	0,76	0,75	0,2 – 2,0
Coliformes totais (NMP/100 mL)	Ausência	-	Ausência
Contagem de bactérias Heterotróficas (UFC/100mL)	1,875	1,642	500
Escherichia coli (NMP/100mL)	Ausência	-	Ausência

Onde: ND – Não detectado pelo método; VPM – Valor máximo permitido da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade (Portaria MS 2914/2011); \* valor para água subterrânea após a desinfecção, em 95% das amostras.

A Tabela B.2 apresenta os valores referentes à vazão da ETE da UPF. O TDH (tempo de detenção hidráulico) de operação da ETE é aproximadamente 36 horas, ou um dia e meio para a operação da ETE. Os dados qualitativos referentes ao esgoto da ETE estão apresentados na Tabela B.3.



Tabela B.2 – Dados referentes à vazão da ETE.

Vazão diária	Média 2009	Média 2010	Média 2011	de Projeto
Vazão mínima (m <sup>3</sup> /h)	4,8	5,9	8,3	7,5
Vazão média (m <sup>3</sup> /h)	6,71	6,81	10,63	14,48
Vazão máxima (m <sup>3</sup> /h)	7,6	7,7	15,5	27
Vazão no mês de fevereiro (m <sup>3</sup> /h)	3,23	3,34	4,68	

Tabela B.3 – Parâmetros das concentrações do esgoto da ETE da UPF – Cenário atual.

Parâmetro	Entrada da ETE	Saída da ETE	Conama 430/11 Lançamento	Consema 128/06 – Lançamento	Conama 357/05 – Classe 1	Conama 357/05 – Classe 2
pH	7,26±0,30	7,54±0,38	5,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0
Turbidez (UNT)		3,38±2,6			40	100
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	364±33,1	71,5±34	120	180	3	5
DQO (mg/L)	760±366	98,3±32		400		
S.Sedimentáveis (mg/L)	11,01±3,2	0,48±0,2		1,0*		
ST (mg/L)	737±120	74,98±43		180		
SSV (mg/L)	215±27,7	19,13±8,3				
SDT (mg/L)	469±39,4	37,7±2,71				
Temperatura do esg. (°C)	20,55±2,5	22±4,9	40	40		
Nitrogênio (mg/L)	51,7±23,4	28,7±20,1	20	20	2	2
Fósforo (mg/L)	13,8±3,83	8,38±4,6			0,025	0,050
Nitrato (mg/L)	8,19±1,8	6,3±2,6			10	10
Nitrito (mg/L)	0,92±0,41	0,77±0,32			1	1
Amônia (mg/L)	29,7±3,21	9,97±0,41				
Cloretos (mg/L)	33,2±2,7	6,4±1,05				
Óleos e graxas (mg/L)	10±2,92	3,25±1,5	100	30	**	**
Cloro residual livre (mg/L)	0,37±0,32	0,78±0,6			0,01	0,01
Surfactantes (mg/L)	9,4±4,73	2,6±1,1				
Ferro (mg/L)	ND					
Chumbo (mg/L)	ND					
Alumínio (mg/L)	ND					
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	4,5E+8	1,02E+3			200	1000

Onde: \* 1 hora no Cone Imhoff; \*\* virtualmente ausentes; \*\*\* cor verdadeira: nível de cor natural do corpo de água; ND – Não detectado pelo método. ST – Sólidos Totais; SSV – Sólidos Suspensos Voláteis; e SDT – Sólidos Dissolvidos Totais.

Na Tabela B.3 foi considerado os limites da Classe 1 e 2, para fins de comparação, devido ao corpo hídrico que recebe o efluente da ETE estar atualmente como Classe 2. Em 2012 foi realizado o Plano da Bacia Hidrográfica, e o mesmo foi enquadrado em Classe 1 (DRH/SEMA, 2012). Em função disso, verifica-se a necessidade de adequações na ETE, principalmente para atender a essa mudança de Classe.

## APÊNDICE C

### Dados usados no Cenário Aproveitamento da Água Pluvial

A Tabela C.1 apresenta os valores quantitativos de precipitações observadas no período de 1988 até 2012.

Tabela C.1 – Valores mensais e anuais de precipitações pluviométricas para o município de Passo Fundo, RS.

Ano	Precipitação Mensal (mm)												Anual (mm)
	Jan.	Fev.	Març	Abril	Mai	Junho	Julho	Agos	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
1988	261,1	32,5	22,5	230,2	119,1	152,8	20,8	28,0	416,5	143,7	114,4	198,9	1740,5
1989	228,2	121,8	120,4	101,5	54,4	74,2	210,5	173,8	451,8	153,2	92,8	160,2	1942,8
1990	200,5	123,6	155,5	262,8	341,0	221,5	123,5	28,7	332,1	248,2	254,5	101,4	2393,3
1991	147,1	19,3	45,9	109,7	45,5	240,7	95,4	92,4	58,5	179,5	80,7	264,3	1379,0
1992	183,2	164,4	203,1	118,1	386,7	109,9	241,6	147,8	186,3	136,5	280,2	130,3	2288,1
1993	255,5	152,7	197,0	75,0	176,2	137,2	284,0	15,2	136,5	154,2	273,9	259,0	2116,4
1994	55,2	333,6	69,8	193,6	152,2	198,8	243,0	46,0	161,7	308,7	138,1	235,2	2135,9
1995	300,9	84,0	73,5	68,1	21,4	174,7	135,9	76,1	135,4	198,6	78,2	31,6	1378,4
1996	355,3	135,2	104,5	75,9	73,9	140,6	126,1	213,9	119,5	157,8	107,4	123,2	1733,3
1997	156,3	129,8	33,2	69,5	103,7	114,4	115,8	257,5	152,0	550,4	339,9	235,5	2258,0
1998	231,0	357,6	229,9	342,2	201,0	82,7	191,0	257,4	204,2	118,9	68,5	122,5	2406,9
1999	125,3	114,4	65,4	188,3	108,7	94,3	176,8	19,4	149,5	177,1	118,6	131,1	1468,9
2000	143,6	105,7	267,4	76,1	76,8	205,5	148,1	83,8	169,0	339,3	164,2	159,9	1939,4
2001	212,5	196,5	110,5	118,4	164,6	106,3	103,5	28,1	240,0	275,5	116,9	194,1	1866,9
2002	96,0	76,7	356,8	135,9	192,4	241,9	146,2	233,8	253,6	372,3	205,0	329,5	2640,1
2003	176,2	265,0	128,3	114,3	107,3	152,6	100,6	57,5	64,0	237,1	168,2	391,5	1962,6
2004	97,5	123,0	26,7	142,3	222,4	133,5	88,8	53,0	234,3	193,2	121,9	67,3	1503,9
2005	104,5	26,1	88,3	291,9	317,0	273,1	83,7	135,4	152,7	384,8	138,8	81,6	2077,9
2006	132,2	111,1	164,6	55,0	36,8	167,5	147,9	132,2	112,8	94,9	311,9	106,3	1573,2
2007	260,7	126,8	198,7	254,5	295,3	68,2	325,7	128,7	268,6	293,9	186,5	218,4	2626,0
2008	82,8	150,2	130	297,3	102,3	232,2	59,8	163,1	97,5	351,7	237,4	72,6	1743,9
2009	94,5	155,4	76,4	4,8	185	75,2	222,3	268,8	489,7	351,7	237,4	72,6	2233,8
2010	126,5	103,6	68	216,4	130,9	141,7	187,1	49,2	240	143,7	60	194,4	1661,5
2011	150,4	219,4	219,6	108,8	137,1	226,7	340	254,4	47,3	194,7	77,1	91,2	2066,7
2012	105,2	86	114,5	58,2	15,7								
Méd.	171,29	140,58	130,82	148,35	150,70	156,92	163,25	122,67	203,06	239,98	165,52	165,52	1964,06

Fonte: Estação meteorológica da Embrapa-trigo (2012).

Em relação aos parâmetros qualitativos das águas pluviais, foram considerados os dados do sistema instalado no Centro de Convivência da UPF, no período de 2011/2012, e que estão apresentados na Tabela C.2.

Tabela C.2 – Parâmetros qualitativos de sistema de águas pluviais na UPF.

Parâmetro	Concentração média - águas pluviais	Desvio padrão	NBR15527 – Aproveitamento águas pluviais	Manual de Reúso Classe 1*	Conama 357/05 – Classe 1
pH	7,08	0,63	6,0 a 8,0	6,0 e 9,0	6,0 a 9,0
Turbidez (UNT)	1,11	1,44	< 2** < 5	≤ 2	40
Cloro residual livre (mg/L)	1,75	0,15	0,5 – 3,0		0,01
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	100		Ausência	ND	200
Cor aparente (uH)	<11	0,35	< 15		***
Ferro (mg/L)	0,001	0,003			
Sódio (mg/L)	ND				
Chumbo (mg/L)	ND				
Alumínio (mg/L)	ND				
Fluoretos (mg/L)	ND				
DBO <sub>5</sub> (mg/L)	0,68	0,11		≤ 10	3
Nitrogênio (mg/L)	0,48	0,19		≤ 20	
Nitrato (mg/L)	0,39	0,31		≤ 10	
Nitrito (mg/L)	ND			≤ 1	
Sólidos Dissolvidos Totais (mg/L)	46,56	21,33			500
Sólidos Totais (mg/L)	51,38	17,02			
Sólidos Suspensos Voláteis (mg/L)	1,82	1,01		≤ 5	
Óleos e Graxas (mg/L)	ND			≤ 1	

Onde: \* Manual de conservação e reúso de água em edificações (FIESP/ANA/SINDUSCON-SP, 2005); \*\* para usos menos restritivos; \*\*\* cor verdadeira: nível de cor natural do corpo de água em mg Pt/L; ND – Não detectado.

No Manual de conservação e reúso de águas em edificações (FIESP/ANA/SINDUSCON-SP, 2005), na Classe 1 os usos preponderantes para as águas tratadas desta classe, nos edifícios, são basicamente os seguintes: descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.); lavagem de roupas e de veículos.

Na Tabela C.2 foi utilizada a Classe 1 da Resolução CONAMA 357/05, para fins de comparação, em função dos usos previstos para a utilização da água pluvial do sistema, os quais: uso na limpeza de pisos de salas de aulas, laboratórios e corredores (contato direto com a água) e na bacia sanitária.

Para calcular os valores das concentrações relativas à saída do esgoto tratado na ETE no cenário futuro de Aproveitamento de Águas Pluviais, foi considerado o acréscimo de

cargas no esgoto bruto afluente à ETE do cenário futuro em relação às cargas no esgoto bruto afluente à ETE do cenário atual. Isso resultou em um fator de alteração (FA) que foi considerado nas concentrações médias do esgoto tratado na saída da ETE do cenário futuro, que pode ser observado na Tabela C.3.

Tabela C.3 – Parâmetros das concentrações do esgoto na saída da ETE da UPF - Cenário futuro Aproveitamento de águas pluviais.

Parâmetro	Concentrações na Saída da ETE – Cenário atual	Fator de alteração - FA	Concentrações na Saída da ETE – Consideradas para Cenário Aproveitamento Águas pluviais
pH	7,54±0,38	-	
Turbidez (UNT)	3,38±2,6	-	
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	71,5±34	1,00041	71,53
DQO (mg/l)	98,3±32	1,00041	98,34
S.Sedimentáveis (mg/l)	0,48±0,2	-	-
ST (mg/l)	74,98±43	1,0092	75,67
SSV (mg/l)	19,13±8,3	1,002	19,17
SDT (mg/L)	37,7±2,71	1,011	38,11
Temperatura do efluente (°C)	22±4,9	-	-
Nitrogênio (mg/l)	28,7±20,1	1,003	28,79
Fósforo (mg/l)	8,38±4,6	1	8,38
Nitrato (mg/l)	6,3±2,6	1,24272	7,83
Nitrito (mg/l)	0,77±0,32	1	0,77
Amônia (mg/L)	9,97±0,41	1	9,97
Cloretos (mg/L)	6,4±1,05	1	6,4
Óleos e graxas (mg/l)	3,25±1,5	1	3,25
Cloro residual livre (mg/l)	0,78±0,6	1,52	1,19
Sódio (mg/L)	ND	1	-
Surfactantes (mg/l)	2,6±1,1	1	2,6
Ferro (mg/L)	ND	-	-
Chumbo (mg/L)	ND	-	-
Alumínio (mg/L)	ND	-	-
Coli. termotolerantes (NMP/100ml)	1,02E+3	1,008	1,03E+3

Onde: ND – Não detectáveis. ST – Sólidos Totais; SSV – Sólidos Suspensos Voláteis; e SDT – Sólidos Dissolvidos Totais.

## APÊNDICE D

### Dados utilizados no Cenário Reúso de Águas

A Tabela D.1 apresenta os valores dos parâmetros qualitativos do efluente na saída da ETE da UPF.

Tabela D.1 – Parâmetros qualitativos da ETE da UPF e padrões de reúso.

Parâmetro	Saída da ETE	NBR 13969 (ABNT) Reúso Classe 3	Manual de Reúso Classe 1*	U.S.EPA**
pH	7,54±0,38		Entre 6,0 e 9,0	Entre 6,0 e 9,0
Turbidez (UNT)	3,38±2,6	10	≤ 2	≤ 2
DBO <sub>5</sub> (mg/l)	71,5±34		≤ 10	≤ 10
DQO (mg/l)	98,3±32			
S.Sedimentáveis (mg/l)	0,48±0,2			
ST (mg/l)	74,98±43		≤ 5	
SSV (mg/l)	19,13±8,3			
SDT (mg/L)	37,7±2,71			
Temperatura do efluente (°C)	22±4,9			
Nitrogênio (mg/l)	28,7±20,1		≤ 20	
Fósforo (mg/l)	8,38±4,6		≤ 0,1	
Nitrato (mg/l)	6,3±2,6		≤ 10	
Nitrito (mg/l)	0,77±0,32		≤ 1	
Amônia (mg/L)	9,97±0,41			
Cloretos (mg/L)	6,4±1,05			
Óleos e graxas (mg/l)	3,25±1,5		≤ 1	
Cloro residual livre (mg/l)	0,78±0,6			≤ 1
Sódio (mg/L)	ND			
Surfactantes (mg/l)	2,6±1,1			
Ferro (mg/L)	ND			
Chumbo (mg/L)	ND			
Alumínio (mg/L)	ND			
Coli. termotolerantes (NMP/100ml)	1,02E+3	500	ND	ND

Onde: \* Manual de conservação e reúso de água em edificações (FIESP/ANA/SINDUSCON-SP, 2005); \*\* Valores para reúso urbano do Guidelines for water reuse (USEPA, 2004). ND – Não detectáveis. ST – Sólidos Totais; SSV – Sólidos Suspensos Voláteis; e SDT – Sólidos Dissolvidos Totais.

Para o cenário de reúso da pesquisa, com o fim proposto (descarga das bacias sanitárias), foi verificada a necessidade de adequações no tratamento da ETE existente, com pós-tratamento, para poder utilizar o efluente tratado como reúso nas bacias sanitárias. Em função disso, para estimar os índices qualitativos deste cenário, foram considerados os limites máximos permitidos para reúso em bacias sanitárias, conforme Classe 1 do Manual de reúso da Tabela D.1.

As possibilidades e classificação de águas de reúso conforme NBR 13969 (ABNT, 1997) são: *Classe 1* - Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes; *Classe 2* - Lavagens de pisos calçadas e irrigação de jardins, manutenção dos lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes; e *Classe 3* - Reúso nas descargas das bacias sanitárias.

No *Guidelines for water reuse* (USEPA, 2004) para Reúso Urbano são considerados todos os tipos de irrigação de jardins ou paisagens (campos de golfe, parques, cemitérios), também lavagem de veículos, descarga sanitária, uso em sistemas de combate de incêndio e ar condicionados comerciais e outros tipos de usos com acesso e exposição similar a água.

No Manual de conservação e reúso de águas em edificações (FIESP/ANA/SINDUSCON-SP, 2005) na Classe 1 os usos preponderantes para as águas tratadas desta classe, nos edifícios, são basicamente os seguintes: descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais (chafarizes, espelhos de água etc.); lavagem de roupas e de veículos. Apesar desta aplicação incorporar diversas atividades, todas convergem para a mesma condição de restrição que é a exposição do público, usuários e operários que operam, manuseiam ou tenham algum contato com os sistemas de distribuição de água reciclada. O controle pelo número de coliformes é prioritário para os usos da Classe 1, e o controle da carga orgânica biodegradável (DBO) evita a proliferação de microrganismos e cheiro desagradável, em função do processo de decomposição, que podem ocorrer em linhas e reservatórios de decomposição. O controle de formas de nitrogênio e fósforo visa evitar a proliferação de algas e filmes biológicos, que podem formar depósitos em tubulações, peças sanitárias, reservatórios, tanques etc. (FIESP/ANA/SINDUSCON-SP, 2005).

## APÊNDICE E

### Fluxograma da análise no Simapro - Cenário Atual

A Figura E.1 apresenta o fluxograma dos impactos gerado no Simapro, para o cenário atual. Os fluxos (linhas vermelhas) mais largos são os de maiores impactos. Pode-se observar na Figura E.1 que o fluxo do processo: Uso da água gera mais impactos que o fluxo Captação.

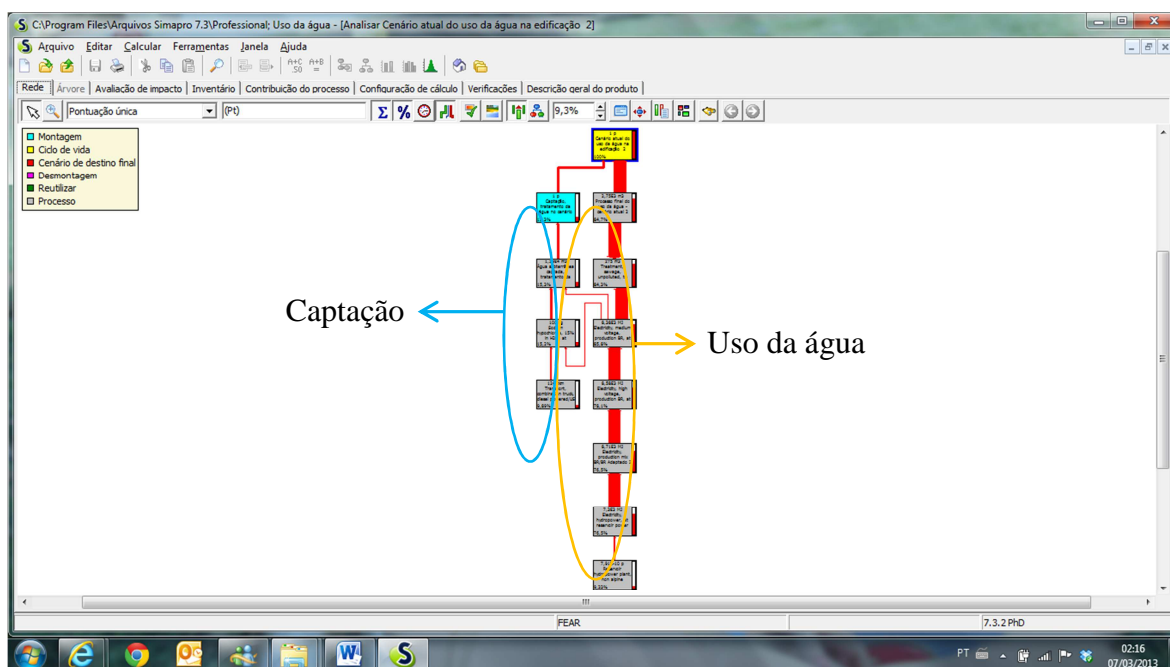


Figura E.1 – Fluxograma dos impactos no cenário atual.



## APÊNDICE F

### - Análise de incerteza e qualidade dos dados.

FINNVENDEN et. al. (2009) sugerem as seguintes formas de controle da incerteza e aprimoramento dos resultados no ACV:

- Científico – onde, por exemplo, deve-se procurar melhorar modelos;
- Social – busca-se aprimorar o consenso com partes envolvidas;
- Estatístico – onde se realiza a variação de parâmetros, análise de cenários, estatística clássica, fuzzy, Monte-Carlo, e outros.

As diferenças entre os valores reais de um inventário local e os valores utilizados na modelagem através de dados secundários são representadas por incertezas. Segundo FRISCHKNECHT et al. (2007) há diferentes tipos de incerteza em um ICV: variabilidade e erros estocásticos dos números das entradas e saídas dos processos; adequação dos fluxos de entradas e saída; incerteza do modelo; negligência de fluxos importantes. Há um método utilizado na ACV para estimar a incerteza associada ao se usar dados não representativos, denominado “Abordagem da matriz Pedigree”. Esse método está disponível no SimaPro, e em outros bancos de dados e softwares.

Na abordagem da matriz Pedigree a incerteza do dado do fluxo em cada processo é calculada a partir de avaliação qualitativa do dado a partir de indicadores como grau de confiança (*reliability*), completeza (*completeness*), correlação temporal, correlação geográfica, tamanho da amostra, e outras correlações tecnológicas. No SimaPro a simulação de Monte-Carlo é usada para calcular probabilisticamente as incertezas cumulativamente para um intervalo de confiança especificado.

Tabela F1- Análise de Incertezas e qualidade dos dados.

Score	1	2	3	4	5
<b>Confiabilidade</b>	1 Dados verificados baseados em medições	1,05 Dados verificados parcialmente baseados em premissas ou não verificados baseados em medições.	1,1 Dados nao verificados baseados parcialmente em estimativas qualificadas.	1,2 Estimativas qualificadas (especialista), dados derivados de informação teórica (estequiometria, entalpia, etc..)	1,5 Estimativa não qualificada.
<b>Completeza</b>	1 Dados representativos de todos os sites relevantes para o mercado considerado em um período adequado para equilibrar flutuações.	1,02 Representatividade maior que 50%, de sites relevantes para o mercado em estudo considerado em um período de tempo adequado.	1,05 Dados representativos de somente alguns sites (<50%), relevantes ao mercado considerado, ou >50% de sites com períodos curtos.	1,1 Dados representativos de somente um site relevante, ou de alguns sites mas sobre períodos curtos de tempo.	1,2 Representatividade desconhecida ou dados de uma pequena quantidade de sites mas sobre períodos curtos de tempo.
<b>Cobertura Temporal</b>	1 Menos de três anos em relação ao ano de referência	1,03 Menos de seis anos em relação ao ano de referência	1,1 Menos de dez anos em relação ao ano de referência	1,2 Menos de quinze anos em relação ao ano de referência	1,5 Idade dos dados desconhecida ou maior do que quinze anos
<b>Cobertura Geográfica</b>	1 Dados da área em estudo	1,01 Dados médios de grande área na qual a área em estudo está incluída.	1,02 Dados de pequena área ou de áreas similares.		1,1 Dados de áreas desconhecidas ou de áreas claramente diferentes
<b>Cobertura Tecnológica</b>	1 Dados próprios de empresas, processos e materiais em estudo.		1,2 Dados de processos e materiais correlatos mas com a mesma tecnologia, ou dados dos processos e materiais em estudo mas com tecnologia diferente.	1,5 Dados de processos e materiais correlatos, mas com diferentes tecnologias, ou dados de processos em escala de laboratório e mesma tecnologia.	2 Dados de processos e materiais correlatos mas em escala de laboratório com tecnologias diferentes.
<b>Tamanho Amostra</b>	1 Maior que 100, medições contínuas, balanço dos produtos comprados.	1,02 Maior que 20	1,05 Maior que 10, números agregados em elatório ambiental	1,1 Maior ou igual a 3	1,2 Desconhecido

Fonte: Goedkoop et al.(2010).