



**Universidade Federal de Santa Catarina  
Centro Tecnológico  
Departamento de Engenharia Civil  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil**

**Dissertação de Mestrado**

**Método para avaliação de viabilidade ambiental e econômica de  
sistemas de aproveitamento de água pluvial**

**Ana Kelly Marinoski**

Florianópolis  
Novembro de 2010.



**ANA KELLY MARINOSKI**

**MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE AMBIENTAL  
E ECONÔMICA DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE  
ÁGUA PLUVIAL**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito parcial para obtenção do Título de MESTRE em Engenharia Civil.

**Área de concentração: Construção Civil**

**Orientador: Prof. Enedir Ghisi, PhD.**

Florianópolis, 05 de novembro de 2011.

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

M337m Marinowski, Ana Kelly

Método para avaliação de viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial [dissertação] / Ana Kelly Marinowski ; Orientador, EneDir Ghisi. – Florianópolis, SC, 2010.

159 p.: il., grafs., tabs.

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

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Água - Reutilização. 3. Edificações – Projetos. 4. Desenvolvimento sustentável. I. Ghisi, EneDir. II. Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDU 624

# **MÉTODO PARA AVALIAÇÃO DE VIABILIDADE AMBIENTAL E ECONÔMICA DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL**

ANA KELLY MARINOSKI

Dissertação julgada adequada para a obtenção do título de  
Mestre em Engenharia Civil  
pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil  
da Universidade Federal de Santa Catarina.

---

Prof<sup>ª</sup>. Janaíde Cavalcante Rocha, Dr.- Ing.  
Coordenadora do PPGEC

---

Prof. Eneir Ghisi, PhD.  
Orientador

Banca examinadora:

---

Prof. Dr. Luis Alberto Gómez  
ECV/UFSC

---

Prof. Dr. Sebastião Roberto Soares  
ENS/UFSC

---

Prof. Dr. Simar Vieira de Amorim  
UFSCar

Florianópolis, novembro de 2010.



## AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar a Deus, pela vida, saúde e por todas as coisas.

À minha família pela constante presença, apoio e incentivo.

Ao meu orientador, Professor Enedir Ghisi, pela orientação e atenção neste período de estudo.

Aos membros da banca examinadora, por aceitarem o convite.

Aos professores, colegas do curso de pós-graduação em Engenharia Civil e aos colegas e amigos do LabEEE, por estarem sempre à disposição.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo auxílio financeiro.

À Companhia de Habitação do Estado de Santa Catarina (COHAB), ao engenheiro Vlademir Senger e ao engenheiro Eloir Gurgel por fornecerem os projetos das residências analisadas.

Enfim, agradeço a todos aqueles que forneceram informações necessárias, e que de alguma forma, direta ou indiretamente, contribuíram com o desenvolvimento deste trabalho.



## RESUMO

O aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em edificações tem se mostrado uma alternativa que proporciona redução da demanda de água potável minimizando problemas relacionados à disponibilidade dos recursos hídricos. Entretanto, a instalação de um sistema de aproveitamento de água pluvial em uma edificação implica em maior quantidade de materiais e equipamentos, e, conseqüentemente, maior consumo de matérias-primas e energia embutida nas etapas do ciclo de vida dos seus componentes. O objetivo principal deste trabalho é desenvolver um método para avaliar a viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial, por meio de conceitos da Análise de Ciclo de Vida (ACV). Neste método propõe-se a realização de avaliação ambiental e econômica em edificações, verificando dois cenários através de indicadores de viabilidade: um cenário em que existe somente sistema hidráulico predial que utiliza água potável da rede pública, e outro cenário em que a edificação possui sistema hidráulico predial complementado por aproveitamento de água pluvial. Os indicadores de viabilidade são índices quantitativos que possibilitam realizar análises comparativas para verificar qual sistema é mais viável ambiental e economicamente. Na fase de avaliação ambiental são avaliadas as matérias-primas, energia embutida, emissões e os resíduos gerados pelos principais equipamentos e componentes dos sistemas. Na fase de avaliação econômica, são verificados os custos de materiais, equipamentos, mão-de-obra, custos operacionais, custos de utilização da água potável, benefício monetário e período de retorno do investimento. Para comprovar a aplicabilidade do método proposto, foram realizados estudos de caso para três projetos de edificações residenciais (baixo, médio e alto padrão) localizadas em Florianópolis/SC. Em cada estudo de caso foram analisadas três opções de sistemas, sendo que cada opção apresentou o reservatório inferior de armazenamento de água pluvial composto por um material diferente: plástico reforçado com fibra de vidro, polietileno de alta densidade e concreto armado. O volume ideal para os reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial e o potencial de economia de água potável foi verificado por meio de simulações realizadas com auxílio do programa Netuno. Os resultados do trabalho apontam que dentre as opções de sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial analisadas, os sistemas mais viáveis em aspecto ambiental são os que possuem reservatório inferior de armazenamento de água pluvial em plástico reforçado com fibra de vidro. Enquanto que os sistemas com reservatório inferior de armazenamento de água pluvial em concreto armado são os mais viáveis economicamente. A principal conclusão do trabalho é que o método proposto é adequado para avaliar a viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações.

**Palavras-chave:** sistemas de aproveitamento de água pluvial, análise de ciclo de vida, viabilidade ambiental e econômica, edificações residenciais.



## ABSTRACT

The use of rainwater for non-potable uses in buildings has become an alternative that provides a reduction in potable water demand and minimizes problems related to availability of water resources. However, the installation of a rainwater harvesting system in a building requires greater amount of materials and equipment. Thus, there is a higher consumption of raw materials and embodied energy in the life cycle of the system components. The main objective of this work is to assess the environmental impact and investment feasibility analysis of rainwater harvesting systems by using the concepts of Life Cycle Analysis (LCA). In this method it is proposed to carry out environmental and investment feasibility for two scenarios, i.e., a scenario in which there is only a potable water system supplied by the water utility, and another scenario in which the potable water system is complemented by use of rainwater. For the environmental assessment, raw materials, embodied energy, emissions and waste generated by the major components of the systems were evaluated. As for the investment feasibility analysis, costs of materials, wages, operating costs, monetary benefit and corrected payback period were assessed. In order to assess the applicability of the proposed method, three case studies related to residential buildings design (low, medium and high standard) located in Florianópolis were conducted. Three types of rainwater storage tanks of were analyzed: plastic reinforced with glass fiber, high density polyethylene and reinforced concrete. The optimum rainwater tank capacity and the potential for potable water savings were verified by simulations performed using Neptune computer program. Results indicate that plastic tanks reinforced with glass fiber are more feasible in the environmental aspect, while concrete tanks are economically more feasible. The main conclusion is that the proposed method is suitable for assessing the environmental and investment feasibility of systems with rainwater utilization.

**Keywords:** rainwater harvesting, life cycle analysis, environmental and investment feasibility, houses.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Concepções de sistemas de aproveitamento de água pluvial. ....	23
Figura 2 - Fluxograma com as entradas e saídas do ciclo de vida de sistemas de aproveitamento de água pluvial.....	28
Figura 3 - Diagrama do ciclo de vida dos polímeros.....	30
Figura 4 - Diagrama do ciclo de vida de produtos de PVC.....	31
Figura 5 - Diagrama do ciclo de vida do PRFV. ....	33
Figura 6 - Diagrama do ciclo de vida do polímero PEAD. ....	34
Figura 7 - Fases e aplicações de uma ACV.....	51
Figura 8 - Fluxograma do método para análise de viabilidade de sistemas de aproveitamento de água pluvial.....	58
Figura 9 - Fluxograma com as entradas e saídas do ciclo de vida dos sistemas analisados nos estudos de casos. ....	80
Figura 10 - Reservatórios inferiores pré-fabricados que são enterrados diretamente no solo. ....	86
Figura 11 - Precipitação média mensal entre os anos 2000 a 2006 para Florianópolis. ....	103
Figura 12 - Potencial de economia de água potável por volume de reservatório inferior para residência de baixo padrão.....	106
Figura 13 - Potencial de economia de água potável por volume de reservatório inferior para residência de médio padrão.....	106
Figura 14 - Potencial de economia de água potável por volume de reservatório inferior para residência de alto padrão.....	107
Figura 15 - Emissões e resíduos do sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública (Sistema A) de cada residência. ....	113
Figura 16 - Resíduos e emissões dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial da residência de baixo padrão.....	115
Figura 17 - Resíduos e emissões dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial da residência de médio padrão. ....	116



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Usos finais de água potável para consumo doméstico em diferentes países.....	10
Tabela 2 - Usos finais de água potável para consumo doméstico no Brasil.....	11
Tabela 3 - Uso final de água potável para consumo doméstico em Porto Alegre.....	12
Tabela 4 - Usos finais de água potável para consumo doméstico em residência de baixo padrão em Florianópolis.....	12
Tabela 5 - Usos finais de água potável para consumo doméstico em Florianópolis.....	13
Tabela 6 - Caracterização dos usos finais de água potável em duas residências em Palhoça.....	14
Tabela 7 - Perfil ambiental de alguns materiais de construção.....	37
Tabela 8 - Consumo de energia para a fabricação de alguns materiais.....	37
Tabela 9 - Energia embutida nos principais equipamentos e componentes pertencentes a sistemas de aproveitamento de água pluvial e em alguns materiais de construção.....	39
Tabela 10 - Principais emissões e resíduos verificados na produção dos materiais presentes nos sistemas de aproveitamento de água pluvial.....	41
Tabela 11 - Principais resíduos e emissões gerados nos processos de produção de materiais componentes de sistemas de aproveitamento da água pluvial.....	42
Tabela 12 - Usos não potáveis adotados para as residências analisadas.....	82
Tabela 13 - Materiais constituintes dos sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública.....	83
Tabela 14 - Especificação dos materiais utilizados nos sistemas hidráulicos prediais que utilizam água potável da rede pública complementados por aproveitamento de água pluvial.....	87
Tabela 15 - Demanda diária de água pluvial para cada residência.....	89
Tabela 16 - Volume de reservatório superior de água pluvial adotado para cada residência.....	90
Tabela 17 - Dados de entrada utilizados no Programa Netuno.....	91
Tabela 18 - Subgrupo e valor da tarifa de energia de cada residência.....	99
Tabela 19 - Valores das tarifas de água praticadas.....	100
Tabela 20 - Consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água de Florianópolis.....	101
Tabela 21 - Resultados do dimensionamento - residência de baixo padrão.....	104
Tabela 22 - Resultados do dimensionamento - residência de médio padrão.....	104

Tabela 23 - Resultados do dimensionamento - residência de alto padrão.....	105
Tabela 24 - Unidade funcional dos sistemas.....	108
Tabela 25 - Tempo diário de funcionamento das motobombas.....	109
Tabela 26 - Principais matérias-primas constituintes dos materiais que compõe os equipamentos existentes nas opções de sistemas de aproveitamento de água pluvial.....	111
Tabela 27 - Estimativa de energia embutida nos sistemas hidráulicos prediais.....	112
Tabela 28 - Custos totais dos sistemas hidráulicos prediais.....	118
Tabela 29 - Investimento inicial para instalação de equipamentos e componentes necessários para realizar o aproveitamento de água pluvial.....	119
Tabela 30 - Custos de operação dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial.....	120
Tabela 31 - Benefícios dos sistemas de aproveitamento de água pluvial considerando a cobrança de esgoto.....	121
Tabela 32 - Benefícios dos sistemas de aproveitamento de água pluvial desconsiderando a cobrança de esgoto.....	121
Tabela 33 - Períodos de retorno dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial (considerando a cobrança de esgoto.....)	122
Tabela 34 - Períodos de retorno dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial.....	123
Tabela 35 - Indicadores de viabilidade para residência de baixo padrão.....	126
Tabela 36 - Indicadores de viabilidade para residência de médio padrão.....	127
Tabela 37 - Indicadores de viabilidade para residência de alto padrão.....	128

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

### Materiais

MVC	Cloreto de vinila
PC	Policarbonato
PE	Polietileno
PEAD	Polietileno de alta densidade
PEBD	Polietileno de baixa densidade
PET	Polietileno tereftalato
PP	Polipropileno
PS	Poliestireno
PVC	Policloreto de vinila

### Compostos e elementos químicos

$\text{Al}_2\text{O}_3$	Óxido de alumínio ou alumina
$\text{CaO}$	Óxido de cálcio
CFC	Clorofluorcarbono
$\text{CH}_4$	Metano
$\text{C}_x\text{H}_y$	Hidrocarbonetos
CO	Monóxido de carbono
$\text{CO}_2$	Dióxido de carbono
$\text{H}_2\text{S}$	Sulfeto de hidrogênio
$\text{K}_2\text{O}$	Óxido de potássio
$\text{NO}_x$	Óxidos de nitrogênio
Mn	Manganês
MgO	Óxido de magnésio
$\text{Na}_2\text{O}$	Óxido de sódio
$\text{N}_2$	Nitrogênio
$\text{N}_2\text{O}$	Óxido nitroso
$\text{NO}_2$	Óxido nítrico
P	Fósforo
S	Enxofre
$\text{SiO}_2$	Sílica
$\text{SO}_2$	Dióxido de enxofre
$\text{SO}_x$	Óxidos de enxofre

**Siglas**

NMVOC	Compostos orgânicos voláteis exceto metano
VOCs	Compostos orgânicos voláteis
DBO	Demanda bioquímica de oxigênio
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SST	Sólidos solúveis totais
MP	Material particulado

**Unidades**

cm	Centímetro
GJ/ano	Giga joule por ano
GJ/m <sup>2</sup>	Giga joule por metro quadrado
hab	Habitante
km	Quilômetro
kW	Quilowatt
kWh/kg	Quilowatt-hora por quilograma
kWh/m <sup>3</sup>	Quilowatt-hora por metro cúbico
kWh/mês	Quilowatt-hora por mês
kg	Quilograma
l	Litro
m	Metro
m <sup>2</sup>	metro quadrado
MJ/kg	Mega joule por quilograma
MJ/m <sup>3</sup>	Mega joule por metro cúbico
mm	Milímetro
t	Tonelada

## SUMÁRIO

<b>AGRADECIMENTOS.....</b>	<b>VII</b>
<b>RESUMO .....</b>	<b>VIII</b>
<b>ABSTRACT .....</b>	<b>XI</b>
<b>LISTA DE FIGURAS .....</b>	<b>XIII</b>
<b>LISTA DE TABELAS.....</b>	<b>XV</b>
<b>LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS.....</b>	<b>XVII</b>
<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>1</b>
1.1 IMPORTÂNCIA E JUSTIFICATIVAS .....	3
1.2 OBJETIVOS .....	4
1.2.1 Objetivo geral .....	4
1.2.2 Objetivos específicos.....	4
1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	5
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA.....</b>	<b>7</b>
2.1 SUSTENTABILIDADE E DESENVOLVIMENTO SUSTENTÁVEL .....	7
2.2 CONSUMO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS .....	9
2.3 SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL .....	15
2.3.1 Questão ambiental.....	16
2.3.2 Perspectivas econômicas .....	18
2.3.3 Tipologias.....	20
2.3.4 Componentes e equipamentos.....	24
2.3.5 Reservatórios de armazenamento de água pluvial.....	25
2.4 CICLO DE VIDA DE SISTEMAS DE APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL .....	27
2.4.1 Polímeros.....	29
2.4.1.1 Policloreto de Vinila – PVC.....	30
2.4.1.2 Plástico Reforçado com Fibra de Vidro – PRFV .....	31
2.4.1.3 Polietileno de Alta Densidade - PEAD .....	34
2.4.2 Concreto armado.....	34
2.4.3 Metais.....	35
2.5 ENERGIA EMBUTIDA .....	36
2.6 RESÍDUOS E EMISSÕES .....	40
2.7 A ANÁLISE DE CICLO DE VIDA .....	42
2.7.1 Normas ambientais.....	44
2.7.2 Aplicações da ACV.....	45

2.7.3	Limitações da ACV .....	49
2.7.4	Fases da ACV .....	51
2.7.4.1	Definição de objetivos e escopo .....	51
2.7.4.2	Inventário de ciclo de vida .....	52
2.7.4.3	Avaliação do impacto do ciclo de vida .....	53
2.7.4.4	Interpretação do ciclo de vida .....	54
2.8	CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO DE LITERATURA .....	55
<b>3</b>	<b>MÉTODO PROPOSTO PARA AVALIAÇÃO .....</b>	<b>57</b>
3.1	INTRODUÇÃO .....	57
3.2	DEFINIÇÃO DE OBJETIVOS E ESCOPO .....	59
3.2.1	Definição da função e unidade funcional .....	59
3.2.2	Definição de entradas e saídas e etapas do ciclo de vida .....	60
3.3	CARACTERIZAÇÃO E LEVANTAMENTO DE DADOS .....	60
3.3.1	Dados de usos finais de água .....	60
3.3.2	Dados dos sistemas hidráulicos prediais .....	61
3.3.3	Dados ambientais .....	62
3.4	AVALIAÇÃO AMBIENTAL .....	63
3.4.1	Matérias-primas .....	63
3.4.2	Energia embutida .....	64
3.4.3	Resíduos e emissões .....	66
3.5	AVALIAÇÃO ECONÔMICA .....	67
3.6	INDICADORES DE VIABILIDADE .....	73
3.7	COMPARAÇÕES ENTRE SISTEMAS .....	76
<b>4</b>	<b>ESTUDOS DE CASO .....</b>	<b>79</b>
4.1	INTRODUÇÃO .....	79
4.2	MÉTODO .....	79
4.2.1	Definição de objetivos e escopo .....	79
4.2.2	Caracterização e levantamento de dados .....	81
4.2.2.1	Parâmetros para definição das residências .....	81
4.2.2.2	Residências escolhidas .....	81
4.2.2.3	Usos finais de água .....	82
4.2.2.4	Sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública .....	83
4.2.2.5	Sistemas hidráulicos prediais que utilizam água potável da rede pública complementados por aproveitamento de água pluvial .....	84
4.2.2.6	Dimensionamento dos reservatórios .....	87
4.2.2.7	Dimensionamento das motobombas .....	92
4.2.2.8	Dispositivos e acessórios .....	93
4.2.3	Avaliação ambiental .....	94
4.2.3.1	Limitações .....	94

4.2.3.2	Matérias-primas .....	95
4.2.3.3	Energia embutida .....	95
4.2.3.4	Resíduos e emissões .....	97
4.2.4	Avaliação econômica .....	98
4.2.5	Indicadores de viabilidade .....	101
4.2.6	Comparações entre sistemas .....	102
4.3	RESULTADOS .....	102
4.3.1	Dimensionamento dos reservatórios.....	102
4.3.2	Dimensionamento das motobombas.....	108
4.3.3	Dispositivos e acessórios .....	109
4.3.4	Avaliação ambiental.....	110
4.3.4.1	Matérias-primas .....	110
4.3.4.2	Energia embutida .....	112
4.3.4.3	Resíduos e emissões .....	113
4.3.5	Avaliação econômica .....	118
4.3.6	Indicadores de viabilidade .....	124
4.3.7	Comparações entre sistemas .....	129
<b>5</b>	<b>CONCLUSÕES .....</b>	<b>133</b>
5.1	CONCLUSÕES GERAIS .....	133
5.2	LIMITAÇÕES ENCONTRADAS .....	135
5.3	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	137
	<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>139</b>
	<b>ANEXO.....</b>	<b>153</b>
	ANEXO A .....	155
	<b>APÊNDICES.....</b>	<b>159</b>



# 1 INTRODUÇÃO

A água é um dos mais preciosos recursos, uma vez que é indispensável para a sustentação da vida. Apesar de ser considerada um recurso renovável, a água de qualidade se tornou escassa em muitos locais do planeta. As intensas e crescentes agressões ao meio ambiente, sobretudo a poluição por esgotos domésticos e industriais, vêm comprometendo cada vez mais a qualidade e quantidade dos recursos hídricos disponíveis.

Além disso, destaca-se que nos últimos anos a população cresceu mais do que em qualquer período da humanidade, devido a diversos fatores, como avanços na medicina, investimentos em educação e saneamento básico. Esta explosão demográfica tem ocasionado um drástico aumento no consumo de água.

Outro fator preocupante é a questão da má distribuição populacional em função das reservas hídricas existentes. Segundo Ghisi (2006), em geral, os locais mais populosos são justamente os que possuem pouca água; por outro lado, onde há muita água ocorre baixo índice populacional. Pode-se citar como exemplos a região sudeste do Brasil, que dispõe de um potencial hídrico de apenas 6% do total nacional, porém conta com 43% do total de habitantes do país, enquanto a região norte, que compreende a Bacia Amazônica, apresenta 69% de água disponível, contando com apenas 8% da população brasileira.

Devido a todos estes fatores, os recursos hídricos estão se tornando insuficientes para o suprimento da demanda de água em algumas regiões do mundo, onde os mananciais acessíveis e limpos estão cada vez mais escassos, sobrecarregando os sistemas de distribuição de água.

A construção de edificações é uma das atividades com maior consumo de materiais no mundo, consumindo 1/6 do fornecimento mundial de água pura, 1/4 da colheita de madeira e 2/5 dos combustíveis fósseis e materiais manufaturados. Outra grande parte desses recursos é consumida na manutenção do edifício ao longo da sua vida útil (WINES, 2000).

Diante desse cenário, atualmente em algumas novas edificações são adotadas estratégias sustentáveis, das quais se destacam os sistemas de economia de água e de energia elétrica, utilização da água pluvial e fontes alternativas de energia. Porém, o processo geral da produção de uma edificação continua envolvendo prejuízos acumulados ao meio ambiente.

---

Ao considerarem-se todas as cadeias produtivas associadas à construção civil, que incluem desde a extração de diversas matérias-primas, passando pela fabricação de materiais e componentes construtivos até a edificação construída, fica evidente que ao longo de todo esse complexo processo, áreas foram degradadas, muita energia foi gasta em produção e transporte, muitos resíduos danosos foram lançados no meio ambiente.

Neste contexto, o uso racional dos recursos naturais, principalmente água e energia, vem se impondo como uma ação fundamental para desenvolvimento sustentável da sociedade atualmente.

O uso de fontes alternativas de suprimento para o abastecimento dos pontos de consumo de água com finalidades não potáveis é uma importante prática na busca da sustentabilidade das habitações. Dentre essas alternativas, destacam-se os sistemas de aproveitamento de água pluvial, onde a água da chuva coletada nos telhados e demais áreas de captação pode ser utilizada em descarga de bacias sanitárias, torneiras de jardins, lavagem de roupas, lavagem de calçadas e automóveis. Para estes usos não potáveis, estimados em uma faixa de aproximadamente 30% a 50% do consumo residencial total (MANO; SCHMITT, 2004, PETERS, 2006, GHISI; FERREIRA, 2007, GHISI; OLIVEIRA, 2007) a captação direta de água da chuva pode ser uma alternativa viável para muitos locais e situações.

Diferentes benefícios são possíveis de serem alcançados com relação à captação de água pluvial para diferentes partes do mundo. Isto ocorre por razões diversas, que podem incluir desde a existência ou não de outra fonte do recurso, até a expressividade da tarifa, ou a qualidade da água fornecida pela concessionária (MANO; SCHMITT, 2004).

De acordo com Dias et al. (2007), o aproveitamento de água pluvial em locais que dispõem de serviços públicos, mas que passam por crises de distribuição, desempenha importante papel na complementação da oferta de água. No caso de locais com serviços públicos que estão funcionando bem e atendendo plenamente à demanda, tal alternativa ainda poderia ser considerada sob o ponto de vista econômico e ambiental em comparação com a água fornecida pela concessionária local.

Assim, através de sistemas de coleta e aproveitamento da água pluvial em edificações, tanto residenciais quanto comerciais e industriais, é possível reduzir o consumo de água potável, o que pode representar economia de recursos financeiros. Além disso, se utilizados em larga escala, colaboram com a diminuição de alagamentos e racionamentos de água, reduzindo a escassez dos recursos hídricos.

---

---

## 1.1 *Importância e justificativas*

Devido à crescente preocupação em relação às questões ambientais, a conservação dos recursos naturais vem se tornando um tema cada vez mais discutido. A sociedade, de forma geral, exerce uma grande pressão de demanda por informações sobre aspectos ambientais no processo produtivo, uso e disposição final dos produtos.

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

Percebe-se a importância de se dispor de dados precisos sobre materiais e componentes quanto aos seus aspectos ambientais e à sustentabilidade, o que deve estimular a realização de pesquisas que possam fornecer informações em âmbito nacional.

Por meio de estudos de ACV torna-se possível realizar uma análise da cadeia produtiva e uma melhor escolha de matérias-primas e fontes energéticas, além de possibilitar uma minimização mais eficiente de emissões e resíduos gerados. Porém, ainda são poucas as indústrias e empresas que dão atenção à forma como sua produção interfere no meio ambiente e aos impactos ambientais gerados.

Atualmente, algumas pesquisas e trabalhos sobre análise de ciclo de vida em diversas áreas têm sido desenvolvidos no Brasil, analisando diferentes tipos de produtos e sistemas. Dentre estes estudos, pode-se citar o trabalho realizado por Hussein (2004) que, através da metodologia da ACV em conjunto com a abordagem multicriterial, analisou o processo de fabricação de reservatórios de plástico reforçado com fibra de vidro. Verificou-se também neste estudo os aspectos ambientais envolvidos bem como seus respectivos impactos nas diversas fases do processo de fabricação dos reservatórios.

Em outro estudo, Prado e Taborianski (2004) realizaram uma avaliação do consumo de energia no ciclo de vida de sistemas de aquecimento de água residencial. Também nesta mesma área, Arantes (2008) realizou uma avaliação comparativa do ciclo de vida de diferentes tipologias de sistemas de aquecimento solar de água utilizados em habitações de interesse social.

---

Com relação a estudos abordando sistemas de aproveitamento de água pluvial, a maioria das pesquisas existentes em âmbito nacional enfoca principalmente aspectos relacionados à viabilidade econômica para implantação do sistema, qualidade da água captada, potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de armazenamento (HERNANDES et al., 2004, MANO; SCHMITT, 2004, SIMIONI et al., 2004, MAY; PRADO, 2004, MARINOSKI et al., 2004, CAMPOS; AMORIM, 2004, DIAS, 2007, CAMPOS et al., 2007, ROCHA, 2009, HAGEMANN, 2009). Além disso, destaca-se que os estudos existentes atualmente na literatura nacional não abordam questões relacionadas à análise de ciclo de vida de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

Deste modo, este trabalho pretende contribuir com a elaboração de um método baseado na ACV, para verificar a viabilidade de sistemas de aproveitamento de água pluvial, analisando sob o ponto de vista ambiental, se é viável instalar um sistema quando são avaliadas as matérias-primas, a energia embutida, resíduos e emissões geradas nas etapas do ciclo de vida. O método também visa levantar aspectos econômicos, possibilitando a escolha de sistemas que possuam menores impactos e custos dentre os existentes no mercado.

## **1.2 *Objetivos***

### **1.2.1 Objetivo geral**

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver um método baseado na ACV para avaliar a viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial considerando matérias-primas, energia embutida, resíduos e emissões geradas nas etapas do ciclo de vida dos componentes dos sistemas.

### **1.2.2 Objetivos específicos**

Com a elaboração deste trabalho almeja-se aplicar o método proposto em três estudos de caso para projetos de edificações residenciais (de baixo, médio e alto padrão) localizadas em Florianópolis/SC.

Além disso, a partir dos estudos de caso pretende-se atingir os seguintes objetivos:

- Realizar um levantamento de matérias-primas, energia embutida, resíduos e emissões dos principais
-

---

equipamentos e componentes utilizados em sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública e em sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial;

- Dimensionar o volume ideal para os reservatórios de armazenamento de água pluvial para as três residências, por meio de simulações realizadas com auxílio do programa Netuno;
- Propor indicadores de viabilidade que relacionem aspectos ambientais e econômicos de sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública, e de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial;
- Realizar comparações entre diferentes materiais constituintes dos reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial utilizando os indicadores de viabilidade propostos no método.

### ***1.3 Estrutura do trabalho***

Esta dissertação de mestrado encontra-se dividida em cinco capítulos. No capítulo 1 está apresentada uma breve introdução ao tema, importância e justificativas da pesquisa, e os objetivos.

O capítulo 2 apresenta uma revisão de literatura dos temas abordados no trabalho. São apresentadas pesquisas referentes à sustentabilidade, desenvolvimento sustentável e ao consumo de água em edificações residenciais. São abordados nesse capítulo algumas tipologias de sistemas de aproveitamento de água pluvial, os principais componentes e equipamentos para usos residenciais em regiões urbanas, além de outras questões relacionadas. São apresentadas as normas de aproveitamento de água pluvial e também as normas ambientais utilizadas em estudos de avaliação de desempenho ambiental, definições, aplicações, limitações e fases de uma ACV.

O capítulo 3 concentra-se no desenvolvimento do método proposto no trabalho, utilizando conceitos da ACV. Descreve os critérios e parâmetros verificados para a avaliação da viabilidade ambiental e econômica dos principais componentes empregados em sistemas de aproveitamento de água pluvial.

O capítulo 4 apresenta três estudos de caso que foram realizados para comprovar a aplicabilidade do método proposto. Apresenta também

---

o método utilizado nos estudos de caso e os resultados obtidos.

Por fim, o capítulo 5 apresenta as conclusões obtidas com a realização da dissertação de mestrado. Apresenta também as limitações encontradas e algumas sugestões para trabalhos futuros.

---

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

### 2.1 *Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável*

Sustentabilidade e desenvolvimento sustentável são temas recorrentes em nossa sociedade, que cada vez mais vêm ganhando destaque no mundo todo.

O termo desenvolvimento sustentável é definido como desenvolvimento que atende às necessidades do presente sem comprometer a capacidade de atender as necessidades das futuras gerações (RIBEIRO, 2001).

Esse termo surgiu a partir da década de 60, quando as discussões sobre as questões ambientais evidenciaram a necessidade da criação de novos padrões de desenvolvimento econômico levando em conta o meio ambiente.

O desenvolvimento sustentável depende de planejamento e do reconhecimento de que os recursos naturais são finitos. Incentiva a redução do uso de matérias-primas e produtos, estimula o aumento da reutilização e da reciclagem, minimiza a utilização de recursos não renováveis.

O termo desenvolvimento sustentável assume uma expressão positiva, sendo, portanto, considerado como favorável ao que se sugere como crescimento, sendo este um bem para todas as nações, para todos os lugares. Isso implicou de certa forma, na construção da compreensão de que o desenvolvimento fosse sugerido como uma melhoria da qualidade de vida (SILVA; SHIMBO, 2006).

Atualmente, o conceito de sustentabilidade é encarado de forma ampla, de maneira a tratar o ambiente físico, social, econômico, político e cultural conjuntamente e equilibradamente.

Silva (2000) juntamente com Silva e Shimbo (2001) consideram cinco dimensões fundamentais para sinalizar a sustentabilidade, onde têm-se os seguintes aspectos:

- Aspecto ambiental: manutenção da integridade ecológica por meio da prevenção das várias formas de poluição, da prudência na utilização dos recursos naturais, da preservação da diversidade da vida e do respeito à capacidade de carga dos ecossistemas;
  - Aspecto social: viabilização de uma maior equidade de riquezas e de oportunidades, combatendo-se as práticas de exclusão,
-

discriminação e reprodução da pobreza e respeitando-se a diversidade e todas as suas formas de expressão;

- Aspecto econômico: realização do potencial econômico que contemple prioritariamente a distribuição de riqueza e renda associada a uma redução de externalidades socioambientais, buscando-se resultados macrossociais positivos;
- Aspecto político: criação de mecanismos que incrementem a participação da sociedade nas tomadas de decisões, reconhecendo e respeitando os direitos de todos, superando as práticas e políticas de exclusão e permitindo o desenvolvimento da cidadania ativa;
- Aspecto cultural: promoção da diversidade e identidade cultural em todas as suas formas de expressão e representação, especialmente daquelas que identifiquem as raízes endógenas.

De acordo com John e Csillag (2006), a sustentabilidade é um objetivo que somente pode ser atingido por ações em múltiplas dimensões. No entanto, a abordagem mais freqüente e adotada pela Agenda 21 para Construção Sustentável para Países em Desenvolvimento aborda o desenvolvimento sustentável a partir de três dimensões: desenvolvimento social, proteção ambiental e desenvolvimento econômico. Estas dimensões são chamadas pelos autores de tripé da construção sustentável.

Para Cavalcanti (1998), a sustentabilidade deve ser entendida através da inclusão do respeito pela diversidade cultural, pelas condições dos modos da produção econômica local e, também, pela organização política e social de cada comunidade.

Além disso, a sustentabilidade depende de instâncias motivadoras para sensibilizar e mobilizar a participação das pessoas. O acesso às informações é considerado necessário e indispensável para que permita à sociedade maior compreensão dos problemas e para que haja a oportunidade de participação, no compartilhamento nas decisões coletivas sobre as políticas públicas locais.

Em muitos países, campanhas e regras ambientais foram e ainda estão sendo promovidas devido à preocupação em conservar os recursos do nosso planeta a fim de garantir um futuro sustentável para as próximas gerações.

No que diz respeito à sustentabilidade nas edificações, nos países desenvolvidos o cuidado com a qualidade ambiental das novas edificações permitiu o desenvolvimento de edifícios verdes (edificações

---

---

sustentáveis), que buscam produzir energia própria e devolver ao meio ambiente a menor quantidade possível de poluentes.

Segundo Degani e Cardoso (2002), para se conhecer o desempenho ambiental dos edifícios deve-se analisar a interação entre as atividades desenvolvidas durante todo o seu ciclo de vida e o meio ambiente, identificando os possíveis impactos ambientais associados.

Atualmente existem inúmeras medidas para criar um projeto que cause menor impacto ambiental. Porém, essas medidas relacionadas à sustentabilidade devem ser analisadas e aplicadas em todas as etapas constituintes do ciclo de vida da edificação, para que a mesma possa ser considerada sustentável.

## ***2.2 Consumo de água em edificações residenciais***

O consumo de água em edificações é influenciado por fatores como o clima, padrão econômico, aspectos culturais, número de habitantes, hábitos da população, sistema de fornecimento, cobrança da água e também eficiência dos aparelhos sanitários.

A água potável é utilizada para atividades distintas nas edificações residenciais, tais como a preparação de alimentos, limpeza pessoal e ambiental, entre outros. Tais atividades podem possuir finalidades onde não há necessidade de utilizar água potável. Em geral, dependendo da região e do sistema de aproveitamento de água, admite-se a utilização de água não potável em descargas de bacia sanitária, lavação de roupas, limpeza de pisos, irrigação de jardins e lavação de carros. No entanto, em alguns casos pode haver resistência por parte dos usuários em utilizar água pluvial para lavação de roupa.

Neste contexto, mostra-se importante o conhecimento de dados relativos aos usos finais de água, que consistem na análise do consumo de água em aparelhos sanitários, relacionada ao consumo total de água do local analisado. Estes estudos tornam possível determinar os consumos específicos e atividades que utilizam maior quantidade de água, possibilitando adotar estratégias e alternativas adequadas de redução do consumo e conservação da água.

Valores referentes ao uso final de água potável para consumo doméstico em alguns países do mundo são apresentados na Tabela 1. Destaca-se o percentual referente ao consumo total de água em usos considerados com fins não potáveis (bacia sanitária, lavação de roupas, limpeza de pisos, irrigação de jardins e lavação de carros).

---

**Tabela 1 - Usos finais de água potável para consumo doméstico em diferentes países.**

Pontos de utilização	Usos finais de água (%)				
	Suíça	EUA	Colômbia	Reino Unido	Dinamarca
Bacia sanitária*	40	40	40	37	20
Bebida	5	-	-	4	5
Chuveiro	37	30	30	37	20
Cozinha	6	10	10	11	20
Jardins*	3	-	-	-	-
Lavação de carros*	1	-	-	-	10
Lavação de roupas*	4	15	-	11	15
Lavatório	-	-	5	-	10
Limpeza de piso*	3	-	-	-	-
Outros	1	5	15	-	-
<i>Total</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
<i>Total não potável (*)</i>	<i>51</i>	<i>55</i>	<i>40</i>	<i>48</i>	<i>45</i>

Fonte: adaptado de Tomaz (2003); Sabesp (2008); Tomaz (2001).

Como se pode observar, dentre os diversos usos, a bacia sanitária e o chuveiro são os usos internos que mais demandam água. Além disso, é possível verificar que uma parcela significativa está destinada a fins em que não há necessidade do uso de água potável, cujo percentual nos países analisados varia entre 45 e 55%.

No Brasil, dados de usos finais de água para consumo doméstico, pesquisadas por diferentes autores, estão apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 - Usos finais de água potável para consumo doméstico no Brasil.**

Pontos de utilização	Usos finais de água (%)				
	USP	IPT	DECA	PNCDA	Almeida et al.
Bacia sanitária*	29	5	14	5	30,8
Chuveiro	28	54	47	55	11,7
Lavatório	6	7	12		12,6
Máquina de lavar louça	5	3	-	26	-
Máquina de lavar roupa*	9	4	8	11	16,2
Tanque	6	10	5	-	-
Torneira cozinha	17	17	14	-	13
Outros	-	-	-	3	15,7
<i>Total</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>	<i>100</i>
<i>Total não potável (*)</i>	<i>44</i>	<i>19</i>	<i>27</i>	<i>16</i>	<i>47</i>

Fonte: adaptado de Peters (2006).

Em Porto Alegre – RS, uma estimativa de usos finais de água potável para uso doméstico está apresentada na Tabela 3. Verifica-se que neste estudo o consumo de água potável para fins não potáveis atinge 50% do consumo total da edificação.

**Tabela 3 - Uso final de água potável para consumo doméstico em Porto Alegre.**

<b>Pontos de utilização</b>	<b>Usos finais (%)</b>
Bacia sanitária*	32
Beber/cozinhar	2
Chuveiro	36
Jardim*	4
Lavagem de automóvel*	2
Lavagem de louça	6
Lavagem de roupa*	12
Outros	6
<i>Total</i>	<i>100</i>
<i>Total não potável (*)</i>	<i>50</i>

Fonte: adaptado de Mano; Schmitt (2004).

Na cidade de Florianópolis – SC, região sul do Brasil, Peters (2006) levantou os usos finais de água potável em uma residência de baixo padrão construtivo. O monitoramento foi realizado durante 12 meses (de janeiro a dezembro de 2005). Constatou-se neste estudo que a bacia sanitária e o tanque de lavar roupas representam 49% do consumo total de água da edificação, como mostram os valores da Tabela 4.

**Tabela 4 - Usos finais de água potável para consumo doméstico em residência de baixo padrão em Florianópolis.**

<b>Pontos de utilização</b>	<b>Usos finais (%)</b>
Bacia sanitária*	22
Chuveiro e lavatório	33
Pia da cozinha	18
Tanque*	27
<i>Total</i>	<i>100</i>
<i>Total não potável (*)</i>	<i>49</i>

Fonte: Peters (2006).

---

Também na cidade Florianópolis – SC, Ghisi e Ferreira (2007) levantaram o consumo e os usos finais de água em um condomínio residencial de três blocos. A maior parcela do consumo de água é proveniente da bacia sanitária, nos três blocos, com a média de 33,2%, conforme apresenta a Tabela 5. A água proveniente do chuveiro representa o equivalente a 22,6% em média, do total consumido nos três blocos. Também foi levantado neste estudo o consumo médio de água per capita, que em média, foi de 151,3 litros por dia.

**Tabela 5 - Usos finais de água potável para consumo doméstico em Florianópolis.**

<b>Pontos de utilização</b>	<b>Usos finais (%)</b>
Bacia sanitária*	33,2
Chuveiro	22,6
Lavação de louça	19,9
Lavadora de roupa*	4,7
Lavatório	16,0
Limpeza*	2,9
Preparo de alimentos	0,8
<i>Total</i>	100
<i>Total não potável (*)</i>	40,8
Consumo total diário por morador	151,3

Fonte: adaptado de Ghisi; Ferreira (2007).

Em outro estudo, Ghisi e Oliveira (2007) estimaram os usos finais de água em duas residências em Palhoça – SC, e os resultados estão na Tabela 6. A residência 1 apresenta três moradores, sendo dois homens e uma mulher, e a residência 2 é habitada por um casal. Diferente dos resultados dos trabalhos anteriores, a residência 1 apresentou o chuveiro como principal responsável pelo maior consumo de água, com 32,8% do uso de água. Na residência 2, o chuveiro também apresenta o maior consumo de água, com 45,6% do total de água consumida.

**Tabela 6 - Caracterização dos usos finais de água potável em duas residências em Palhoça.**

Pontos de utilização	Consumo mensal de água			
	Residência 1		Residência 2	
	Litros	(%)	Litros	(%)
Bacia sanitária*	4893,2	30,4	1742,1	25,6
Chuveiro	5284,3	32,8	3102,0	45,6
Lavatório	429,5	2,7	478,3	7,0
Lavação de roupa*	1000,0	6,2	560,0	8,2
Torneira cozinha	4515,0	28,0	921,6	13,5
<i>Total</i>	16122,0	100	6804,0	100
<i>Total não potável (*)</i>	5893,2	36,6	2302,1	33,8
Consumo total diário por morador	179,1	-	113,4	-

Fonte: adaptado de Ghisi; Oliveira (2007).

Dentre os diversos usos da água nas edificações residenciais, nota-se que nos estudos de consumo de água por usos finais apresentados na literatura nacional e internacional, a bacia sanitária e o chuveiro são os principais responsáveis pelo consumo de água. Percebe-se também que a água utilizada para os fins não potáveis varia em média entre 40% e 55% do total da demanda residencial nesses estudos, indicando que esse percentual poderia ser substituído por água pluvial.

---

As variações de consumo de água verificadas para os mesmos aparelhos sanitários ocorrem principalmente devido às diferentes condições climáticas, aspectos sociais, econômicos e culturais.

Um fator relevante no alto consumo de água em algumas regiões está relacionado ao poder aquisitivo da população. Populações com maior poder aquisitivo consomem mais água, pois possuem maior quantidade de equipamentos na residência, como por exemplo, máquinas de lavar roupas, de lavar louças, banheira, piscina e outros. Além disso, a preocupação com o uso racional de água é menor, pois o valor gasto neste item é insignificante para seu poder aquisitivo.

No Brasil, com relação ao consumo de água por habitante, atualmente a média é de 132 litros por dia, por habitante (PNUD, 2009).

A variação do consumo nos diferentes estados do Brasil, ao contrário do que se pensa, não tem correlação direta com as tarifas médias praticadas pelas concessionárias de abastecimento de água. Ou seja, os estados que mais consomem não têm, necessariamente, tarifas mais baratas do que aqueles que gastam menos água (PNUD, 2009).

Desta forma, fazem-se necessários incentivos para a utilização da água de forma eficiente. Para isso, devem ser implementadas tecnologias ligadas à redução do consumo, bem como fontes alternativas de suprimento de água para usos com fins não potáveis. Dentre outras práticas de conservação de água no setor residencial destacam-se a utilização de dispositivos economizadores, aproveitamento de água pluvial e reuso de águas.

A utilização de tecnologias para a redução do consumo doméstico de água tratada é uma maneira bastante efetiva na busca da sustentabilidade, contribuindo para a redução da captação de águas subterrâneas, do volume de esgoto gerado, do porte do tratamento dos sistemas de distribuição.

### ***2.3 Sistemas de aproveitamento de água pluvial***

Dentre os recursos naturais, a água, é hoje o mais ameaçado, tanto devido à escassez como também à qualidade.

Este fato ressalta a necessidade da conservação da água, buscando técnicas alternativas e sustentáveis que venham contribuir para seu uso eficiente. Dentre essas técnicas destaca-se o aproveitamento de água pluvial, que consiste em captar água da chuva na superfície onde essa água escoar, encaminhando-a para um tratamento quando necessário, para um armazenamento e posterior uso, em geral não potável.

---

Dentre os diversos usos da água no setor residencial, um volume expressivo é destinado a fins não potáveis. Além disso, a água de chuva pode ser utilizada também em várias atividades onde não se requer potabilidade nos setores industrial e agrícola. No setor industrial, pode ser utilizada para resfriamento evaporativo, climatização interna, lavanderia industrial, lavagem de maquinários, distribuição de caldeiras, lava jatos de veículos e limpeza industrial, entre outros. Na agricultura, vem sendo empregada principalmente na irrigação de plantações (MAY; PRADO, 2004).

No entanto, a água pluvial pode ser utilizada em fins não potáveis desde que exista controle de sua qualidade e verificação da necessidade de tratamento adequado, de forma que não comprometa a saúde de seus usuários, nem a vida útil dos sistemas envolvidos.

Alta demanda de água potável, altos custos com captação e tratamento, problemas decorrentes da alta taxa de urbanização e impermeabilização do solo fazem com que as técnicas de aproveitamento de água pluvial sejam medidas de gestão de recursos hídricos bastante difundidas em países desenvolvidos.

O Japão é um dos países que mais utiliza sistemas de aproveitamento de água pluvial e promove estudos e pesquisas nessa área. Zaizen et al. (2000) relatam a experiência da captação de águas pluviais em três estádios japoneses. Os estádios de Tokyo, Fukuoka e Nagoya, possuem áreas de captação que variam de 16.000 a 35.000m<sup>2</sup> e reservatórios para armazenamento da água captada com capacidade entre 1.000 e 1.800m<sup>3</sup>. Aproximadamente 73% da água pluvial que escoar nos telhados é captada e usada para finalidades não potáveis, como rega de jardins e descarga de bacias sanitárias, representando 59% da água consumida nestes usos.

Nos Estados Unidos, pelo menos quinze estados e territórios usam sistemas de aproveitamento de água pluvial. Alasca, Hawaí, Washington, Carolina do Norte, Pensilvânia e Texas são alguns desses que, somados, reúnem aproximadamente meio milhão de pessoas beneficiadas por algum tipo de sistema de aproveitamento em suas atividades diárias (KRISHNA, 2005).

### **2.3.1 Questão ambiental**

O aproveitamento de água pluvial é uma prática milenar, empregada no mundo todo. Essa técnica tem se difundido e se consolidado como uma forma de mitigar os diversos problemas ambientais causados pelo aumento da demanda de água, pela falta de

---

---

medidas de controle da poluição e de gestão ambiental em áreas urbanas e rurais.

Existem vários aspectos positivos no uso de sistemas de aproveitamento de água pluvial, pois estes possibilitam reduzir o consumo de água potável diminuindo os custos de água fornecida pelas companhias de distribuição; possibilitam ainda minimizar riscos de enchentes e preservar o meio ambiente reduzindo a escassez de recursos hídricos (MAY, 2004). Assim, os principais benefícios da coleta e aproveitamento de água pluvial estão listados a seguir:

- Economia de água;
- Auxílio do controle do escoamento superficial;
- Conservação da água e das reservas hídricas;
- Disponibilização da água para usos diversos em regiões com escassez de água;
- Restauração do ciclo hidrológico em áreas urbanas;
- Recarga artificial de aquíferos subterrâneos;
- Conservação da umidade em solos;
- Previsão de água de chuva para a agricultura;
- Educação ambiental.

Com o rápido progresso e urbanização decorrente do desenvolvimento econômico nas últimas décadas, os sistemas de distribuição de água precisaram suprir a demanda de água notavelmente maior, para fins domésticos e industriais. Esse aumento do consumo de água ocasionou vários problemas, entre eles o rebaixamento do nível de lençóis freáticos.

De acordo com Furumai (2008) a urbanização trouxe mudanças no ciclo hidrológico nas áreas urbanas. O aumento das áreas impermeabilizadas fez com que as áreas urbanas perdessem as funções de infiltração e armazenagem da água da chuva.

Kobiyama et al. (2007) corroboram afirmando que o crescimento urbano reduz a capacidade de armazenamento de uma bacia hidrográfica, aumentando o escoamento superficial. Sistemas descentralizados de armazenamento de água pluvial em cada edificação melhoram o controle de enchentes e diminuem o impacto hidrológico da urbanização.

Além disso, sua infiltração no solo pode trazer melhorias ambientais, garantindo suprimento de água no lençol freático e mantendo vazões adequadas nos rios em períodos de seca, contribuindo

---

para a diminuição da poluição hídrica e aumentando seu poder de autodepuração.

Um exemplo de aproveitamento de água pluvial para consumo não potável e diminuição do escoamento superficial é apresentado em um estudo realizado na Austrália por Coombes et al. (2000), relatando o caso de um conjunto experimental de 27 unidades residenciais (Figtree Place). Quatro reservatórios armazenam a água pluvial que escorre dos telhados durante as chuvas. Destes reservatórios, com capacidade entre 9 e 15m<sup>3</sup>, a água é bombeada para as residências para ser utilizada em descargas de bacias sanitárias. A água que escorre pelas ruas é direcionada para uma bacia de retenção que recarrega o aquífero local. Do aquífero, retira-se água para lavagem de ônibus e irrigação. Durante o monitoramento do sistema de água, por um período de dois anos, verificou-se ausência de enchentes e uma economia de água em torno de 60%.

Nesse contexto, a aplicação de sistemas de aproveitamento de água pluvial, principalmente em larga escala, além de contribuir para a redução da demanda de água de alta qualidade, serve como instrumento de gestão urbana, como forma de amortecer cheias e reduzir deslizamentos de terras em áreas de ocupação intensa. Além disso, pode-se conscientizar os cidadãos a respeito da importância da utilização sustentável da água.

### **2.3.2 Perspectivas econômicas**

Além dos aspectos ambientais, os aspectos econômicos são fatores que influem na maioria das decisões ao se adotar um sistema de aproveitamento de água pluvial.

De acordo com Dias (2007) os custos envolvidos na construção de um sistema de aproveitamento de água pluvial podem ser divididos em duas categorias: custos de investimento e custos de exploração. Os custos de investimentos são aqueles investidos para tornar o projeto concreto e correspondem a uma parcela de custos fixos. São divididos em custos diretos e indiretos. Os custos diretos são aqueles necessários para a formação física do projeto, isto é, para a aquisição de equipamentos, construções de instalações, adaptações, estruturas e outros.

Vários estudos apresentam os custos, a economia de água e financeira obtida por meio da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial no meio residencial, bem como o período de retorno do investimento.

---

---

Fendrich (2002) fez uma simulação de custos e retorno de investimento para a implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial em quatro empreendimentos na cidade de Curitiba/PR. Para o caso da residência unifamiliar analisada no estudo (5 moradores, 110m<sup>2</sup> de área de captação), o sistema traria uma economia média mensal de R\$ 21,58, que equivale a 42,26% do total pago em contas de água na residência. O investimento para implantação do sistema totalizou R\$ 1.502,08 (em novembro de 2001), e o tempo de retorno verificado foi de 5 anos e 9 meses.

Hernandes et al. (2004) realizaram uma análise de custo de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial em uma residência de Ribeirão Preto/SP. A residência possui ocupação de 6 habitantes, área de captação de 350 m<sup>2</sup> e demanda mensal total de água estimada em 250 litros/dia por habitante. O reservatório foi dimensionado pelo Método de Rippl, resultando em um volume de reservação de 11,25 m<sup>3</sup>, destinado a suprir demandas de descarga de vasos sanitários, rega de jardim e lavagem de carros e pisos. O custo de fornecimento de água potável para essa residência, calculado através dos preços de tarifa (março de 2003) fornecidos pelo Departamento de Água e Esgoto de Ribeirão Preto, totalizou R\$ 83,80. Construiu-se um reservatório enterrado em concreto armado, e o sistema teve um custo total de implantação de R\$ 4.518,86. A economia mensal de água proporcionada pelo aproveitamento de água pluvial verificada no estudo foi de 10m<sup>3</sup>, que corresponde a R\$ 35,85, reduzindo em cerca de 43% o valor total pago anteriormente. O período de retorno calculado para esse sistema foi de 6 anos e 9 meses com taxas de juros de 1,0% ao mês, levando-se em conta a economia com a água potável e embutindo-se o valor da tarifa de esgoto (80% do valor de água consumida), que é cobrada em função do volume de água consumido. Os autores descrevem ainda que se o sistema fosse implantado na cidade de São Paulo, onde as tarifas são mais elevadas, o período de retorno do investimento passaria para 5 anos e 9 meses.

Em um estudo experimental realizado por Mano (2004) em Porto Alegre/RS foram verificadas as variáveis envolvidas no dimensionamento de um sistema de aproveitamento de água pluvial e as suas conseqüências econômicas. A edificação alvo deste estudo foi o projeto denominado Protótipo Alvorada. O levantamento dos custos de implantação do sistema considerou materiais orçados segundo valores fornecidos por estabelecimentos comerciais e mão-de-obra segundo profissionais liberais da cidade. A partir dos orçamentos, foram verificados os custos relacionados à implantação do sistema e o tempo

---

médio de retorno do investimento para possibilidades de diferentes volumes e composição de reservatórios (fibra de vidro, polietileno, fibrocimento e concreto). A conclusão obtida para os benefícios diretos, examinados sob o viés econômico, demonstrou, principalmente, que a grande disponibilidade de água em Porto Alegre, que chega às residências por um custo bastante baixo, pode ser paradoxalmente o maior entrave à implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial. A economia média mensal com água ficou entre R\$ 6,30 e R\$ 7,27, eliminando 67,1% do consumo na bacia sanitária, ou 21,5% do consumo total da edificação. Mesmo aumentada a área de captação, a economia seria de 32%, correspondente ao total para a bacia sanitária. O tempo de retorno do investimento ainda não chegaria a patamares atraentes ao usuário urbano médio.

Dentre estes estudos, Dias et al. (2007) verificaram os custos de implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial e a avaliação da aceitação, por parte da população de João Pessoa/PB, quanto à adoção desta fonte alternativa de água. Três padrões de residência foram estudados: popular, médio e alto. As análises de custo/benefício de implantação do sistema, considerando uma vida útil de 20 anos e as tarifas cobradas pela água naquela cidade, classificaram o sistema como economicamente inviável para os padrões de residência popular e médio. No padrão de residência alto, por possuir uma maior área de cobertura, maior demanda de água não potável e tarifa mais elevada, o custo inicial do sistema se encontra entre R\$ 1.278,17 e R\$ 2.254,00, apresentando períodos de retorno entre 8,2 e 10,2 anos.

### **2.3.3 Tipologias**

Várias configurações são possíveis para a constituição de um sistema de aproveitamento de água pluvial, desde as mais simples às mais complexas.

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial podem ser construídos visando dois objetivos distintos: suprimento da demanda de água para diferentes consumos e/ou redução de alagamentos. Deste modo, os sistemas devem apresentar configurações adequadas à sua finalidade, elaboradas e executadas de forma prática para que o funcionamento seja eficiente.

No caso de sistemas destinados ao suprimento da demanda de água no setor residencial, a concepção básica consta de: área de captação (telhado, laje e piso), sistemas de condução de água (calhas, condutores verticais e horizontais), unidades de tratamento da água

---

(dispositivos de descarte, filtros, desinfecção) e reservatório de armazenamento. Podem ainda ser necessários tubulação de recalque, reservatório superior e rede de distribuição.

É essencial realizar um planejamento e estudo antes de implantar o sistema, para verificar a quantidade da água que poderá ser coletada e armazenada, a necessidade de tratamento de água pluvial de acordo com a finalidade dos usos. Devem ser primeiramente analisados alguns fatores para a escolha do sistema mais adequado a ser adotado, dentre estes se destaca: precipitação, área de captação, o custo, a disponibilidade material dos componentes para instalação, a demanda a ser abastecida e a exigência do atendimento a padrões de qualidade para o uso final. Além disso, para projetar tal sistema deve-se levar em conta as condições ambientais locais, buscando não uniformizar as soluções técnicas.

É fundamental que a concepção do projeto do sistema de coleta e aproveitamento de águas pluviais atenda aos requisitos da NBR 10844 – Instalações Prediais de Águas Pluviais: Procedimento (ABNT, 1989), e também da NBR 5626 – Instalação Predial de Água Fria (ABNT, 1998).

A metodologia básica para projeto de sistemas de coleta, tratamento e uso de água pluvial envolve as seguintes etapas:

- Determinação da precipitação diária (mm/dia);
- Determinação da área de coleta;
- Determinação do coeficiente de aproveitamento de água pluvial<sup>2</sup>;
- Projeto dos sistemas complementares (grades, filtros, tubulações);
- Projeto do reservatório de descarte;
- Escolha do sistema de tratamento necessário;
- Projeto da cisterna ou reservatório;
- Caracterização da qualidade da água pluvial;
- Identificação dos usos da água (demanda e qualidade).

A precipitação pluviométrica é um dos fatores fundamentais para o sucesso do sistema de aproveitamento de água pluvial. Dados de precipitação utilizados devem ser dados diários do local,

---

<sup>2</sup> Representa o volume aproveitável de água pluvial após o desvio de escoamento inicial para descarte de folhas e detritos, além das perdas por absorção e evaporação da água pluvial ao atingir a superfície de captação.

---

preferencialmente de séries históricas de chuvas. Se as chuvas de determinada região forem bem distribuídas e regulares ao longo do período, mais eficiente será o sistema.

O coeficiente de aproveitamento de água pluvial é um indicador do volume de água de chuva realmente aproveitável. O valor mais adotado em projetos para este coeficiente é de 0,80, ou seja, adota uma perda de água de 20%, que se refere à evaporação após contato com o telhado, à absorção da água pelo material, dentre outras perdas, como o descarte das primeiras águas de chuva.

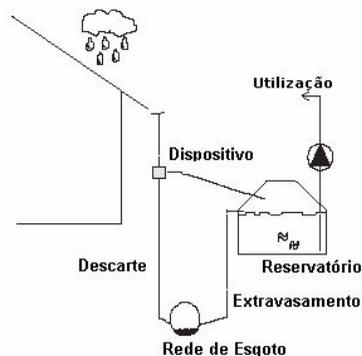
O uso da água de chuva requer controle da qualidade da água fornecida ao usuário. É preciso caracterizar o uso para o qual a água será direcionada para então aplicar normas técnicas que limitem os valores dos parâmetros qualitativos e o tratamento a que a água deverá ser submetida. Esta etapa é importante para que se protejam os usuários e os componentes do sistema.

A eficiência de diferentes concepções de sistemas de aproveitamento de água pluvial foi avaliada na Alemanha por Herrmann e Schmida (2000), considerando aspectos hidrológicos e ambientais. Em duas residências experimentais, uma unifamiliar e outra multifamiliar, foram realizadas simulações com diferentes áreas de telhado, para verificar o desempenho dos sistemas na redução do escoamento superficial para a drenagem urbana durante a ocorrência de chuvas intensas e a redução do consumo de água potável. Neste estudo, observou-se que quanto maior o consumo de água pluvial, menor a intensidade do escoamento superficial. Considerando o aspecto de drenagem urbana, verificou-se que o aproveitamento de água pluvial é mais eficiente quando aplicado em edifícios multifamiliares e em distritos mais populosos, onde a área de cobertura por pessoa é menor, facilitando o consumo de toda a água armazenada. As diferentes concepções de sistemas de aproveitamento de água pluvial analisadas podem ser vistas na Figura 1.

---



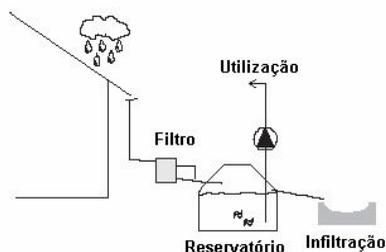
(a) Sistema com fluxo total.



(b) Sistema com dispositivo de descarte.



(c) Sistema com volume de retenção.



(d) Sistema com infiltração no solo.

**Figura 1 – Concepções de sistemas de aproveitamento de água pluvial.**

Fonte: adaptado de Herrmann e Schmida (2000).

Na Figura 1(a) é apresentado um sistema com fluxo total, no qual o fluxo total de água pluvial captada nos telhados é conduzido até o reservatório após filtragem, e somente ocorre extravasamento quando o reservatório está completamente cheio. O volume extravasado é direcionado ao sistema de esgotos.

Já na Figura 1(b) é apresentado um sistema com dispositivo de descarte de sólidos e das primeiras águas de chuva, que desvia certa fração do volume total captado no telhado para o sistema de esgotos. Em dias de chuvas intensas, o sistema acaba desviando grande quantidade de água.

A Figura 1(c) apresenta um sistema com volume de retenção, onde o reservatório possui além do volume para consumo, um volume adicional para retenção adicional de água pluvial para dias de elevada precipitação, com objetivo de prevenir inundações. Utiliza um dispositivo de liberação controlada de água (válvula progressiva).

Por fim, a Figura 1(d) mostra um sistema com infiltração no solo, no qual a água pluvial excedente do reservatório é conduzida até uma zona de infiltração no solo, contribuindo para a recarga de lençóis freáticos. Esse sistema pode não ser adequado em locais onde a capacidade de infiltração do solo é baixa.

Dentre as concepções de sistemas de aproveitamento de água pluvial apresentadas anteriormente na Figura 1, será adotada para os estudos de caso do presente trabalho a concepção do sistema (b), que apresenta dispositivo de descarte de sólidos e dispositivo das primeiras águas de chuva.

### **2.3.4 Componentes e equipamentos**

Os componentes e equipamentos empregados em sistemas de aproveitamento de água pluvial variam de acordo com diversos fatores, dentre eles a tipologia e finalidade do sistema, a possibilidade técnica, a viabilidade econômica e aceitação social.

De acordo com a disponibilidade de recursos disponíveis para a implantação de sistemas de aproveitamento de água pluvial associados com a destinação prevista para o uso da água, estes sistemas podem ser dos mais simples aos mais sofisticados tecnologicamente (HERNANDES et al., 2004).

Os elementos constituintes de um sistema de aproveitamento de água pluvial compõem-se dos componentes essenciais e dos acessórios (MANO; SCHMITT, 2004).

Os componentes essenciais são aqueles que estarão presentes em qualquer tipo de sistema, independente dos recursos necessários para construí-lo. São eles a área de captação, as calhas e condutores verticais e horizontais, e o reservatório de armazenamento.

Os componentes acessórios são os dispositivos colocados no sistema com a finalidade de facilitar a operação e manutenção ou aprimorar a qualidade da água coletada e armazenada. Poderão ser usados equipamentos como grelhas, filtros, dispositivos de descarte de sólidos, dispositivos de escoamento de águas das primeiras chuvas, freios de água, bombas e esterilizadores, que são os equipamentos mais comumente encontrados.

---

O sistema de tratamento das águas pluviais depende da qualidade da água coletada e do seu destino final. De maneira geral, considerando-se os usos mais comuns em edifícios (irrigação de jardins, lavagens de automóveis e pisos, descarga de bacias sanitárias, etc.) são empregados sistemas de tratamento compostos de unidades de sedimentação simples, filtração simples e desinfecção com cloro ou com luz ultravioleta. Eventualmente podem ser utilizados sistemas que proporcionem níveis de qualidade mais elevados.

### **2.3.5 Reservatórios de armazenamento de água pluvial**

O reservatório de armazenamento é um dos componentes mais importantes e onerosos de um sistema de aproveitamento de água pluvial. Além disso, é um dos principais responsáveis pela qualidade da água nos pontos de consumo.

Previamente à escolha do material adequado para construção do reservatório deve-se verificar a finalidade do uso da água. A durabilidade, a segurança e o custo também são critérios que devem ser analisados para a escolha do tipo de reservatório a ser implantado no sistema de aproveitamento de água pluvial.

Reservatórios para água pluvial podem ser de qualquer material que retenha água e não seja tóxico, podem ser construídos no local ou adquiridos prontos (pré-fabricados).

Gnadlinger (1997) apresenta reservatórios construídos em placas de cimento, tela cimento (argamassa armada), alvenaria de tijolos, ferrocimento e cisterna de cal. Macomber (2001), por sua vez, cita outros, de aço corrugado, aço galvanizado enclausurado, blocos de concreto, fibra de vidro e também madeira vermelha.

De acordo com Macomber (2003), todos os materiais trazem vantagens e desvantagens. Por exemplo, as cisternas feitas com materiais mais leves, tais como plásticos, madeira ou fibra de vidro podem ser facilmente transportadas. No entanto, esses tipos de reservatórios são mais frágeis que outros, tendo menor vida útil.

Os reservatórios de fabricação industrial, constituídos dos mais diversos materiais, como polietileno de média densidade (PEMD), plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV), policloreto de vinila (PVC), polietileno de alta densidade (PEAD), polipropileno e aço inoxidável, podem ser adaptados para o uso com água pluvial. A escolha do material varia de acordo com a utilização e a facilidade na instalação.

Na fase de implantação de um sistema é essencial selecionar adequadamente o método de dimensionamento de reservatório a ser

---

utilizado, pois a eficiência dos sistemas de aproveitamento de água pluvial é afetada, sobretudo pelo dimensionamento do reservatório de armazenamento. O dimensionamento adequado é essencial para evitar a operação do reservatório de forma ociosa quando superdimensionado, ou quando subdimensionado (ROCHA, 2009).

O dimensionamento do reservatório de armazenamento contempla aspectos essenciais para a viabilidade de todo e qualquer sistema. A escolha do volume e material ideais para o reservatório afeta diretamente a viabilidade econômico-financeira do projeto. Fewkes e Franpton (1993), afirmam que tanto em países desenvolvidos como em desenvolvimento a dimensão do reservatório é fator crítico para o requisito econômico do sistema.

O dimensionamento pode variar de região para região, em função dos objetivos finais de implantação do sistema e principalmente em função da variação dos dados pluviométricos (AMORIM; PEREIRA, 2008).

Para o dimensionamento do reservatório é essencial o conhecimento do tamanho da área de captação, dados do regime pluviométrico local, coeficiente de aproveitamento de água pluvial e percentual do volume de água potável a ser substituída por água pluvial na edificação em que se executará o sistema.

Existem vários métodos de dimensionamento de reservatórios disponíveis na literatura. Os métodos propostos pela NBR 15527 (ABNT, 2007) são os seguintes: da simulação, de Rippl, prático brasileiro, prático alemão, prático inglês e prático australiano. Existem também outros métodos para o dimensionamento dos reservatórios de águas pluviais não propostos na norma supracitada, dos quais se pode citar o método Monte Carlo, método de Gumbel, o método estatístico e o método interativo.

A forma mais adequada de dimensionar reservatórios para armazenar água pluvial com fins de aproveitamento em edificações é por meio de simulação computacional.

O algoritmo do programa Netuno, por exemplo, auxilia na estimativa do potencial de economia de água potável, para um ou mais volumes de reservatório, quando há o aproveitamento de água pluvial em edificações. Desta forma, é possível testar a economia oferecida para diversos volumes de reservatório até se obter aquele que apresenta o maior percentual de economia com menor custo (GHISI et al., 2010).

Além do potencial de economia de água potável, o programa Netuno fornece os seguintes resultados para as simulações:

- Volume de água pluvial extravasado anualmente;
-

- Volume total consumido de água pluvial;
- Porcentagem de dias em que a demanda de água pluvial é atendida totalmente, parcialmente ou não é atendida.

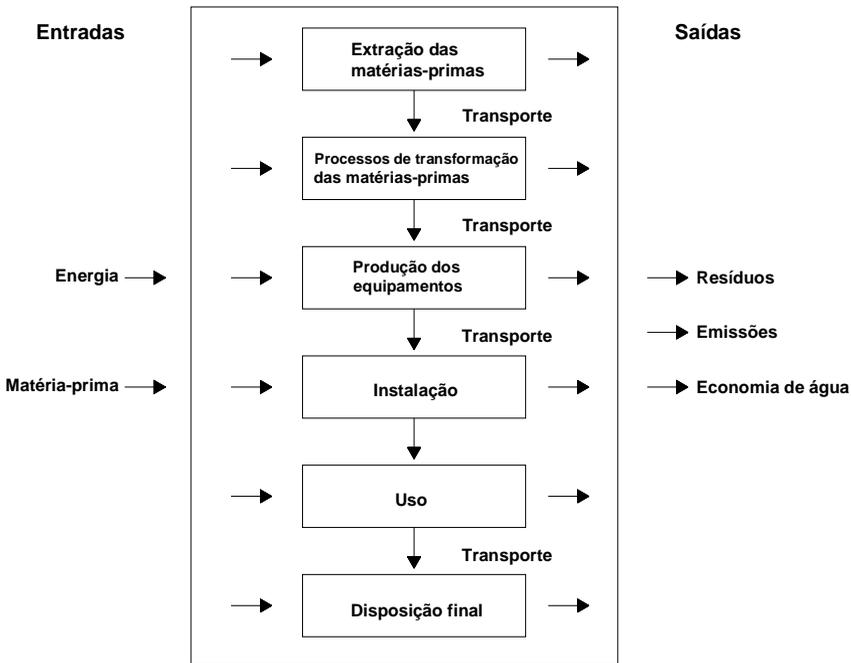
Rocha (2009) validou o algoritmo do programa computacional Netuno utilizando dados reais de consumo de água potável e pluvial, precipitação pluviométrica e da variação do nível de água no reservatório, obtidos junto a uma residência experimental localizada em Florianópolis. A principal conclusão do trabalho é que o algoritmo do programa Netuno prediz adequadamente o potencial de economia de água potável obtido através do aproveitamento de água pluvial em edificações.

#### ***2.4 Ciclo de vida de sistemas de aproveitamento de água pluvial***

A instalação de um sistema de aproveitamento de água pluvial em uma edificação implica em maior quantidade de componentes e equipamentos, e conseqüentemente maior consumo de matérias-primas e energia. A análise do ciclo de vida de componentes constituintes de sistemas de aproveitamento de água pluvial é de fundamental importância para a seleção de materiais que promovam a sustentabilidade, pois muitas vezes, os componentes destes sistemas utilizam recursos não renováveis, e que demandam grande quantidade de insumos nos processos ao longo do ciclo de vida.

Um fluxograma ilustrativo com as entradas e saídas existentes no ciclo de vida de um sistema de aproveitamento de água pluvial está apresentado na Figura 2.

---



**Figura 2 – Fluxograma com as entradas e saídas do ciclo de vida de sistemas de aproveitamento de água pluvial.**

Fonte: adaptado de Arantes (2008).

Vários são os materiais que constituem os componentes dos sistemas de aproveitamento de água pluvial e, por sua vez, tais materiais são ainda formados pela combinação de vários outros.

Para que se possa avaliar o ciclo de vida dos componentes e equipamentos existentes em sistemas de aproveitamento de água pluvial faz-se necessário conhecer os principais materiais que os compõem, e os processos necessários para fabricação. Dentre os materiais constituintes dos componentes analisados, deve-se selecionar aqueles que possuem maior representatividade, para elaborar fluxogramas do ciclo de vida dos mesmos.

Em geral, os reservatórios de água potável e de água pluvial e também algumas opções de reservatórios inferiores de água pluvial ou cisternas, são confeccionados em plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV). Outras opções mais comuns de materiais para o reservatório inferior de água pluvial são o polietileno de alta densidade (PEAD) e

---

concreto armado. Alguns dispositivos e acessórios utilizados para garantir a qualidade da água da chuva também são fabricados em polietileno.

A maioria das tubulações e conexões utilizadas em sistemas de aproveitamento de água pluvial é fabricada em policloreto de vinila (PVC).

As motobombas apresentam diversas opções para composição das suas peças, das quais se destacam os seguintes metais: bronze, aço inox, ferro fundido, ferro fundido nodular e ferro fundido nodular temperado. No entanto, dentre os materiais que constituem uma motobomba para uso residencial, o ferro fundido destaca-se como o material predominante (SCHNEIDER, 2010; FAMAC, 2010).

Nos subitens a seguir encontram-se apresentadas informações a respeito do ciclo de vida de materiais utilizados em sistemas aproveitamento de água pluvial.

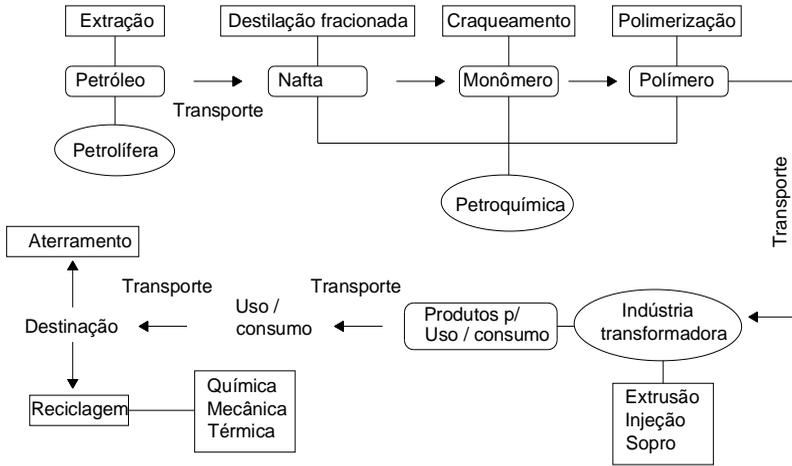
#### **2.4.1 Polímeros**

Os polímeros encontram-se presentes na composição dos principais componentes utilizados em sistemas de aproveitamento de água pluvial, como em tubos, conexões e reservatórios de água.

Os polímeros são compostos formados por sucessivas aglomerações de grande número de moléculas fundamentais. A matéria prima que dá origem a um polímero é chamada monômero. O monômero pode ser obtido a partir do petróleo ou gás natural, existindo outras formas de custo mais elevadas e não competitivas tais como, a partir da madeira, álcool, carvão e até do CO<sub>2</sub>, sendo todas essas matérias primas ricas em carbono, o átomo principal que constitui os materiais poliméricos. A Figura 3 apresenta um diagrama simplificado do ciclo de vida dos polímeros.

Os plásticos constituem a maior parte dos polímeros comerciais. Dependendo do tipo do plástico, podem dissolver-se em vários solventes, ou seja, sua reciclagem é possível. Pode-se citar como exemplos de termoplásticos: polietileno (PE), polietileno de alta densidade (PEAD), polietileno de baixa densidade (PEBD), polipropileno (PP), polietileno tereftalato (PET), policarbonato (PC), poliestireno (PS), policloreto de vinila (PVC), dentre outros.

---



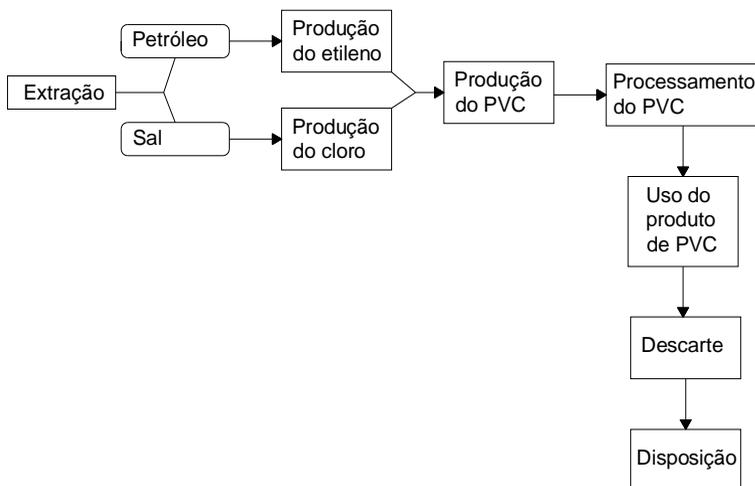
**Figura 3 – Diagrama do ciclo de vida dos polímeros.**

Fonte: adaptado de Tonicelo; Antunes (2010).

#### 2.4.1.1 Policloreto de Vinila – PVC

O PVC é um polímero termoplástico, cujas principais matérias-primas que o compõe são 57% de cloro derivado do sal marinho e 43% de eteno (nome comercial do etileno -  $C_2H_4$ ) proveniente da nafta do petróleo ou do gás natural (BORGES, 2004). O PVC é o único material plástico que não é 100% originário do petróleo.

Devido aos aditivos capazes de modificar suas propriedades, a resina PVC é amplamente aplicável, sendo um dos plásticos mais comuns nos dias de hoje, sendo o segundo em volume de produção, atrás do polietileno. Um diagrama do ciclo de vida do PVC é apresentado na Figura 4.



**Figura 4 – Diagrama do ciclo de vida de produtos de PVC.**

Fonte: Borges (2004).

Para produção dos tubos rígidos, a resina constitui-se de um homopolímero de PVC obtido pelo processo de polimerização em suspensão, de elevada densidade volumétrica, elevada capacidade de gelificação, elevada estabilidade térmica e elevada produtividade na extrusão de rígidos. A resina de PVC compõe 85% da constituição dos tubos e os 15% restantes são formados por aditivos. Para produção das conexões, a resina constitui-se de um homopolímero de PVC obtido também pelo processo de polimerização em suspensão, de rápida gelificação, elevada fluidez, alta transparência, brilho e excelente estabilidade térmica. Nas conexões, a resina representa 90% sendo os 10% restantes compostos por aditivos (ARANTES, 2008).

#### **2.4.1.2 Plástico Reforçado com Fibra de Vidro – PRFV**

O Plástico Reforçado com Fibra de Vidro (PRFV), também conhecido popularmente como fibra de vidro<sup>3</sup>, é um material compósito de matriz polimérica, construído pela combinação de vários materiais,

---

<sup>3</sup> A expressão fibra de vidro (fiberglass) pode tanto referir-se à própria fibra (material estrutural de reforço) como também ao material compósito plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV). Neste estudo, utilizou-se a definição PRFV para referir-se ao material usado para fabricar os reservatórios superiores e inferiores.

---

sendo os principais elementos as resinas poliméricas e os reforços de fibras de vidros. A Figura 5 apresenta um diagrama do ciclo de vida do PRFV apresentado por Tonicelo; Antunes, (2010).

O material PRFV permite a produção de peças com grande variedade de formatos e tamanhos, tais como tanques de armazenamento e caixas d'água.

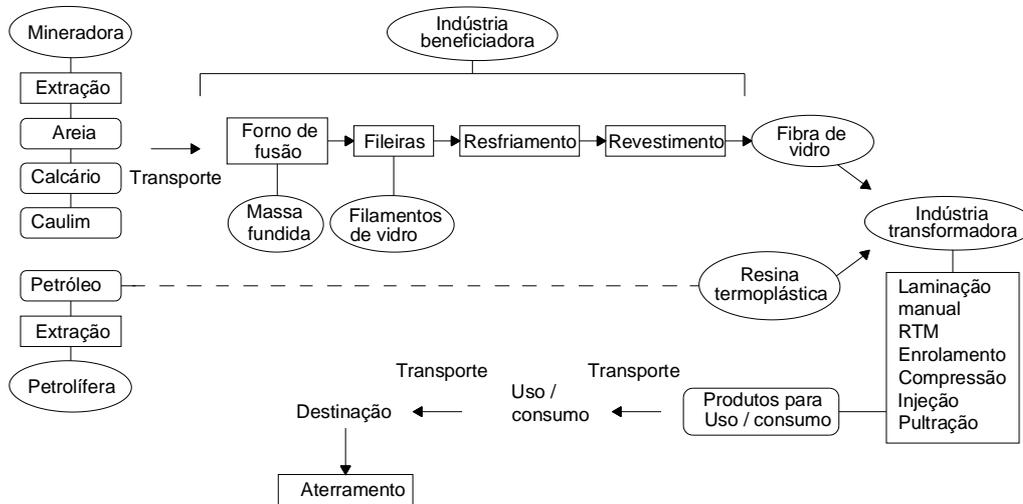
Vários tipos de plásticos têm aplicações comerciais quando reforçados com fibras de vidro. Dentre os materiais de reforços usados pela indústria dos plásticos reforçados, as fibras de vidro ocupam posição de grande importância, sendo os materiais de reforço mais utilizados, tanto em compósitos termoplásticos quanto em compósitos termofixos (MURPHY, 1994).

As fibras de vidro atuam como reforço estrutural, proporcionando aumento das propriedades mecânicas. Os diferentes tipos, formas de arranjo e proporções dos reforços de fibras de vidro, conferem características e propriedades físicas distintas para cada tipo de aplicação e construção exigida. As fibras de vidro são facilmente produzidas por aquecimento do vidro e por moldagem por forças gravitacionais a partir de um mandril de platina (OTA, 2004).

Os principais componentes da fibra de vidro são areia, calcário, caulim (FELTRAN, 2008), porém outros componentes são utilizados, como boratos e pequenas quantidades de especialidades químicas. A sílica ( $\text{SiO}_2$ ) é o principal componente da areia e a principal matéria prima para o vidro. Além disso, adiciona-se à sílica elementos químicos, tais como, o óxido de sódio ( $\text{Na}_2\text{O}$ ) e/ou de potássio ( $\text{K}_2\text{O}$ ) para reduzir a temperatura de fusão da sílica, óxido de cálcio ( $\text{CaO}$ ), óxido de magnésio ( $\text{MgO}$ ) ou óxido de alumínio ou alumina ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) afim de aumentar a resistência química e mecânica do vidro. Os materiais são extraídos de jazidas naturais (COLTRO, 2007).

Além das resinas e fibras de vidro, são utilizados outros componentes na fabricação de peças em PRFV, como por exemplo, o gelcoat, obtido pela mistura de resina poliéster, carga mineral, absorvedor de ultravioleta, pigmentos, agente tixotrópico, desaerante e aditivo auto-nivelante.

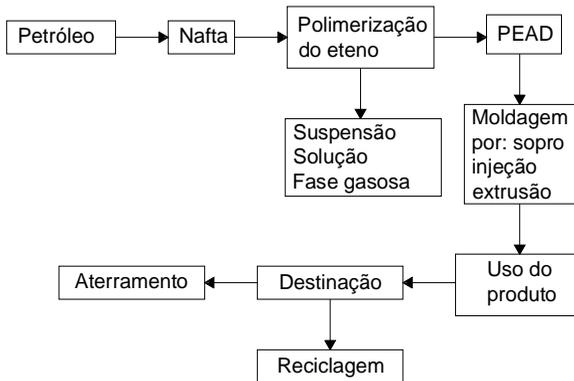
---



**Figura 5 - Diagrama do ciclo de vida do PRFV.**  
 Fonte: adaptado de Tonicelo; Antunes (2010).

### 2.4.1.3 Polietileno de Alta Densidade - PEAD

O polietileno de alta densidade (PEAD) é um polímero termoplástico derivado do eteno. É obtido através da polimerização de baixa pressão do eteno pelos seguintes processos: suspensão em solvente, solução, e fase gasosa, sendo esta última a de tecnologia mais moderna (BNDS, 2009). A Figura 6 apresenta um diagrama do ciclo de vida do polietileno de alta densidade.



**Figura 6 – Diagrama do ciclo de vida do polímero PEAD. Fonte: BNDS (2009).**

As propriedades mais relevantes do PEAD são elevadas resistência química e mecânica, além de elevadas características de rigidez, fluência, abrasão, impacto e fendilhamento sob tensão ambiental. O polietileno de alta densidade é a segunda resina mais reciclada no mundo.

### 2.4.2 Concreto armado

Este item apresenta apenas uma visão geral do material concreto armado referente à opção de reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial construídos *in loco*.

O concreto armado diferencia-se do concreto simples devido ao fato de receber uma armadura metálica responsável por resistir aos esforços de tração, enquanto que o concreto em si resiste à compressão. O peso específico do concreto simples é  $2.400 \text{ kg/m}^3$  e do concreto amado é  $2.500 \text{ kg/m}^3$ .

---

O concreto armado é uma mistura compacta de agregados graúdos (pedras britadas, seixos rolados); agregados miúdos (areia, pedregulhos); aglomerantes (cimento ou cal); água, aditivos químicos com a finalidade de melhorar ou modificar suas propriedades básicas (corantes, aceleradores, fibras), e armadura de aço para o reforço da estrutura.

### **2.4.3 Metais**

Metais são substâncias minerais que se apresentam em estado sólido à temperatura ambiente (com a única exceção do mercúrio) e que se caracterizam por brilho característico, opacidade, dureza, ductibilidade. Os metais dividem-se em duas classes: ferrosos e não ferrosos.

Os metais ferrosos tratam-se dos aços e ferros fundidos, oriundos da mistura dos minérios de ferro, matéria-prima essencial; do calcário, que atua como fundente; e do carvão mineral que funciona como combustível, como redutor do minério e como fornecedor do carbono. Os metais não ferrosos englobam os metais que não contém ferro tais como: cobre, alumínio, bronze, latão, chumbo, etc. Na sua maioria, são utilizados no estado puro, contudo, podem também ser utilizados em forma de ligas (ARANTES, 2008).

O ferro fundido, pertencente ao grupo dos metais ferrosos, é um metal oriundo da mistura dos minérios de ferro, do calcário e do carvão mineral, transformado através da siderurgia. O minério de ferro constitui a matéria-prima essencial à produção de ferros fundidos, o calcário atua como fundente e o carvão como combustível, como redutor do minério e como fornecedor do carbono. Para a produção de ferro fundido, no processamento de 1 tonelada de minério de ferro em alto-forno consome-se 1,4 toneladas de minérios de ferro, 0,5 a 0,65 tonelada de coque de carvão e 0,25 tonelada de calcário.

O ferro fundido é uma liga de ferro-carbono-silício com um conteúdo de 2 a 4% de carbono, 1 a 3% de silício, assim como outros elementos, manganês (Mn), fósforo (P) e enxofre (S), balanceado com ferro. O ferro fundido e o aço diferem pelo teor de carbono, tendo o aço 2% e o ferro fundido acima deste valor. Os ferros fundidos, além de ferro e carbono, contêm outros elementos, tais como: silício manganês, enxofre e fósforo (TONICELO; ANTUNES, 2010).

Os ferros fundidos dividem-se em três tipos principais: branco, cinzento e nodular. As peças de ferro fundido são produzidas por vazamento do material em fôrmas. Isto as torna particularmente

---

indicadas para componentes mecânicos. O uso geral do ferro fundido deve-se à versatilidade e baixo custo.

## **2.5 *Energia embutida***

Energia embutida é definida como o total de insumos energéticos, diretos e indiretos, necessários para a fabricação e distribuição de um produto em todas as etapas pré-operacionais de seu ciclo de vida (TRELOAR et al., 2001). Os consumos diretos são os realizados dentro dos limites da fábrica para a obtenção dos materiais de construção utilizados. Entre os indiretos incluem-se a extração e beneficiamento das matérias-primas dos materiais, o transporte destas para as fábricas e posteriormente dos produtos acabados para os canteiros de obras, e finalmente a energia despendida na obra propriamente dita (TAVARES, 2006).

A análise da energia embutida em materiais de construção é de grande importância para determinar a energia embutida total em diferentes sistemas da edificação. Nesta revisão de literatura será destacada a energia embutida relativa a sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública e sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial.

Os valores de energia embutida são normalmente dispostos em MJ/kg e MJ/m<sup>3</sup> de material produzido. Porém, alguns autores apresentam valores de energia embutida para diferentes materiais em kWh/kg ou kWh/m<sup>3</sup> para considerações específicas de energia elétrica.

Diferentes formas de energia podem ser utilizadas nos processos de extração, fabricação e em outras etapas do ciclo de vida dos componentes. As principais formas de energia utilizadas nos processos são a energia elétrica, carvão mineral, carvão vegetal, coque de petróleo, lenha, gás natural, GLP e óleo combustível.

Na Inglaterra, Harris (1998) apresentou a energia embutida requerida para alguns materiais de construção. Além disso, o autor apontou a importância de selecionar os materiais avaliando, dentre outros aspectos, a disponibilidade de matérias-primas, renovabilidade dos recursos e o potencial de reciclagem, conforme apresenta a Tabela 7.

---

**Tabela 7 – Perfil ambiental de alguns materiais de construção.**

<b>Material</b>	<b>Energia embutida (MJ/kg)</b>	<b>Renovabilidade dos recursos</b>	<b>Escassez de matérias primas</b>	<b>Potencial de reciclagem</b>
Aço	370,8	Não renovável	Não escassa	Alto
Alumínio	272,2	Não renovável	Escassa	Alto
Cobre	478,8	Não renovável	Escassa	Alto
Cimento	10,3	Não renovável	Não escassa	Médio
Concreto	2,9	Não renovável	Não escassa	Médio
Madeira	0,4	Renovável	Não escassa	Médio
Plásticos	169,2	Não renovável	Não escassa	Médio-baixo

Fonte: adaptado de Harris (1998).

Andersen et al. (1993) apud Adalberth (1996) verificaram a energia requerida para a produção de alguns materiais de construção na Suécia. Com base neste estudo, apresentam-se na Tabela 8 alguns materiais que constituem os principais equipamentos componentes de sistemas de aproveitamento de água pluvial. De acordo com os autores, a energia apresentada compreende energia necessária para a extração da matéria-prima, produção e transportes de semi-manufaturados, funcionamento da indústria transformadora, administração local e da produção do material de construção final.

**Tabela 8 - Consumo de energia para a fabricação de alguns materiais.**

<b>Materiais</b>	<b>Energia (MJ/kg)</b>
Concreto reforçado	2,0
Policloreto de vinila (PVC)	88,7
Polietileno	59,0
Aço	32,0
Cobre	70,2

Fonte: adaptado de Adalberth (1996).

Bermann (1991) no Brasil, em sua tese de doutorado estudou os produtos mais importantes na cadeia energética brasileira e definiu o consumo de energia elétrica para alguns processos, onde são apresentadas faixas de consumo de energia, em kWh, necessária para fornecer uma tonelada de cada tipo de produto.

Em outro estudo realizado no Brasil, Taborianski (2002) computou a energia (em kWh) necessária para a fabricação dos componentes utilizados em sistemas de aquecimento de água.

Tavares (2006) compilou informações da literatura nacional e internacional e obteve valores de energia embutida para materiais de construção, que encontram-se apresentados no ANEXO A. A Tabela 9 apresenta valores de energia embutida para alguns materiais que constituem os principais equipamentos e componentes de sistemas hidráulicos prediais que contemplam o aproveitamento de água pluvial (tubos de PVC, conexões, bomba hidráulica de recalque e diferentes materiais que são utilizados para fabricação de reservatórios de água).

Ressalta-se que dados de energia embutida encontrados na literatura apresentam algumas diferenças em função do local onde são pesquisados e a metodologia aplicada.

De acordo com Tavares (2006), a dificuldade de se obter números precisos para energia embutida pode ser atribuída a fatores como:

- Processos industriais e atividades econômicas que variam entre países, onde os menos desenvolvidos tendem a ter processos menos eficientes;
  - Fábricas modernas são geralmente mais econômicas energeticamente do que as antigas, até mesmo por maiores cobranças sobre eficiência energética e geração de poluentes;
  - Dados obtidos por análise estatística provêm de um conjunto variado de processos;
  - Diferenças de qualidade em: matérias primas, eficiência dos trabalhadores, tratamento de resíduos e níveis de reciclagem.
-

**Tabela 9 - Energia embutida nos principais equipamentos e componentes pertencentes a sistemas de aproveitamento de água pluvial e em alguns materiais de construção.**

<b>Componentes/equipamentos/materiais</b>	<b>Energia Embutida (MJ/kg)</b>
Torneira e registro cromado	95,00
Polietileno de alta densidade	95,00
Tubo de PVC	80,00
Latão	80,00
Cobre	75,00
Bomba hidráulica de recalque (1HP)	31,00
Aço laminado CA 50 A	30,00
Fibra de vidro	24,00
Cimento Portland	4,20
Concreto armado	2,34 - 3,80
Cal virgem	3,00
Argamassa mistura	2,10
Concreto simples	1,20
Madeira	0,50
Brita	0,15
Areia	0,05

Fonte: Tavares, (2006).

## 2.6 *Resíduos e emissões*

Ao longo do ciclo de vida dos materiais de construção ocorrem emissões e deposições de resíduos no ambiente, envolvendo: extração de minérios; processo de manufatura; atividades construtivas; atividades de manutenção e reposição de componentes e atividades de demolição (JOHN, 2000).

De acordo com Moriguchi (1999), os resíduos são gerados principalmente na indústria de beneficiamento de recursos naturais, pela necessidade de remoção de impurezas e de materiais inúteis.

Os materiais podem conter compostos tóxicos, que são emitidos com intensidade variável desde a extração de matérias-primas até produção e uso dos materiais. A relevância da geração de resíduos decorre das grandes quantidades geradas de resíduos e emissões; da periculosidade de algumas substâncias emitidas, as quais podem afetar os ecossistemas e a saúde humana.

Nos processos de fabricação dos materiais componentes de sistemas de aproveitamento de água pluvial são gerados diversos resíduos sólidos, efluentes líquidos, emissões atmosféricas e outras emissões.

Uma síntese das principais emissões e resíduos verificados na produção dos materiais pertencentes aos sistemas de aproveitamento de água pluvial encontra-se na Tabela 10.

A quantidade dos principais resíduos e emissões geradas nos processos de produção de uma tonelada de cada material existente em sistemas de aproveitamento da água pluvial encontram-se apresentada na Tabela 11. No entanto, ressalta-se que a quantificação de todos os resíduos e emissões envolvidos nos processos de fabricação nem sempre é possível, pois as empresas tendem a considerar estes dados como confidenciais.

As emissões geradas nos processos de fabricação do PRFV referem-se à mineração do dióxido de silício - também chamado de sílica ( $\text{SiO}_2$ ) - transporte até à indústria, e o processamento do minério até à sua transformação em fibra de vidro.

---

**Tabela 10 – Principais emissões e resíduos verificados na produção dos materiais presentes nos sistemas de aproveitamento de água pluvial.**

<b>Materiais</b>	<b>Emissões para o ar</b>	<b>Emissões para a água</b>	<b>Resíduos sólidos</b>
PVC	Amônia; CFC; CH <sub>4</sub> ; CH <sub>4</sub> renovável; CO <sub>2</sub> ; CO <sub>2</sub> (não-fossil); C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> ; C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> alifático; C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> aromático; Diclorometano; Metilmercaptana; N <sub>2</sub> O; NO <sub>2</sub> ; NMCOV; NO <sub>x</sub> ; Percloroetileno; SO <sub>2</sub> ; So <sub>x</sub> ; Tetraclorometano; Tricloroetileno; MVC (cloreto de vinila); Compostos Orgânicos Voláteis (COV) e material particulado (BORGES, 2004).	Asbestos; C <sub>x</sub> H <sub>y</sub> ; 1,2-dicloroetano; Metais pesados (Cr, Pb); NH <sub>3</sub> ; MVC, Cloreto de vinila, DBO, SST, SDT(BORGES, 2004).	Asbestos; Óleo; Resíduos sólidos (não inerte); Resíduos sólidos (contendo C); Resíduos processuais (BORGES, 2004).
PRFV	CH <sub>4</sub> durante a extração de petróleo e gás natural, processamento e distribuição. Emissões de CO <sub>2</sub> por combustão não útil nas plataformas de extração e refinarias (BRASIL, 2010). Odores e poeira (HUSSEIN, 2004).	Água de extração e lavagem.	Resíduos gerados no processo de laminação (mistura de resina catalisada, fio e retalhos de manta de fibra de vidro).
PEAD	Gases de combustão, VOC's na extração e refino do petróleo. CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO.		Óleo misturado ao solo.
Concreto armado	NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> , pequenas quantidades de compostos orgânicos voláteis (COV-NM, (CH <sub>4</sub> )), N <sub>2</sub> O, e NH <sub>3</sub> na fabricação de cimento (EEA, 2010). NO <sub>x</sub> no escoamento do ferro gusa e no processamento aço. CO na sinterização, produção de ferro e escoamento do ferro gusa (USEPA, 1996; EMEP/CORINAIR, 1996). SO <sub>2</sub> na alimentação do alto-forno, no escoamento do ferro gusa, no processamento aço - laminação. CO <sub>2</sub> na produção integrada de ferro e aço e coque (GERDAU; 2010). Gases e material particulado de combustão, VOC's, vapores dos banhos, CO e CO <sub>2</sub> da eletrólise.	Água de extração e de lavagem para fabricação de cimento. COV-NM na produção de ferro, na produção do aço - escoamento do ferro gusa, no processamento do aço - laminação.	Dioxinas na sinterização, coqueria, em forno de arco elétrico (referente à fabricação de cimento) (USEPA, 1996).
Ferro fundido	Gás de alto forno no processamento do minério de ferro (USEPA, 1996). Emissões de CH <sub>4</sub> e CO <sub>2</sub> (BRASIL, 2010). SO <sub>2</sub> , CO, CO <sub>2</sub> e NO <sub>x</sub> durante a fusão das ligas ferrosas. Fuligem, SO <sub>2</sub> e SO <sub>3</sub> na queima de combustível.		Resíduos metálicos, pós-lamas e carepas. Escória de alto forno no processamento do minério de ferro (USEPA, 1996).

**Tabela 11 – Principais resíduos e emissões gerados nos processos de produção de materiais componentes de sistemas de aproveitamento da água pluvial.**

<b>Materiais</b>	<b>Quantidade (kg/t)</b>	<b>Resíduos e emissões</b>
Concreto	45	CO <sub>2</sub>
Ferro fundido	200 a 400	Escória
	1500 a 2500	Gás de alto forno
Polietileno	1792	CO <sub>2</sub>
	1,091	NO <sub>x</sub>
	0,987	SO <sub>2</sub>
	0,670	CO
	6,4	NMVOC
PRFV	900	CO <sub>2</sub>
	1,5	NMVOC
PVC	0,001	Amônia
	0,0005	MP
	1,4	SDT
	0,59	SST
	0,47	DBO

Fonte: adaptado de Tavares (2006); Usepa (1996); Pré Consultants (2010); Institut Wallon (2001); Corinair (1996); Borges (2004).

## 2.7 A análise de ciclo de vida

A Análise de Ciclo de Vida (ACV) é definida como a compilação e avaliação de entradas e saídas (*inputs* e *outputs*) de matérias primas, recursos energéticos e impactos ambientais potenciais de um produto através de seu ciclo de vida (ABNT, 2009a).

A ACV é uma importante metodologia que permite, através de balanços ambientais, avaliar os aspectos e impactos ambientais em cada fase de vida de um produto desde a retirada das matérias-primas elementares da natureza que entram no sistema produtivo, à disposição do produto final. É conhecida como análise "do berço ao túmulo".

A análise de ciclo de vida conceitualmente indica uma análise para produtos ou sistemas desde a extração das matérias-primas, passando por sua transformação, uso e descarte final. No entanto, na prática, cada etapa de uma ACV é confrontada com suas limitações em relação aos requisitos relacionados à profundidade (nível de detalhes), largura (número de subsistemas) e extensão (início e fim do estudo).

A ACV permite comparar produtos com um mesmo uso, mas

---

constituídos de materiais e processos diferentes, ou comparar processos distintos para a obtenção de produtos (ou serviços) com uma mesma função. No entanto, a norma NBR ISO 14040 (ABNT, 2009a) acautela que no caso de estudos comparativos deve ser avaliada a equivalência dos sistemas que serão comparados antes da interpretação dos resultados, ou seja, os mesmos devem ser comparados utilizando-se da mesma unidade funcional e considerações metodológicas.

Alguns autores dividem a análise do ciclo de vida em níveis de sofisticação. Carvalho (2000) define três tipos de ACV:

- Análise do ciclo de vida conceitual, onde a abordagem do ciclo de vida é usada para fazer uma avaliação de aspectos ambientais baseados em um inventário limitado e normalmente qualitativo.
- Análise do ciclo de vida simplificada, que é uma aplicação da metodologia de ACV para uma avaliação compreensiva, isto é, cobrindo todo o ciclo de vida, mas superficialmente, por exemplo, usando dados gerais (qualitativos e/ou quantitativos), modelos padrão para transporte ou produção de energia, seguidos por uma avaliação simplificada, ou seja, focando nos aspectos ambientais e/ou potenciais de impactos ambientais e/ou fases da ACV mais importantes.
- Análise do ciclo de vida detalhada, que engloba todos os estágios e todos os dados de entrada e de saída das fronteiras do sistema. Na prática, no entanto, poucos estudos detalhados de ACV, baseado em metodologias coerentes, têm sido publicados.

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

A ACV encoraja as indústrias a considerar as questões ambientais associadas aos sistemas de produção: insumos, matérias-primas, manufatura, distribuição, uso, disposição, reuso, reciclagem. Ela permite averiguar a necessidade de eventuais mudanças associadas às diferentes etapas do ciclo de vida, as quais auxiliam na identificação de possíveis melhorias no desempenho ambiental do estudo. Além disso,

---

analisa questões ambientais, identificando os pontos críticos de processos, ajudando no desenvolvimento e otimização de produtos.

O conhecimento da origem das matérias-primas utilizadas nos produtos fabricados, os resíduos gerados no processo de fabricação, utilização e disposição final, bem como os efeitos das emissões lançadas no meio ambiente, são fundamentais para um gerenciamento sustentável.

A ACV analisa os balanços (ganhos e perdas) ambientais associados com um ou mais produtos ou processos específicos. Através da análise de ciclo de vida são estudados os aspectos ambientais de produtos, como a utilização de energia, matérias-primas, emissões de CO<sub>2</sub> e os impactos potenciais como o efeito estufa, chuva ácida, nitrificação do solo e água. A categoria geral de impactos ambientais inclui considerações necessárias ao uso de recursos, saúde humana e conseqüências ambientais.

O processo da ACV permite avaliar não somente os impactos causados ao meio ambiente, como também identificar melhorias que deveriam ser inseridas para reduzir esses impactos. A ACV pode trazer benefícios aos setores públicos e privados por revelar previamente a emissão de poluentes, por prever a introdução negativa de mercadorias e por prover uma oportunidade de direcionar diretamente ou explorar essas emissões por meio de outras técnicas (CONSOLI et al., 1993).

### **2.7.1 Normas ambientais**

Devido à crescente preocupação pelas questões ambientais, a *International Organization for Standardization* (ISO) iniciou na década de 1990 discussões sobre padrões ambientais internacionais, culminando com a publicação da série ISO 14000.

A série de normas ISO 14040 dispõe sobre os procedimentos metodológicos a serem seguidos na análise de ciclo de vida, desde a extração da matéria prima para fabricação do produto até sua disposição final.

O intuito da série de normas ISO 14040 é estabelecer as interações entre as atividades produtivas e o meio ambiente, analisando o impacto causado pelos produtos, seus respectivos processos produtivos e serviços com eles relacionados, desde a extração dos recursos naturais até a disposição final. Trata-se, de um enfoque sistêmico, em oposição à abordagem convencional da indústria que se restringe à análise dos atributos dos produtos que gera (VALLE, 1996 apud MASTELLA, 2002).

---

Para o estudo do ciclo de vida, até o momento, as seguintes normas foram publicadas pela ABNT:

- NBR ISO 14040 – Análise do Ciclo de Vida: Princípios e Práticas Gerais;
- NBR ISO 14044 – Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Requisitos e orientações.

A série de normas ISO 14040 também contém relatórios técnicos que exemplificam a aplicação das normas citadas:

- O ISO TR 14047: *Environmental management – Life cycle impact assessment – Examples of application of ISO 14042*, apresenta exemplos de aplicações da ISO 14042.
- O ISO TR 14048: *Life cycle assessment – Data documentation Format*, fornece exemplos sobre a documentação e apresentação dos dados coletados na ACV.
- ISO TR 14049: *Environmental management – Life cycle assessment – Examples of application of ISO 14041 to goal and scope definition and inventory analysis*, apresenta exemplos de aplicações da ISO 14041.

### **2.7.2 Aplicações da ACV**

A análise de ciclo de vida de produtos é uma ferramenta que pode ser utilizada em uma grande variedade de propósitos. As informações coletadas na ACV e os resultados de sua análise e interpretações podem ser úteis para tomadas de decisão, na seleção de indicadores ambientais relevantes para avaliação de desempenho de projetos ou reprojatos de produtos ou processos ou planejamento estratégico.

Assim, as aplicações de uma ACV são amplas e significativas, dependentes da interpretação de seus resultados e da amplitude dos dados levantados. Entre diversas aplicações pode-se citar (TAVARES, 2006):

- Análise da origem de um problema relacionado a um produto ou serviço específico;
  - Levantamento detalhado dos limites do processo de um produto incluindo insumos, transporte e descarte;
  - Determinação da energia embutida em um produto;
  - Identificação das oportunidades de melhoria dos aspectos ambientais globais do produto;
-

- Comparação de características ambientais e econômicas das variantes para um determinado produto;
- Comparação de alternativas tecnológicas, de processos ou produtos diferentes, porém destinados a uma mesma função;
- Avaliação do desempenho ambiental.

De acordo com Peuportier et al. (1997) as edificações são produzidas como produtos específicos, seus tempos de vida podem ser de centenas de anos, são formadas por um grande número de materiais, muitos deles ainda em desenvolvimento, e seus processos de projeto são complexos. Desse modo, uma edificação ou uma parte da edificação também pode ser considerada um produto, o que possibilita a aplicação do método da ACV na avaliação do impacto ambiental da edificação como um todo, ou em seus sistemas.

No âmbito da construção civil, em alguns países têm sido desenvolvidas metodologias para análise do ciclo de vida de edificações, de modo a quantificar a energia gasta com produção de materiais, fase de construção, operação e demolição das mesmas.

Na Austrália, Treloar et al. (1999) estimaram a energia embutida em móveis e aparelhos presentes em edifícios de escritórios. Para estimativa da energia embutida, considerou-se o material constituinte das peças e sua quantidade, assim como valores de energia embutida encontrados na literatura. A análise também levou em conta a reposição destas peças ao longo da vida útil de uma edificação.

Em outro estudo, realizado na Austrália por Pullen (1999), foram apontadas questões ambientais que devem ser levadas em conta quando se pretende substituir equipamentos, citando como exemplo a infra-estrutura de saneamento urbana. Neste trabalho, analisou-se a demanda de energia (energia operacional e embutida) da infra-estrutura sanitária de um bairro de 450 domicílios. Foram consideradas as estruturas de distribuição de água, sistemas de esgoto e de drenagem pluvial. As informações sobre a energia operacional foram fornecidas pela concessionária de energia elétrica local, enquanto a energia embutida foi calculada com base nos tipos e quantidade de materiais constituintes dos sistemas, conjugados com coeficientes de energia para cada material. Comparando a energia embutida de reservatórios de água pluvial para residências, por exemplo, com a energia embutida no sistema público de distribuição de água, verificou-se que o custo energético de sistemas individuais de água pode ser maior ou menor do

---

---

que o custo do sistema público. Isso porque o reservatório de água pluvial apresentou uma energia embutida variando entre 0,3 e 1,0 GJ/ano (dependendo do material e da capacidade do tanque), enquanto o sistema público apresentou uma energia embutida de 0,7 GJ/ano por domicílio.

Na África do Sul, Friedrich et al. (2009) realizaram avaliações ambientais de processos de tratamento de água no meio urbano desse país, verificando que a maior parte dos impactos ambientais no tratamento de água é gerada pela utilização de energia elétrica. Assim, os autores propõem que o consumo de eletricidade de diferentes processos de tratamento e bombeamento da água possa ser utilizado como um indicador de impactos ambientais (kWh/m<sup>3</sup>). Sugere-se ainda, para melhorar o desempenho ambiental global de sistemas urbanos de água, conservar os recursos hídricos, reduzindo perdas por vazamentos, reutilizando e aproveitando água de fontes alternativas, prevenindo a poluição e as emissões associadas à eletricidade utilizada na produção de água potável.

Nos Estados Unidos, Sartori e Hestnes (2007) analisaram 60 estudos sobre ciclo de vida energético em edificações de nove países e compararam os resultados. Os autores verificaram que a energia operacional das edificações é a mais significativa ao longo do seu ciclo de vida, concluindo que a energia embutida de uma edificação desempenha papel secundário. No entanto, o estudo não considerou a reciclagem de materiais na construção, sendo destacado pelos autores o grande potencial de redução da energia embutida de uma edificação pela utilização de materiais reciclados.

No Brasil, existem pesquisas e trabalhos sobre análise de ciclo de vida em diversas áreas, analisando diferentes tipos de produtos e sistemas. Dentre estes estudos, pode-se citar Taborianski (2002) que no seu trabalho mostra a contribuição das diversas formas de aquecimento de água (aquecedores elétricos, a gás ou solares) para o efeito estufa, por meio da ACV. Verificou-se no estudo que os aquecedores elétricos necessitam da energia elétrica fornecida por usinas termoeletricas, hidrelétricas ou nucleares destacando-se, no Brasil, as hidrelétricas. Os aquecedores a gás utilizam combustíveis fósseis que produzem poluentes como os óxidos de nitrogênio, monóxidos de carbono, dióxidos de carbono, compostos orgânicos voláteis e partículas. Os aquecedores solares utilizam a energia limpa do sol. Os resultados mostram que, para os parâmetros adotados, dentre os sistemas analisados os aquecedores elétricos são os que consomem mais energia elétrica e emitem mais poluentes durante seu ciclo de vida.

---

Tavares (2006) desenvolveu uma metodologia para análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais. O autor calculou a energia embutida nos materiais e equipamentos utilizados durante a fase pré-operacional de cinco residências modelo. Neste estudo, são apresentados valores de energia embutida para materiais de construção brasileiros, bem como planilhas especificando os valores de energia embutida calculados e as variáveis consideradas. Os resultados entre os cinco modelos apresentam valores de consumo energético no ciclo de vida da ordem de 15,01 GJ/m<sup>2</sup> a 24,17 GJ/m<sup>2</sup>, considerados baixos em comparação aos valores internacionais de países desenvolvidos, na ordem de 50 GJ/m<sup>2</sup> a 90 GJ/m<sup>2</sup>; porém as condições climáticas desses elevam o consumo operacional para climatização. A energia embutida inicial variou de 4,10 GJ/m<sup>2</sup> a 4,90 GJ/m<sup>2</sup> e a total de 5,74 GJ/m<sup>2</sup> a 7,32 GJ/m<sup>2</sup>. Tais resultados equivalem de 29% a 49% de todo o ciclo de vida.

Novak (2006) desenvolveu uma metodologia para orientar as compras de produtos ao longo do ciclo de vida, definindo qual opção de compra é mais eficiente em aspectos ambientais e financeiros, minimizando os impactos no meio ambiente com a redução das aquisições de produtos de baixa qualidade ambiental. Em um estudo de caso, foi aplicada a metodologia em duas válvulas de esfera ¾" em metal e PVC de funções similares e de utilização típica nas indústrias. O resultado da análise ambiental das válvulas encontrado através do inventário foi comparado com o resultado dos métodos Eco-indicator 99 e EPS2000, verificando-se que são qualitativamente similares. O estudo de caso comprovou a aplicabilidade da metodologia para avaliação de produtos.

Arantes (2008) comparou os impactos ambientais gerados por sistemas de aquecimento solar de água industrializados e sistemas alternativos, utilizados em habitações de interesse social, através da ACV, com auxílio do método Eco-indicador 99. Três hipóteses foram levantadas para o estudo variando as formas de disposição dos materiais que compõem estes sistemas no final de sua vida útil. Os Eco-indicadores foram determinados para as três hipóteses, possibilitando o conhecimento e a comparação dos impactos ambientais dos três sistemas. Os resultados revelaram que quando se contabiliza as embalagens recicláveis que estão sendo reaproveitadas na constituição do aquecedor solar, tal sistema contribui muito mais para a degradação do meio ambiente, devido ao impacto causado pelas embalagens PET. O estudo também mostrou que ao variar a forma de disposição final, os sistemas alternativos obtêm valores Eco-indicadores aproximados e até

---

mesmo menores do que o do sistema industrializado, porém, dentre as hipóteses levantadas a que admitiu a reciclagem apenas dos materiais do sistema industrializado revelou tal sistema como o que possui menor impacto ambiental.

Hussein (2004) analisou o processo de fabricação de reservatórios de água de fibra de vidro utilizando a metodologia da ACV em conjunto com a abordagem multicriterial, verificando os aspectos ambientais envolvidos bem como seus respectivos impactos nas fases do processo de fabricação. A pesquisa concluiu que a fase de aplicação do reforço sobre a laminação exige apenas energia mecânica e praticamente não gera resíduos, sendo considerada como uma etapa excelente do ponto de vista ambiental. As fases de laminação com fibra de vidro e a fabricação do gel utilizado na coloração do artefato, foram consideradas com desempenho ambiental negativo, porque envolvem a manipulação direta de uma gama de matérias-primas de elevada toxicidade bem como a geração de uma série de resíduos.

### **2.7.3 Limitações da ACV**

A metodologia de ACV, como qualquer outro instrumento metodológico, apresenta algumas limitações. De acordo com a NBR ISO 14040 (ABNT, 2001), entre as limitações presentes na técnica de ACV, incluem-se as seguintes:

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

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

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

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

A interpretação das etapas de uma ACV pode resultar em análises discrepantes, notadamente quanto ao peso atribuído aos itens de impacto ambiental e a natureza de dados do inventário. Por isso, é importante que os estudos de ACV deixem claro qual é o limite do sistema e o que realmente está sendo considerado, para que não ocorram distorções nos resultados, especialmente quando utilizados dados comparativos (ABNT, 2001).

Embora de grande utilidade para avaliação ambiental, os estudos de ACV requerem tempo e recursos consideráveis para a sua execução (CHEHEBE, 1998).

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

---

## 2.7.4 Fases da ACV

De acordo a NBR ISO 14040, um estudo de ACV deve apresentar as seguintes fases: definição dos objetivos e escopo do estudo, análise do inventário, avaliação de impactos e interpretação dos resultados, conforme ilustrado na Figura 7.

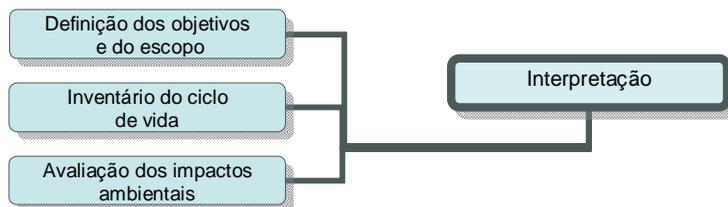


Figura 7 - Fases e aplicações de uma ACV.

### 2.7.4.1 Definição de objetivos e escopo

Os objetivos do estudo devem especificar a aplicação pretendida e o público alvo a quem serão comunicados resultados. Além disso, deve conter todos os aspectos considerados relevantes para direcionar as ações que serão realizadas.

Na definição do escopo de um estudo da ACV, de acordo com NBR ISO 14040, devem ser considerados e claramente descritos os seguintes itens:

- As funções do sistema de produto ou, no caso de estudos comparativos, dos sistemas;
- A unidade funcional<sup>4</sup> ou unidade de comparação;
- O sistema de produto a ser estudado;
- As fronteiras do sistema<sup>5</sup> de produto;
- Procedimentos de alocação<sup>6</sup>;
- Tipos de impacto e metodologia de avaliação de impacto e interpretação subsequente a ser usada;

<sup>4</sup> Desempenho quantificado (mensurável) de um sistema de produto para uso como uma unidade de referência num estudo de ACV.

<sup>5</sup> Especificam em quais etapas do ciclo de vida será realizada a análise; da extração de matérias-primas até disposição final do produto. A análise pode considerar todas as etapas ou etapas isoladas.

<sup>6</sup> Técnica utilizada para repartir as cargas ambientais (fluxos de entrada ou de saída) entre os co-produtos.

- Requisitos dos dados;
- Suposições;
- Limitações;
- Requisitos da qualidade dos dados iniciais;
- Tipo de análise crítica, se aplicável;
- Tipo e formato do relatório requerido para o estudo.

Na etapa de definição dos objetivos e escopo são definidos além da razão principal do estudo, sua abrangência e limites, também a metodologia e os procedimentos necessários para garantir a qualidade da pesquisa.

#### **2.7.4.2 Inventário de ciclo de vida**

A parte central da ACV é o inventário de ciclo de vida (ICV). Essa fase 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 (matéria-prima, energia, transporte, emissões para o ar, efluentes, resíduos sólidos). As informações adquiridas, referentes aos fluxos de entrada e saída, devem estar relacionadas à unidade funcional estabelecida na fase definição dos objetivos e escopo.

Constitui uma ferramenta indispensável para a avaliação quantitativa de impactos ambientais. Porém, é considerada a fase mais trabalhosa de ser executada na ACV, pois pode ocorrer ausência de dados conhecidos, sendo necessário estimá-los. Além disso, do inventário de ciclo de vida depende a confiabilidade dos resultados obtidos nas outras etapas.

Dentre os componentes do ICV, destacam-se o sistema de produto, os processos elementares e as categorias de dados. O sistema de produto refere-se a uma ou mais funções definidas e compreende o conjunto de processos elementares - constituídos de fluxos elementares de entrada de matérias-primas e energia, fluxos elementares de saída de resíduos e emissões e fluxos de produto.

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. Para um inventário completo deve-se incluir

---

o uso de recursos e emissões da:

- Extração, processamento e transporte de matérias-primas;
- Produção, transporte e distribuição dos produtos resultantes;
- Uso, reuso e manutenção;
- Reciclagem e disposição final.

Os resultados do inventário são transformados em impacto ambiental que reflete o perigo das substâncias ao ambiente e do esgotamento dos recursos.

O inventário de ciclo de vida possui diversos procedimentos que são contemplados pela ISO 14044 (ISO, 2006). Dentre eles, destacam-se a coleta de dados, a alocação e a validação dos dados. Os procedimentos são:

- Preparação para a coleta dos dados;
- Coleta de dados;
- Validação dos dados;
- Relacionando os dados às medidas do processo;
- Relacionando os dados à unidade funcional;
- Determinação dos procedimentos de cálculo;
- Procedimentos de alocação;
- Agregação dos dados;
- Refinamento dos limites do sistema.

### **2.7.4.3 Avaliação do impacto do ciclo de vida**

A Associação Brasileira de Normas Técnicas define impacto ambiental como qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização. Essa definição estabelece que um impacto sobre o meio ambiente tanto pode ser prejudicial ou benéfico, dependendo das transformações provocadas (ABNT, 2004).

A avaliação de impacto do ciclo de vida (AICV) corresponde ao processo quantitativo e/ou qualitativo aplicado na caracterização e avaliação dos impactos ambientais associados ao inventário do ciclo de vida.

Durante esta etapa da ACV, os fluxos de materiais e energia, identificados durante o inventário de ciclo de vida, 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.

A AICV é dirigida para a avaliação da significância de aspectos ambientais apresentados durante a etapa de inventário e agregar as intervenções em vários ou um único indicador. Os fluxos elementares do sistema são relacionados aos impactos gerados ao meio ambiente, em nível global, regional ou mesmo local.

De acordo com a norma NBR ISO 14044 (ABNT, 2009b), a AICV compreende elementos obrigatórios e opcionais. Dentre os elementos obrigatórios, destacam-se:

- Seleção de categorias de impacto;
- Classificação dos resultados do inventário;
- Caracterização dos impactos;
- Agregação.

Os elementos opcionais de uma AICV são os seguintes:

- Cálculo da magnitude dos resultados dos indicadores de categoria com relação a informações de referência;
- Agrupamento;
- Ponderação;
- Análise da qualidade dos dados.

#### **2.7.4.4 Interpretação do ciclo de vida**

A interpretação do ciclo de vida (ICV) consiste na avaliação do estudo, na análise dos resultados e na formulação de conclusões e recomendações para a minimização de impactos ambientais potencialmente gerados pelo sistema.

Segundo Chehebe, (1998), o objetivo da fase de interpretação é analisar os resultados, tirar conclusões, explicar as limitações e fornecer recomendações para uma análise completa.

De acordo com a NBR ISO 14040, esta fase pode envolver um processo iterativo de revisão do escopo da ACV, assim como a natureza e qualidade dos dados coletados de forma consistente com o objetivo definido. Aspectos como sensibilidade e incertezas também são avaliados no julgamento de qualidade dos resultados obtidos (ABNT, 2009a).

---

A fase de interpretação compreende as seguintes três etapas (CHEHEBE, 1998):

- Identificação das questões ambientais mais significativas baseadas nos resultados da análise do inventário e ou ACV;
- Avaliação – que pode incluir elementos tais como a checagem da integridade, sensibilidade e consistência;
- Conclusões, recomendações e relatórios sobre as questões ambientais significativas.

## **2.8 Considerações sobre a revisão de literatura**

A revisão de literatura apresentou temas concernentes ao estudo, que servirão como base para a elaboração deste trabalho.

Inicialmente foi apresentada a questão da sustentabilidade e desenvolvimento sustentável. Depois, foram abordadas pesquisas referentes ao consumo de água em edificações residenciais no Brasil e no mundo.

Foram apresentados alguns estudos referentes às tipologias de sistemas de aproveitamento de água pluvial, componentes e equipamentos, questões ambientais, perspectivas econômicas, e energia embutida.

Além disso, foram apresentadas as normas ambientais utilizadas em estudos de avaliação de desempenho ambiental, definições, aplicações, limitações e fases de uma ACV.

A revisão de literatura reuniu dados importantes que serão utilizados nos próximos capítulos, como por exemplo, dados de usos finais de água, equipamentos existentes em sistemas de aproveitamento de água pluvial e seus materiais constituintes, energia embutida, resíduos e emissões.

---



## **3 MÉTODO PROPOSTO PARA AVALIAÇÃO**

### **3.1 Introdução**

Este capítulo descreve o método proposto para avaliar a viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial, baseado nos conceitos da ACV.

Propõe-se neste método, avaliar o cenário em que existe apenas sistema hidráulico predial que utiliza água potável da rede pública na edificação, comparando-a com o cenário em que a mesma edificação possui sistema hidráulico predial complementado por aproveitamento de água pluvial.

Primeiramente, na etapa de definição dos objetivos e escopo, devem ser definidas as entradas e saídas e também as etapas do ciclo de vida que serão analisadas. É importante definir os limites do estudo, sendo que estes limites deverão ser os mesmos para toda a análise.

Na fase de caracterização e levantamento de dados, são obtidos os dados de usos finais de água, dados ambientais, levantamentos de quantitativos de materiais utilizados nos sistemas hidráulicos prediais da edificação que será analisada.

Na fase de avaliação ambiental, propõe-se que sejam verificadas e quantificadas as entradas (matérias-primas utilizadas e energia embutida) e saídas (principais resíduos e emissões geradas) dos principais componentes dos sistemas analisados, ao longo do ciclo de vida.

Na fase de avaliação econômica, verificam-se os custos de implantação e operação dos sistemas: custos de materiais e equipamentos necessários; mão-de-obra; custos operacionais e de utilização da água potável. Também são verificados os benefícios econômicos gerados e o período de retorno do investimento.

Por fim, realizam-se comparações entre sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública e sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial, tendo como referência indicadores de viabilidade – índices quantitativos propostos para verificar qual sistema é mais viável ambiental e economicamente.

Os indicadores de viabilidade propostos são os seguintes: indicador de energia embutida por consumo de água potável, indicador de manutenções do sistema durante a sua vida útil por consumo de água potável, indicador da principal emissão/resíduo gerado na fabricação dos

---

componentes do sistema por consumo de água potável e indicador de custo total do sistema por consumo de água potável.

Por meio deste método, poderão também ser realizadas análises comparativas entre diferentes composições de sistemas de aproveitamento de água pluvial, cujos componentes são fabricados em materiais distintos.

Um fluxograma sequencial para o método proposto é apresentado na Figura 8.

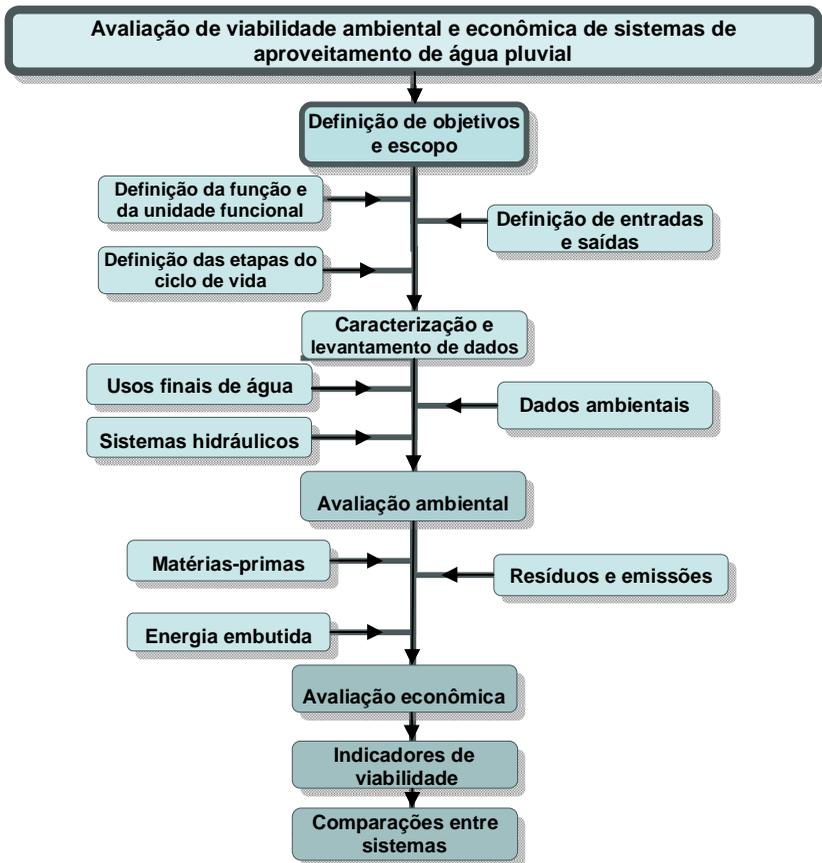


Figura 8 - Fluxograma do método para análise de viabilidade de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

### **3.2 Definição de objetivos e escopo**

O método proposto tem como objetivo principal avaliar a viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

Para realizar essa avaliação, o método proposto objetiva comparar os sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública com sistemas hidráulicos prediais que utilizam água potável da rede pública complementados por aproveitamento de água pluvial, em edificações residenciais.

Além disso, propõe oferecer subsídios em termos ambientais e econômicos para projetistas e pesquisadores na fase de escolha dos materiais componentes desses sistemas, favorecendo a busca da sustentabilidade nas edificações.

Na fase de definição de objetivos e escopo deve-se definir a função do sistema, a unidade funcional, o tempo de estudo (vida útil do sistema), as entradas e saídas e as etapas do ciclo de vida que serão analisadas.

#### **3.2.1 Definição da função e unidade funcional**

A função do sistema, definida de acordo com os objetivos do estudo, é o fornecimento de água em edificações residenciais.

Os componentes analisados devem possuir qualidade para realizar a função determinada. Somente podem ser realizadas comparações em componentes com funções similares.

Os sistemas devem ser comparados tendo-se como base uma mesma função, utilizando-se da mesma unidade funcional, durante um determinado período. A unidade funcional, ou unidade de comparação, é a base de referência de um sistema de produto que permite estabelecer comparações entre seus dados de entrada e saída, e deve ser definida de acordo com a função do sistema.

Propõe-se que a unidade funcional para a avaliação comparativa entre sistemas hidráulicos prediais (com ou sem uso de água pluvial) seja armazenar e fornecer o volume de água potável consumido na edificação durante o período de vida útil do sistema.

O tempo ou período de estudo deverá ser definido de acordo com a vida útil dos componentes do sistema. Para sistemas prediais, utiliza-se geralmente um alcance de 20 anos (DIAS et al.,2007). Deve ser contabilizada a reposição dos equipamentos e componentes que não tenham a mesma vida útil adotada para o sistema.

### **3.2.2 Definição de entradas e saídas e etapas do ciclo de vida**

Nesta fase são definidas quais as entradas (matérias-primas e energia embutida) e as saídas (resíduos e emissões gerados) serão avaliadas no estudo.

A definição das etapas do ciclo de vida (fronteiras dos sistemas) especifica em quais fases será realizada a análise. Podem ser consideradas todas as etapas do ciclo de vida, desde a extração de matérias-primas até a disposição final, ou apenas etapas isoladas.

Além disso, esta fase requer a construção de um fluxograma ilustrativo com as entradas e saídas do ciclo de vida, e as etapas do ciclo de vida ou fronteiras dos sistemas que serão consideradas. Qualquer decisão de omitir entradas/saídas ou etapas do ciclo de vida deve ser claramente declarada e justificada no estudo.

A definição das etapas que serão consideradas no trabalho é uma fase que requer cautela, pois dependendo do estudo, se todas as etapas foram consideradas, poderá ser necessário muito tempo para o levantamento de dados devido à carência de bases de dados brasileiros disponíveis. De acordo com Martins (1999), após serem identificadas as fronteiras que englobam os sistemas, é possível eliminar algumas etapas, dependendo do objetivo do estudo.

O presente método propõe que sejam consideradas todas as etapas do ciclo de vida ou etapas isoladas.

### **3.3 Caracterização e levantamento de dados**

Na fase de caracterização e levantamento dos dados devem ser realizados levantamentos dos usos finais de água da edificação que será analisada, levantamentos de dados quantitativos e ambientais de materiais utilizados nos sistemas prediais de água potável e pluvial da edificação.

#### **3.3.1 Dados de usos finais de água**

O objetivo do levantamento dos usos finais de água no presente método é verificar o percentual de usos para fins não potáveis, que corresponde à demanda de água pluvial. Estes dados são necessários para o dimensionamento dos reservatórios de armazenamento de água pluvial.

---

---

De acordo com a tipologia da edificação, deve-se definir em quais pontos de utilização é recomendado pela literatura o uso de água pluvial para fins não potáveis.

No caso de edificações já existentes, o levantamento de usos finais deve ser estimado preferencialmente por medição *in loco*. Porém, como alternativa para situações em que não seja possível realizar o levantamento de usos finais por medição *in loco*, pode-se verificá-los a partir das médias de frequência e tempo de uso da água e das vazões em cada aparelho sanitário.

Para edificações em fase de projeto, podem ser utilizados dados disponíveis na literatura a respeito de usos finais de água, verificando os usos não potáveis. No entanto, esses dados devem ser de regiões próximas ao local estudado, pois devido às diferentes condições climáticas, aspectos sociais, econômicos e culturais podem ocorrer variações de consumo de água.

### **3.3.2 Dados dos sistemas hidráulicos prediais**

Na fase de caracterização dos sistemas hidráulicos prediais deve-se especificar e definir, de acordo com a tipologia do sistema que será estudado, os componentes e equipamentos pertencentes aos sistemas e seus respectivos materiais constituintes que serão avaliados.

O método proposto considera que os projetos já estejam elaborados e dimensionados. Os projetos deverão estar de acordo com a norma NBR 5626 - Instalação Predial de Água Fria (ABNT, 1998).

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial devem estar de acordo com a norma NBR 10844 – Instalações Prediais de Águas Pluviais (ABNT, 1989), que fixa as exigências pelas quais devem ser projetadas e executadas as instalações prediais de águas pluviais, atendendo às condições técnicas mínimas de higiene, segurança, durabilidade, economia e conforto dos usuários. Também, deverão atender os requisitos para o aproveitamento de água pluvial de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis fornecidos pela NBR 15527 (ABNT, 2007).

Para a correta identificação e diferenciação das tubulações de água pluvial e de água potável, os projetos devem atender as recomendações da NBR 6493 – Emprego de cores para identificação de tubulações (ABNT, 1994).

Os projetos dos sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública e dos sistemas hidráulicos prediais que utilizam água potável complementados por aproveitamento de água

---

pluvial devem ser verificados separadamente para possibilitar comparações entre os mesmos.

Para a quantificação dos materiais é preciso realizar um levantamento de todo material utilizado para a implantação de cada sistema hidráulico predial avaliado, baseado nos projetos dos sistemas prediais da edificação.

Devem ser quantificados os materiais que constituem os principais componentes e equipamentos pertencentes a cada sistema. Tubulações, conexões e reservatório superior de água potável são itens comuns aos sistemas. No caso do sistema complementado com aproveitamento de água pluvial são quantificados também os seguintes itens: motobombas, reservatório superior e reservatório inferior de armazenamento de água pluvial, dispositivos e acessórios.

Além disso, para realizar a quantificação de materiais faz-se necessário obter a massa (kg) de cada equipamento, pois geralmente os dados de energia embutida utilizados são apresentados em MJ/kg. No entanto, conforme comentado no item 2.5, alguns autores apresentam valores de energia embutida em MJ/m<sup>3</sup> de material produzido, ou em kWh/kg ou kWh/m<sup>3</sup>.

A obtenção da massa pode ser realizada contatando as empresas fabricantes de cada componente, ou pesando os mesmos.

### **3.3.3 Dados ambientais**

Propõe-se o levantamento dos seguintes dados referentes aos principais equipamentos e componentes dos sistemas hidráulicos prediais que utilizam água potável da rede pública e sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial:

- Matérias-primas;
- Energia embutida;
- Resíduos e emissões.

Esta etapa envolve, preliminarmente, o contato com as indústrias e sua disposição no fornecimento dos dados. Os dados coletados diretamente das empresas produtoras são chamados de dados primários, e possuem maior representatividade no estudo e, portanto, devem ser preferencialmente utilizados. Os dados não fornecidos pelas indústrias são obtidos a partir de fontes secundárias como: literatura, bases de dados internacionais, entre outras; e analisados para agregação criteriosa ao estudo (BORGES, 2004).

---

---

Para levantar dados referentes às matérias-primas dos principais equipamentos e componentes dos sistemas é necessário verificar os seus principais materiais constituintes.

Já a verificação do consumo de energia nas etapas do ciclo de vida dos componentes que serão analisados, requer que seja realizado um levantamento de energia embutida nos processos envolvidos. Neste trabalho, conforme explanado no item 2.5, a terminologia de energia embutida é utilizada para definir o somatório dos requisitos energéticos para as etapas do ciclo de vida analisadas de um equipamento ou componente do sistema.

Os dados de resíduos gerados devem apresentar os principais resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas e outras emissões verificadas nos processos de fabricação dos equipamentos. Contudo, John et al. (2007) observam que a quantificação das emissões nem sempre é possível, pois as empresas tendem a considerá-las confidenciais. Estimativas e caracterizações qualitativas, por outro lado, são possíveis a partir de pesquisas em bibliografias disponíveis.

### **3.4 Avaliação ambiental**

A avaliação ambiental quantifica o uso de recursos naturais e emissões ambientais associadas ao sistema que está sendo analisado.

O balanço de massa-energia deve ser preliminarmente estabelecido para assegurar que o fluxo de entrada de matéria encontre uma saída quantificada. A descrição desse fluxo permite colocar em evidência certos fatores de alterações ambientais como, por exemplo, o consumo de recursos naturais (matérias-primas e energia), os resíduos (sólidos, líquidos e gasosos) e outras emissões (SOARES et al., 2006).

O procedimento para a coleta de dados para realizar o balanço pode variar em função dos objetivos, mas é fundamental que seja feito o registro de todas as informações, fontes e hipóteses admitidas no estudo.

#### **3.4.1 Matérias-primas**

Nesta avaliação são verificadas as matérias-primas utilizadas para fabricação dos materiais constituintes dos componentes e equipamentos pertencentes aos sistemas.

Além disso, deve-se considerar aspectos sobre a disponibilidade de seus constituintes primários em jazidas, e sobre a renovabilidade das fontes de matérias-primas.

---

O conhecimento das matérias-primas utilizadas nos produtos fabricados possibilita a escolha de alternativas que contemplem a redução do uso de matérias-primas<sup>6</sup>, ou insumos<sup>7</sup>, perigosos e poluentes, priorizando as renováveis.

### 3.4.2 Energia embutida

A energia embutida em um sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública ou em um sistema hidráulico predial complementado por aproveitamento de água pluvial é calculada com base nos tipos e quantidades de materiais constituintes dos mesmos, conjugados com coeficientes de energia para cada material. A Equação 3.1 apresenta como é estimada a energia embutida em um componente do sistema.

$$EE_{\text{comp}} = M * EE \quad [\text{Eq. 3.1}]$$

Onde:

$EE_{\text{comp}}$  é a energia embutida em um componente do sistema (MJ);

$M$  é a massa do componente do sistema (kg/unidade);

$EE$  é a energia embutida no material predominante no componente (MJ/kg).

Ao longo da vida útil do sistema são necessárias manutenções e trocas de equipamentos e componentes. De acordo com Adalberth (1996), para calcular o número de vezes que os componentes devem ser trocados ao longo da vida útil de um sistema utiliza-se a fórmula apresentada na Equação 3.2.

$$n_r = \frac{T_{\text{sist}}}{T_{\text{comp}}} - 1 \quad [\text{Eq. 3.2}]$$

Onde:

---

<sup>6</sup> Matéria-prima é a substância principal e essencial na composição de um produto, que é submetida a um processo de beneficiamento ou transformação, para a obtenção deste produto.

<sup>7</sup> Insumo é toda a substância que faz parte do processo produtivo, beneficiando ou transformando a matéria-prima.

---

$n_r$  é o número de vezes que os componentes devem ser trocados ao longo da vida útil do sistema (vezes/vida útil do sistema);  
 $T_{sist}$  é a vida útil do sistema (anos);  
 $T_{comp}$  é a vida útil do equipamento e/ou componente (anos).

A energia embutida total em manutenções e trocas de componentes durante a vida útil do sistema é verificada através da Equação 3.3.

$$EE_{manut} = \sum_{i=1}^n (n_r * EE_{comp})_i \quad [\text{Eq. 3.3}]$$

Onde:

$EE_{manut}$  é a energia embutida total em manutenções e trocas de componentes durante a vida útil do sistema (MJ);

$n_r$  é o número de vezes que os componentes devem ser trocados ao longo da vida útil do sistema (vezes/vida útil do sistema);

$EE_{comp}$  é a energia embutida em um componente do sistema (MJ);

$n$  é o número de componentes dos sistemas que necessitam de trocas.

A estimativa da energia embutida total durante a vida útil do sistema é dada pelo somatório da energia embutida de cada componente que o compõe, adicionando-se também a energia embutida total em manutenção e trocas de componentes, conforme apresenta a Equação 3.4.

$$EE_{sist} = \left( \sum_{i=1}^n EE_{comp\ i} \right) + EE_{manut} \quad [\text{Eq. 3.4}]$$

Onde:

$EE_{sist}$  é a energia embutida total durante a vida útil do sistema (MJ);

$EE_{comp}$  é a energia embutida em um componente do sistema (MJ);

$EE_{manut}$  é a energia embutida total em manutenções e trocas de componentes durante a vida útil do sistema (MJ);

$n$  é o número de componentes do sistema.

### 3.4.3 Resíduos e emissões

A verificação de resíduos e emissões geradas tem por objetivo identificar e quantificar os principais resíduos sólidos, efluentes líquidos e emissões atmosféricas e outras emissões verificadas nos processos de fabricação dos componentes pertencentes a um sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública ou em um sistema hidráulico predial complementado por aproveitamento de água pluvial.

Os resíduos e as emissões geradas nos processos de fabricação de cada componente são verificados separadamente, através da Equação 3.5.

$$R_{\text{comp}} = M * R \quad [\text{Eq. 3.5}]$$

Onde:

$R_{\text{comp}}$  é a quantidade de resíduo ou a emissão de determinado poluente gerado nos processos de fabricação de um componente do sistema (kg);

$M$  é a massa do componente do sistema (t);

$R$  é a quantidade de resíduo ou emissão de determinado poluente gerado nos processos de fabricação do material constituinte do componente (kg/t).

Através da Equação 3.5, obtém-se a quantidade de diferentes resíduos ou emissões geradas para cada componente do sistema. Para a estimativa total de resíduos e emissões geradas pelo sistema, verificam-se separadamente os totais de cada tipo de resíduo e de cada tipo de emissão, através do somatório de resíduos ou emissões iguais existentes no sistema, conforme apresenta a Equação 3.6.

$$R_{\text{total}} = \sum_{i=1}^n R_{\text{comp } i} \quad [\text{Eq. 3.6}]$$

Onde:

$R_{\text{total}}$  é a quantidade total de resíduo ou emissão de determinado poluente gerado nos processos de fabricação dos componentes do sistema (kg);

---

$R_{\text{comp}}$  é a quantidade de resíduo ou emissão de determinado poluente gerado nos processos de fabricação de um componente do sistema (kg);

$n$  é o número de componentes utilizados durante a vida útil do sistema.

As equações 3.5 e 3.6 possibilitam verificar quais os componentes responsáveis por maior quantidade de cada poluente em relação ao respectivo total obtido para o sistema. O principal poluente gerado nos processos de fabricação dos componentes do sistema será aquele que apresentar maior quantidade presente nos sistemas.

### 3.5 Avaliação econômica

A avaliação econômica tem como objetivo verificar os custos de sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública, e também os custos, os benefícios e o período de retorno de investimento para a implantação e operação de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial.

Esta etapa é necessária para o método proposto porque possibilita verificar a viabilidade econômica dos sistemas. Além disso, por meio dos custos verificados na avaliação econômica serão calculados os indicadores de viabilidade, que serão apresentados no item 3.6.

Ao longo da vida útil de uma edificação seus componentes vão necessitar naturalmente de manutenção regular e eventual reposição. Os custos com manutenção do sistema são correspondentes aos gastos com reposição ou troca de componentes, conservação preventiva, e reparação de possíveis avarias no sistema.

Os custos referentes às manutenções do sistema são calculados por meio da Equação 3.7. Ressalta-se que esses custos são verificados para ambos os sistemas analisados (com ou sem aproveitamento de água pluvial). O valor dos custos de manutenções será adicionado ao custo total de instalação do sistema.

$$c_{\text{manut}} = \sum_{i=1}^n (n_{r*} c_{\text{comp}})_i \quad [\text{Eq. 3.7}]$$

Onde:

$C_{manut}$  são os custos de manutenções e trocas de componentes durante a vida útil do sistema (R\$);

$n_r$  é o número de vezes que os componentes devem ser trocados (vezes/ano);

$C_{comp}$  são os custos de trocas de componentes e mão-de-obra para manutenção do sistema (R\$/ano);

$n$  é o número de componentes dos sistemas que necessitam de trocas.

O custo total de instalação e manutenção de um sistema hidráulico predial é verificado através da Equação 3.8. Para os sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública, os custos incluem todas as despesas com os sistemas hidráulicos prediais de água fria e de água quente.

Já para os sistemas hidráulicos prediais que utilizam água potável da rede pública complementados por aproveitamento de água pluvial, os custos de instalação e manutenção englobam todos os custos com os sistemas hidráulicos prediais de água fria, de água quente e de água pluvial. No caso da instalação em uma edificação já existente, é necessário somar também os custos de reformas.

$$C_{sist\_total} = C_{materiais} + C_{mão-de-obra} + C_{manut} \quad [Eq. 3.8]$$

Onde:

$C_{sist\_total}$  é o custo total de instalação e manutenção do sistema hidráulico predial (sem ou com aproveitamento de água pluvial) durante a vida útil do sistema (R\$);

$C_{materiais}$  são os custos de materiais e equipamentos para a instalação do sistema (R\$);

$C_{mão-de-obra}$  são os custos de mão-de-obra para a instalação e manutenção do sistema (R\$);

$C_{manut}$  são os custos de manutenção e trocas dos componentes durante a vida útil do sistema (R\$).

A estimativa dos custos de materiais e equipamentos necessários para implantação do sistema pode ser realizada por meio de uma pesquisa de preço em lojas de materiais de construção locais, verificando o preço médio de cada item.

Os custos de mão-de-obra podem ser obtidos através de uma estimativa de preço realizada por profissionais especializados em

---

execução de sistemas hidráulicos prediais, ou através de custos de mão-de-obra estabelecidos pelo Sindicato da Indústria de Construção Civil (SINDUSCON) local.

Para os sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial que necessitam de bombeamento da água pluvial do reservatório de armazenamento para o reservatório superior através de motobombas, devem-se verificar os custos operacionais referentes à energia elétrica consumida para o bombeamento.

De acordo com Mizgier et al. (2004), a energia utilizada por um sistema de motobombas depende do design do equipamento, tipo de instalação e padrão de uso do sistema. Todos estes fatores estão interligados e é por isso que todos eles devem ser acoplados cuidadosamente durante toda a vida útil do sistema para assegurar baixos custos de operação, consumo energético adequado e outros benefícios.

O custo unitário de energia de bombeamento, em unidades monetárias por quilowatt-hora, é estabelecido em conformidade com as tarifas cobradas pelas empresas concessionárias de energia elétrica. De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2009), as tarifas cobradas dos consumidores finais estruturam-se tanto por nível de tensão quanto por classe de consumo.

Através da Equação 3.9 é possível determinar primeiramente o consumo de energia elétrica devido ao bombeamento de água pluvial. O tempo de operação da motobomba será estimado com auxílio de informações apresentadas em catálogos de fabricantes.

$$E_{\text{bomb}} = 30 * P_m * t \quad [\text{Eq. 3.9}]$$

Onde:

$E_{\text{bomb}}$  é a energia elétrica mensal consumida para o bombeamento de água pluvial (kWh/mês);

$P_m$  é a potência da motobomba (kW);

$t$  é o tempo diário de operação da motobomba (h/dia).

O custo mensal de energia elétrica devido ao bombeamento de água pluvial, que tem como base o valor cobrado pela concessionária de energia elétrica, é determinado pela Equação 3.10.

$$C_{\text{bomb}} = E_{\text{bomb}} * C_c \quad [\text{Eq. 3.10}]$$

Onde:

$C_{\text{bomb}}$  é o custo mensal de energia elétrica para o bombeamento de água pluvial (R\$/mês);

$E_{\text{bomb}}$  é a energia elétrica mensal consumida para o bombeamento de água pluvial (kWh/mês);

$c_c$  é o valor cobrado pela concessionária de energia elétrica (R\$/kWh).

Os benefícios do aproveitamento de água pluvial verificados nesta avaliação são:

- Benefício monetário (R\$);
- Economia mensal de água potável (m<sup>3</sup>).

Para verificar o benefício econômico obtido com a implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial deve-se verificar primeiramente os custos da utilização da água potável, ou seja, o valor do metro cúbico de água fornecida pela concessionária local. Os custos da utilização da água potável são classificados de acordo com a natureza da finalidade da edificação (residencial, comercial, industrial ou pública). No caso de edificações residenciais, verifica-se a tarifa cobrada pela concessionária local de abastecimento de água potável de acordo com o padrão da residência. Além disso, para os locais em que há rede coletora de esgotos deve-se verificar o acréscimo na cobrança da concessionária referente ao volume de esgoto gerado.

Por meio da aplicação da Equação 3.11 é possível verificar qual será o custo de distribuição com água potável, considerando o potencial de economia de água potável obtido através do aproveitamento de água pluvial.

$$C_{\text{pluvial}} = C_{\text{potável}} * \left(1 - \frac{P_{ec}}{100}\right) * c_c \quad [\text{Eq. 3.11}]$$

Onde:

$C_{\text{pluvial}}$  é o custo mensal de água potável considerando a utilização de água pluvial (R\$/mês);

$C_{\text{potável}}$  é o consumo mensal de água potável sem uso de água pluvial (m<sup>3</sup>/mês);

$P_{ec}$  é o potencial de economia de água potável obtido através do sistema (%);

---

$c_c$  é o valor cobrado pela concessionária pela água potável consumida e o esgoto gerado de acordo com a tipologia e o padrão da edificação (R\$/m<sup>3</sup>).

O volume de água potável economizado por meio do aproveitamento de água pluvial é obtido por meio da Equação 3.12.

$$E_m = C_{\text{potável}} - C_{\text{pluvial}} \quad [\text{Eq. 3.12}]$$

Onde:

$E_m$  é a economia mensal de água gerada pelo sistema (m<sup>3</sup>/mês);

$C_{\text{potável}}$  é o consumo mensal de água potável sem uso de água pluvial (m<sup>3</sup>/mês);

$C_{\text{pluvial}}$  é o consumo mensal de água potável considerando a utilização de água pluvial (m<sup>3</sup>/mês).

Para verificar a benefício monetário gerado pela implantação do sistema, é necessário calcular a diferença entre o custo mensal de água potável (sem uso de água pluvial) e o custo mensal com o aproveitamento de água pluvial, considerando os custos mensais de energia elétrica para o bombeamento de água pluvial. Essa diferença representa a economia em reais (R\$), relativa ao consumo de água, conforme apresentado na Equação 3.13.

$$B_m = C_{\text{potável}} - (C_{\text{pluvial}} + C_{\text{bomb}}) \quad [\text{Eq. 3.13}]$$

Onde:

$B_m$  é o benefício monetário gerado pelo aproveitamento de água pluvial (R\$/mês);

$c_{\text{potável}}$  é o custo mensal de água potável sem uso de água pluvial (m<sup>3</sup>/mês);

$c_{\text{pluvial}}$  é o custo mensal de água potável considerando a utilização de água pluvial (R\$/mês);

$c_{\text{bomb}}$  é o custo mensal de energia elétrica para o bombeamento de água pluvial (R\$/mês).

Depois de verificados todos os custos e a economia gerada, a próxima etapa da análise de viabilidade econômica para a implantação de um sistema hidráulico predial complementado por aproveitamento de água pluvial é a verificação do período de retorno do investimento

inicial.

Porém, para obter o período de retorno é necessário calcular primeiramente o valor do investimento inicial de implantação de um sistema hidráulico predial complementado por aproveitamento de água pluvial.

A Equação 3.14 apresenta os custos considerados para o cálculo do investimento inicial, que se refere aos custos correspondentes aos equipamentos e componentes necessários apenas para realizar o aproveitamento de água pluvial (motobombas, tubos, conexões, reservatórios superior de água pluvial, reservatório inferior de armazenamento de água pluvial, dispositivos e acessórios). Ressalta-se que o valor do investimento inicial não engloba os custos em manutenções.

$$I_{\text{inicial}} = C_{\text{materiais\_pluv}} + C_{\text{mão-de-obra\_pluv}} \quad [\text{Eq. 3.14}]$$

Onde:

$I_{\text{inicial}}$  é o investimento inicial para instalação de equipamentos e componentes necessários para realizar o aproveitamento de água pluvial (R\$);

$C_{\text{materiais\_pluv}}$  são os custos de equipamentos e componentes necessários para realizar o aproveitamento de água pluvial (R\$);

$C_{\text{mão-de-obra\_pluv}}$  são os custos de mão-de-obra para instalação de equipamentos e componentes necessários para realizar o aproveitamento de água pluvial (R\$).

Calcula-se o período de retorno do investimento inicial através do método do payback descontado, que leva em consideração o valor do dinheiro no tempo, descontando os fluxos de caixa a uma determinada taxa, de acordo com a Equação 3.15.

$$I_{\text{inicial}} \leq \sum_{i=1}^m \frac{B_m}{(1+r)^m} \quad [\text{Eq. 3.15}]$$

Onde:

$I_{\text{inicial}}$  é o investimento inicial para instalação de equipamentos e componentes necessários para realizar o aproveitamento de água pluvial (R\$);

$m$  é o tempo de retorno (meses);

---

$B_m$  é o benefício monetário mensal gerado pelo aproveitamento de água pluvial (R\$/mês);  
 $r$  é a taxa mínima de atratividade (adimensional).

O tempo de retorno do capital é numericamente igual ao valor de 'm' que iguala ou torna imediatamente inferior a condição expressa pela Equação 3.15 para  $I_{\text{inicial}}$  (investimento inicial).

### **3.6 Indicadores de viabilidade**

Os indicadores de viabilidade são índices quantitativos, propostos com o objetivo de possibilitar análises comparativas, referentes a aspectos ambientais e econômicos de sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública e de sistemas hidráulicos prediais que utilizam água potável da rede pública complementados por aproveitamento de água pluvial.

Através destes indicadores é possível observar a relação entre a energia embutida no sistema e o consumo de água potável na edificação, considerando ou não o aproveitamento de água pluvial. Além disso, observa-se, por meio dos indicadores, a relação entre o consumo de água e algumas variáveis obtidas nas etapas de avaliação ambiental e econômica.

Todos os indicadores propostos estão relacionados com a unidade funcional, ou seja, com o consumo de água potável na edificação analisada durante a vida útil do sistema. Quanto maior o valor dos indicadores relacionados a aspectos ambientais, maior o impacto ambiental do sistema. Com relação ao indicador relativo a aspectos econômicos, quanto maior o valor deste indicador, maior os custos do sistema.

Os indicadores propostos a seguir nas equações 3.16 a 3.19 devem ser calculados considerando dois cenários para a mesma edificação:

(1<sup>o</sup>) considerando que edificação possui sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública;

(2<sup>o</sup>) considerando que edificação possui sistema hidráulico predial que utiliza água potável da rede pública complementado por aproveitamento de água pluvial.

Quando é realizado o aproveitamento de água pluvial, o consumo de água potável é reduzido, no entanto, é necessária maior quantidade de equipamentos e componentes para o funcionamento do

sistema hidráulico predial, o que implica em maior energia embutida total no sistema.

Por outro lado, os sistemas prediais que utilizam apenas água potável da rede pública apresentam menor quantidade de componentes para o seu funcionamento, porém o volume de água potável fornecido pela concessionária é maior, sendo, portanto, necessário contabilizar a energia consumida em cada metro cúbico de água potável fornecido pela concessionária de abastecimento de água.

Deste modo, através da Equação 3.16 é verificado o indicador de energia embutida por unidade de consumo de água potável. Para calcular este indicador é necessário considerar a energia consumida (energia embutida) por metro cúbico de água produzida, obtida em dados de serviços de saneamento da cidade ou região em que a edificação se localiza.

$$I_{EE} = \frac{EE_{sist} + (C_{\text{água}} * EE_{conces})}{C_{\text{água}}} \quad [\text{Eq. 3.16}]$$

Onde:

$I_{EE}$  é o indicador de energia embutida por consumo de água potável ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ );

$EE_{sist}$  é a energia embutida na vida útil do sistema hidráulico predial (MJ);

$C_{\text{água}}$  é o consumo de água potável na edificação durante a vida útil do sistema ( $\text{m}^3$ );

$EE_{conces}$  é a energia consumida por  $\text{m}^3$  de água produzida na concessionária de abastecimento de água local ( $\text{MJ}/\text{m}^3$ ).

Assim, através do indicador de energia embutida por consumo de água ( $I_{EE}$ ) é possível avaliar qual sistema hidráulico predial, sem ou com aproveitamento de água pluvial, é mais viável ambientalmente.

Ressalta-se que, quanto ao volume de esgoto gerado na edificação com sistema hidráulico predial complementado ou não por aproveitamento de água pluvial, é o mesmo, pois o aproveitamento de água pluvial apenas substitui a utilização de água potável por pluvial. Portanto, a energia consumida no tratamento de esgotos ( $\text{MJ}/\text{m}^3$  de esgoto tratado) não será avaliada através destes indicadores, porque é a mesma tanto para a situação em que a edificação utiliza água pluvial ou não utiliza.

A energia embutida por consumo de água nas manutenções que

---

serão necessárias de acordo com a vida útil dos componentes do sistema é verificada através da Equação 3.17, por meio de um indicador baseado na energia embutida total em manutenções e trocas ao longo da vida útil do sistema.

$$I_{\text{manut}} = \frac{EE_{\text{manut}}}{C_{\text{água}}} \quad [\text{Eq. 3.17}]$$

Onde:

$I_{\text{manut}}$  é o indicador de manutenções do sistema durante a sua vida útil por consumo de água potável (MJ/m<sup>3</sup>);

$EE_{\text{manut}}$  é a energia embutida total em manutenções e trocas de componentes durante a vida útil do sistema (MJ);

$C_{\text{água}}$  é o consumo de água potável na edificação durante a vida útil do sistema (m<sup>3</sup>).

Para calcular o indicador de emissões ou resíduos do principal poluente verificado nos processos de fabricação dos componentes do sistema por consumo de água potável, utiliza-se a Equação 3.18.

$$I_{\text{emis}} = \frac{R_{\text{total}}}{C_{\text{água}}} \quad [\text{Eq. 3.18}]$$

Onde:

$I_{\text{emis}}$  é o indicador da principal emissão/resíduo gerado na fabricação dos componentes do sistema por consumo de água potável (kg/m<sup>3</sup>);

$R_{\text{total}}$  é quantidade total de emissão ou resíduo do principal poluente gerado na fabricação dos componentes utilizados na vida útil do sistema (kg);

$C_{\text{água}}$  é o consumo de água potável na edificação durante a vida útil do sistema (m<sup>3</sup>).

Para calcular o indicador de custo total de instalação do sistema por consumo de água potável na edificação, utiliza-se a Equação 3.19. Ressalta-se que o custo total de instalação do sistema hidráulico predial deve englobar os custos de manutenções e trocas de equipamentos durante a vida útil do sistema.

$$I_{\text{custos\_sist}} = \frac{C_{\text{sist\_total}}}{C_{\text{água}}} \quad [\text{Eq. 3.19}]$$

Onde:

$I_{\text{custos\_sist}}$  é o indicador de custo total do sistema por consumo de água potável (R\$/m<sup>3</sup>);

$C_{\text{sist\_total}}$  é o custo total de instalação e manutenção durante a vida útil do sistema hidráulico predial (R\$);

$C_{\text{água}}$  é o consumo de água potável na edificação durante a vida útil do sistema (m<sup>3</sup>).

### 3.7 *Comparações entre sistemas*

Para a realização de análises comparativas através da ACV é necessário definir e quantificar as características de desempenho e promover a equivalência entre os sistemas analisados, ou seja, os mesmos devem ser comparados utilizando-se das mesmas considerações metodológicas (ABNT, 2001).

Da mesma forma, para a comparação entre sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública e sistemas hidráulicos prediais que utilizam água potável complementados por aproveitamento de água pluvial, deve ser avaliada a equivalência dos sistemas que serão comparados antes da interpretação dos resultados. Ressalta-se que os sistemas devem ser comparados tendo-se como base uma mesma função, utilizando-se da mesma unidade funcional exercida durante determinado período.

As comparações entre uma edificação com sistema hidráulico predial complementado por aproveitamento de água pluvial e com sistema que utiliza apenas água potável da rede pública são realizadas comparando os indicadores calculados através das equações 3.16 a 3.19 (item 3.6) para ambas as situações (com ou sem uso de água pluvial).

Inicialmente comparam-se os indicadores de energia embutida por consumo de água potável. Depois disso, comparam-se os indicadores de manutenções do sistema por consumo de água potável.

O indicador de custo de instalação total por consumo de água potável do sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública é comparado com o indicador de custo total de instalação do sistema hidráulico predial complementado por aproveitamento de água pluvial.

Além disso, compara-se o indicador da principal

emissão/resíduo gerado na fabricação dos componentes do sistema por consumo de água potável.

De acordo com o exposto anteriormente, os indicadores servem como comparativos de desempenho ambiental e econômico para avaliar a viabilidade dos sistemas.

O sistema que apresentar menor valor para os indicadores será considerado menos impactante ambientalmente.

Já o sistema que apresentar valor mais baixo para o indicador de custo total de instalação por consumo de água potável, possui menor custo total por metro cúbico de água potável consumido, sendo, portanto, considerado mais viável economicamente.

No próximo capítulo, serão apresentados estudos de caso demonstrando a aplicação do método proposto.

---



## **4 ESTUDOS DE CASO**

### **4.1 Introdução**

Como exemplos de aplicação do método proposto foram realizados estudos de caso para três edificações residenciais, de baixo, médio e alto padrão, localizadas em Florianópolis/SC.

Para cada estudo de caso foram analisadas três opções de sistemas. Cada opção apresentou o reservatório inferior de armazenamento de água pluvial composto por um material diferente: plástico reforçado com fibra de vidro, polietileno de alta densidade e concreto armado. O material adotado para os reservatórios superiores de água potável e pluvial, em todos os estudos de caso, foi o plástico reforçado com fibra de vidro.

A avaliação dos estudos de caso contemplou as etapas de extração de matérias-primas, processos de transformação, produção e uso dos componentes dos sistemas.

### **4.2 Método**

Este item detalha a aplicação do método proposto para a avaliação de viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial em três estudos de caso. De acordo com as situações existentes em cada residência foi necessário acrescentar alguns itens além dos itens propostos pelo método.

#### **4.2.1 Definição de objetivos e escopo**

O objetivo dos estudos de caso é comprovar a aplicabilidade do método proposto para diferentes padrões de edificações residenciais.

Além disso, objetiva avaliar comparativamente sistemas de aproveitamento de água pluvial com diferentes opções de materiais para o reservatório inferior de armazenamento de água pluvial.

O tempo de vida útil adotado para os sistemas hidráulicos prediais analisados foi de 20 anos, considerando reposição dos componentes que não tenham esse tempo de vida.

Para cada estudo de caso, definiu-se como unidade funcional o volume de água consumido na residência durante a vida útil do sistema hidráulico predial, de acordo com a demanda de água potável (sem ou com uso de água pluvial) em cada padrão residencial.

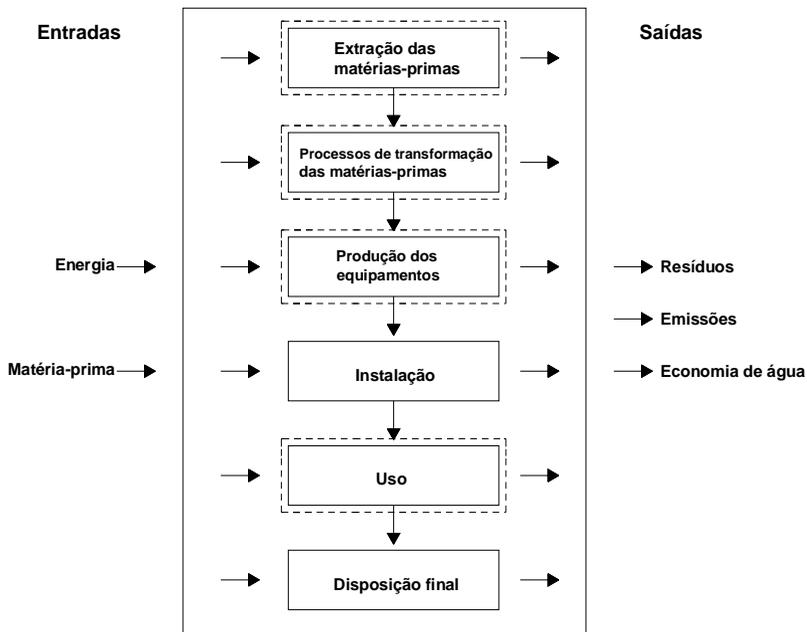
---

Para a avaliação comparativa entre sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial com diferentes de materiais para o reservatório inferior de armazenamento de água pluvial, utilizou-se o mesmo volume do reservatório inferior para as três opções sistemas analisados em cada residência.

As entradas avaliadas foram energia embutida e matérias-primas utilizadas, já as saídas, englobam os resíduos, as emissões geradas e a economia de água obtida com o sistema de aproveitamento de água pluvial.

Em cada estudo de caso foram avaliadas as etapas de extração e transformação das matérias-primas, produção e uso dos componentes dos sistemas.

A Figura 9 apresenta um fluxograma ilustrativo com as entradas e saídas do ciclo de vida, e as etapas do ciclo de vida ou fronteiras dos sistemas que foram consideradas.



**Figura 9 – Fluxograma com as entradas e saídas do ciclo de vida dos sistemas analisados nos estudos de casos.**

---

## **4.2.2 Caracterização e levantamento de dados**

### **4.2.2.1 Parâmetros para definição das residências**

Existe uma variada gama de tipologias de edificações no país, contudo, de acordo com pesquisas realizadas nos últimos anos, a tipologia predominante em nível urbano ou rural é a residencial (PNAD, 2002 apud TAVARES, 2006). O setor residencial de Florianópolis possui 75% de edificações unifamiliares e 25% de multifamiliares (IPUF, 2006 apud PROENÇA et al., 2008).

Desta forma, nos estudos de caso foram analisadas particularmente edificações residenciais unifamiliares, pois representam melhor a tipologia predominante no país e na cidade em estudo.

A localização das residências é o município de Florianópolis – SC, localizado na região Sul do Brasil. A escolha deu-se em função da disponibilidade de alguns dados necessários ao estudo, e, além disso, devido ao grande crescimento da construção civil ocorrido nas últimas décadas, o que implica em maior consumo dos recursos naturais.

A partir das características das edificações residenciais brasileiras, verificadas em pesquisas nacionais, foram selecionados projetos de habitações que buscaram representar um perfil do setor residencial do país e de Florianópolis.

Além disso, a escolha do projeto arquitetônico de cada residência buscou priorizar os padrões arquitetônicos e características das residências apresentadas pela NBR 12721 (ABNT, 2005) que classifica os padrões residenciais em baixo, médio e alto.

### **4.2.2.2 Residências escolhidas**

Buscou-se escolher para os estudos de caso residências que representassem de modo geral os diferentes padrões de edificações residenciais. A residência de baixo padrão é uma edificação unifamiliar com 61,3 m<sup>2</sup> de área construída. O projeto arquitetônico, projeto hidrossanitário e quantitativos de materiais desta residência foram fornecidos pela Companhia de Habitação do Estado de Santa Catarina – COHAB.

A residência de médio padrão possui 118 m<sup>2</sup> de área construída e a residência de alto padrão, 617 m<sup>2</sup>. Os projetos (arquitetônico e hidrossanitário) de cada residência foram fornecidos por profissionais da área de engenharia civil.

Os projetos das residências de médio e alto padrão já

---

apresentavam sistema de aproveitamento de água pluvial. No entanto, foram necessárias algumas modificações nos projetos originais para adequá-los às características almeçadas para os sistemas estudados.

O projeto hidrossanitário original da residência de baixo padrão não contemplava o aproveitamento de água pluvial, por isso, foi preciso elaborar um novo projeto com sistema de aproveitamento de água pluvial, e dimensionar os seus componentes. As plantas baixas dos três padrões de residências estão apresentadas no Apêndice 1.

#### 4.2.2.3 Usos finais de água

Os dados relacionados com o perfil de consumo de água pluvial das residências foram obtidos de estudos sobre usos finais realizados por Ghisi e Oliveira (2007), Peters (2006) e Ghisi e Ferreira (2007) em edificações residenciais unifamiliares e multifamiliares localizadas na região da grande Florianópolis. Os dados de usos finais de água verificados nestes estudos encontram-se apresentados no item 2.2 da revisão de literatura.

Assumiu-se que as edificações consideradas nos estudos supracitados seriam representativas para caracterizar o setor residencial de Florianópolis, e assim adotou-se a faixa de consumo de água para fins não potáveis apresentada na Tabela 12 para definir o perfil de consumo de água pluvial nas residências analisadas.

**Tabela 12 – Usos não potáveis adotados para as residências analisadas.**

Ponto de utilização de água não potável	Usos finais (%)		
	Peters (2006)	Ghisi e Oliveira (2007)	Ghisi e Ferreira (2007)
Bacias sanitárias	22,0	28,0	33,2
Máquina de lavar roupas	--	7,2	4,7
Tanque (limpeza geral)	27,0	--	2,9
<b>Total de consumo não potável</b>	<b>49,0</b>	<b>35,2</b>	<b>40,8</b>

A faixa de consumo não potável adotada foi arredondada para 30% a 50%, a qual corresponde à porcentagem de água potável a ser substituída por pluvial. Variou-se esta faixa de usos finais não potáveis em intervalos de 10%, sendo assim, os percentuais simulados no programa Netuno (GHISI et al.,2010) foram 30%, 40% e 50%.

Os usos não potáveis adotados nas residências são considerados aceitáveis pela maioria das pesquisas existentes na literatura nacional.

Com relação à utilização de água pluvial em descarga de bacias sanitárias, ressalta-se que não existem evidências epidemiológicas que justifiquem a necessidade de desinfecção da água. Porém, a água pluvial destinada ao tanque e máquina de lavar roupas possibilita contato primário com os usuários, sendo, portanto, necessária desinfecção. Por isso, deve ser instalada uma bomba dosadora de cloro junto ao reservatório superior de água pluvial em todas as residências, para garantir a segurança dos usuários.

#### **4.2.2.4 Sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública**

Para os sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública (sem aproveitamento de água pluvial) analisados nos estudos de caso, adotaram-se como principais componentes e seus respectivos materiais constituintes os dados apresentados na Tabela 13. Esses sistemas foram chamados de Sistema A.

**Tabela 13 – Materiais constituintes dos sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública.**

<b>Sistema A</b>	
<b>Componentes</b>	<b>Materiais constituintes</b>
Reservatório superior	PRFV
Tubulações	PVC
Conexões	PVC
Tubulações e conexões de outros materiais	Metal, latão e cobre

Considerou-se que os sistemas são indiretos, e o sistema de abastecimento de água é público, ou seja, proveniente da concessionária de água local. Os diâmetros das tubulações, registros e conexões estão especificados nos projetos. As planilhas de especificação e quantificação de componentes dos sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública das três residências estão apresentadas no Apêndice 2.

#### **4.2.2.5 Sistemas hidráulicos prediais que utilizam água potável da rede pública complementados por aproveitamento de água pluvial**

A caracterização dos sistemas hidráulicos prediais que utilizam água potável da rede pública complementados por aproveitamento de água pluvial incluiu a definição de localização dos reservatórios, uso de certos acessórios e dispositivos hidráulicos, de acordo com a finalidade do uso da água pluvial.

Considerou-se que os sistemas de aproveitamento de água pluvial analisados nos estudos de caso funcionam da seguinte forma:

1. A precipitação pluviométrica que escoar pela área de cobertura é armazenada em um reservatório inferior de armazenamento de água pluvial;
2. O reservatório inferior é enterrado no solo por questões estéticas e para melhor conservação da água armazenada, mantendo a temperatura da água mais baixa, ocorrendo menor proliferação de microorganismos;
3. Por meio de uma motobomba, recalca-se água pluvial do reservatório inferior para o reservatório superior de água pluvial;
4. O reservatório superior de água pluvial armazena a água que será distribuída aos pontos de consumo não potáveis, de acordo com a demanda diária de água pluvial;
5. O reservatório superior de água potável (relativo à demanda diária de água potável) é interligado por via atmosférica (sem ligação cruzada) ao reservatório superior de água pluvial. Assim, em caso de falha no sistema de aproveitamento de água pluvial ou falta de água de chuva no reservatório inferior de água pluvial, o sistema hidráulico predial de água potável da rede pública suprirá a demanda da residência;
6. O reservatório superior de água pluvial deverá ser instalado em cota mais baixa em relação ao reservatório superior de água potável.

Foram analisados os principais componentes necessários para a realização do aproveitamento de água pluvial, a saber: reservatório inferior de armazenamento de água pluvial, reservatórios superiores (de água potável e de água pluvial), tubulações, conexões, motobombas, dispositivos e acessórios.

Primeiramente, verificaram-se os principais materiais

---

---

constituintes de cada componente analisado. Como diversos materiais fazem parte dos componentes utilizados para realizar o aproveitamento de água pluvial, decidiu-se por estudar os materiais que, por sua quantidade presente nos sistemas, fossem relevantes para o resultado final da pesquisa.

Com relação aos reservatórios superiores, optou-se por adotar reservatórios de plástico reforçado de fibra de vidro (PRFV) por serem leves e resistentes ao desgaste, ao envelhecimento e à corrosão, e, além disso, são de fácil instalação e transporte.

Para as tubulações e conexões, o PVC foi definido como material a ser analisado por ser o material mais comumente utilizado em sistemas hidráulicos prediais complementados com aproveitamento de água pluvial.

Definiu-se como tubulações e conexões de outros materiais as tubulações e conexões de metal cromado, latão e cobre.

Dentre os materiais que compõem as motobombas, o ferro fundido é o material predominante na maioria das peças (SCHNEIDER, 2010). Deste modo, decidiu-se considerar apenas esse metal como material constituinte das motobombas para a avaliação dos estudos de caso.

Os dispositivos e acessórios hidráulicos para melhorar a qualidade da água pluvial aproveitada, que serão apresentados no item 4.2.2.8, têm como principal constituinte o polietileno. Os demais materiais componentes desses dispositivos (aço inox, latão e plástico) apresentam quantidades muito pequenas em comparação com o polietileno, e por isso não foram considerados na análise.

Nas residências analisadas, os sistemas hidráulicos prediais complementados com aproveitamento de água pluvial testados apresentam a mesma configuração, ou seja, os mesmos componentes. Porém, considerando que o reservatório inferior de água pluvial pode ser constituído dos mais diversos materiais, pode ser construído no local ou adquirido pronto, e é considerado um dos itens mais dispendiosos dos sistemas, selecionou-se este componente para análise de diferentes materiais.

Cada opção de sistema foi analisada em cada uma das três residências, para diferentes percentuais de usos finais não potáveis.

A opção de sistema em que o material utilizado para o reservatório inferior de armazenamento de água pluvial foi o plástico reforçado de fibra de vidro (PRFV), foi chamada de Sistema 1.

A outra opção de sistema, denominada de Sistema 2, apresentou como material constituinte do reservatório inferior o polietileno de alta

---

densidade (PEAD).

Para o presente estudo foram adotados reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial de PRFV e PEAD fabricados para serem enterrados diretamente no solo, dispensando a execução de alvenaria ou uso de lastro de concreto na base ou nas laterais. A Figura 10 apresenta exemplos de reservatórios inferiores em polietileno fabricados com estrutura que suporta as pressões do solo.



(a) e (b) Reservatório inferior de água pluvial em polietileno.

**Figura 10 – Reservatórios inferiores pré-fabricados que são enterrados diretamente no solo.**

Para representar os reservatórios inferiores que são construídos no local, escolheu-se como opção de material para os reservatórios inferiores o concreto armado material muito utilizado por possibilitar a escolha de diversos volumes e formatos. Foi denominado de Sistema 3, o sistema que apresentou o reservatório inferior em concreto armado.

A Tabela 14 apresenta um resumo com todos os materiais selecionados para cada opção de sistema.

No Apêndice 3 são apresentados os projetos de instalações prediais hidráulicas com aproveitamento de água pluvial, de cada residência analisada. Nos projetos estão especificados os diâmetros das tubulações e registros. As planilhas de especificação e quantificação de componentes dos sistemas estão apresentadas no Apêndice 4.

Nos próximos itens apresentam-se o dimensionamento dos reservatórios de água pluvial e das motobombas. Este dimensionamento foi necessário visto que os projetos originais da residência de baixo padrão não contemplavam o aproveitamento de água pluvial. No entanto, para as residências de médio e alto padrão não houve necessidade dimensionar o sistema de recalque, pois utilizou-se as potências das motobombas especificadas nos projetos.

---

**Tabela 14 – Especificação dos materiais utilizados nos sistemas hidráulicos prediais que utilizam água potável da rede pública complementados por aproveitamento de água pluvial.**

Componentes	Sistema 1	Sistema 2	Sistema 3
	Materiais constituintes		
Reservatórios inferiores	PRFV	PEAD	Concreto armado
Reservatórios superiores	PRFV	PRFV	PRFV
Tubulações	PVC	PVC	PVC
Conexões	PVC	PVC	PVC
Tubulações e conexões de outros materiais	Metal, latão e cobre	Metal, latão e cobre	Metal, latão e cobre
Dispositivos e acessórios	PEAD	PEAD	PEAD
Motobombas	Ferro fundido	Ferro fundido	Ferro fundido

#### **4.2.2.6 Dimensionamento dos reservatórios**

O dimensionamento do reservatório inferior de armazenamento de água pluvial depende do método adotado. Pode-se escolher o método mais adequado para a edificação e sua localização de acordo com os diferentes métodos propostos pela norma NBR 15527 (ABNT, 2007). No entanto, a forma mais adequada de dimensionar reservatórios para armazenar água pluvial com fins de aproveitamento em edificações é por meio de simulação computacional. O programa Netuno, apresentado no item 2.3.5 da revisão de literatura, auxilia no dimensionamento de reservatórios de água pluvial.

Para o reservatório superior de água pluvial, deve-se considerar a demanda diária de água pluvial de forma que seja escolhido um volume mínimo que possa supri-la. Além disso, o volume do reservatório superior de água pluvial será determinado em função do espaço físico disponível para a sua colocação.

Para realizar o dimensionamento dos reservatórios de água pluvial das residências e avaliar o potencial de economia de água potável obtido por meio do aproveitamento de água pluvial, foi utilizado o programa computacional Netuno, versão 3.0.

As variáveis de entrada do programa Netuno utilizadas nas simulações das residências estão descritas a seguir:

- **Dados Pluviométricos**

Os dados pluviométricos utilizados neste estudo foram fornecidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. – EPAGRI.

Estes dados foram coletados da Estação Meteorológica de Florianópolis. A estação está localizada no bairro Itacorubi, em latitude 27°34' 49" Sul, longitude 48°30' 22" Oeste e altitude de 2 metros. Os dados fornecidos incluem informações sobre precipitações diárias de sete anos, de 01/01/2000 a 31/12/2006.

A inserção do histórico pluviométrico como dado de entrada no programa Netuno é realizada organizando os valores diários de precipitação (em milímetros) em uma única coluna em uma planilha do programa Excel. Para os dias em que a precipitação não foi medida (106 dias), ou foi inferior a um milímetro, foi considerada precipitação zero.

- **Área de captação**

De acordo com a NBR 15527 (ABNT, 2007), a área de captação é a área, em metros quadrados, da superfície impermeável da cobertura onde a água é captada, projetada na horizontal.

Para cada uma das três residências, foi considerada como área de captação de água pluvial a área (m<sup>2</sup>) de cobertura do telhado disponível no plano horizontal, verificada na planta de cobertura.

- **Número de ocupantes da edificação**

O número total de ocupantes das residências baseou-se no número médio de habitantes por domicílio no Brasil, que é de aproximadamente quatro pessoas (IBGE, 2007).

- **Demanda de água potável (litros per capita/dia)**

De acordo com dados do Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS, o consumo médio de água por habitante para a região sul do Brasil é de 130 litros/pessoa/dia.

Para a cidade de Florianópolis a demanda média diária por habitante é igual a 175 litros/pessoa/dia (SNIS, 2010).

Verifica-se que há poucos dados específicos referentes à demanda de água potável em diferentes padrões residenciais. Além disso, os índices apresentam uma grande amplitude de variação. Para residências de baixo padrão varia entre 120 e 150 litros/pessoa/dia, de médio padrão estima-se em 150 litros/pessoa/dia, e para alto padrão (ou de luxo) fica entre 300 e 400 litros/pessoa/dia (MACINTYRE, 1996).

---

Para Oliveira e Filho (2003) o consumo de água em residências de alto padrão é de 221 litros/pessoa/dia. Querido (2000) determina 217 litros/pessoa/dia.

Com base nos dados acima, para a residência de médio padrão foi adotada a demanda média diária *per capita* de Florianópolis, de 175 litros/pessoa/dia de água potável. Para residência de baixo padrão foi adotada uma demanda *per capita* correspondente a 125 litros/pessoa/dia. Já no caso da residência de alto padrão foi adotada uma demanda *per capita* de 225 litros/pessoa/dia.

Ressalta-se que a demanda *per capita* adotada para cada padrão de residência foi considerada constante ao longo dos dias da semana.

- **Porcentagem de água potável a ser substituída por pluvial**

Foi adotada para todas as simulações uma faixa de porcentagem de água potável a ser substituída por pluvial (ou usos não potáveis) de 30% a 50%, em intervalos de 10%.

- **Coefficiente de aproveitamento**

Em todas as simulações foi utilizado um coeficiente de aproveitamento para a água pluvial igual a 0,80 (20% de perdas).

- **Volume do reservatório superior de água pluvial**

A determinação do volume do reservatório superior de água pluvial leva em conta o volume diário correspondente à utilização de água para fins não potáveis (demanda diária de água pluvial). No entanto, em função de não estarem disponíveis no mercado alguns volumes de reservatórios exatamente iguais à demanda diária de água pluvial (Tabela 15), adotou-se os volumes mais próximos disponíveis, apresentados na Tabela 16.

**Tabela 15 – Demanda diária de água pluvial para cada residência.**

Dados	Residência de baixo padrão	Residência de médio padrão	Residência de alto padrão
<b>Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)</b>	<b>Demanda diária de água pluvial (litros)</b>		
30	150	210	270
40	200	280	360
50	250	350	450

**Tabela 16 – Volume de reservatório superior de água pluvial adotado para cada residência.**

<b>Dados</b>	<b>Residência de baixo padrão</b>	<b>Residência de médio padrão</b>	<b>Residência de alto padrão</b>
<b>Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)</b>	<b>Volume de reservatório superior de água pluvial (litros)</b>		
30	250	250	300
40	250	300	500
50	300	500	500

- **Volume do reservatório inferior de armazenamento de água pluvial**

Para o reservatório de armazenamento de água pluvial, o programa Netuno possui a opção de simular o consumo para um intervalo de volumes de reservatórios, previamente definido pelo usuário. Para estas simulações, foram adotados volumes em intervalos de 1000 litros (de zero a 30.000 litros).

Para a determinação do volume ideal do reservatório inferior de água, o programa Netuno utiliza a metodologia apresentada por Ghisi et al. (2010).

O volume ideal foi determinado quando um aumento de 1.000 litros na capacidade do reservatório inferior de água resultava em um aumento igual ou inferior a diferença entre potenciais de economia definida pelo usuário. Para todos os estudos de caso, a diferença entre potenciais de economia adotada foi de 0,5%.

Os dados de entrada utilizados para realizar as simulações de todas as residências no programa Netuno estão apresentados na Tabela 17.

**Tabela 17 – Dados de entrada utilizados no Programa Netuno.**

<b>Dados de entrada</b>	<b>Residência de baixo padrão</b>	<b>Residência de médio padrão</b>	<b>Residência de alto padrão</b>
Dados de precipitação	Florianópolis/SC de 2000 a 2006		
Área de captação (m <sup>2</sup> )	79,6	150	278
Demanda de água potável fixa (litros per capita/dia)	125	175	225
Número de moradores (pessoas)	4	4	4
Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	30, 40 e 50	30, 40 e 50	30, 40 e 50
Coeficiente de aproveitamento	0,80	0,80	0,80
Reservatório superior (litros)	250; 250 e 300	250; 300 e 500	300; 500 e 500
Reservatório inferior (litros)	Cálculo para vários volumes	Cálculo para vários volumes	Cálculo para vários volumes
Volume máximo (litros)	30000	30000	30000
Intervalo entre volumes (litros)	1000	1000	1000
Diferença entre potenciais de economia (%)	0,50	0,50	0,50

Depois de realizadas as simulações no programa Netuno, foi verificado o volume ideal do reservatório inferior de armazenamento de água pluvial para cada estudo de caso, bem como o potencial de economia de água potável, para os diferentes percentuais de água potável a ser substituída por pluvial.

Com relação aos reservatórios superiores de cada residência, para o sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública, foram adotados volumes comerciais para cada reservatório de água potável visando suprir o dobro da demanda diária de água potável, a fim de evitar problemas decorrentes de deficiências no abastecimento público.

Nos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial, o reservatório de água potável também foi adotado para suprir o dobro da demanda diária de água potável de cada residência, pois em períodos de estiagem a água de chuva armazenada no reservatório inferior de armazenamento de água pluvial pode ser insuficiente para suprir o reservatório superior de água pluvial, que precisa ser alimentado pelo reservatório de água potável.

Assim, utilizou-se para a residência de baixo padrão um reservatório de água potável de 1000 litros; para residência de médio padrão um reservatório de 1500 litros e para residência de alto padrão, de 2000 litros.

#### **4.2.2.7 Dimensionamento das motobombas**

Para a residência de baixo padrão, um sistema de recalque precisou ser dimensionado, pois o aproveitamento de água pluvial não estava previsto no projeto original. Para as demais residências, os sistemas de recalque estavam dimensionados nos projetos originais, e não houve necessidade de alterá-los.

O dimensionamento do sistema de recalque foi baseado na metodologia apresentada por Creder (1988).

A NBR 5626 (ABNT,1998) recomenda que, para o bombeamento de água em instalações elevatórias, devem ser instaladas no mínimo duas motobombas independentes para garantir a distribuição de água no caso de falha de uma das unidades. O dimensionamento da potência do par de motobombas deve ser realizado considerando a vazão de recalque, a altura manométrica e o rendimento da motobomba.

As variáveis utilizadas para dimensionamento da tubulação de recalque e para o cálculo da potência das motobombas foram verificadas nos projetos e também obtidas com auxílio de informações apresentadas em catálogos de fabricantes.

Verificam-se as alturas manométricas de recalque e sucção, dadas respectivamente, pelas equações 4.1 e 4.2. A altura manométrica total é dada pela equação 4.3.

$$H_{\text{man(rec)}} = H_{\text{est(rec)}} + J_{\text{(rec)}} \quad [\text{Eq. 4.1}]$$

Onde:

$H_{\text{man(rec)}}$  é a altura manométrica do recalque (m);

$H_{\text{est(rec)}}$  é a altura estática do recalque (m);

$J_{\text{rec}}$  é a perda de carga no recalque (m).

---

$$H_{\text{man(suc)}} = H_{\text{est(suc)}} + J_{\text{(suc)}} \quad [\text{Eq. 4.2}]$$

Onde:

$H_{\text{man(suc)}}$  é a altura manométrica da sucção (m);

$H_{\text{est(suc)}}$  é a altura estática da sucção (m);

$J_{\text{suc}}$  é a perda de carga na sucção (m).

$$H_{\text{man}} = H_{\text{man(rec)}} + H_{\text{man(suc)}} \quad [\text{Eq. 4.3}]$$

Onde:

$H_{\text{man}}$  é a altura manométrica (m);

$H_{\text{man(rec)}}$  é a altura manométrica do recalque (m);

$H_{\text{man(suc)}}$  é a altura manométrica da sucção (m);

Após verificar a altura manométrica total e a vazão de recalque, determina-se a potência das motobombas através da equação 4.4.

$$P = \frac{Q * H_{\text{man}}}{75 * R} \quad [\text{Eq. 4.4}]$$

Onde:

P é a potência necessária para cada motobomba (kW);

Q é a vazão de recalque (litros/s);

$H_{\text{man}}$  é a altura manométrica dinâmica (m);

R é o rendimento da motobomba (adimensional).

#### 4.2.2.8 Dispositivos e acessórios

A utilização de dispositivos de descarte de sólidos e de desvio de água dos primeiros escoamentos que precipitam sobre os telhados faz-se necessária para melhorar a qualidade da água da chuva a ser aproveitada, pois esta água sofre perda de qualidade ao passar pela troposfera e pela área de captação. Assim, a filtragem da água da chuva é um processo necessário para retirada dos elementos em suspensão (impurezas como poeira, folhas e detritos). Os filtros podem ser de construção caseira em alvenaria, PVC ou plástico reforçado com fibra de vidro.

No mercado existem filtros comerciais para áreas de telhado entre 40 m<sup>2</sup> e 3000 m<sup>2</sup>, com eficiência entre 90% e 95%.

Os dispositivos e acessórios adotados para os sistemas de aproveitamento de água pluvial, de acordo com as respectivas áreas de captação de cada residência, foram os seguintes:

- Dispositivo de descarte de sólidos (folhas e detritos);
- Dispositivo de desvio de água dos escoamentos iniciais ou de água das primeiras chuvas;
- Sistema de realimentação, com ligação atmosférica não cruzada, e com bóia de nível e válvula solenóide;
- Sistema de desinfecção (bomba dosadora de solução de cloro).

Para proteção sanitária e conservação da qualidade da água de chuva armazenada nos reservatórios de água pluvial, estes foram equipados com os seguintes dispositivos:

- Freio d'água;
- Sifão extravasor;
- Conjunto flutuante de sucção.

Além disso, considerou-se que uma bomba dosadora deverá ser instalada junto ao reservatório superior de água pluvial de todas as residências analisadas. Esta instalação introduz na tubulação de recalque da água de chuva, na entrada do reservatório superior de água de chuva, uma solução de cloro, para promover a desinfecção da água da chuva.

### **4.2.3 Avaliação ambiental**

Neste item encontram-se apresentados os dados referentes às matérias-primas, energia embutida e aos resíduos relativos aos sistemas analisados. Ressalta-se que os dados de matérias-primas são iguais para todos os estudos de caso, porque os materiais dos componentes utilizados são os mesmos para todas as residências, diferem apenas nas quantidades.

#### **4.2.3.1 Limitações**

Os dados coletados para um inventário devem ser os mais representativos possíveis para a realidade do local em estudo. Assim, a busca inicial deve compreender dados primários obtidos em empresas que fabricam os componentes analisados. No entanto, a elaboração de um inventário do ciclo de vida (ICV) é um processo onde se encontram

---

---

muitas limitações devido à grande quantidade de informações, nem sempre acessíveis. Além disso, ressalta-se que ainda não há um banco de dados de ICV disponível no Brasil.

Inicialmente, o presente estudo almejava utilizar dados primários de energia embutida, matérias-primas e resíduos obtidos em empresas fabricantes. Porém, em função da dificuldade de acesso às informações e também ausência de alguns dados específicos, utilizou-se dados obtidos através de pesquisa bibliográfica nacional e internacional.

De acordo com Kulay (2000), em situações em que os dados ambientais encontram-se indisponíveis, é recomendada a realização de uma abordagem apenas qualitativa dos impactos ambientais ou a utilização de dados oriundos de outras fontes.

Devido a essas limitações, foi realizada uma ACV simplificada para os estudos de caso, em que foram descartados alguns estágios do ciclo de vida. Foram avaliadas as etapas extração das matérias-primas, processos de transformação, produção e uso dos componentes analisados. As etapas de transporte, instalação e disposição final dos componentes não foram consideradas na avaliação.

#### **4.2.3.2 Matérias-primas**

Foram verificadas quais as matérias-primas predominantes utilizadas para fabricação dos materiais constituintes dos equipamentos pertencentes aos sistemas analisados. Esses dados são necessários para que possam ser selecionados os valores de energia embutida adequados para cada equipamento, de acordo com os materiais que os constituem.

Além disso, o conhecimento das matérias-primas utilizadas nos equipamentos e componentes presentes nos sistemas possibilita a escolha de alternativas que contemplem a redução do uso de matérias-primas escassas, priorizando a adoção de matérias-primas renováveis. Dados referentes às matérias-primas possibilitam também realizar comparações entre diferentes opções de materiais que podem ser utilizados.

Verificou-se também a renovabilidade e disponibilidade dessas matérias-primas nas reservas brasileiras.

#### **4.2.3.3 Energia embutida**

Neste item é explicado o método utilizado para a estimativa de energia embutida dos sistemas analisados nos estudos de caso.

A energia embutida de cada componente foi estimada através da

---

Equação 3.1 proposta no método.

A energia embutida total em manutenções e trocas de componentes foi calculada por meio da Equação 3.2 e da Equação 3.3. A estimativa da energia embutida total no sistema foi calculada por meio da Equação 3.4.

Foi estimada a energia embutida para as três opções de materiais para os reservatórios inferiores das residências, possibilitando o conhecimento e a comparação entre os mesmos.

Os dados de energia embutida utilizados nas estimativas foram obtidos de fontes da literatura compiladas por Tavares (2006), apresentados de forma sucinta no item 2.5 (na Tabela 9), e mais detalhadamente no ANEXO A.

A partir das planilhas de levantamento dos quantitativos dos materiais utilizados em cada sistema (sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública e sistema hidráulico predial complementado por aproveitamento de água pluvial) verificaram-se as quantidades (em unidades ou metros) dos materiais analisados.

Em função de os valores de energia embutida utilizados serem fornecidos em quilograma (kg) ou tonelada (t) de material, foi necessário obter a massa de cada material. Essa obtenção de massa foi realizada primeiramente através de contato com as empresas fabricantes de cada componente. Para alguns equipamentos e componentes que não tiveram a massa informada pelos fabricantes, verificou-se no trabalho de Tavares (2006) a massa dos mesmos ou de componentes semelhantes aos descritos na planilha de especificação e quantificação dos sistemas.

Foi necessário realizar as seguintes simplificações para a presente análise:

- Assumiu-se o valor da energia embutida do material PVC para os tubos e conexões fabricados em CPVC (policloreto de vinila clorado), utilizados para condução de água quente nas residências de baixo e de médio padrão. Essa simplificação foi feita em função de não haver dados de energia embutida referentes ao CPVC;
  - Para a estimativa de energia embutida, assumiu-se que as motobombas são fabricadas apenas em ferro fundido;
  - Assumiu-se para as madeiras (tábuas e pontalotes) utilizadas nas fôrmas para construção do reservatório inferior de armazenamento de água pluvial de concreto o valor de energia embutida de 0,5 MJ/kg;
  - As instalações elétricas necessárias para a instalação das
-

---

motobombas, válvula solenóide e sensor de nível não foram avaliadas na estimativa de energia embutida porque foram consideradas como pertencentes aos sistemas de instalações elétricas;

- A energia embutida na mão-de-obra necessária para implantação e instalação dos sistemas não foi considerada na estimativa porque envolve a etapa de transporte de trabalhadores, etapa do ciclo de vida não contemplada neste estudo.

Ressalta-se que, além das considerações e simplificações já citadas, outras simplificações também foram necessárias. A obtenção da massa dos reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial (necessárias para o cálculo da energia embutida nestes componentes) foi realizada em fontes distintas das utilizadas por Tavares (2006), considerando, no entanto, os índices de energia embutida apresentados por este autor para reservatórios de PRFV e de PEAD. As massas dos reservatórios superiores em PRFV foram extraídas de Acqualife (2010). A massa dos reservatórios inferiores de PEAD e PRFV foi obtida através de contato com a empresa Bakoftec.

A massa dos reservatórios inferiores de concreto armado foi obtida através de uma estimativa de volume de concreto armado para de reservatórios inferiores quadrados ou retangulares, de acordo com os volumes ideais dos reservatórios inferiores analisados. Os volumes de concreto verificados foram multiplicados pelo peso específico do material concreto amado, de 2.500 kg/m<sup>3</sup>. Para essa estimativa, foi considerado que as espessuras das paredes laterais e do fundo dos reservatórios inferiores tinham 12 cm.

Os resultados da estimativa de energia embutida para os sistemas de cada residência serão apresentados no item 4.3.4.2.

#### **4.2.3.4 Resíduos e emissões**

A verificação dos resíduos e emissões gerados na fabricação dos materiais constituintes dos componentes pertencentes aos sistemas analisados foi realizada a partir de pesquisas em bibliografias nacionais e internacionais. Esta verificação objetivou proporcionar apenas uma visão geral de qual o sistema possui maior quantidade de resíduos e emissões.

Nesta análise foram identificados os principais resíduos sólidos, emissões para a água e emissões atmosféricas referentes às saídas

---

verificadas na etapa de fabricação dos componentes pertencentes aos sistemas.

Foi estimada a quantidade de resíduos e emissões geradas nos processos de fabricação dos seguintes materiais: PRFV, PEAD, concreto armado, PVC e ferro fundido.

Utilizaram-se os dados de resíduos e emissões apresentados no item 2.6 da revisão de literatura. Através da Equação 3.5 e da Equação 3.6 verificou-se a quantidade de resíduos e emissões geradas na fabricação dos materiais presentes nos sistemas hidráulicos prediais das residências avaliadas.

#### **4.2.4 Avaliação econômica**

Na avaliação econômica foram verificados os custos dos sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública, e também os custos, benefícios e o período de retorno de investimento das três opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial.

A estimativa dos custos de materiais e equipamentos foi realizada por meio de uma pesquisa de preço nas maiores lojas de materiais de construção de Florianópolis. Verificou-se o preço médio relativo a maio/2010 para cada item.

Os custos com mão-de-obra foram obtidos através de uma pesquisa de preço realizada com profissionais especializados em execução de projetos hidrossanitários. Verificou-se o custo estimado de execução dos serviços por dias trabalhados. O custo médio da mão-de-obra de um encanador é R\$ 80,00/dia e custo médio de um ajudante de encanador ou servente de pedreiro é R\$ 50,00/dia, sendo a carga horária de trabalho de 8 horas/dia. O número de dias necessários para a execução dos serviços relativos à implantação de um predial hidráulico complementado por aproveitamento de água pluvial varia dependendo das soluções adotadas.

Para verificar os custos referentes às reposições e trocas de equipamentos e componentes, foi verificada primeiramente a vida útil de cada equipamento componente dos sistemas.

Constatou-se que sistemas prediais embutidos, tubulações e demais componentes (incluindo registros e válvulas), possuem vida útil de 20 a 30 anos. Reservatórios de água não facilmente substituíveis possuem vida útil entre 13 e 20 anos. Torneiras possuem vida útil de 3 a 4 anos. Para motobombas, a vida útil média é 10 anos, ou seja, entre 8 e 12 anos (SINDUSCONJP, 2010). Porém, vale ressaltar que a vida útil

---

de um determinado material e/ou componente pode sofrer variações significativas em função de detalhes de projeto e do clima da região, interferindo na sua durabilidade.

Considerou-se no cálculo de trocas apenas os equipamentos que possuem vida útil média menor que 20 anos. Deste modo, os componentes que precisam de troca/reposição são os seguintes: torneira, motobomba, válvula solenóide e bóia de nível.

Com base no número de vezes que os componentes necessitam ser trocados ao longo da vida útil do sistema verificaram-se, por meio da Equação 3.7, os custos de manutenção dos componentes do sistema pluvial, para o período de 20 anos.

Através da Equação 3.8 verificou-se o custo total de instalação e manutenção de cada sistema.

Posteriormente, foram verificados os custos de energia elétrica consumida para o bombeamento de água pluvial. Através de informações obtidas junto à concessionária de energia local, verificou-se em que subgrupo cada residência se enquadrava, e o respectivo valor da tarifa praticado conforme apresenta a Tabela 18.

**Tabela 18 – Subgrupo e valor da tarifa de energia de cada residência.**

<b>Dados</b>	<b>Residência de baixo padrão</b>	<b>Residência de médio padrão</b>	<b>Residência de alto padrão</b>
Subgrupo	B1 (edificação residencial de baixa renda) com demanda de até 30 kWh	B1 (Residencial Normal)	B1 (Residencial Normal)
Valor da tarifa (R\$/kWh)	0,10530	0,32499	0,32499

Fonte: Celesc (2010).

Verificou-se o tempo de funcionamento (em horas) de cada modelo de motobomba adotado para bombear a água pluvial aproveitada em cada residência. Aplicando esses valores nas equações 3.9 e 3.10, foi obtido o custo mensal de energia elétrica para o bombeamento de água pluvial.

O próximo passo foi verificar as tarifas cobradas pela concessionária local de abastecimento de água para cada padrão de residência. Os valores das tarifas praticadas apresentam-se na Tabela 19.

**Tabela 19 – Valores das tarifas de água praticadas.**

<b>Categoria</b>	<b>Faixa</b>	<b>Consumo (m<sup>3</sup>)</b>	<b>Tarifa (R\$)</b>
Residencial "B"	1	até 10	24,47/mês
	2	11 a 25	4,4844/m <sup>3</sup>
	3	26 a 50	6,2915/m <sup>3</sup>
	4	maior que 50	7,5392/m <sup>3</sup>
	5	Tarifa Sazonal	9,4240/m <sup>3</sup>

Fonte: Casan (2010).

A concessionária local disponibiliza uma tarifa diferenciada denominada "Tarifa Social", aplicada aos clientes que, comprovadamente, residirem em imóvel de até 70 m<sup>2</sup> de área construída para fins residenciais, tiverem rendimento familiar igual ou inferior a dois salários mínimos, não possuírem veículo automotor e linha telefônica fixa (CASAN, 2010).

No entanto, apesar da residência de baixo padrão se enquadrar no perfil da Tarifa Social pelo fato de possuir apenas 61,3 m<sup>2</sup>, decidiu-se utilizar a Tarifa Residencial "B", aplicada aos imóveis com consumo entre 11 e 25 m<sup>3</sup> por mês (faixa 2), cujo valor da tarifa é R\$ 4,4844 por metro cúbico excedente dos primeiros 10 m<sup>3</sup> consumidos. Caso o consumo de água da residência de baixo padrão seja inferior a 10 m<sup>3</sup> de água, R\$ 24,47/mês. Ressalta-se que para os primeiros 10 m<sup>3</sup> de água consumidos a tarifa praticada atualmente pela concessionária é R\$ 24,47/mês.

Para o consumo de água entre 11 e 25 m<sup>3</sup> por mês da residência de médio e de alto padrão, utilizou-se o valor da Tarifa Residencial "B" de R\$ 4,4844 por m<sup>3</sup> excedente dos primeiros 10 m<sup>3</sup> consumidos. Para o consumo entre 26 a 50 m<sup>3</sup> por mês (residência de alto padrão), o valor da tarifa utilizada foi de R\$ 6,2915 por m<sup>3</sup>.

A tarifa de esgoto cobrada pela concessionária corresponde a 100% da tarifa de água impressa (CASAN, 2010). Porém, como alguns bairros da cidade em estudo não possuem rede de esgotos, foram avaliados dois cenários, um considerando a cobrança da concessionária referente ao volume de esgoto oriundo das residências, e outro cenário, desconsiderando a cobrança de esgotos.

Com base nos valores de tarifas adotados, verificou-se para todas as residências, primeiramente o consumo mensal de água potável e valor cobrado sem o aproveitamento de água pluvial. Após isso, considerando os potenciais de economia de água potável obtidos no

programa Netuno devido à utilização de água pluvial, foi verificada a economia e o novo custo mensal de água potável e esgoto para os diferentes percentuais de usos não potáveis analisados.

Os benefícios do sistema foram verificados aplicando as equações 3.12 e 3.13, apresentadas no método proposto. O período de retorno do investimento inicial em cada estudo de caso foi calculado através do payback descontado, onde foi adotada a taxa mínima de atratividade de 0,6% ao mês.

A viabilidade econômica foi diretamente relacionada com os períodos de retorno e a vida útil do sistema. Os investimentos foram considerados viáveis quando os períodos de retorno do capital foram menores que 20 anos, vida útil dos sistemas.

#### 4.2.5 Indicadores de viabilidade

Os indicadores de viabilidade obtidos para as residências foram calculados utilizando os dados obtidos na avaliação econômica, na estimativa de energia embutida e na estimativa de emissões e resíduos.

Para as três residências analisadas, foram calculados os indicadores propostos nas equações 3.16 a 3.19 do capítulo 3, para os sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública, e também para os sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial.

Todos os indicadores propostos foram calculados utilizando como unidade funcional o consumo total de água potável na edificação durante a vida útil do sistema.

Foram utilizados para o cálculo dos indicadores de energia embutida por consumo de água potável dados dos serviços de saneamento da cidade de Florianópolis/SC obtidos em SNIS (2010), apresentados na Tabela 20.

**Tabela 20 - Consumo de energia elétrica nos sistemas de abastecimento de água de Florianópolis.**

<b>Sistemas de abastecimento de água</b>	<b>(kWh/m<sup>3</sup>) (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	
Consumo de energia elétrica por m <sup>3</sup> de água produzida	0,33	1,19

Este dado de consumo de energia elétrica por m<sup>3</sup> de água produzida refere-se à quantidade anual de energia elétrica consumida nos sistemas de abastecimento de água, incluindo todas as unidades que

compõem os sistemas, desde as operacionais até as administrativas. Não inclui a energia elétrica consumida nos sistemas de esgotamento sanitário.

Ressalta-se que a energia consumida para a produção dos produtos químicos destinados aos sistemas de tratamento de água e análises de amostras de água ou de esgotos não foi incluída neste estudo em função da carência de dados específicos.

#### **4.2.6 Comparações entre sistemas**

As comparações entre sistemas hidráulicos prediais foram realizadas para cada residência utilizando os indicadores de viabilidade propostos no item 3.6.

Para as análises comparativas entre as três opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial também foram utilizados os indicadores de viabilidade propostos.

### **4.3 Resultados**

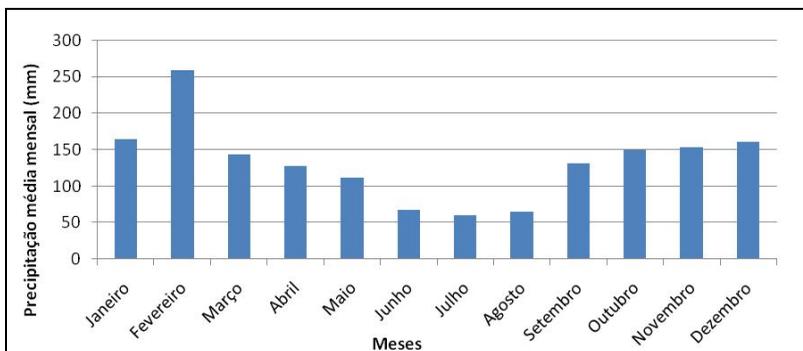
Neste item estão apresentados os resultados obtidos por meio da aplicação do método proposto em cada estudo de caso.

#### **4.3.1 Dimensionamento dos reservatórios**

Apresentam-se aqui os resultados do dimensionamento dos reservatórios de água pluvial de cada residência.

A partir dos dados pluviométricos de Florianópolis (2000 a 2006), verificou-se que a precipitação média diária do período foi de 4,37 mm/dia, a precipitação média mensal foi de 132,9 mm/mês e a precipitação média anual foi de 1595 mm/ano. Observou-se que as maiores precipitações médias do período analisado acontecem no verão, e as menores precipitações, nos meses de junho a agosto (inverno). A Figura 11 ilustra os valores de precipitação média mensal do período avaliado.

---



**Figura 11 – Precipitação média mensal entre os anos 2000 a 2006 para Florianópolis.**

Utilizando estes dados pluviométricos, foram realizadas simulações no programa Netuno, e obtiveram-se os dois principais resultados da etapa de dimensionamento dos reservatórios dos sistemas analisados: volume ideal dos reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial e potencial de economia de água potável. Um resumo destes principais resultados para cada residência, de acordo com os diferentes percentuais de usos não potáveis, encontra-se nas Tabelas 21 a 23.

Ressalta-se que os três tipos de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial possuem o mesmo volume de reservatório inferior de armazenamento de água pluvial, e, portanto apresentam os mesmos resultados de dimensionamento. Além disso, as tabelas apresentam a economia de água potável em litros por dia e em litros por mês e o volume do reservatório superior de água pluvial.

**Tabela 21 – Resultados do dimensionamento - residência de baixo padrão.**

Sistemas	Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	Residência de baixo padrão				
		Volume ideal do reserv. inferior (m³)	Economia de água potável (%)	Economia de água potável (litros/dia)	Economia de água potável (litros/mês)	Volume reserv. superior de água pluvial (litros)
Sistemas 1, 2 e 3	30	4,0	27,71	138,55	4156,50	250
	40	7,0	35,86	179,30	5379,00	250
	50	11,0	45,57	227,85	6835,50	300

**Tabela 22 – Resultados do dimensionamento - residência de médio padrão.**

Sistemas	Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	Residência de médio padrão				
		Volume ideal do reserv. inferior (m³)	Economia de água potável (%)	Economia de água potável (litros/dia)	Economia de água potável (litros/mês)	Volume reserv. superior de água pluvial (litros)
Sistemas 1, 2 e 3	30	4,0	28,08	196,56	5896,80	250
	40	6,0	36,37	254,59	7637,70	300
	50	8,0	43,80	306,60	9198,00	500

**Tabela 23 – Resultados do dimensionamento - residência de alto padrão.**

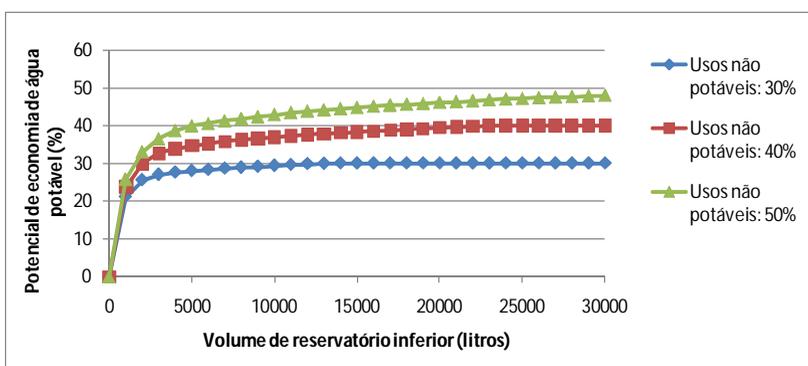
Sistemas	Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	Residência de alto padrão				
		Volume ideal do reserv. inferior (m <sup>3</sup> )	Economia de água potável (%)	Economia de água potável (litros/dia)	Economia de água potável (litros/mês)	Volume reserv. superior de água pluvial (litros)
Sistemas 1, 2 e 3	30	5,0	28,65	257,85	7735,50	300
	40	7,0	37,80	340,20	10206,00	500
	50	9,0	46,30	416,70	12501,00	500

O volume ideal de reservatório inferior da residência de baixo padrão apresentou uma variação de volume (de 4,0 a 11,0 m<sup>3</sup>) maior que as outras residências. Esta variação ocorreu devido à área de captação da residência de baixo padrão ser pequena, e por isso, torna-se necessário armazenar um volume maior de água pluvial para atender a demanda de água pluvial.

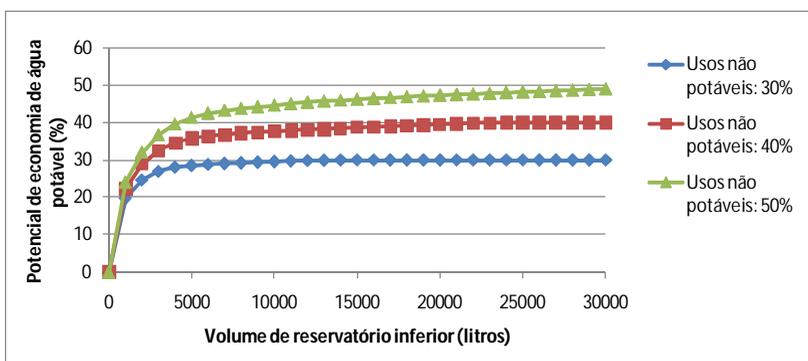
Embora alguns volumes de reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial obtidos no dimensionamento não estejam disponíveis em pronta entrega no mercado de reservatórios inferiores pré-fabricados em PRFV e PEAD da região, constatou-se através de contato com fabricantes, que podem ser confeccionadas sob encomenda reservatórios com volumes não comerciais. Além disso, para a comparação dos sistemas, o reservatório inferior de armazenamento de água pluvial das três opções de sistemas precisava apresentar exatamente o mesmo volume.

Assim, os resultados de volumes ideais de reservatório inferior obtidos com as diferentes porcentagens de usos não potáveis definiram os diferentes volumes de reservatórios inferiores que serão utilizados na estimativa de energia embutida, na estimativa de resíduos e na avaliação econômica dos sistemas analisados.

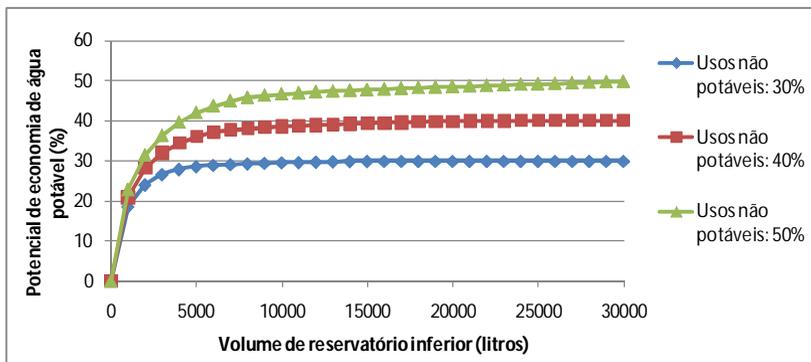
Para facilitar a visualização dos resultados obtidos no programa Netuno, as Figuras 12 a 14 apresentam os gráficos de potencial de economia de água por volume de reservatório inferior para as diferentes porcentagens de usos finais não potáveis (porcentagens de água potável a ser substituída por pluvial) em cada residência.



**Figura 12 – Potencial de economia de água potável por volume de reservatório inferior para residência de baixo padrão.**



**Figura 13 – Potencial de economia de água potável por volume de reservatório inferior para residência de médio padrão.**



**Figura 14 – Potencial de economia de água potável por volume de reservatório inferior para residência de alto padrão.**

Analisando as Figuras 12 a 14, é possível perceber que o potencial de economia de água potável aumenta gradativamente até o valor do volume ideal. Depois disso, a curva se suaviza, e a partir do volume ideal é pequeno o incremento do potencial de economia. A diferença entre potenciais de economia utilizada nas simulações, para todos os estudos de caso, foi de 0,5%.

De acordo com os potenciais de economia de água potável obtidos através do programa Netuno e também de acordo com as demandas de água adotadas no item 4.2.2.6, calculou-se a unidade funcional – volume de água potável consumido em cada residência durante a vida útil dos sistemas (20 anos) – conforme apresentado na Tabela 24.

É importante ressaltar que, para a situação em que o abastecimento de água potável da residência é complementado por aproveitamento de água pluvial, diminuiu-se da unidade funcional a economia obtida pelo uso de água pluvial.

**Tabela 24 – Unidade funcional dos sistemas.**

Sistemas	Usos não potáveis (%)	Residência de baixo padrão	Residência de médio padrão	Residência de alto padrão
		<i>uf</i> (m <sup>3</sup> )	<i>uf</i> (m <sup>3</sup> )	<i>uf</i> (m <sup>3</sup> )
Sistema A		3650,0	5110,0	6570,0
Sistema 1, 2 e 3	30	2638,6	3675,1	4616,4
	40	2341,1	3251,5	4024,3
	50	1986,7	2871,8	3474,4

*uf* (unidade funcional) = volume de água potável consumido em 20 anos (m<sup>3</sup>).

### 4.3.2 Dimensionamento das motobombas

As variáveis utilizadas para o cálculo da potência das motobombas foram obtidas a partir de dados verificados nos projetos das residências e com auxílio de informações apresentadas em catálogos de fabricantes (SCHNEIDER, 2010).

Os dados utilizados foram adotados com base no comprimento das tubulações de cada residência.

Assim, aplicando as equações apresentadas no item 4.2.2.7, verificou-se para a residência de baixo padrão que a vazão (Q) indicada para a altura manométrica total ( $H_{man}$ ) de 7 metros é de 1 m<sup>3</sup>/hora, e a potência (P) indicada para a motobomba foi de 1/6 CV, para bitola de tubulação de recalque de 25 mm.

Porém, constatou-se que não se encontram disponíveis nas lojas de materiais de construção da cidade motobombas com potência de 1/6 CV, e, portanto foi adotada a potência mais próxima disponível no mercado local (1/4 CV).

Para a residência de médio padrão, verificou-se os seguintes dados referentes às motobombas especificados no projeto hidrossanitário: potência de 1/4 CV, altura manométrica de 11 m e vazão de 1 m<sup>3</sup>/h.

No projeto hidrossanitário da residência de alto padrão os dados referentes às motobombas especificados são os seguintes: potência de 1/2 CV, altura manométrica de 20 m e vazão de 1 m<sup>3</sup>/h.

O tempo de funcionamento das motobombas necessário para bombear o volume de água pluvial aproveitado (igual à economia de água potável (litros/dia), apresentada anteriormente nas Tabelas 20 a 22) de cada residência, foi calculado de acordo com a vazão das

motobombas utilizadas. A Tabela 25 apresenta o tempo diário de funcionamento das motobombas em horas.

**Tabela 25 – Tempo diário de funcionamento das motobombas.**

Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	Tempo diário de operação das motobombas (h/dia)		
	Residência de baixo padrão	Residência de médio padrão	Residência de alto padrão
--	Sistema 1, 2 e 3	Sistema 1, 2 e 3	Sistema 1, 2 e 3
30	0,14	0,20	0,26
40	0,18	0,25	0,34
50	0,23	0,31	0,42

De posse destes dados, no item referente à avaliação econômica serão estimados os custos de operação do sistema relativos aos gastos com energia elétrica, em função do tempo diário de funcionamento, potências das motobombas, e do número de dias de uso no mês (30 dias).

#### **4.3.3 Dispositivos e acessórios**

Para a residência de baixo padrão, o Filtro Coletor 3P (indicado para áreas de captação com até 40 m<sup>2</sup>) foi utilizado como dispositivo de descarte de sólidos. Foram adotados dois dispositivos para promover a remoção de sólidos de toda área de captação da residência, que é de aproximadamente 80 m<sup>2</sup>. O grau de eficiência do Filtro Coletor 3P se situa entre 85 e 90%, dependendo da intensidade da precipitação (3P TECHNIK, 2009).

Na residência de médio padrão, cuja área de captação é de 150 m<sup>2</sup>, para o descarte de sólidos foi escolhido o dispositivo Filtro VF1, indicado para áreas de até 200 m<sup>2</sup>. Para a residência de alto padrão, com 278 m<sup>2</sup> de área de captação, adotou-se dois dispositivos Filtro Coletor 3P e um Filtro VF1.

Para o desvio de água dos primeiros escoamentos foi adotado para as residências de baixo e médio padrão um dispositivo volumétrico de baixo custo, confeccionado com tubos e conexões de PVC. Para a residência de alto padrão já estava previsto no projeto um sumidouro para desvio de água dos primeiros escoamentos.

### **4.3.4 Avaliação ambiental**

#### **4.3.4.1 Matérias-primas**

A renovabilidade dos recursos utilizados na fabricação dos equipamentos e a disponibilidade das reservas de seus constituintes primários em jazidas do subsolo brasileiro no atual estágio de conhecimento são apresentadas na Tabela 26, baseada no Balanço Mineral Brasileiro de 2001 (DNPM, 2010a) e no Anuário Mineral Brasileiro de 2006 (DNPM, 2010b).

O Balanço Mineral Brasileiro de 2001 (DNPM, 2010a) se concentra na análise do setor extrativo da indústria mineral, e caracteriza as reservas em carente, suficiente e abundante, originalmente em função da produção industrial. É incluída uma consideração sobre a classificação das reservas em possíveis e provadas como forma de corrigir distorções devido a variáveis de ordem técnica e econômica. Esta classificação oficial não permite a modelagem dos fluxos necessários para a determinação das reservas de materiais, mas pode ser considerada uma fonte de dados relevante para a elaboração da contabilidade dos fluxos.

Com relação à renovabilidade dos recursos utilizados na fabricação dos equipamentos e componentes pertencentes aos sistemas analisados, nota-se que a grande maioria das matérias-primas são não renováveis, ou seja, são recursos naturais que não podem ser produzidos, regenerados ou reutilizados a uma escala que possa sustentar a sua taxa de consumo. O inconveniente dos combustíveis fósseis não é apenas o fato de serem fontes de energia não renováveis, mas também o fato de serem altamente poluentes. Esses recursos existem muitas vezes em quantidades fixas, ou são consumidos mais rapidamente do que natureza pode produzi-los.

Observou-se que, embora a maioria das matérias-primas avaliadas esteja classificada como recursos não renováveis, estas são atualmente abundantes no país, e, além disso, alguns desses materiais são passíveis de serem reintroduzidos na sociedade através de reciclagem ou reuso.

---

**Tabela 26 – Principais matérias-primas constituintes dos materiais que compõe os equipamentos existentes nas opções de sistemas de aproveitamento de água pluvial.**

<b>Equipamentos/ Componentes</b>	<b>Materiais</b>	<b>Principais matérias primas</b>	<b>Renovabilidade dos recursos</b>	<b>Reservas brasileiras das matérias-primas</b>
Reservatório superior e Reservatório inferior ( <i>Sistema 1</i> )	Plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV)	Areia, calcário caulim	Não renováveis	Abundantes
		Resina poliéster (derivado do petróleo)	Não renovável	Abundante
Reservatório inferior ( <i>Sistema 2</i> )	Polietileno de alta densidade (PEAD)	Eteno (derivado do petróleo)	Não renovável	Abundantes
Reservatório inferior ( <i>Sistema 3</i> )	Concreto armado	Areia Cimento, brita, cal, aço e água	Não renováveis	Abundantes
Tubulações	Policloreto de vinila (PVC)	Eteno (derivado do petróleo)	Não renovável	Abundantes
Conexões		Cloro (derivado do sal marinho)	Renovável	Abundante
Motobombas	Ferro fundido	Minério de ferro, calcário, carvão	Não renováveis	Suficientes/ Abundantes
Dispositivos e acessórios	Polietileno de alta densidade (PEAD)	Eteno (derivado do petróleo)	Não renovável	Abundantes

Fonte: (DNPM, 2010a); (DNPM, 2010b).

#### 4.3.4.2 Energia embutida

Os resultados obtidos na estimativa de energia embutida nas opções de sistemas hidráulicos prediais para as residências analisadas estão apresentados na Tabela 27.

Estes valores de energia embutida englobam também a energia embutida em equipamentos e componentes referentes às manutenções e trocas necessárias para o período de vida útil dos sistemas.

**Tabela 27 – Estimativa de energia embutida nos sistemas hidráulicos prediais.**

Sistemas	Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	EE total (MJ)		
		Residência de baixo padrão	Residência de médio padrão	Residência de alto padrão
Sistema A	--	13014,9	20302,0	47761,6
Sistema 1	30	20331,6	51332,2	95325,2
	40	37194,6	52964,2	96045,2
	50	39858,6	53876,2	97509,2
Sistema 2	30	29136,6	60137,2	106278,2
	40	42436,6	66882,2	113213,2
	50	51081,6	73817,2	119863,2
Sistema 3	30	40734,2	71734,8	120843,6
	40	66270,2	84506,6	133623,0
	50	85426,0	97286,0	146391,0

No Apêndice 2 e no Apêndice 4 encontram-se, respectivamente, a especificação e quantificação completa dos componentes dos sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública e dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial avaliados.

Dentre as opções de sistemas de aproveitamento de água pluvial analisadas nas três residências, verificou-se que o Sistema 1 (com reservatório inferior em PRFV) possui os menores valores de energia embutida total, cuja média entre os sistemas das residências foi de 60.493 MJ.

O Sistema 2, com reservatório inferior em PEAD, apresentou a média de 73.650 MJ. Já o Sistema 3, com reservatório inferior de

concreto armado, apresentou os maiores valores de energia embutida total, cuja média foi de 94.091 MJ.

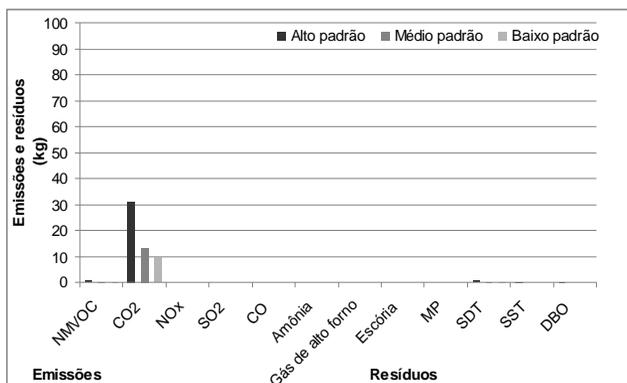
O principal fator de influência sobre os resultados observados é a massa dos reservatórios inferiores junto com o respectivo índice de energia embutida nos materiais componentes de cada opção. Por exemplo, os reservatórios inferiores de concreto armado (3,8 MJ) possuem um índice de energia embutida inferior aos índices do PEAD (95 MJ) e do PRFV (24 MJ), porém a massa dos reservatórios inferiores de concreto armado é muito superior à massa das demais opções avaliadas, ocasionando assim maiores valores de energia embutida total ao Sistema 3.

Nota-se em todos os casos avaliados, que o valor de energia embutida total é diretamente proporcional ao percentual de água potável a ser substituída por pluvial, pois o volume dimensionado para o reservatório inferior de armazenamento de água pluvial é maior, e conseqüentemente a energia embutida também aumenta.

#### 4.3.4.3 Resíduos e emissões

Primeiramente, é importante mencionar que esta verificação objetivou proporcionar apenas uma visão geral de qual opção de sistema emite maior quantidade de resíduos e emissões.

A Figura 15 apresenta a estimativa dos principais resíduos e emissões geradas nos processos de fabricação dos componentes dos sistemas hidráulicos prediais.



**Figura 15 – Emissões e resíduos do sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública (Sistema A) de cada residência.**

Já os principais resíduos e emissões gerados nos processos de fabricação dos componentes dos sistemas hidráulicos prediais que utilizam água potável da rede pública complementados por aproveitamento de água pluvial analisados, considerando as diferentes porcentagens de água potável a ser substituída por pluvial, encontram-se apresentados nas Figuras 16 a 18.

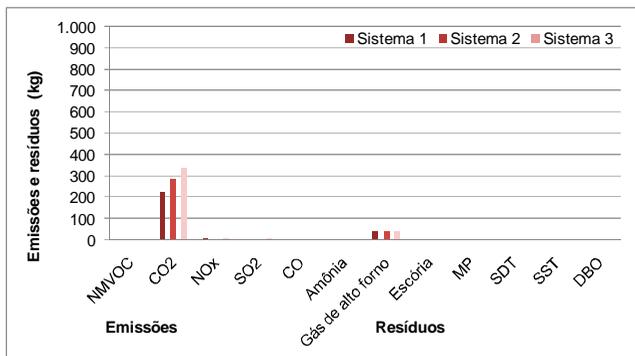
Verificou-se, através desta avaliação, que a maior quantidade de emissão poluente gerada na fabricação dos componentes dos sistemas é referente ao dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>).

Além disso, foi possível perceber que, para os sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial, o reservatório inferior de armazenamento de água pluvial foi o componente que apresentou maior influência na geração de emissões.

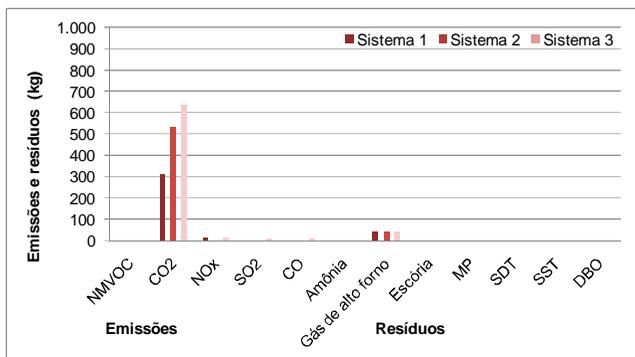
Observou-se também que, conforme se aumentava os percentuais de usos não potáveis adotados, a quantidade de resíduos e emissões geradas aumentava proporcionalmente ao volume do reservatório inferior de armazenamento de água pluvial.

Também, constatou-se que dentre os três sistemas analisados, o Sistema 3 gerou maior quantidade de emissões poluentes, pois a massa dos reservatórios inferiores de concreto armado é muito superior à massa das demais opções avaliadas, e, por isso obteve-se maior quantidade de emissões nos sistemas com reservatórios inferiores deste material.

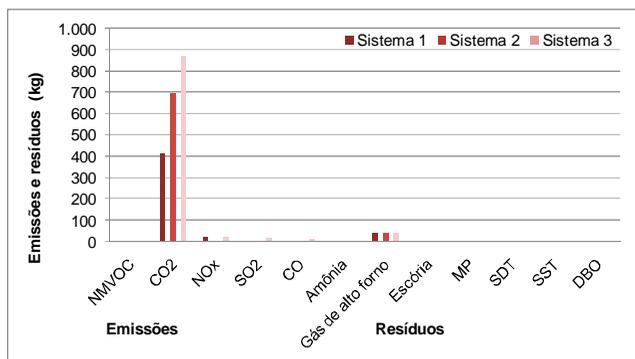
---



(a) 30% de usos finais não potáveis.

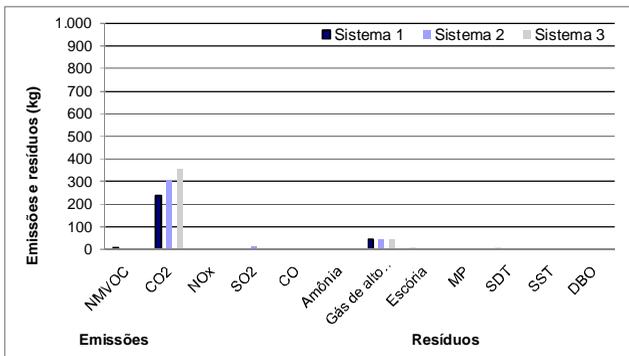


(b) 40% de usos finais não potáveis.

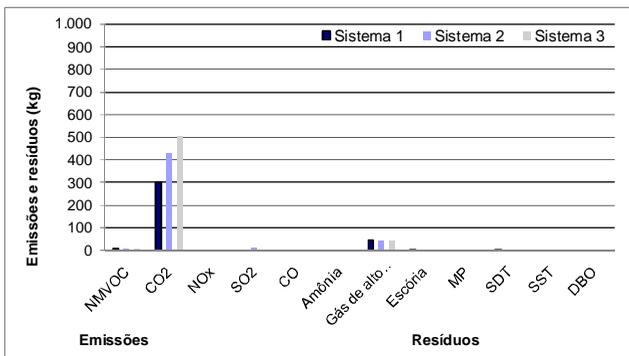


(c) 50% de usos finais não potáveis.

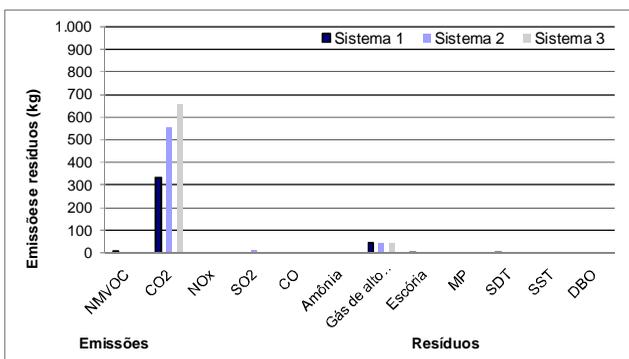
**Figura 16 – Resíduos e emissões dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial da residência de baixo padrão.**



(a) 30% de usos finais não potáveis.

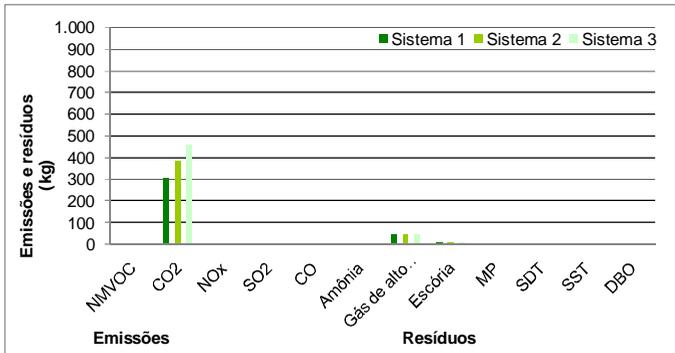


(b) 40% de usos finais não potáveis.

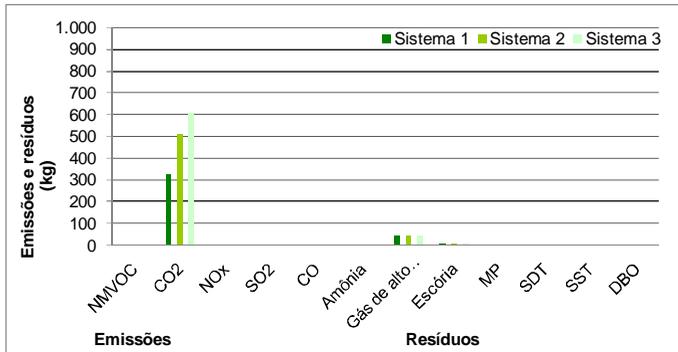


(c) 50% de usos finais não potáveis.

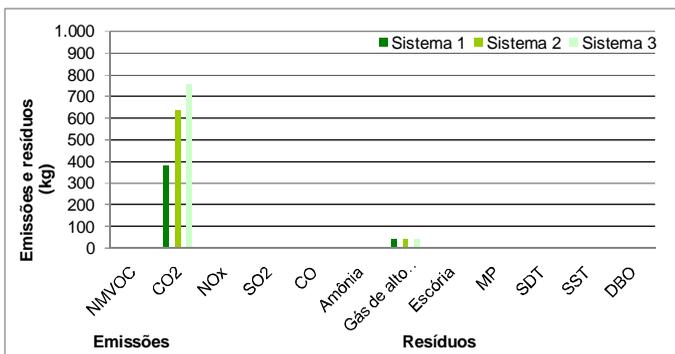
**Figura 17 – Resíduos e emissões dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial da residência de médio padrão.**



(a) 30% de usos finais não potáveis.



(b) 40% de usos finais não potáveis.



(c) 50% de usos finais não potáveis.

**Figura 18 – Resíduos e emissões dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial da residência de alto padrão.**

### 4.3.5 Avaliação econômica

A quantidade de materiais, equipamentos, serviços, preços unitários, e os custos totais estimados para os sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública e para os sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial das residências avaliadas estão apresentados no Apêndice 2 e no Apêndice 4, respectivamente.

Os valores dos custos totais de instalação (materiais e mão-de-obra) e manutenção durante a vida útil dos sistemas hidráulicos prediais, em cada estudo de caso, encontram-se na Tabela 28.

É importante observar que, no caso dos sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial, os custos apresentados na Tabela 28 englobam todos os sistemas hidráulicos prediais (água fria, água quente e água pluvial) e também os custos em manutenções durante a vida útil. Além disso, os custos totais são utilizados no item 4.3.6 para o cálculo dos indicadores de viabilidade econômica.

**Tabela 28 – Custos totais dos sistemas hidráulicos prediais.**

Sistemas	Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	Custos totais (R\$)		
		Residência de baixo padrão	Residência de médio padrão	Residência de alto padrão
Sistema A	--	R\$ 996,76	R\$ 2.226,28	R\$ 7344,90
Sistema 1	30	R\$ 6.942,49	R\$ 7.530,07	R\$ 17.411,44
	40	R\$ 8.862,49	R\$ 8.291,37	R\$ 18.647,44
	50	R\$ 10.503,79	R\$ 9.521,37	R\$ 19.833,44
Sistema 2	30	R\$ 7.362,49	R\$ 8.917,73	R\$ 17.946,44
	40	R\$ 9.682,49	R\$ 9.659,03	R\$ 19.396,44
	50	R\$ 11.103,79	R\$ 11.309,03	R\$ 20.796,44
Sistema 3	30	R\$ 5.758,49	R\$ 7.313,73	R\$ 16.166,44
	40	R\$ 6.446,49	R\$ 7.809,03	R\$ 16.904,44
	50	R\$ 7.803,79	R\$ 8.073,03	R\$ 17.592,44

O investimento inicial para implantação de cada opção de sistema de aproveitamento de água pluvial, por residência, encontra-se na Tabela 29. Esses custos correspondem apenas à mão-de-obra e

aquisição de equipamentos e componentes necessários para realizar o aproveitamento de água pluvial. Também, ressalta-se que os custos de investimento inicial foram utilizados para calcular os períodos de retorno, através do payback descontado.

**Tabela 29 – Investimento inicial para instalação de equipamentos e componentes necessários para realizar o aproveitamento de água pluvial.**

Sistemas	Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	Investimento inicial (R\$)		
		Residência de baixo padrão	Residência de médio padrão	Residência de alto padrão
Sistema 1	30	R\$ 5.186,19	R\$ 6.602,27	R\$ 8.277,36
	40	R\$ 7.106,19	R\$ 7.363,57	R\$ 9.513,36
	50	R\$ 8.747,49	R\$ 8.593,57	R\$ 10.699,36
Sistema 2	30	R\$ 5.606,19	R\$ 7.022,27	R\$ 8.812,36
	40	R\$ 7.926,19	R\$ 7.763,57	R\$ 10.262,36
	50	R\$ 9.347,49	R\$ 9.413,57	R\$ 11.662,36
Sistema 3	30	R\$ 4.002,19	R\$ 5.418,27	R\$ 7.032,36
	40	R\$ 4.690,19	R\$ 5.913,57	R\$ 7.770,36
	50	R\$ 6.047,49	R\$ 6.177,57	R\$ 8.458,36

O reservatório inferior de armazenamento de água pluvial foi o componente responsável pela maior parte dos custos dos sistemas da residência de baixo e médio padrão.

Destaca-se que a residência de baixo padrão necessitou de volumes de reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial maiores que as demais residências, e por isso, o valor de investimento inicial da mesma aproximou-se ao valor da residência de médio padrão.

Os custos de operação dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial verificados na avaliação econômica estão apresentados na Tabela 30. Ainda nesta tabela, são apresentados os custos de fornecimento de água potável da concessionária com e sem uso de água pluvial para um cenário considerando a cobrança de esgoto, e outro cenário sem essa cobrança.

**Tabela 30 – Custos de operação dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial.**

Custos verificados	Valor (R\$/mês)								
	Residência de baixo padrão			Residência de médio padrão			Residência de alto padrão		
Sistemas	Sistema 1, 2 e 3			Sistema 1, 2 e 3			Sistema 1, 2 e 3		
$P_a$	30%	40%	50%	30%	40%	50%	30%	40%	50%
Custo da energia elétrica para o bombeamento	R\$ 0,08	R\$ 0,11	R\$ 0,14	R\$ 0,36	R\$ 0,47	R\$ 0,57	R\$ 0,95	R\$ 1,25	R\$ 1,54
Tarifa de água cobrada pela concessionária	Ver Tabela 19 (item 4.2.4)								
Tarifa de esgoto cobrada pela concessionária	100% valor da tarifa total								
Custo de água potável sem uso de água pluvial	R\$ 46,89			R\$ 73,80			R\$ 106,13		
Custo de água potável e esgoto sem uso de água pluvial	R\$ 93,78			R\$ 147,60			R\$ 212,26		
Custo de água potável com uso de água pluvial	R\$ 28,25	R\$ 24,47	R\$ 24,47	R\$ 47,35	R\$ 39,55	R\$ 32,55	R\$ 66,02	R\$ 54,94	R\$ 44,65
Custo de água potável e esgoto com uso de água pluvial	R\$ 56,51	R\$ 48,94	R\$ 48,94	R\$ 94,71	R\$ 79,10	R\$ 65,10	R\$ 132,03	R\$ 109,87	R\$ 89,29

$P_a$  = Percentual de usos não potáveis (água potável a ser substituída por pluvial).

O custo mensal de energia elétrica se mostrou muito pequeno em comparação aos outros custos levantados. Também, os custos de manutenção dos equipamentos ao longo da vida útil do sistema, verificados em base mensal, mostraram-se baixos.

A economia mensal de água gerada em cada residência e o benefício monetário mensal de cada sistema, considerando a cobrança de esgoto, encontra-se na Tabela 31. A economia mensal foi calculada com base nos resultados obtidos no programa Netuno, apresentados no item 4.3.1. Para o cálculo dos benefícios efetivos, ressalta-se que, diminuem-se do valor do benefício os respectivos custos mensais de energia elétrica para o bombeamento, de acordo com a Equação 3.13.

Para o cenário em que foi desconsiderada a cobrança de esgoto, o benefício monetário mensal de cada sistema é apresentado Tabela 32. A economia mensal de água gerada ( $m^3$ ) é a mesma para os dois cenários.

**Tabela 31 – Benefícios dos sistemas de aproveitamento de água pluvial considerando a cobrança de esgoto.**

Sistema	Usos não potáveis (%)	Residência de baixo padrão		Residência de médio padrão		Residência de alto padrão	
		$E_m$ ( $m^3$ )	$B_m$ (R\$)	$E_m$ ( $m^3$ )	$B_m$ (R\$)	$E_m$ ( $m^3$ )	$B_m$ (R\$)
Sistema 1, 2 e 3	30	4,16	R\$ 37,27	5,90	R\$ 52,53	7,74	R\$ 79,27
	40	5,38	R\$ 44,70	7,64	R\$ 68,03	10,21	R\$ 101,13
	50	6,84	R\$ 44,70	9,20	R\$ 81,93	12,50	R\$ 121,42

$E_m$  = Economia mensal de água gerada pelo sistema ( $m^3$ );

$B_m$  = Benefício monetário mensal (R\$).

**Tabela 32 – Benefícios dos sistemas de aproveitamento de água pluvial desconsiderando a cobrança de esgoto.**

Sistema	Usos não potáveis (%)	Residência de baixo padrão		Residência de médio padrão		Residência de alto padrão	
		$E_m$ ( $m^3$ )	$B_m$ (R\$)	$E_m$ ( $m^3$ )	$B_m$ (R\$)	$E_m$ ( $m^3$ )	$B_m$ (R\$)
Sistema 1, 2 e 3	30	4,16	R\$ 18,56	5,90	R\$ 26,08	7,74	R\$ 39,16
	40	5,38	R\$ 22,28	7,64	R\$ 33,78	10,21	R\$ 49,94
	50	6,84	R\$ 22,28	9,20	R\$ 40,68	12,50	R\$ 59,94

$E_m$  = Economia mensal de água gerada pelo sistema ( $m^3$ );

$B_m$  = Benefício monetário mensal (R\$).

Na residência de baixo padrão, obteve-se o mesmo benefício monetário mensal para 40% e 50% de usos não potáveis. Isso ocorreu em função de o consumo de água potável para esses percentuais ser inferior a 10 m<sup>3</sup> e assim o custo de água potável se enquadrou dentro da faixa em que é cobrado pela concessionária um valor fixo (tarifa mínima).

Com relação à influência do percentual de água potável a ser substituída por pluvial (usos não potáveis), notou-se que quanto maior este percentual, maior é a economia mensal de água e o benefício monetário.

Os períodos de retornos, considerando a cobrança de esgotos, obtidos para os sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial estão apresentados na Tabela 33. Para o cenário em que não foi avaliada a cobrança de esgoto, os períodos de retornos estão apresentados na Tabela 34.

**Tabela 33 – Períodos de retorno dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial (considerando a cobrança de esgoto).**

Sistemas	Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	Período de retorno (anos)		
		Residência de baixo padrão	Residência de médio padrão	Residência de alto padrão
Sistema 1	30	25,3	19,6	13,8
	40	42,7	14,7	11,6
	50	>100	13,8	10,5
Sistema 2	30	32,7	22,6	15,3
	40	>100	16,8	13,1
	50	>100	16,3	12,0
Sistema 3	30	14,5	13,5	10,7
	40	13,8	10,3	8,7
	50	23,3	8,4	7,6

**Tabela 34 – Períodos de retorno dos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial (desconsiderando a cobrança de esgoto).**

Sistemas	Percentual de água potável a ser substituída por pluvial (%)	Período de retorno (anos)		
		Residência de baixo padrão	Residência de médio padrão	Residência de alto padrão
Sistema 1	30	>100	>100	>100
	40	>100	>100	>100
	50	>100	>100	>100
Sistema 2	30	>100	>100	>100
	40	>100	>100	>100
	50	>100	>100	>100
Sistema 3	30	>100	>100	>100
	40	>100	>100	37,8
	50	>100	33,8	26,2

Verificou-se que os períodos de retornos são menores quando é considerada a cobrança de esgoto por parte da concessionária, pois neste caso o benefício monetário mensal é maior.

Verificando os períodos de retorno de investimento de todas as opções de sistemas para as residências, constatou-se que o período mínimo de retorno considerando a cobrança de esgotos foi de 7,6 anos, obtido para o Sistema 3 da residência de alto padrão, com 50% de água potável a ser substituída por pluvial.

Para o cenário em que foi desconsiderada a cobrança de esgoto, todos os períodos de retorno obtidos foram inviáveis (maiores que 20 anos), exceto para o Sistema 3 das residências de médio padrão (40% de usos não potáveis) e alto padrão (40% e 50% de usos não potáveis).

Pode-se considerar que os períodos de retorno obtidos poderiam ser reduzidos caso fossem utilizadas tarifas de água mais elevadas. Além disso, caso os percentuais de água potável a ser substituída por pluvial fossem maiores que os analisados, os períodos de retorno também seriam reduzidos.

### 4.3.6 Indicadores de viabilidade

Os indicadores de viabilidade foram verificados utilizando os dados obtidos na estimativa de energia embutida, estimativa de emissões e resíduos, e na avaliação econômica.

As Tabelas 35 a 37 apresentam, para cada residência, os valores dos indicadores de viabilidade obtidos para o sistema hidráulico predial que utiliza apenas água potável da rede pública e para as três opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial.

Constatou-se que, em cada residência, o valor obtido para o indicador de manutenções do sistema durante a sua vida útil por consumo de água potável ( $I_{manut}$ ) foi igual para os três tipos de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial analisados. Isto ocorreu porque os equipamentos/componentes que necessitam de trocas (torneiras, motobomba, válvula solenóide e bóia de nível) e o número de vezes que devem ser trocados por vida útil, são os mesmos para os três tipos de sistemas.

Da análise das Tabelas 35 a 37, verificou-se que em todas as residências, para os três tipos de sistemas, há uma tendência de os indicadores aumentarem à medida que se eleva o percentual de usos não potáveis (água potável a ser substituída por pluvial). Essa tendência ocorreu para os indicadores de energia embutida por consumo de água potável ( $I_{EE}$ ), pois para os percentuais de usos não potáveis maiores, a energia embutida do sistema também aumenta, enquanto que o consumo de água potável (denominador da equação) é menor para estes percentuais, tendendo assim a elevar o valor dos indicadores.

Para os indicadores de energia embutida por unidade da principal emissão gerada na fabricação dos componentes ( $I_{emis}$ ) também ocorre essa tendência visto que, a quantidade de emissões de  $CO_2$  é diretamente proporcional aos percentuais de usos não potáveis. Além disso, conforme já citado no item 4.3.4.3, a quantidade de emissões aumenta proporcionalmente com o volume do reservatório inferior de armazenamento de água pluvial, que é maior para os percentuais de usos não potáveis mais altos.

Do mesmo modo, os indicadores de custo total por energia embutida ( $I_{custos\_sist}$ ), dos três tipos de sistemas das residências analisadas, aumentam em ordem crescente em relação aos percentuais de usos não potáveis. Isso se explica em função de os custos totais dos sistemas serem maiores, principalmente devido ao custo do reservatório inferior de armazenamento de água pluvial.

---

Com relação aos padrões residenciais avaliados, constatou-se que para as residências, os indicadores referentes aos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial, são no mínimo três vezes maiores que os respectivos indicadores para os sistemas hidráulicos prediais que utiliza apenas água potável da rede pública.

Os indicadores obtidos apresentaram o mesmo sentido de eficiência, ou seja, quanto maior o valor dos indicadores relacionados a aspectos ambientais pode-se considerar que o impacto ambiental do sistema será maior. Com relação ao indicador relativo a aspectos econômicos, quanto maior o valor deste indicador, maior os custos totais do sistema.

Com base nos indicadores de viabilidade foram realizadas as comparações entre sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública e as três opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial, apresentadas no próximo item.

---

**Tabela 35 – Indicadores de viabilidade para residência de baixo padrão.**

<b>Sistemas</b>	<b>P<sub>a</sub></b> <b>(%)</b>	<b>I<sub>EE</sub></b> <b>(MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>I<sub>manut</sub></b> <b>(MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>I<sub>emis</sub></b> <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>I<sub>custos_sist</sub></b> <b>(R\$/m<sup>3</sup>).</b>
Sistema A	--	4,76	0,05	0,003	0,26
Sistema 1	30	8,97	0,29	0,08	2,63
	40	15,36	0,32	0,13	3,79
	50	16,37	0,38	0,21	5,29
Sistema 2	30	12,30	0,29	0,11	2,79
	40	17,35	0,32	0,23	4,14
	50	20,62	0,38	0,35	5,59
Sistema 3	30	16,70	0,29	0,13	2,18
	40	26,38	0,32	0,27	2,75
	50	33,64	0,38	0,44	3,93

P<sub>a</sub> = Percentual de usos não potáveis (água potável a ser substituída por pluvial).

I<sub>EE</sub> = Indicador de energia embutida por consumo de água potável (MJ/m<sup>3</sup>);

I<sub>manut</sub> = Indicador de manutenções do sistema durante a sua vida útil por consumo de água potável (MJ/m<sup>3</sup>);

I<sub>emis</sub> = Indicador da principal emissão gerada na fabricação dos componentes do sistema por consumo de água potável (kg/m<sup>3</sup>);

I<sub>custos\_sist</sub> = Indicador de custo total do sistema por consumo de água potável (R\$/m<sup>3</sup>).

**Tabela 36 – Indicadores de viabilidade para residência de médio padrão.**

<b>Sistemas</b>	<b>P<sub>a</sub></b> <b>(%)</b>	<b>I<sub>EE</sub></b> <b>(MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>I<sub>manut</sub></b> <b>(MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>I<sub>emis</sub></b> <b>(kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>I<sub>custos_sist</sub></b> <b>(R\$/m<sup>3</sup>).</b>
Sistema A	--	5,16	0,07	0,003	0,44
Sistema 1	30	15,16	0,26	0,06	2,05
	40	17,48	0,29	0,09	2,55
	50	19,95	0,33	0,12	3,32
Sistema 2	30	17,55	0,26	0,08	2,43
	40	21,76	0,29	0,13	2,97
	50	26,89	0,33	0,19	3,94
Sistema 3	30	20,71	0,26	0,10	1,99
	40	27,18	0,29	0,16	2,40
	50	35,07	0,33	0,23	2,81

P<sub>a</sub> = Percentual de usos não potáveis (água potável a ser substituída por pluvial).

I<sub>EE</sub> = Indicador de energia embutida por consumo de água potável (MJ/m<sup>3</sup>);

I<sub>manut</sub> = Indicador de manutenções do sistema durante a sua vida útil por consumo de água potável (MJ/m<sup>3</sup>);

I<sub>emis</sub> = Indicador da principal emissão gerada na fabricação dos componentes do sistema por consumo de água potável (kg/m<sup>3</sup>);

I<sub>custos\_sist</sub> = Indicador de custo total do sistema por consumo de água potável (R\$/m<sup>3</sup>).

**Tabela 37 – Indicadores de viabilidade para residência de alto padrão.**

<b>Sistemas</b>	<b>P<sub>a</sub> (%)</b>	<b>I<sub>EE</sub> (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>I<sub>manut</sub> (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>I<sub>emis</sub> (kg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>I<sub>custos_sist</sub> (R\$/m<sup>3</sup>).</b>
Sistema A	--	8,46	0,08	0,005	1,12
	30	21,84	0,24	0,07	3,77
Sistema 1	40	25,06	0,28	0,08	4,63
	50	29,26	0,32	0,11	5,71
	30	24,21	0,24	0,08	3,89
Sistema 2	40	29,32	0,28	0,13	4,82
	50	35,69	0,32	0,18	5,99
	30	27,37	0,24	0,10	3,50
Sistema 3	40	34,39	0,28	0,15	4,20
	50	43,32	0,32	0,22	5,06

P<sub>a</sub> = Percentual de usos não potáveis (água potável a ser substituída por pluvial).

I<sub>EE</sub> = Indicador de energia embutida por consumo de água potável (MJ/m<sup>3</sup>);

I<sub>manut</sub> = Indicador de manutenções do sistema durante a sua vida útil por consumo de água potável (MJ/m<sup>3</sup>);

I<sub>emis</sub> = Indicador da principal emissão gerada na fabricação dos componentes do sistema por consumo de água potável (kg/m<sup>3</sup>);

I<sub>custos\_sist</sub> = Indicador de custo total do sistema por consumo de água potável (R\$/m<sup>3</sup>).

### 4.3.7 Comparações entre sistemas

As comparações entre os sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública e os sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial foram realizadas utilizando os indicadores  $I_{EE}$ ,  $I_{manut}$ ,  $I_{emis}$ ,  $I_{custos\_sist}$ , apresentados no item 4.3.6.

Como havia diferentes percentuais de usos não potáveis para serem analisados nas comparações, foram utilizados os valores médios dos resultados de cada indicador por tipo de sistema, para as residências avaliadas.

Verificou-se que para sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública o valor médio do indicador de energia embutida por consumo de água potável ( $I_{EE}$ ) das três residências resultou em 6,1 MJ/m<sup>3</sup>, enquanto que o valor médio do indicador de energia embutida por consumo de água potável para a situação em que é realizado o aproveitamento de água pluvial resultou em 18,8 MJ/m<sup>3</sup> para o Sistema 1, em 22,8 MJ/m<sup>3</sup> para o Sistema 2 e em 29,4 MJ/m<sup>3</sup> para o Sistema 3.

Assim, com base nos valores obtidos para os indicadores de energia embutida por consumo de água potável ( $I_{EE}$ ) nas residências avaliadas, constatou-se que mesmo contabilizando a economia de água potável gerada pelo uso de água pluvial, a energia embutida em cada metro cúbico de água potável fornecido por sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial é maior que a energia embutida por metro cúbico de água potável fornecido por sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública.

Ainda em relação aos indicadores  $I_{EE}$ , verificou-se que para todas as residências, o Sistema 1 apresentou os menores índices de energia embutida por consumo de água potável. Assim, através desta comparação, constatou-se que os sistemas que apresentam o reservatório inferior de armazenamento de água pluvial fabricado em plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) são mais viáveis ambientalmente que as demais opções avaliadas.

O valor médio do indicador de manutenções por consumo de água potável ( $I_{manut}$ ) dos sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública das três residências resultou em 0,07 MJ/m<sup>3</sup>, enquanto que o valor médio do indicador de manutenções por consumo de água potável dos sistemas complementados por

aproveitamento de água pluvial resultou em 0,30 MJ/m<sup>3</sup> para o Sistema 1, para o Sistema 2 e também para o Sistema 3.

Conforme explicado no item 4.3.6, obteve-se o mesmo indicador de manutenções do sistema durante a sua vida útil por consumo de água potável ( $I_{manut}$ ) para os três tipos de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial porque os componentes que necessitam de trocas são iguais para os três tipos de sistemas.

Depois disso, verificou-se que para a residência de baixo padrão, o indicador médio de manutenções por consumo de água potável ( $I_{manut}$ ) das opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial foi aproximadamente 6,4 vezes maior que o indicador manutenções por consumo de água potável dos sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública. Na residência de médio padrão, este indicador foi 4,1 vezes maior, enquanto que para a residência de alto padrão foi 3,5 vezes maior.

O indicador médio de custo total do sistema por consumo de água potável ( $I_{custos_{sist}}$ ) das três residências foi verificado primeiramente para os sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública, e obteve-se o valor de 0,60 R\$/m<sup>3</sup> para este indicador. Já para os sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial o indicador médio de custo total do sistema por consumo de água potável obtido foi 3,75 R\$/m<sup>3</sup> para o Sistema 1; 4,10 R\$/m<sup>3</sup> para o Sistema 2 e 3,20 R\$/m<sup>3</sup> para o Sistema 3.

A relação entre o custo total do sistema durante a sua vida útil e o volume de água potável consumido durante esse período, indicou que economicamente os sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial possuem um custo maior que os sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública.

Analisando o indicador  $I_{custos_{sist}}$  das três opções de sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial, percebe-se que o Sistema 3 (com reservatório inferior de armazenamento de água pluvial em concreto armado) apresentou o menor custo total por consumo de água potável, e portanto é mais viável economicamente que os demais sistemas. Além disso, verificou-se que o resultado obtido por meio deste indicador está em conformidade com os resultados da avaliação econômica, onde ficou evidente que, para as residências analisadas, o Sistema 3 apresentou os períodos de retorno de investimento mais atrativos.

Com relação ao indicador da principal emissão gerada na fabricação dos componentes do sistema por consumo de água potável

---

( $I_{emis}$ ), obteve-se como valor médio para este indicador  $0,004 \text{ kg/m}^3$  de emissão de  $\text{CO}_2$ , enquanto que para o indicador  $I_{emis}$  de cada sistema complementado por aproveitamento de água pluvial, os valores médios obtidos foram  $0,11 \text{ kg/m}^3$  de emissão de  $\text{CO}_2$  para o Sistema 1, para o Sistema 2 foi de  $0,16 \text{ kg/m}^3$  de emissão de  $\text{CO}_2$  e para o Sistema 3 foi de  $0,20 \text{ kg/m}^3$  de emissão de  $\text{CO}_2$ .

Diante dos indicadores  $I_{emis}$ , verificou-se que quando não é realizado aproveitamento de água pluvial, os sistemas hidráulicos prediais apresentam uma quantidade menor de emissão  $\text{CO}_2$  por metro cúbico de água consumido, logo são mais viáveis ambientalmente.

Dentre os sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial, o Sistema 3 foi o que apresentou o maior indicador da principal emissão gerada na fabricação dos componentes do sistema por consumo de água potável ( $I_{emis}$ ), e por isso apresentou maior quantidade de emissões geradas nos processos de fabricação de seus componentes, e portanto, foram considerados os sistemas mais impactantes ambientalmente, conforme demonstrado no item 4.3.4.3.

Além disso, constatou-se que os indicadores  $I_{emis}$  estão de acordo com os resultados obtidos através da avaliação ambiental, que apontam que dentre as opções de sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial analisadas nos estudos de caso, os sistemas que possuem altos níveis de energia embutida são os que apresentam maior quantidade de emissões geradas nos seus processos de fabricação.

---



## 5 CONCLUSÕES

### 5.1 *Conclusões gerais*

Neste capítulo apresentam-se as conclusões referentes à aplicação do método proposto para avaliar a viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial.

O método foi aplicado em três estudos de caso: projetos de residências de baixo, médio e alto padrão, localizadas em Florianópolis/SC.

O volume dos reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial para as três residências foi dimensionado por meio de simulações realizadas com auxílio do programa Netuno. Foram utilizados percentuais de água potável a ser substituída por pluvial de 30%, 40% e 50% para as simulações em cada residência.

O volume ideal dos reservatórios inferiores, obtido com auxílio do programa Netuno, variou entre 4,0 m<sup>3</sup> e 11,0 m<sup>3</sup>. Devido à pequena área de captação da residência de baixo padrão, obteve-se para essa residência volumes de reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial maiores do que nas residências de médio e de alto padrão.

O potencial de economia de água potável obtido com o aproveitamento de água pluvial para as residências analisadas variou entre 27,7% e 46,3%.

Para a avaliação ambiental foi realizado um levantamento de matérias-primas, energia embutida, emissões e resíduos dos principais equipamentos e componentes pertencentes aos sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública e aos sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial.

Foram avaliadas três diferentes opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial, que apresentaram como materiais constituintes dos reservatórios inferiores o plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV), o polietileno de alta densidade (PEAD) e o concreto armado. Dentre estas opções analisadas, verificou-se que os sistemas com reservatórios inferiores em PRFV apresentaram os menores valores de energia embutida total.

Os resultados obtidos através da avaliação ambiental apontam que os sistemas que possuem altos níveis de energia embutida apresentam maior quantidade de resíduos e emissões nos processos de fabricação de seus componentes, e assim ocasionam maiores impactos

---

ambientais.

A verificação de emissões e resíduos proporcionou uma visão geral dos principais resíduos sólidos, emissões para a água e emissões atmosféricas referentes às saídas verificadas na etapa de fabricação dos componentes pertencentes aos sistemas analisados.

Através dos estudos de caso, verificou-se que quando não é realizado aproveitamento de água pluvial, os sistemas hidráulicos prediais apresentam menor quantidade de emissão CO<sub>2</sub> gerada nos processos de fabricação de seus componentes, logo são mais viáveis ambientalmente.

Na avaliação econômica foram verificados os custos dos sistemas hidráulicos prediais e os benefícios da implantação das três opções de sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial em cada residência, levando em conta a faixa de diferentes percentuais de usos finais não potáveis.

Os períodos de retorno do investimento obtidos para o cenário em que foi considerada a cobrança de esgotos foram viáveis para as três opções de sistemas da residência de alto padrão. Para a residência de médio padrão os períodos de retorno também foram considerados viáveis para todas as opções de sistemas, exceto a opção de 30% de usos não potáveis do Sistema 2. Já para a residência de baixo padrão, verificou-se que apenas as opções de 30% e 40% de usos não potáveis do Sistema 3 apresentaram períodos de retorno viáveis.

Com relação à viabilidade econômica em diferentes padrões residenciais, verificou-se que a implantação das opções de sistemas complementados por aproveitamento de água pluvial na residência de baixo padrão apresentou os períodos de retorno mais elevados. Os menores períodos de retorno foram obtidos para a residência de alto padrão. Porém, ressalta-se que esses foram estudos de caso particulares, e assim não se deve generalizar que serão obtidos resultados semelhantes para qualquer residência de mesmo padrão.

Os períodos de retorno obtidos poderiam ser reduzidos se os percentuais de água potável a ser substituída por pluvial fossem maiores que os adotados (30%, 40% e 50%), e também se os sistemas fossem implantados em cidades com tarifas de água mais elevadas que as tarifas aplicadas em Florianópolis. Além disso, deve-se considerar que o custo da água potável tende a aumentar em poucos anos, principalmente devido à poluição dos mananciais e ações públicas tais como a cobrança pela captação da água. Isso contribuirá para que os períodos de retorno do investimento para realizar aproveitamento de água pluvial sejam menores.

---

---

Por fim, os valores dos indicadores de viabilidade obtidos para os estudos de caso serviram como comparativos de desempenho ambiental e econômico entre as opções de sistemas.

A avaliação dos indicadores ambientais permitiu concluir que apesar de os sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial reduzirem o consumo de água potável, a energia embutida em cada metro cúbico de água potável fornecida por esses sistemas é maior que a energia embutida por metro cúbico de água potável fornecida por sistemas hidráulicos prediais que utilizam apenas água potável da rede pública.

Através da análise entre os indicadores das três opções de sistemas hidráulicos prediais complementados por aproveitamento de água pluvial, verificou-se que o Sistema 1 é o mais viável ambientalmente dentre os sistemas analisados. Os sistemas que possuem reservatórios inferiores de armazenamento de água pluvial em concreto armado (Sistema 3) foram considerados os mais viáveis economicamente, pois apresentaram os menores indicadores de custo total de instalação por consumo de água potável e também os menores períodos de retorno.

Demonstrou-se através da aplicação do método, ser de fundamental importância analisar os aspectos ambientais e econômicos antes da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial na edificação, para que assim possam ser realizadas as melhores escolhas em relação aos materiais componentes dos sistemas, visando proteger o meio ambiente e melhorar a qualidade de vida da população.

A principal conclusão do trabalho é que o método proposto é adequado para avaliar a viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações. Além disso, o trabalho contribui para pesquisas sobre sistemas de aproveitamento de água pluvial, ampliando o foco sobre análise de ciclo de vida desses sistemas.

## **5.2 Limitações encontradas**

Na elaboração deste trabalho foram encontradas algumas limitações devido à grande quantidade de informações necessárias, nem sempre acessíveis, principalmente devido à falta de um banco de dados de ACV brasileiro.

Para o presente estudo, inicialmente, almejava-se utilizar dados primários de energia embutida, matérias-primas, emissões e resíduos obtidos em empresas fabricantes. Porém, em função da dificuldade de

---

acesso às informações e também devido à ausência de alguns dados específicos, utilizaram-se dados obtidos através de pesquisa bibliográfica nacional e internacional.

Ainda em relação aos dados de energia embutida e resíduos utilizados nos estudos de caso, cabe salientar que foram utilizadas algumas fontes de dados estrangeiros que refletem a realidade do local onde os dados foram coletados. Porém, estes dados contribuíram enormemente para que fosse possível obter uma visão geral dos aspectos ambientais dos sistemas em estudo.

Embora tenham sido procuradas informações representativas na literatura, utilizou-se neste estudo uma diversidade de fontes nacionais e estrangeiras. Assim é provável que não exista uma uniformidade na metodologia de amostragem e consolidação dos dados apresentados pelas diferentes fontes pesquisadas.

Além disso, é importante relatar que algumas simplificações (descritas no item 4.2.3.3) foram necessárias em função da falta de dados disponíveis, e, portanto o uso deste inventário deve considerar a existência de algumas imprecisões e incertezas nos resultados obtidos.

A análise das matérias-primas mostrou-se complexa, pois a avaliação do uso de recursos naturais considerando a possibilidade de renovação do recurso pode não ser adequada ao contexto atual, pelo fato que, atualmente existem recursos renováveis que estão em risco de extinção ou de escassez. Por outro lado, há recursos não-renováveis que são abundantes para um consumo livre do risco de redução de reservas em curto prazo. O conceito de disponibilidade do recurso é insuficiente para uma caracterização sistêmica do uso de recursos, porque os estoques de materiais em uso e passíveis de serem reintroduzidos na sociedade através de reciclagem ou reuso devem ser considerados.

Ressalta-se que este trabalho foi um estudo inicial sobre viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial utilizando conceitos da ACV e que deverá ser complementado com novos trabalhos relacionados com o tema.

---

### 5.3 *Sugestões para trabalhos futuros*

Ao final deste estudo, algumas sugestões para trabalhos futuros podem ser mencionadas:

- A substituição dos dados coletados em fontes secundárias por dados primários, obtidos diretamente em empresas envolvidas na fabricação dos componentes dos sistemas;
- Desenvolver uma base de dados brasileira referente ao ciclo de vida de sistemas de aproveitamento de água pluvial;
- Ampliar e aprofundar os estudos sobre matérias-primas, energia embutida, resíduos e emissões geradas nos processos do ciclo de vida de sistemas de aproveitamento de água pluvial;
- Verificar o potencial de impacto ambiental dos resíduos gerados ao longo do ciclo de vida dos materiais e componentes de sistemas de aproveitamento de água pluvial;
- Avaliar o potencial de redução da energia embutida em sistemas de aproveitamento de água pluvial pela utilização de materiais reciclados;
- Implementar computacionalmente o método proposto;
- Aplicar o método proposto em outras tipologias de edificações, como edifícios comerciais e públicos, industriais e residências multifamiliares;
- Aplicar o método proposto em estudos de caso de edificações reais em diferentes regiões do país, utilizando dados de usos finais de água medidos *in loco*;
- Simular cenários futuros de tarifas de água para a avaliação econômica;
- Ampliar a avaliação econômica do método proposto, incluindo outros métodos de análise de viabilidade econômica como TIR (taxa interna de retorno) e VPL (valor presente líquido).



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABAL – Associação Brasileira de Alumínio. Disponível em: <<http://www.abal.org.br>>. Acesso em: maio de 2010.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 10844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro. 1989.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12213**: Projeto de captação de água de superfície para distribuição pública. Rio de Janeiro. 1992.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 6.493**: Emprego de cores para identificação de tubulações. Rio de Janeiro, 1994.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14001**: Sistemas de gestão ambiental – especificação e diretrizes para uso. Rio de Janeiro: 2004.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 5626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro. 1998.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14040**: Gestão ambiental - Avaliação do ciclo de vida - Princípios e estrutura. Rio de Janeiro. 2009a.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR ISO 14044**: Avaliação do Ciclo de Vida: Requisitos e Orientações. Rio de Janeiro: 2009b.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 12721**: Avaliação de custos de construção para incorporação imobiliária e outras disposições para condomínios edifícios. Rio de Janeiro. 2005.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **NBR 15527**: Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro. 2007.

ACQUALIFE. **Ficha técnica das caixas d'água Makrocaixa**. Catálogo eletrônico da Acqualife. Disponível em: <<http://www.makrocaixa.com.br>>. Acesso em: março de 2010.

---

ADALBERTH, K. Energy use during the life cycle of buildings: a method. **Building and Environment**, Oxford, v. 32, n. 4, p. 317-320, 1996.

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p. 53-66, 2008.

ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. Disponível em: <<http://www.aneel.gov.br>>. Acesso em: novembro de 2009.

ARANTES, L. O. **Avaliação comparativa do ciclo de vida de sistemas de aquecimento solar de água utilizados em habitações de interesse social**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Uberlândia. Uberlândia, 2008.

BENJAMIN, A. K. **Desenvolvimento de modelo para avaliação de softwares de apoio à análise do ciclo de vida**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Universidade de São Paulo. São Paulo, 2001.

BERMANN, C. **Os limites dos aproveitamentos energéticos para fins elétricos: uma análise política da questão energética e de suas repercussões socioambientais no Brasil**. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Mecânica. Faculdade de Engenharia Mecânica da UNICAMP. Campinas, 1991.

BNDS. Banco Nacional do Desenvolvimento. **Gerência Setorial do Complexo Químico**. Relato Setorial - Polietileno de Alta Densidade (PEAD). Disponível em: <[http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes\\_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/peadx.pdf](http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/relato/peadx.pdf)>. Acesso em: novembro de 2009.

BORGES, F. J. **Inventário do Ciclo de Vida do PVC Produzido no Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2004.

BRASIL. Ministério da Ciência e Tecnologia. Inventário Brasileiro das Emissões e Remoções Antrópicas de Gases de Efeito Estufa. Disponível em: <<http://www.mct.gov.br>>. Acesso em: maio de 2010.

---

---

CAMPOS, M. A. S.; AMORIM, S. V. Aproveitamento de água pluvial em um edifício residencial multifamiliar no município de São Carlos. In: I CONFERÊNCIA LATINOAMERICANA DE CONSTRUÇÃO SUSTENTÁVEL e X ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. **Anais...**São Paulo, 2004.

CAMPOS, M. A. S.; ILHA, M. S. de O.; GRANJA, A. D. Investimento em sistemas de aproveitamento de água pluvial: Estudo de caso para uma edificação residencial multifamiliar no município de Campinas. In: Simpósio Brasileiro em Gestão e Economia da Construção, 2007, Campinas. **Anais eletrônicos**, 2007.

CARVALHO, C. E. **A análise do ciclo de vida e os custos completos no planejamento energético**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Elétrica. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

CASAN. Companhia Catarinense de Águas e Saneamento. Disponível em: <http://www.casan.com.br>. Acesso em: setembro de 2010.

CAVALCANTI, C. **Sustentabilidade da economia: paradigmas alternativos de realização econômica**. In: Cavalcanti, C. (Org.). Desenvolvimento e natureza: estudo para uma sociedade sustentável. 2. Ed. São Paulo: Cortez, Recife, PE: Fundação Joaquim Nabuco, 1998.

CELESC. Centrais Elétricas de Santa Catarina. Disponível em: <http://www.celesc.com.br>. Acesso em: agosto de 2010.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do ciclo de vida de produtos: ferramenta gerencial da ISO 14000**. Rio de Janeiro: Qualitymark Ed., 1998.

CICLO DE VIDA. **Grupo de pesquisa em avaliação de ciclo de vida**. Disponível em: <<http://www.ciclodevida.ufsc.br>>. Acesso em: novembro de 2009.

COLTRO, L. **Avaliação do Ciclo de Vida como Instrumento de Gestão**. Centro de Tecnologia de Embalagens. Instituto Técnico de Alimentação. CETEA/ITAL. Campinas, 2007. Disponível em: <http://www.cetea.ital.org.br>. Acesso em: março, 2010.

CONSOLI, F. J.; DENISON, R.; DICKSON, K.; MOHIN, T. **Guidelines for Life-Cycle Assessment: a "code of practice"**. 1ª. Ed. Pensacola:

---

Society of Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) Foundation for Environmental Education, 1993.

COOMBES, P. J.; ARGUE, J. R.; KUCZERA, G. Figtree Place: a case study in water sensitive urban development. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 335-343, 2000.

CORINAIR. **Atmospheric Emission Inventory Guidebook - Solvent and Other Product Use**. EMEP - Co-operative Program for Monitoring and Evaluation of the Long Range Transmission of Air Pollutants in Europe/CORINAIR - The Atmospheric Emission Inventory for Europe. Primeira Edição, 1996.

CREDER, H. **Instalações hidráulicas e sanitárias**. 4 Ed. Rio de Janeiro: LTC, 1988.

DEGANI, C. M.; CARDOSO, F. F. A sustentabilidade ao longo do ciclo de vida de edifícios: a importância da etapa de projeto arquitetônico. In: NUTAU - Núcleo de Pesquisa em Tecnologia da Arquitetura e Urbanismo da Faculdade de Arquitetura e Urbanismo da Universidade de São Paulo. **Anais...** São Paulo, 2002. CD-ROM.

DIAS, C. S.; ATHAYDE JR, G. B.; GADELHA, C. L. M. Viabilidade econômica e social do aproveitamento de água pluviais em residências na cidade de João Pessoa. X Simpósio Nacional de Sistemas Prediais: Desenvolvimento e inovação, São Carlos-SP, **Anais...** CD Rom, 2007.

DIAS, I. C. S. **Estudo da viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento de água de chuva em residências na cidade de João Pessoa**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana. Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

DNPM. Departamento Nacional e Produção Mineral. **Balço Mineral Brasileiro 2001**. Disponível em: <[http://www.dnpm.gov.br/mostra\\_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=361](http://www.dnpm.gov.br/mostra_arquivo.asp?IDBancoArquivoArquivo=361)>. Acesso em: maio de 2010a.

DNPM. Departamento Nacional e Produção Mineral. **Anuário Mineral Brasileiro 2006**. Disponível em: <<http://www.dnpm.gov.br/assets/galeriaDocumento/AMB2006/Apendices.pdf>>. Acesso em maio de 2010b.

---

---

EEA. European Environment Agency. **Emission Inventory Guidebook 2007**. Disponível em: <<http://www.eea.europa.eu/publications/EMEPCORINAIR5>>. Acesso em: maio de 2010.

FAMAC. Motobombas Famac. Disponível em: <<http://www.famac.ind.br>>. Acesso em: maio de 2010.

FELTRAN, M. B. **Compósitos de PVC reforçados com fibra de vidro: uso de técnicas de processamento convencionais da indústria brasileira**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Metalúrgica e de Materiais. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2008.

FENDRICH, R. **Coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana**. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Paraná. 2002.

FERREIRA, J. V. R. F. **Análise de ciclo de vida dos produtos**. Instituto Politécnico de Viseu. Portugal, 2004.

FEWKES, A.; FRAMPTON, D. I. The Development of a Computer Model to Evaluate the Performance of a Rain Water Supplied W.C. Flushing Systems. In: CIBW62 SEMINAR, Porto, Portugal. Proceedings, 1993.

FONSECA, R. C. Z. **O PVC e a sustentabilidade ambiental: marcos históricos e o caso Amanco Brasil**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2004.

FRIEDRICH, E.; PILLAY, S.; BUCKLEY C. A. **The use of LCA in the water industry and the case for an environmental performance indicator**. Water Research Commission. Disponível em: <<http://www.wrc.org.za>>. Acesso em: agosto de 2009.

FURUMAI, H. Rainwater and reclaimed wastewater for sustainable urban water use. **Physics and Chemistry of the Earth**, 2008.

GHISI, E. Parameters Influencing the Sizing of Rainwater Tanks for Use in Houses. **Water Resources Management**, v. 24, n. 10, p. 2381-2403, 2010.

---

GHISI, E. Potential for Potable Water Savings by Using Rainwater in the Residential Sector of Brazil. **Building and Environment**, v. 41, n. 11, p. 1544-1550, 2006.

GHISI, E.; CORDOVA, M. M.; ROCHA, V. L. **Netuno**. Universidade Federal de Santa Catarina. Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <<http://www.labee.ufsc.br/software/netuno.html>>. Acesso em: janeiro de 2010.

GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for Potable Water Savings by Using Rainwater and Greywater in a Multi-storey Residential Building in Southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 7, p. 2512-2522, 2007.

GHISI, E.; OLIVEIRA, S. M. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. **Building and Environment**, v. 42, n. 4, p. 1731-1742, 2007.

GNADLINGER, J. Technical presentation of various types of cisterns built in the rural communities of the semiarid region of Brazil. In: 1º Simpósio sobre captação de água de chuva no semi-árido brasileiro. **Anais eletrônicos...**, EMBRAPA SEMI-ÁRIDO; IRPAA ; IRCSA, Petrolina, 1997.

GUINÉE, J. B. **LCA an operational guide to the ISO standards – Part 1: LCA in perspective**. Holanda, Universidade de Leiden, 2001.

HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009.

HARRIS, D. J. A quantitative approach to the assessment of the environmental impact of building materials. **Building and Environment**, v. 34, n. 6, p. 751-758, 1999.

HERNANDES, A. T.; CAMPOS, M. A. S.; AMORIM, S. V. **Análise de custo da implantação de um sistema de aproveitamento de água pluvial para uma residência unifamiliar na cidade de Ribeirão Preto**. I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável X Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais....**São Paulo, 2004.

---

---

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilisation in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. **Urban Water**, v.1, n. 4, pp. 307-316, 2000.

HUSSEIN, H. H. C. **Análise de ciclo de vida na fabricação de reservatórios de água de fibra de vidro**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2004.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: maio de 2010.

IBICT. Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia. **Avaliação do ciclo de vida de produtos**. Disponível em: <<http://www.acv.ibict.br>>. Acesso em: Novembro de 2009.

IPAM. Instituto de Pesquisa Ambiental da Amazônia. Disponível em: <<http://www.ipam.org.br/glossariotermino/Emissoes-Antropicas-/30>>. Acesso em: maio de 2010.

ISO. International Organization for Standardization. *ISO/TR 14047. Environmental Management - Life Cycle Impact Assessment - Examples of Application of ISO 14042*. Geneva: ISO, 2006.

INSTITUT WALLON. **Institut Wallon de développement économique et social**. Greenhouse gas emissions reduction and material flows. *Housing system analysis Part II - Processes description*, 2001.

JOHN, V. M.; CSILLAG, D. Análise das práticas para construção sustentável na América Latina. XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. **Anais....**Florianópolis, 2006.

JOHN, V. M. **Reciclagem de resíduos na construção civil: contribuição à metodologia de pesquisa e desenvolvimento**. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

JOHN, V.M.; OLIVEIRA, D.P.; LIMA, J. A. R. **Levantamento do estado da arte: Seleção de Materiais**. Projeto Tecnologias para construção habitacional mais sustentável Projeto FINEP 2386/04. São Paulo, 2007.

KOBIYAMA, M.; LOPES, N. H. Y.; SILVA, R. V. **Hidrologia urbana**. 1ª Edição. Florianópolis: Editora Pandion, v.1, 2007.

---

KRISHNA, H. **An Overview of Rainwater Harvesting Systems and Guidelines in the United States**, ARCSA. Austin, Texas, EUA, 2005.

KULAY, L. A. **Desenvolvimento de modelo de análise do ciclo de vida adequado às condições brasileiras – aplicação ao caso do superfosfato simples**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.

MACINTYRE, A.J. **Instalações hidráulicas prediais e industriais**. Livros Técnicos e Científicos Editora, 3ª Edição. 1996.

MACOMBER, P. S. H. **Guidelines on Rainwater Catchment Systems for Hawaii**. Department of Natural Resources and Environmental Management. College of Tropical Agriculture and Human Resource. University of Hawaii at Manoa, 2001.

MACOMBER, P. S. H. An overview of rainwater catchment systems in Hawaii. **American Rainwater Catchment System Association Conference. 1**. Austin, Estados Unidos, 2003. Anais eletrônicos, Estados Unidos, 2003.

MANO, R. S.; SCHMITT C. M. Captação Residencial de Água Pluvial, para Fins não Potáveis, em Porto Alegre: Aspectos Básicos da Viabilidade Técnica e dos Benefícios do Sistema. CLACS' 04 – I Conferencia Latino-Americana de Construção Sustentável e ENTAC 04, - 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo - SP, **Anais....**CD Rom, 2004.

MANO, R. S. **Captação residencial de água da chuva para fins não potáveis em Porto Alegre: aspectos básicos da viabilidade técnica e benefícios do sistema**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2004.

MARINOSKI, D. L.; GHISI, E.; GÓMEZ, L. A. Aproveitamento de água pluvial e dimensionamento de reservatório para fins não potáveis: estudo de caso em um conjunto residencial localizado em Florianópolis - SC. CLACS' 04 – I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e ENTAC 04, - 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo - SP, **Anais....**CD Rom, 2004.

---

---

MARTINS, O. S. Análises de ciclos de vida como contribuição à gestão ambiental de processos produtivos e empreendimentos energéticos. Dissertação de Mestrado. Programa Interinidade de Pós-Graduação em Energia (IEE, EP, IF, FEA). São Paulo, 1999.

MASTELLA, D. V. **Comparação entre os processos de produção de blocos cerâmicos e de concreto para alvenaria estrutural, através da análise do ciclo de vida.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Florianópolis, 2002.

MAY, S. **Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações.** Dissertação de Mestrado. Curso de Pós-Graduação em Engenharia da Construção Civil. Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2004.

MAY, S.; PRADO, R. T. A. Estudo da Qualidade da água de chuva para consumo não potável em edificações. CLACS' 04 – I Conferencia Latino-Americana de Construção Sustentável e ENTAC 04, - 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo - SP, **Anais....**CD Rom, 2004.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Padrões mínimos de qualidade da água para consumo humano. Disponível em: <[http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria\\_ms518.pdf](http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/portaria_ms518.pdf)>. Acesso em: março de 2009.

MIZGIER, M. G. O.; GHISI, E.; GÓMEZ, L. A. Custo de ciclo de vida em motobombas. CLACS' 04 – I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e ENTAC 04, - 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo - SP, **Anais....**CD Rom, 2004.

MORIGUCHI, Y. Recycling and waste management from the viewpoint of material flow accounting. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 1, n. 1, p. 2-9, 1999.

MURPHY, J. **The Reinforced Plastics Handbook.** Elsevier Advanced Technology, 1994.

NOVAK, L. A. **Avaliação de custos e impactos ambientais de produtos: Estudo de caso de válvulas de esfera.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2006.

---

OLIVEIRA, J. I; FILHO, M. L. **Caracterização do consumo per capita de água na cidade de Natal: uma análise sócio-econômica.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 22. Joinville, Santa Catarina, 2003. CD-ROM.

OTA, W. N. **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional.** Dissertação de Mestrado. Programa Interdisciplinar de Pós Graduação em Engenharia. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2004.

PETERS, M. R. **Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

PETROBRAS. Petróleo Brasileiro S.A. Disponível em: [http://www2.petrobras.com.br/Petrobras/portugues/area\\_tupi.asp](http://www2.petrobras.com.br/Petrobras/portugues/area_tupi.asp)>. Acesso em: maio de 2010.

PEUPORTIER, B.; KOHLER, N.; BOONSTRA, C. European project Regener, life cycle analysis of buildings. In: Proceedings of the Second International Conference on Buildings and the Environment, v. 1. Paris: CSTB, p. 33–40, 1997.

PNUD. Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento. Disponível em: <<http://www.pnud.org.br>>. Acesso em julho de 2009.

PRADO, R. T. A.; TABORINASKI, V. M. Avaliação do consumo de energia no ciclo de vida dos sistemas de aquecimento de água residencial. In: I Conferência Latino-americana de construção sustentável - X Encontro Nacional de tecnologia do Ambiente Construído, 2004, São Paulo, 2004.

PRÉ CONSULTANTS BV. **SimaPro 5.0. User Manual. Introduction into LCA methodology and practice with SimaPro 5.** Disponível em:<<http://www.pre.nl>>. Acesso em julho de 2010.

PROENÇA, L. C.; TAVARES, D. F.; COELHO, G. M. **Potencial de economia de energia elétrica por meio da redução da demanda por água potável na cidade de Florianópolis.** Monografia apresentada ao Eco\_Lógicas: Concurso Catarinense de Monografias sobre Energias Renováveis e Eficiência Energética, promovido pelo Instituto IDEAL. Florianópolis, 2008.

---

---

PULLEN, S. F. Consideration of environmental issues when renewing facilities and infrastructure. 8th International conference on durability of building materials and components, Vancouver, Canada, 1999.

QUERIDO, J. G. **Caracterização da “cota per capita” de consumo de água de abastecimento público em função da classe social consumidora.** In: SILUBESA – Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 9. Porto Seguro, Bahia, 2000. CD-ROM.

RIBEIRO, W. C. **A ordem ambiental internacional.** São Paulo: Contexto, 2001. 176 p.

ROCHA, V. L. **Validação do algoritmo do programa Netuno para avaliação do potencial de economia de água e dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2009.

SABESP. Companhia de Saneamento Básico de São Paulo. Disponível em: <<http://www.sabesp.com.br>>. Acesso em: janeiro de 2008.

SARTORI, I.; HESTNES, A. G. Energy use in life cycle of conventional and low-energy buildings: a review article. **Energy and Buildings**, v. 39, n. 3, p. 249-257, 2007.

SCHNEIDER. Tabela para seleção de bombas e motobombas. Disponível em: <<http://www.schneider.com.br>>. Acesso em: janeiro de 2010.

SILVA, J. G. **Análise de ciclo de vida de tijolos prensados de escória de alto-forno.** Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal do Espírito Santo. Vitória, 2005.

SILVA, A. S.; SHIMBO, I. A dimensão política na conceituação da sustentabilidade. In: XI Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, Florianópolis. **Anais....**CD Rom, 2006.

SILVA, S. R. M.; SHIMBO, I. Proposição básica para princípios de sustentabilidade. I Encontro Latino Americano e II Encontro Nacional sobre Edificações e Comunidades Sustentáveis, Canela/RS. **Anais....**CD Rom, 2001.

---

SIMIONI, W. I.; GHISI, E.; GÓMEZ, L. A. Potencial de economia de água tratada através do aproveitamento de águas pluviais em postos de combustíveis: estudos de caso. CLACS' 04 – I Conferência Latino-Americana de Construção Sustentável e ENTAC 04, - 10º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo - SP, **Anais....CD Rom**, 2004.

SINDUSCONJP. Exemplos de vida útil de projeto aplicando os conceitos do anexo informativo da norma ABNT/CB-02 – Projeto 02:136.01-001/1 – junho/2007. Disponível em <http://www.sindusconjp.com.br/anexos/documentos//1188918161329.pdf>. Acesso em: fevereiro de 2010.

SNIS. **Diagnóstico dos serviços de água e esgotos** – 2008. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento, Ministério das Cidades. Brasília: Ministério das Cidades - SNSA, 2008. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br>>. Acesso em: novembro de 2010.

SOARES, S. R.; SOUZA, D. M.; WARMILING, S. P. A Avaliação do Ciclo de Vida no contexto da construção civil. In: Miguel Aloysio Sattler; Fernando Oscar Ruttkay Pereira. (Org.). **Coleção Habitar: construção e meio ambiente**. 1ª ed. Porto Alegre: ANTAC, 2006, v.7, p.96-127.

TABORIANSKI, V. M. **Avaliação da contribuição das tipologias de aquecimento de água residencial para a variação do estoque de gases de efeito estufa na atmosfera**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós Graduação em Engenharia de Construção Civil. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.

TAVARES, S. F. **Metodologia de análise do ciclo de vida energético de edificações residenciais brasileiras**. Tese de Doutorado. Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

TOMAZ, P. **A Economia de Água para Empresas e Residências – Um Estudo Atualizado sobre o Uso Racional da Água**. Navegar Editora, São Paulo, 2001.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de Água de Chuva – Para Áreas Urbanas e Fins não Potáveis**. Navegar Editora, São Paulo, 2003.

TONICELO, R. H. S.; ANTUNES, D. L. **Estudo dos materiais a partir de seus ciclos de vida: um olhar sobre as conseqüências ambientais de seus**

---

**empregos no design.** DAPesquisa - Revista de Investigação em Artes. Universidade do Estado de Santa Catarina, Florianópolis. Disponível em: <<http://www.ceart.udesc.br>>. Acesso em: junho de 2010.

TRELOAR, G. J.; McCOUBRIE, A.; LOVE, P. E. D.; IYER-RANIGA, U. Embodied energy analysis of fixtures, fittings and furniture in office buildings. **Facilities**, v. 17, n. 11, p. 403-409, 1999.

TRELOAR, G.J.; LOVE, P.; HOLT, G. **Using national input-output data for embodied energy analysis of individual residential buildings.** Construction Management and Economics 19, p. 49-61. Taylor and Francis Ltd. ISSN 0144-6193. UK, 2001.

USEPA. United States Environmental Protection Agency. **Soil Screening Guidance: Technical Background Document – EPA 540/R-95/128.** Washington, DC, Office of Solid Waste and Emergency Response, 1996. Disponível em: <<http://www.epa.gov>>. Acesso em: dezembro de 2009.

ZAIZEN, M.; URAKAWA, T. MATSUMOTO, T.; TAKAI, H. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. **Urban Water**. v. 1, n. 4, p. 355-359. 2000.

WINES, J. **Green Architecture.** Milan: Taschen, p. 240. 2000.

3P TECHNIK. Disponível em: <<http://www.3ptechnik.de>>. Acesso em: dezembro de 2009.

---



## **ANEXO**



## ANEXO A

### Energia embutida em materiais de construção (TAVARES, 2006).

MATERIAIS	EE (MJ/kg)	EE (MJ/m <sup>3</sup> )	Dens. (kg/m <sup>3</sup> )
Aço - chapa galvanizada	33,80	265330,00	7850
Aço - chapa dobrada	30,00	235500,00	7850
Aço - laminado CA 50A	30,00	235500,00	7850
Aço - reciclado	12,50		
Acrílico	80,00		
Água	0,02	20,00	1000
Alumínio lingote	98,20	265140,00	2700
Alumínio anodizado	210,00	567000,00	2700
Alumínio reciclado - extrudado	17,30		
Alumínio reciclado - anodizado	42,90		
Areia	0,05	75,75	1515
Argamassa - mistura	2,10	3906,00	1860
Asfalto	51,00	107865,00	2115
Batente - madeira aparelhada	3,50	2100,00	600
Borracha natural - latex	69,00	63480,00	920
Borracha sintética	135,00	160650,00	1190
Brita	0,15	247,50	1650
Cal virgem	3,00	4500,00	1500
Carpete	50,00		
Cêra	52,00		
Cerâmica - azulejo	6,20	12400,00	2000
Cerâmica - bloco de 8 furos	2,90	4060,00	1400
Cerâmica - branca	25,00	52075,00	2000
Cerâmica - piso esmaltado	5,00	10000,00	2000
Cerâmica – revest, biqueima	6,20	12400,00	2000
Cerâmica – revest, monoqueima	5,10	10200,00	2000
Cerâmica porcelanato	13,00	27300,00	2100
Cerâmica - refratária	32,40		
Cerâmica - telha	5,40	10260,00	1900
Chapa de compensado	8,00	4400,00	550
Chumbo lingote	21,00	238140,00	11340

**Continuação**

<b>MATERIAIS</b>	<b>EE (MJ/kg)</b>	<b>EE (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Dens. (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Cimento Portland	4,20	8190,00	1950
Cobre	75,00	669975,00	8933
Concreto armado	3,10		
Concreto bloco	1,00	2000,00	2000
Concreto simples	1,20	2760,00	2300
Dobração - ferro	40,00	314800,00	7870
Fechaduras	55,00	467500,00	8500
Ferro fundido	32,80	246000,00	7500
Fibra de vidro	24,00	768,00	32
Fibrocimento - telha	6,00	11520,00	1920
Fio termoplástico	83,00	201690,00	2430
Gesso	4,00	3200,00	800
Gesso acartonado	6,10		
Granito - aparelhada	2,00	5400,00	2700
Lã mineral	19,00	2090,00	110
Latão	80,00	682400,00	8530
Madeira - aparelhada seca forno	3,50	2100,00	600
Madeira - aparelhada seca ar livre	0,50	300,00	600
Madeira - laminada colada	7,50	4875,00	650
Madeira - MDF	9,00	9000,00	1000
Mármore	1,00	2680,00	2680
Marmorite	0,48		
Palha	0,24	31,20	130
Papel	18,54	17242,20	930
Papel kraft	37,70		
Papel de parede	36,40		
Placa de gesso	4,50	4500,00	1000
Poliamida - nylon	125,00	143750,00	1150
Poliestireno expandido	112,00	6160,00	55
Poliétileno de alta densidade	95,00	90250,00	950
Polipropileno	83,80	92180,00	1100
Poliuretano - espuma	74,00	2590,00	35

**Continuação**

<b>MATERIAIS</b>	<b>EE (MJ/kg)</b>	<b>EE (MJ/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Dens. (kg/m<sup>3</sup>)</b>
Porta - madeira aparelhada	3,50	2275,00	650
Prata	128,20	1346100,00	10500
Selante - formaldeído	80,00	120000,00	1500
Solo-cimento - bloco	0,60	1020,00	1700
Solvente - tolueno	67,90	74690,00	1100
Telha de vidro	23,13	55512,00	2400
Tinta acrílica	61,00	79300,00	1,3 kg/l
Tinta óleo	98,10	127530,00	1,3 kg/l
Tinta PVA latex	65,00	84500,00	1,3 kg/l
Torneiras e registros	95,00		
Tubo - PVC	80,00	104000,00	1300
Tubo de ferro galvanizado	33,80		
Vermiculita	1,37	167,14	122
Vidro plano	18,50	46250,00	2500
Vidro - blindex	26,20		
Vinil	47,00		
Zinco	51,00	364140,00	7140



**APÊNDICES**  
(CD EM ANEXO)