

**UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL**

**ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA CONSERVAÇÃO DE  
ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS FUNCIONAIS  
EM BRASÍLIA-DF**

**JORGE THIAGO DUARTE DA SILVA VIANNA**

**ORIENTADOR: MARCO ANTONIO ALMEIDA DE SOUZA  
COORIENTADORA: CONCEIÇÃO DE MARIA ALBUQUERQUE  
ALVES**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E  
RECURSOS HÍDRICOS**

**PUBLICAÇÃO: PTARH.DM – 197/2017  
BRASÍLIA/DF: MAIO – 2017**

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA  
FACULDADE DE TECNOLOGIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

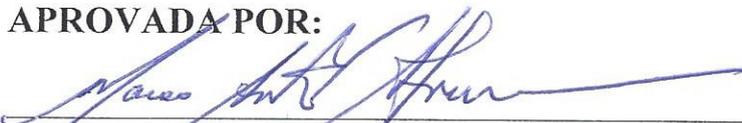
ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA CONSERVAÇÃO DE ÁGUA  
EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS FUNCIONAIS EM BRASÍLIA-

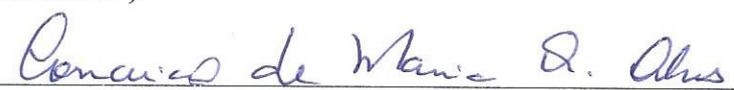
DF

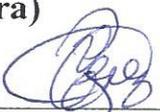
JORGE THIAGO DUARTE DA SILVA VIANNA

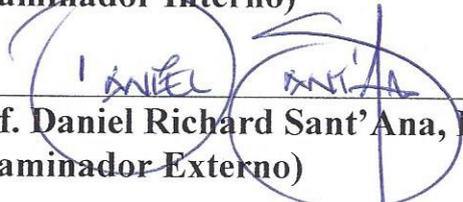
DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL  
E AMBIENTAL DA FACULDADE DE TECNOLOGIA DA UNIVERSIDADE DE  
BRASÍLIA COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A  
OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM TECNOLOGIA AMBIENTAL E  
RECURSOS HÍDRICOS.

APROVADA POR:

  
Prof. Marco Antonio Almeida de Souza, PhD (ENC-UnB)  
(Orientador)

  
Prof.<sup>a</sup>. Conceição de Maria Albuquerque Alves, PhD (ENC-  
UnB)(Coorientadora)

  
Prof. Yovanka Pérez Ginoris, Dr<sup>a</sup> (ENC-UnB)  
(Examinador Interno)

  
Prof. Daniel Richard Sant'Ana, PhD (FAU-UnB)  
(Examinador Externo)

BRASÍLIA/DF, 19 DE MAIO DE 2017

## FICHA CATALOGRÁFICA

VIANNA, JORGE THIAGO DUARTE DA SILVA

Análise de alternativas para conservação de água em edificações residenciais funcionais em Brasília-DF. [Distrito Federal] 2017. xvii, 128p., 210 x 297 mm (ENC/FT/UnB, Mestre, Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, 2017).

Dissertação de Mestrado – Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia.

Departamento de Engenharia Civil e Ambiental.

1. Conservação de água

2. Imóveis funcionais

3. Análise multiobjetivo e multicritério

4. Reúso de água

I. ENC/FT/UnB

II. Título (série)

## REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

VIANNA, J. T. D. S. (2017). Análise de alternativas para conservação de água em edificações residenciais funcionais em Brasília-DF. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM-197/2017 Departamento de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade de Brasília, Brasília, DF, 128p.

## CESSÃO DE DIREITOS

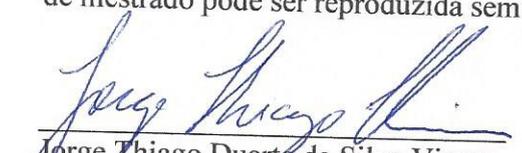
AUTOR: Jorge Thiago Duarte da Silva Vianna.

TÍTULO: Análise de alternativas para conservação de água em edificações residenciais funcionais em Brasília-DF.

GRAU: Mestre

ANO: 2017

É concedida à Universidade de Brasília permissão para reproduzir cópias desta dissertação de mestrado e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte dessa dissertação de mestrado pode ser reproduzida sem autorização por escrito do autor.

  
Jorge Thiago Duarte da Silva Vianna  
SQN 102 bloco B apto 303, Asa Norte  
70722-020 Brasília – DF – Brasil.

## **DEDICATÓRIA**

PARA

MINHA ESPOSA LUCIENE, pelos tempos de sacrificio do convívio familiar

MÃE REGINA, meu incentivo e minha doutrina,

MEU PAI, meu guia de casos práticos,

MINHA FILHA THAÍS, minha esperança, alegria e futuro.

## **RESUMO**

### **Análise de alternativas para conservação de água em edificações residenciais funcionais em Brasília-DF.**

O crescimento populacional, o uso indiscriminado da água e as mudanças climáticas vêm produzindo crises de abastecimento urbano de água. Nesse contexto se encontra Brasília, uma área altamente urbanizada, com predominância de nascentes, longos períodos de seca e risco de desabastecimento. Outro aspecto de Brasília é possuir o maior porcentual de imóveis funcionais do Brasil. Diante disso, este trabalho analisou os métodos de conservação de água em edificações residenciais funcionais no Plano Piloto, em Brasília. Para tanto, foram elencados dois estudos de caso, um imóvel a ser reformado (Categoria 1) e um imóvel a ser construído (Categoria 2). Para a análise, determinou-se o padrão de consumo e foram obtidos os consumos de água dos aparelhos, e concebido o emprego das tecnologias de conservação de água. A partir disso foram feitas as combinações das alternativas possíveis. Devido ao grande número de alternativas, foi realizada a triagem para se obter um conjunto menor de alternativas viáveis. Por meio de consulta a um painel de especialistas, foram estabelecidos objetivos e critérios de análise, e seus respectivos pesos. As alternativas selecionadas tiveram suas performances em cada critério calculadas, formando a matriz de consequências (“payoff”). Foram aplicados os métodos multicritério e multiobjetivo TOPSIS e ELECTRE III, para hierarquizar essas alternativas. Após a execução desses métodos, as duas categorias de edificação tiveram como alternativa classificada em primeiro lugar o uso de equipamentos economizadores de água. Na sequência, o aproveitamento de água de chuva destacou-se devido à melhor qualidade da água bruta e poucas interferências necessárias no imóvel, e vieram classificadas mais abaixo as alternativas envolvendo reúso com águas cinzas. Em geral, alternativas com alta concentração de coliformes fecais na água bruta tiveram sua classificação prejudicada. Como conclusão geral, esta pesquisa mostrou que não há em Brasília, até o momento, incentivo para medidas de conservação de água. Tal fato pôde ser comprovado pela posição de destaque da alternativa que refletia a não tomada de ações em ambas as categorias de edifícios. Por outro lado, demonstrou-se a viabilidade de algumas alternativas de conservação de água atendendo diversos objetivos e exigências distintas, tal qual o uso de dispositivos economizadores.

**Palavras-chave: conservação de água; reúso de água; aproveitamento de água de chuva**

## **ABSTRACT**

### **Analysis of alternatives for water conservation in residential buildings of public employees in Brasília-DF.**

Population growth, the indiscriminate use of water and climate change have been leading to water supply crises. Brasília is found in this context, a highly urbanized area, with a predominance of springs, long periods of drought and risk of shortages. Another aspect of Brasília is to have the largest percentage of residences for civil servants in Brazil. Therefore, this work analyzed the methods of water conservation in this kind of residential buildings in the Pilot Plan, in Brasília. To do so, two case studies were considered, a property to be renovated (Category 1) and a property to be built (Category 2). For the analysis, the consumption pattern was determined and the water consumption of the appliances was obtained, and the use of water conservation technologies was conceived. From this, the combinations of possible alternatives were made. Due to the large number of alternatives, screening was done to obtain a smaller set of viable alternatives. Through consultation to a panel of experts, objectives and criteria of analysis, and their respective weights, were established. The selected alternatives had their performances calculated in each criterion, forming the consequence matrix (“payoff matrix”). The multicriteria and multi-objective TOPSIS and ELECTRE III methods were applied to hierarchize these alternatives. After the execution of these methods, the two categories of buildings had as the first classified alternative the use of water saving equipment. Subsequently, the use of rainwater stood out due to the better quality of the raw water and few necessary interferences in the property, and the alternatives involving reuse with gray water were classified in position just below. In general, alternatives with high concentration of fecal coliforms in the raw water had their classification impaired. As a general conclusion, this research showed that there is no incentive for water conservation measures in Brasília. This fact could be proven by the prominent position of the alternative that reflected the non-taking of actions in both categories of buildings. On the other hand, the viability of some water conservation alternatives has been demonstrated, meeting different objectives and requirements, such as the use of economising devices.

**Keywords: water conservation; water reuse; use of rainwater**

## SUMÁRIO

|   |           |
|---|-----------|
| <b>1. INTRODUÇÃO .....</b>                                | <b>1</b>  |
| <b>2. OBJETIVOS .....</b>                                 | <b>4</b>  |
| 2.1 OBJETIVO GERAL.....                                   | 4         |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....                           | 4         |
| <b>3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .</b> | <b>5</b>  |
| 3.1 CONSERVAÇÃO DA ÁGUA.....                              | 5         |
| 3.2 CONSUMO E ESCASSEZ DA ÁGUA.....                       | 6         |
| 3.3 EXPERIÊNCIAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA .....             | 9         |
| 3.4 PLANOS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA .....                   | 14        |
| 3.5 ESTRATÉGIAS PARA CONSERVAÇÃO DE ÁGUA .....            | 16        |
| 3.5.1. Redução na pressão .....                           | 18        |
| 3.5.2. Medição individualizada .....                      | 19        |
| 3.5.3. Economizadores de água.....                        | 22        |
| 3.5.4. Aproveitamento da água da chuva .....              | 25        |
| 3.5.5. Reúso de água .....                                | 30        |
| 3.6 USOS FINAIS DE APARELHOS .....                        | 35        |
| 3.7 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA.....                  | 38        |
| 3.8 RISCOS A SAÚDE .....                                  | 42        |
| 3.9 SISTEMA DE APOIO A DECISÃO.....                       | 44        |
| 3.11.1. O método ELECTRE.....                             | 46        |
| 3.11.2. O método TOPSIS .....                             | 50        |
| <b>4. METODOLOGIA .....</b>                               | <b>53</b> |
| 4.1 EDIFICAÇÃO.....                                       | 56        |
| 4.1.1. Definição da tipologia da edificação modelo .....  | 56        |

|         |  |            |
|---------|--|------------|
| 4.1.2.  | Dados da edificação modelo.....  | 57         |
| 4.2     | <b>GERAÇÃO E TRIAGEM DE ALTERNATIVAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA .....</b>                | <b>59</b>  |
| 4.2.1.  | Análise econômica .....  | 59         |
| 4.2.2.  | Geração de alternativas .....  | 61         |
| 4.2.3.  | Triagem das alternativas .....   | 63         |
| 4.2.4.  | Seleção dos objetivos e critérios .....  | 64         |
| 4.2.5.  | Consequências das alternativas segundo os critérios .....                            | 70         |
| 4.2.6.  | Implantação de economizadores .....  | 70         |
| 4.2.7.  | Implantação de medição individual.....   | 72         |
| 4.2.8.  | Implantação de sistema de válvulas redutoras de pressão .....                        | 73         |
| 4.2.9.  | Reservatórios em geral.....  | 73         |
| 4.2.10. | Implantação de aproveitamento de água da chuva .....                                 | 78         |
| 4.2.11. | Implantação de reúso com água cinza .....  | 80         |
| 4.2.12. | Alternativas de referência .....   | 83         |
| 4.2.13. | Métodos multicritério e multiobjetivo .....  | 84         |
| 5.      | <b>RESULTADOS .....</b>  | <b>87</b>  |
| 5.1     | <b>DEFINIÇÃO DO MODELO DE PRÉDIO RESIDENCIAL PARA A PESQUISA .....</b>               | <b>87</b>  |
| 5.2     | <b>RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DE CUSTOS PARA O EDIFÍCIO MODELO.....</b>              | <b>89</b>  |
| 5.2.1.  | Estudo de caso de categoria 1 (a reformar).....                                      | 90         |
| 5.2.2.  | Estudo de caso de categoria 2 (a construir).....                                     | 91         |
| 5.3     | <b>DETALHAMENTO DAS DEMANDAS (CATEGORIA 1 E 2) .....</b>                             | <b>91</b>  |
| 5.4     | <b>EMPREGO DA ÁGUA CINZA PARA REÚSO (CATEGORIAS 1 E 2) .....</b>                     | <b>93</b>  |
| 5.5     | <b>APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA (CATEGORIAS 1 E 2) .....</b>                      | <b>96</b>  |
| 5.6     | <b>RESULTADOS OBTIDOS POR CONSULTA A UM PAINEL DE ESPECIALISTAS E GESTORES .....</b> | <b>99</b>  |
| 5.7     | <b>ANÁLISE DA EDIFICAÇÃO DE CATEGORIA 1.....</b>                                     | <b>104</b> |

|   |     |
|---|-----|
| 5.6.1. Detalhamento das alternativas geradas com as medidas de redução de conservação de água ..... | 104 |
| 5.6.2. Resultado do rol das alternativas geradas.....   | 105 |
| 5.8 ANÁLISE DA EDIFICAÇÃO DE CATEGORIA 2 .....  | 109 |
| 5.7.1. Medidas de redução da CATEGORIA 2.....   | 109 |
| 5.7.2. Resultado do rol das alternativas geradas.....   | 111 |
| 5.9 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE MULTIOBJETIVO E MULTICRITÉRIO .....                            | 113 |
| 5.9.1. Edificação de CATEGORIA 1 (a ser reformado) .....  | 113 |
| 5.9.2. Edificação de CATEGORIA 2 (a ser construído) .....   | 118 |
| 6. CONCLUSÃO .....  | 123 |
| 6.1 EDIFICAÇÃO DE CATEGORIA 1 .....   | 125 |
| 6.2 EDIFICAÇÃO DE CATEGORIA 2 .....   | 126 |
| 6.3 RECOMENDAÇÕES.....  | 127 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....   | 129 |
| APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO INICIAL .....   | 142 |
| APÊNDICE B – ESTATÍSTICA DO QUESTIONÁRIO INICIAL .....  | 146 |
| APÊNDICE C– SUGESTÕES DE CRITÉRIOS .....  | 149 |
| APÊNDICE D –QUESTIONÁRIO RELATIVO AOS PESOS DOS CRITÉRIOS .....                                     | 156 |
| APÊNDICE E – ESTATÍSTICA DO QUESTIONÁRIO RELATIVO AOS PESOS .....                                   | 161 |
| APÊNDICE F - CÁLCULOS DOS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DE CHUVA .....                                      | 172 |
| APÊNDICE G - CÁLCULOS DO RISCO A SAÚDE PELO MÉTODO DE BETA-POISSON .....                            | 177 |

## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

|  |    |
|--|----|
| Figura 3.1- Comportamento da precipitação do DF de 2001 a 2015 .....             | 9  |
| Figura 3.2- Sistema de válvula para redução da pressão .....                     | 19 |
| Figura 3.3- Formas de medição individualizada .....                              | 21 |
| Figura 3.4 – Torneira .....  | 22 |
| Figura 3.5 – Torneira .....  | 22 |
| Figura 3.6 – Arejador .....  | 23 |
| Figura 3.7- Restritor de vazão .....   | 23 |
| Figura 3.8- Regulador de vazão para chuveiros .....                              | 23 |
| Figura 3.9- Chuveiro de baixa vazão .....  | 23 |
| Figura 3.10- Caixa acoplada dual-flux .....                                      | 24 |
| Figura 3.11- Válvula duplo acionamento .....                                     | 24 |
| Figura 3.12- Precipitação média anual em capitais brasileiras.....               | 25 |
| Figura 3.13- Precipitação média mensal em capitais brasileiras com estiagem..... | 26 |
| Figura 3.14- Filtro comercial de água de chuva .....                             | 28 |
| Figura 3.15- Reservatório de autolimpeza de água de chuva .....                  | 29 |
| Figura 3.16- Volume x desempenho para Brasília .....                             | 30 |
| Figura 3.17 – Fluxo horário .....  | 34 |
| Figura 3.18- Síntese de estudos sobre usos em edificações multifamiliares.....   | 36 |
| Figura 3.19- Uso em edificações multifamiliares.....                             | 38 |
| Figura 3.20- Solução baseada no índice de concordância.....                      | 48 |
| Figura 3.21- Fluxo ELECTRE III .....   | 49 |
| Figura 3.22- Representação esquemática do conceito do método TOPSIS .....        | 50 |
| Figura 4.1- Diagrama das etapas de pesquisa.....                                 | 55 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.2- Vista em planta do reservatório .....                                   | 74  |
| Figura 4.3- Vista em corte do reservatório .....                                    | 75  |
| Figura 4.4- Gráfico custo x volume.....   | 75  |
| Figura 4.5- Reservatório inferiores comerciais para garagens .....                  | 76  |
| Figura 4.6- Reservatório inferiores adaptadas para garagens.....                    | 76  |
| Figura 4.7- Representação de uma ETAP .....   | 79  |
| Figura 4.8- Representação de uma ETAC .....   | 82  |
| Figura 5.1- Imagem de satélite da edificação modelo .....                           | 88  |
| Figura 5.2- Planta baixa da prumada padrão do pavimento tipo .....                  | 89  |
| Figura 5.3- Fac-símile dos resultados com o método ELECTRE III da categoria 1 ..... | 115 |
| Figura 5.4- Fac-símile dos resultados com o método ELECTRE III da categoria 2 ..... | 120 |

## LISTA DE TABELAS

|   |    |
|---|----|
| Tabela 3.1- Classificação do estresse hídrico .....                                     | 7  |
| Tabela 3.2- Estresse Hídrico.....   | 7  |
| Tabela 3.3- Reservatórios de abastecimento de água do DF .....                          | 8  |
| Tabela 3.4- Estudos de caso com conservação de água em edificações multifamiliares .... | 13 |
| Tabela 3.5- Economias obtidas pelo PURA .....   | 15 |
| Tabela 3.6- Economizadores para torneiras .....   | 22 |
| Tabela 3.7- Economizadores para torneiras e chuveiros .....                             | 23 |
| Tabela 3.8- Economizadores para bacias sanitárias .....                                 | 24 |
| Tabela 3.9- Economia gerada pelos dispositivos .....                                    | 24 |
| Tabela 3.10- Qualidade da água de reúso.....  | 34 |
| Tabela 3.11- Consumo da área comum .....  | 37 |
| Tabela 3.12- Comparativo entre processos de tratamento de águas cinzas.....             | 41 |
| Tabela 3.13- parâmetros de qualidade e frequência de monitoramento no reúso de água ..  | 42 |
| Tabela 3.14- Risco microbiológico .....   | 43 |
| Tabela 3.15- aSb.....   | 47 |
| Tabela 3.16- Distâncias aplicadas ao método.....  | 51 |
| Tabela 4.1 – Resumo dos dados dos edifícios estudados .....                             | 56 |
| Tabela 4.2- Vida útil de componentes .....  | 63 |
| Tabela 4.3- Critérios de comparação das alternativas .....                              | 66 |
| Tabela 4.4- Custo dos economizadores .....  | 71 |
| Tabela 4.5- Custo da manutenção .....   | 72 |
| Tabela 4.6- Custos dos materiais.....   | 77 |

|  |     |
|--|-----|
| Tabela 4.7- Dados iniciais da ETAP .....   | 80  |
| Tabela 4.8- Custos e consumos mensais do tratamento .....  | 80  |
| Tabela 4.9- Comparação demanda versus geração.....   | 81  |
| Tabela 4.10- Dados iniciais da ETAC .....  | 82  |
| Tabela 4.11- Custos e consumos mensais do tratamento .....   | 82  |
| Tabela 5.1- Custo de reforma das áreas molhadas dos apartamentos .....   | 90  |
| Tabela 5.2- Alternativa de demanda de água dos equipamentos passíveis de uso com água não potável.....   | 92  |
| Tabela 5.3- Equipamentos que podem ser utilizados com fontes de água não potável.....  | 94  |
| Tabela 5.4- Combinações de alternativas e seus respectivos saldos. ....  | 95  |
| Tabela 5.5- Volume dos reservatórios de água de chuva obtidos com os diversos métodos indicados, exceto com o método australiano.....                                  | 97  |
| Tabela 5.6- Volumes de reservatório de água de chuva calculados pelo método australiano para diferentes consumo. ....  | 97  |
| Tabela 5.7- Análise da situação com a chuva mensal quando se emprega um reservatório com capacidade de 135 m <sup>3</sup> e consumo máximo .....                       | 98  |
| Tabela 5.8- Análise da situação com a chuva mensal quando se emprega um reservatório com capacidade de 135 m <sup>3</sup> e consumo apenas com bacias sanitárias ..... | 99  |
| Tabela 5.9- Média ponderada das notas dos critérios e subobjetivos.....  | 101 |
| Tabela 5.10- Critérios de comparação das alternativas .....  | 102 |
| Tabela 5.11- Medidas de redução de consumo de água da categoria 1 .....  | 104 |
| Tabela 5.12- Resumo das alternativas finais da categoria 1 .....   | 105 |
| Tabela 5.13- Matriz “payoff” da categoria 1 .....  | 108 |
| Tabela 5.14- Medidas de redução de consumo de água da categoria 2.....   | 109 |
| Tabela 5.15- Medidas de redução de consumo de água da categoria 2 com reduções financeiras.....  | 110 |

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 5.16- Resumo das alternativas finais da categoria 2.....   | 111 |
| Tabela 5.17- Matriz “payoff” da categoria 2.....  | 112 |
| Tabela 5.18- Coeficientes do método ELECTRE III da categoria 1.....   | 114 |
| Tabela 5.19- Resultado do método TOPSIS para categoria 1.....   | 115 |
| Tabela 5.20- Ordenação pelo método ELECTRE III da categoria 1.....  | 116 |
| Tabela 5.21- Resultados da categoria 1.....   | 117 |
| Tabela 5.22- Variação dos parâmetros do ELECTRE III entre as categorias.....  | 119 |
| Tabela 5.23- Coeficientes ELECTRE III da categoria 2.....   | 119 |
| Tabela 5.24- Resultado do método TOPSIS para CATEGORIA 2.....   | 120 |
| Tabela 5.25- Ordenação pelo método ELECTRE III da categoria 2.....  | 121 |
| Tabela 5.26- Resultados da CATEGORIA 2.....   | 121 |
| Tabela F.1- Simulação mensal para reservatório de 50m <sup>3</sup> com confiabilidade de 41,67%<br>.....                                    | 174 |
| Tabela F.2- Simulação mensal para reservatório de 66m <sup>3</sup> com confiabilidade de 50%....  | 174 |
| Tabela F.3- Simulação mensal para reservatório de 75m <sup>3</sup> com confiabilidade de 50%....  | 175 |
| Tabela G.4- Cálculo da exposição a Coliformes fecais através do método Beta-Poisson para<br>a água oriunda do tanque e lavatório.....       | 178 |
| Tabela G5- Cálculo da exposição a Coliformes fecais através do método Beta-Poisson para<br>a água oriunda do tanque e máquina de lavar..... | 178 |
| Tabela G.6- Cálculo da exposição a Coliformes fecais através do método Beta-Poisson para<br>a água oriunda da máquina de lavar.....         | 178 |
| Tabela G.7- Cálculo da exposição a Coliformes fecais através do método Beta-Poisson para<br>a água oriunda da chuva.....                    | 179 |
| Tabela G8- Cálculo da exposição a Coliformes fecais através do método Beta-Poisson para<br>a água oriunda do tanque, lavatório e chuva..... | 179 |

## LISTA DE SIGLAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
- CAESB- Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal
- CBMDF- Corpo de Bombeiros Militar do Distrito Federal
- CGU- Controladoria Geral da União
- CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CODEPLAN - Companhia de Planejamento do Distrito Federal
- CNUMAD - Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
- CREA- Conselho Regional de Engenharia e Agronomia
- CF- Coliformes Fecais
- CT - Coliformes Totais
- DBO- Demanda Biológica de oxigênio
- DQO- Demanda química de oxigênio
- ECO- Economizadores de água
- EPA - Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos da América
- ETE - Estação de Tratamento de Esgotos
- ETAC- Estação de Tratamento para águas cinzas
- ETAP- Estação de Tratamento para água pluvial
- EUA – Estados Unidos da América
- IBGE- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
- IBRAM- Instituto Brasília Ambiental
- IME- Instituto Militar de Engenharia
- INCC- Índice Nacional De Custo Da Construção Do Mercado

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

IFB- Instituto Federal de Brasília

MBR- Membrane Bio Reactor

mca- metro de coluna de água (pressão)

NBR- Norma Brasileira

NOVACAP- Companhia Urbanizadora da Nova Capital do Brasil

OD - Oxigênio Dissolvido

OMS - Organização Mundial da Saúde

ONU - Organização das Nações Unidas

PBQP-H, Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat

PURA - Programa De Uso Racional Da Água

PVC - Policloreto de Vinila

SABESP – Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SAD – Sistema de apoio a decisão

SIDUSCON - Sindicato da Indústria da Construção Civil

SINAPI - Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil

SST - Sólidos suspensos totais

TCDF- Tribunal de Contas do Distrito Federal

UASB -“upflow anaerobic sludge blanket”

UFBA- Universidade Federal da Bahia

UFGRS- Universidade Federal do Rio Grande do Sul

UNESCO - Organização das Nações Unidas para a educação, a ciência e a cultura

UnB- Universidade de Brasília

UNIP- Universidade Paulista

UFSC- Universidade Federal de Santa Catarina

USP - Universidade de São Paulo

# 1. INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural fundamental para a existência humana. Apenas 3% das águas do Planeta são doces e, somente um centésimo desse montante está acessível para o uso. Com o passar dos anos, ocorreu a poluição de alguns mananciais e o aumento expressivo da demanda mundial, influenciado pelo crescimento populacional e o uso indiscriminado de água. Tal fato, juntamente com questões climáticas, vem produzindo crises de abastecimento de água e limitando as atividades econômicas.

No Brasil, a Lei 9.433/97, que instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos, seguindo conceito de uso sustentável que ganhou notoriedade no Relatório Brundtland (1987), estabelece a necessidade de assegurar à atual e às futuras gerações a disponibilidade de água necessária e com padrões de qualidade adequados aos seus usos. Entretanto, o crescimento populacional e os aglomerados urbanos exercem pressão sobre os recursos hídricos. Esse aumento da pressão caracteriza-se pelo uso inadequado à água e contribui para os conflitos de uso.

Em virtude desse crescente consumo de água, a UNESCO (2015) alerta para um possível aumento da demanda mundial de água, de 55% até 2050, mesmo com as existências da desigualdade de acesso a água. Já no Brasil, estima-se esse aumento em 28% até 2025 (Atlas Brasil, 2010), enquanto a projeção do crescimento populacional é de cerca de 10% (IBGE, 2016).

O consumo doméstico brasileiro de água ocupa o segundo lugar com 11% da demanda (Gonçalves, 2009). Nesse contexto, o presente estudo toma como exemplo o caso do Distrito Federal, altamente urbanizado, com altos consumos de água e inserido numa região de nascentes de água. Tais motivos levaram a capital do Brasil a ser auditada pelo TCDF (Tribunal de Contas do Distrito Federal), buscando averiguar se a quantidade de água produzida é suficiente para atender à demanda atual e futura. A conclusão desta auditoria foi que o DF corre risco de desabastecimento. A disponibilidade hídrica máxima é de 8.820 L/s, enquanto o consumo registrado foi de 7.120 L/s (Distrito Federal, 2010). Como providências de aumento da oferta, a CAESB iniciou uma série de obras de expansão na produção de água e suprimento de água até 2040, como, por exemplo, os sistemas de Corumbá 4, Bananal e Paranoá (Araújo, 2016).

No ano 2000, o Distrito Federal apresentava disponibilidade hídrica inferior ao recomendado para um abastecimento normal, alertando para uma situação difícil. Já nos dias atuais, o Distrito Federal ocupa o primeiro lugar do Brasil em estresse hídrico, com média de disponibilidade de água de 0,96 km<sup>3</sup>/hab/ano (Rebouças, 2002 e IBGE, 2016), caracterizando uma escassez crônica, ou seja, quando se atinge uma disponibilidade entre 0,5 km<sup>3</sup>/hab/ano e 1 km<sup>3</sup>/hab/ano (Beekman, 1999 *apud* Falkenmark, 1992). Tal fato ocorre devido ao alto crescimento populacional e à baixa disponibilidade de água, visto que a capital não tem grandes rios, encontra-se em área de nascentes e tem um longo período de estiagem, obrigando a construção de reservatórios que dependem da época chuvosa para recarga do sistema.

Em 2004, o Distrito Federal utilizava 67,7% da capacidade de abastecimento dos sistemas produtores de água (Silva, 2004). Com as estiagens prolongadas, o reservatório do Descoberto, que atende mais de 60% da população de Brasília, atingiu menos de 20% de sua capacidade máxima em novembro de 2016. Tal situação levou a busca de alternativas de uso racional e conservação de água.

Com o aumento na demanda por água e escassez na oferta, situação típica dos grandes centros urbanos, agravada pelo consumo de energia das estações elevatórias, surge a necessidade de conservar a água. Para tentar suprir essa necessidade, a atenção volta-se para as regiões de maior consumo *per capita* do Distrito Federal: Plano Piloto e Lago Sul (CAESB, 2010). Como os imóveis no Lago Sul caracterizam-se por residências unifamiliares, o foco será aos grandes consumidores multifamiliares, que representam, isoladamente, as parcelas de maior consumo de Brasília. Esses locais destacam-se pelo alto consumo, caracterizado numa única fatura de água, visto que não apresentam medidores individualizados, concentrando o consumo de água de várias unidades habitacionais. Uma das principais causas para o sobreconsumo registrado em edifícios residenciais recai sobre a inexistência de medidores individualizados, isto é, a concentração do cômputo do consumo em uma única conta, dificultando o controle. Há uma cultura equivocada e reprovável de que, à medida em que se paga por taxa igualmente dividida do consumo do grupo, a economia individual não compensa (Coelho, 2001).

Dentre os imóveis em Brasília, 80% são edificações verticais e quase 10% são destinados ao uso funcional (CODEPLAN, 2014). São diversos os órgãos que utilizam esse tipo de imóvel como forma de apoio a seus funcionários, entre eles as Forças Armadas. Além disso, neste caso específico dos imóveis das Forças Armadas, impõe-se a característica singular de que a

manutenção é realizada pelo Poder Público, obrigando o usuário a aceitar as tecnologias ou intervenções, diferentemente de um imóvel privado, onde o proprietário irá escolher a ação a tomar em relação a seu imóvel.

Diante do exposto, a abordagem deste trabalho consistiu na escolha de um estudo de caso composto por um imóvel multifamiliar vertical típico com destinação funcional. Neste imóvel foram analisadas algumas alternativas para conservação de água, isto é, para diminuição da demanda e controle do consumo. Tais alternativas foram comparadas mediante o emprego dos métodos multiobjetivo e multicritério e hierarquizadas por meio de seus respectivos desempenhos.

A presente pesquisa traz uma contribuição ao conhecimento exatamente porque, em trabalhos anteriores, tais como Santos *et al.* (2006), Lobato (2005) e Sant'Ana (2011), os imóveis que foram objeto de estudo são de propriedade particular e não funcionais, e apenas o trabalho de Sant'Ana (2011) utiliza dados e o contexto de Brasília. Além disso, a maioria dos estudos anteriores deteve-se apenas em estudos de viabilidade econômica, exceção feita à pesquisa de Santos *et al.* (2006), que aborda algumas alternativas pontuais, porém com menos critérios do que os propostos nesta pesquisa.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVO GERAL**

Esta pesquisa tem por objetivo analisar as alternativas de conservação de água em edificações residenciais funcionais no Plano Piloto, em Brasília.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

1. Analisar o padrão de consumo de uma unidade familiar típica em uma edificação funcional;
2. Identificar, por meio de métodos multiobjetivo e multicritério, aplicados aos imóveis funcionais, as tecnologias com melhor desempenho na conservação de água.

### **3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

No intuito de avaliar e conhecer as medidas de conservação de água, seu emprego, operação e restrições, foi necessário aprofundar o conhecimento na literatura especializada. Portanto, o presente capítulo trata dos conceitos, aplicações, indicadores e discussões a respeito do tema e do uso dos métodos multicritério e objetivo.

#### **3.1 CONSERVAÇÃO DA ÁGUA**

A conservação de água é definida por Hespanhol & Gonçalves (2004) como o conjunto de práticas e iniciativas técnicas e tecnológicas para reduzir o uso da água, atuando tanto na demanda quanto na oferta de água. Ela prevê o uso da água de forma racional, sustentável e incentiva o uso de fontes alternativas.

As preocupações relativas à conservação de água são antigas, desde o 1º Governo de Getúlio Vargas, quando foi elaborado o Código de Águas (1934), primeiro mecanismo que tratou do assunto no país de forma objetiva, enfatizando que o seu viés não é de cunho ambientalista ou preservacionista, mas voltado para o uso econômico da água, com fins industriais, o que é bem característico do período em que o Brasil dava seus primeiros passos rumo à industrialização. A Lei Nacional de Recursos Hídricos, que viria 63 anos depois, em 1997, teve um viés eminentemente diferente do Código de Águas, adotando uma postura mais conservacionista, inspirada em toda a discussão sobre o desenvolvimento sustentável que marcara o mundo nas duas décadas anteriores e tivera, no Brasil, grande foro de debates cinco anos antes, na CNUMAD, também conhecida como Eco-92 ou Rio-92.

A WUCB (*Water Use and Conservation Bureau*) (1999) cita as principais ações de conservação de água sendo as seguintes:

- Redução dos usos consuntivos;
- Redução do desperdício ou das perdas de água;
- Aumento da eficiência do uso da água;
- Aumento da reciclagem ou reúso de água;

As medidas de conservação são exemplificadas por Nunes (2006) e por Tomaz (2001) como:

- Conserto de vazamentos nos edifícios;
- Redução da pressão;
- Educação ambiental;
- Reúso de água com águas cinzas;
- Aproveitamento da água da chuva;
- Aproveitamento da água da drenagem do subsolo.

Como ações de aplicação nas edificações, podem ser adotadas campanhas de combate ao desperdício, substituição de aparelhos, uso de economizadores, medição individual, conscientização, “caça” vazamentos, tarifas inibidoras, etc.

Já no quesito de fontes alternativas, podem-se empregar a água cinza, a água da chuva, a água subterrânea, a água mineral envasada e a água distribuída em caminhões pipa, segundo Santos *et al.* (2006). Em alguns locais, preconiza-se o uso de água de condensação dos sistemas de refrigeração e ar condicionado.

### **3.2 CONSUMO E ESCASSEZ DA ÁGUA**

Para atingir-se uma oferta de água normal (que atenda a necessidade mínima dos consumidores), estima-se que o volume *per capita* deve estar acima de 1,7 km<sup>3</sup>/hab/ano; caso este esteja em patamares inferiores, caracteriza-se o estresse hídrico (Beekman, 1999 *apud* Falkenmark, 1992). A Tabela 3.1 mostra a classificação de acordo com o nível de estresse hídrico.

*Tabela 3.1- Classificação do estresse hídrico*

| <b>Volume per capita<br/>(km<sup>3</sup>/hab/ano)</b> | <b>Situação</b>      |
|---|----------------------|
| >1,7  | Abastecimento Normal |
| 1,0-1,7   | Estresse Hídrico     |
| 0,50-1,0  | Escassez Crônica     |
| <0,50   | Escassez Absoluta    |

Fonte: Beekman (1999) *apud* Falkenmark (1992)

O Distrito Federal é a unidade federativa com a menor taxa de água renovável por habitante, ficando abaixo do limite e com índice inferior a 1 km<sup>3</sup>/hab/ano. Na Tabela 3.2 é possível comparar a situação da oferta de água per capita do DF com de alguns estados e sua evolução no tempo, mostrando o agravamento do problema de abastecimento de água.

*Tabela 3.2- Estresse Hídrico*

| <b>Estado / Ano</b> | <b>População (x10<sup>6</sup>)</b> |      | <b>km<sup>3</sup>/hab/ano</b> |      |
|---------------------|------------------------------------|------|-------------------------------|------|
|                     | 2010                               | 2015 | 2010                          | 2015 |
| Distrito Federal    | 2,57                               | 2,91 | 1,1                           | 0,96 |
| Pernambuco          | 8,8                                | 9,35 | 1,1                           | 1    |
| Sergipe             | 2,07                               | 2,24 | 1,3                           | 1,2  |
| Paraíba             | 3,77                               | 3,97 | 1,2                           | 1,2  |
| Amazonas            | 3,48                               | 3,94 | 530                           | 470  |
| BRASIL              | 191                                | 205  | 29                            | 27   |

Fonte: Adaptado de Rebouças (2002) e IBGE (2016)

O reservatório do Descoberto, com volume de 72 hm<sup>3</sup>, atende cerca de 60% da população do Distrito Federal, enquanto o de Santa Maria fornece 20%, com volume máximo de 61 hm. Em novembro de 2010, o reservatório do Descoberto apresentou problemas de nível, recuperando-se alguns anos depois. Em novembro de 2016, a estiagem e o consumo aumentaram; agravando

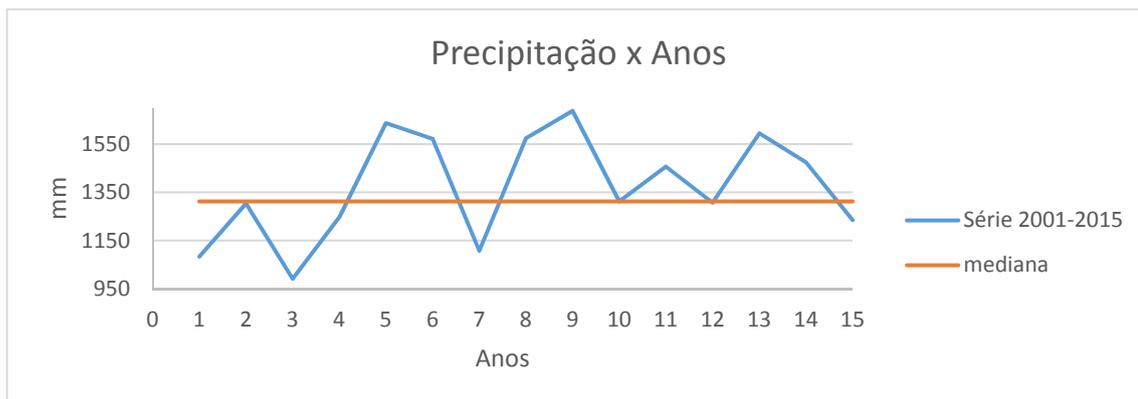
a situação do reservatório ao atingir o nível de 20% de sua capacidade (ADASA, 2016b). A Tabela 3.3 mostra os volumes notáveis (máximo e mínimos históricos, e medição atual) mais recentes dos principais reservatórios em Brasília desde 1996.

*Tabela 3.3- Reservatórios de abastecimento de água do DF*

| <b>Reservatório</b> |                   |             |                    |                   |             |
|---------------------|-------------------|-------------|--------------------|-------------------|-------------|
| <b>Descoberto</b>   |                   |             | <b>Santa Maria</b> |                   |             |
| <b>COTA (m)</b>     | <b>VOLUME (%)</b> | <b>DATA</b> | <b>COTA (m)</b>    | <b>VOLUME (%)</b> | <b>DATA</b> |
| <b>1025</b>         | 35                | nov/10      | 1067               | 50                | nov/96      |
| <b>1030</b>         | 85                | mai/15      | 1072               | 100               | jun/15      |
| <b>1026</b>         | 45                | nov/15      | 1070               | 80                | nov/15      |
| <b>1023</b>         | 30                | nov/16      | 1066               | 40                | nov/16      |

Fonte: ADASA (2016b)

A diminuição das chuvas é frequentemente citada como causa principal do problema da crise hídrica em Brasília. Esse fato é atribuído aos dados de precipitação do DF, os quais acusam que apenas durante cinco anos (na série de 2001 até 2015) houve volume acumulado acima da precipitação normal, conforme Figura 3.1. Contudo, nesse mesmo período, a média e a mediana das chuvas estão praticamente iguais, reforçando a constância desse período, embora num volume cerca de 11% menor (INPE, 2016). Enquanto isso, além dessa redução, o consumo de água cresce desordenadamente, tanto pelo poder aquisitivo, quanto pela alta taxa de crescimento na capital do País (2%), quase o triplo da média nacional (IBGE, 2016).



*Figura 3.1- Comportamento da precipitação do DF de 2001 a 2015*

A OMS (Organização Mundial da Saúde) (2003) estima que a faixa de consumo que atende às necessidades mínimas de saúde e higiene é de 100 a 200 L/hab/dia (Howard & Bartram, 2003). Contudo, desde 1950, o consumo *per capita* mundial vem aumentando; sendo que de 1950 a 2000 esse valor dobrou (Tucci, 2005).

Em 2013, a região Sudeste apresentava um consumo médio de 194 L/hab/dia; enquanto o Centro-Oeste, de 160 L/hab/dia (SNIS, 2013). Já o Plano Piloto, em Brasília, teve registrado um consumo de 460 L/hab/dia, segundo a concessionária local (CAESB, 2012), superando as outras regiões mais desenvolvidas e configurando a necessidade premente de conservação de água.

Essa discrepância no consumo é mais visível numa análise mundial, compara-se países desenvolvidos e em desenvolvimento. Nos Estados Unidos, por exemplo, o consumo é de 575 L/hab/dia; enquanto em Moçambique é de 10 L/hab/dia (Hagemann, 2009).

### **3.3 EXPERIÊNCIAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA**

Diversos esforços de conservação de água têm acontecido ao longo da história mundial. Os mais comuns são aplicados à irrigação e a instalações prediais. No Oriente Médio, em 850 A.C, o rei Mesha mandou construir um reservatório inferior em cada residência, para aproveitar a água oriunda da chuva (Tomaz, 1999).

No Brasil, a instalação de conservação de água mais antiga está na ilha de Fernando de Noronha e data de 1943, quando foram empregadas técnicas de captação e o aproveitamento da água de chuva (Guanayem, 2001).

Na Austrália, foi criado o projeto de reúso de água doméstico em escala real em Rouse Hill. Nele, a água de reúso era utilizada para fins não potáveis nas reservas de incêndio, bacias sanitárias, lavagem de carros, irrigação ornamental e de lugares abertos. Este sistema foi dimensionado para atender 300 mil pessoas e era um sistema duplo: uma rede de água potável e outra de água reciclada. Na época foi estimado que tal mudança geraria uma economia de água na ordem de 40%. Havia uma grande preocupação com segurança, por isso as redes de água foram diferenciadas por cores e foi feito um tratamento constituído de várias etapas, entre elas, coagulação, floculação, clarificação, filtração, desinfecção e controle de pH na água a ser reutilizada (Law, 1996).

O fato da água de incêndio não ficar conectada na rede potável ocasionou uma enorme economia em pressão e diâmetro de tubulação. Para incentivar o consumo da água reciclada, houve mudança nas tarifas, assim a água reciclada teria maior atratividade. Esta diferença ficou na ordem de 2/3 do valor da água potável (Law, 1996).

No Canadá, em 1992, a *Mortgage and Housing Corporation* promoveu uma competição para selecionar projetos de imóveis sustentáveis. Dois vencedores empataram a competição: um de Toronto e outro de Vancouver (Palohemino, 1996). Em Toronto, o vencedor tinha como base uma casa. Em Vancouver, era um prédio.

O projeto de Vancouver consistia num edifício residencial com 20 apartamentos, no qual todas as fontes de água, excetuando-se as águas negras, eram utilizadas nas bacias sanitárias. Contudo, o projeto foi concebido de forma a possibilitar o uso dessa água de reúso nos chuveiros. As etapas de tratamento de água utilizadas foram a sedimentação, o filtro grosseiro, o filtro biológico, a pré-ozonização, o filtro fino e a ozonização (para eliminação de organismos patogênicos). Todo o excesso de água do sistema era disposto na rede local de esgoto. O sistema era operado por uma empresa terceirizada e contava com uma conexão com a rede de abastecimento local em caso de falha no sistema de reúso de água com água cinza. O seu custo inicial foi da ordem de U\$115.000 e a manutenção mensal da ordem U\$100. Com a implantação do sistema, esperava-se redução no consumo de 40%.

A casa de Toronto localizava-se em uma região urbana e tinha como princípio um reservatório inferior para armazenar água da chuva e da neve; além de seu próprio sistema de tratamento de esgoto. Nesse caso, a água reciclada era usada para as bacias sanitárias, lavagem de roupas, irrigação ornamental, chuveiros e banheiras. Na cozinha, era usada apenas água da chuva tratada por carvão ativado e desinfecção por radiação UV. Esta água, após uso, era encaminhada a um tanque séptico e interligado a um tanque de “recirculação”. Com isso, a água ficava circulando entre esse tanque, um filtro biológico e um processo de tratamento complexo com filtros de areia, carvão ativado e radiação UV. A água em excesso do tanque era disposta numa camada de cascalho de 10m<sup>2</sup>, objetivando-se a infiltração no solo (Palohemino,1996).

A casa de Toronto tinha medidas de segurança para evitar risco de contaminação, como por exemplo, válvulas de segurança que se fecham automaticamente caso uma lâmpada UV queimasse ou caso não tenha havido tempo suficiente para a desinfecção do efluente (Palohemino,1996).

Outro sistema que teve sucesso foi implantado num apart hotel, na Ilha de Mallorca, na Espanha. Nele foram utilizados processos de tratamento da água cinza composto por sedimentação, filtração com uma tela de nylon e desinfecção com hipoclorito de sódio. Os efluentes apresentaram padrões de qualidade satisfatórios para reúso da água, com 16,5 uT de turbidez e 18,6mg/L de sólidos totais (May, 2009). Nesse sistema, a água ficava estocada por um período inferior a 48 horas e se mantinha uma condição de teor de cloro residual acima de 1mg/L. Os hóspedes do hotel tiveram boa aceitação da água de reúso na limpeza das bacias sanitárias.

Em São Paulo, o Movimento Habitacional Casa Para Todos implantou em um prédio residencial um sistema de reúso de água. A água era coletada dos chuveiros e lavatórios para aplicação nas bacias sanitárias. Utilizou-se como etapas de tratamento apenas filtração e desinfecção. Entretanto, houve reclamação por parte dos moradores em relação à qualidade de água. Esse problema só diminuiu após comprovação de qualidade da água através de laudo (Viotto, 2001).

Em Vitória-ES, a edificação Royal Blue teve um sistema de reúso de água cinza implantada por um projeto da UFES (Universidade Federal do Espírito Santo). Essa edificação tem como características alto padrão de acabamento, 20 andares, com dois apartamentos por andar. A água cinza é obtida dos chuveiros, lavatórios, máquinas de lavar e tanques. Após tratamento, a água cinza é utilizada nas bacias sanitárias, lavagem de pisos e rega de jardins. No local há uma

hidrometração setorizada determinando o consumo de água de reúso. Com isso, os pesquisadores, determinaram que a demanda de água cinza (33%) era inferior à produção. Mediante essa hidrometração, foi possível estimar a produção de água não-potável em 195 L/hab/dia e o consumo em 52L/hab/dia (Gonçalves, 2009).

O edifício Luiz Nogueira, também localizado em Vitória, teve o sistema de reúso com águas cinzas aplicado as bacias sanitárias, uso de medição individual e equipamentos economizadores de água. O prédio em questão apresenta 19 andares, com um apartamento por andar e com aquecimento coletivo realizado por meio de painéis solares. No subsolo foram instalados o sistema de tratamento de águas cinzas e os reservatórios. Não há interligações entre o sistema de água potável e o sistema de água cinza. O efluente do sistema é proveniente dos chuveiros, lavatórios, tanques e máquinas de lavar roupa. O tratamento é composto por uma caixa de entrada, que tem a função de reter os sólidos, reatores anaeróbios, filtro biológico aerado submerso, decantador secundário, filtro terciário e desinfecção. A edificação teve seus indicadores monitorados, tendo como resultado 228 L/hab/dia de consumo de água potável, 28 L/hab/dia de água de reúso, produção de 152 L/hab/dia de água cinza (Belisário, 2014).

Em Salvador-BA, foi implantada em prédios populares a medição individualizada. Nesses prédios houve uma diminuição de consumo de até 40%, diminuindo o conflito entre os condôminos no rateio da conta de água do edifício (Gonçalves, 2009).

A Tabela 3.4 mostra diversas edificações que foram comparadas por diversos autores em relação ao consumo de água potável e de reúso de água, demonstrando a economia no consumo de água potável. Nas edificações com reúso de água teve-se consumo médio de água potável de 211 L/hab/dia e consumo médio de águas cinzas de 38 L/hab/dia, enquanto nas sem utilização de reúso de água foi de 247 L/hab/dia. Nas edificações com implantações de medidas de redução de consumo, mas sem reciclagem de água, obteve-se 189 L/hab/dia. Tais valores demonstram a possibilidade de redução do consumo através de medidas redutoras quanto medidas incrementais.

Em Brasília, existe o sistema de reúso de água do Posto e Motel Flamingo. Esse foi implantado, por questões ambientais, pois as edificações estão em zona de formação de aquífero subterrâneo e na faixa de proteção do Parque Nacional de Brasília. O sistema tem tratamento avançado e destina-se à irrigação de jardins, lavagem de pisos, descargas de bacias sanitárias e recarga de

aquífero. No posto, o sistema de lavagem de veículos opera num circuito fechado (Máximo & Souza, 2004).

*Tabela 3.4- Estudos de caso com conservação de água em edificações multifamiliares*

| <b>Edifício / Referências</b>                             | <b>Local</b>            | <b>Características da edificação</b>  | <b>Consumo de água potável (L/hab/dia)</b> | <b>Consumo de água reciclável (L/hab/dia)</b> |
|---|-------------------------|---|--|---|
| <b>Ed Luiz Nogueira e Ed Royal Blue (Belisário, 2014)</b> | Vitória - ES            | Com reúso de água   | 192,5                                      | 40,2  |
| <b>Agostini (2009)</b>                                    | Vitória - ES            | Com reúso de água   | 182  | 54  |
| <b>Martins <i>et al.</i> (2011)</b>                       | Vitória - ES            | Com reúso de água   | 240  | 31  |
| <b>Aguiar (2011)</b>                                      | Vitória - ES            | Com reúso de água   | 247  | 31,5  |
| <b>Sant'Ana (2011)</b>                                    | Brasília e Águas Claras | Com reúso de água   | 160  | 60  |
| <b>Sant'Ana <i>et al.</i> (2013)</b>                      | Brasília                | Com reúso de água   | 172  | 37  |
| <b>Ghisi &amp; Ferreira (2006)</b>                        | Florianópolis           | Convencional  | 151,3                                      | -   |
| <b>Ed José Paulino (Belisário, 2014)</b>                  | Vitória - ES            | Convencional  | 303,6                                      | -   |
|   | Vitória - ES            | Convencional  | 223,0                                      |   |
| <b>Rodrigues (2005)</b>                                   | Vitória - ES            | Sem reúso de água, com caixa de descarga acoplada e medição individualizada | 155,0                                      | -   |
|   | Vitória - ES            | Sem reúso de água, com caixa de descarga acoplada                           | 189,0                                      | -   |

Um estudo teórico foi feito para hierarquizar as melhores opções de conservação de água. Esse consistiu em utilizar um método multicritério e as alternativas a seguir, já hierarquizadas em ordem de maior preferência: medição individualizada, utilização de águas cinzas em bacias sanitárias, correção de vazamentos, substituição de bacias convencionais e o aproveitamento da água da chuva na irrigação e limpeza em geral. Nessa pesquisa foi aplicado o método do Jogo das Cartas (Técnica do Simos Revisada) para definir o peso de cada critério e o método ELECTRE III para hierarquizar as soluções (Santos *et al.*, 2006).

Outra pesquisa na mesma tendência foi feita por Lobato (2005), onde foram levantados dados do perfil de consumo de Curitiba e estes dados foram aplicados as alternativas selecionadas, já hierarquizadas por ordem de preferência: utilização de economizadores, reúso de água cinza em bacias sanitárias, instalação de medidores individuais, e aproveitamento de água da chuva para lavagem de pisos, garagens e rega de jardim. Os critérios utilizados foram custo de implantação, tempo de retorno, risco microbiológico, redução no consumo per capita, porcentagem utilizada, impacto no sistema de abastecimento de água e alcance do sistema de abastecimento de água. Nessa pesquisa também foi aplicado o método do Jogo das Cartas (Técnica do Simos Revisada) para definir o peso de cada critério e o método ELECTRE III para hierarquizar as soluções.

### **3.4 PLANOS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA**

Os programas de conservação de água são compostos por ações de racionalização de uso e consumo de água em unidades de consumo. Sua principal característica é o estudo criterioso da oferta e da demanda, gerando relatórios de viabilidade técnica, econômica ou multicritério (Hespanhol & Gonçalves, 2004).

O programa de uso racional da água – PURA – foi criado na Escola Politécnica de São Paulo, em 1995, em parceria com a SABESP e o IPT, e tem como objetivo reduzir o consumo de água nos edifícios da USP. O programa PURA teve como primeiro princípio a detecção e correção de vazamentos de água e promoveu campanhas educativas, desenvolveu projetos-piloto e consultorias em edificações privadas e públicas (PURA, 2006).

Diversos são os benefícios apontados pelo programa PURA: maior oferta de água, redução dos investimentos em captação de água, dispensa da necessidade de busca de mananciais cada vez mais distantes, atendimento ao horário de pico com maior facilidade, redução do volume de água extraída da natureza, diminuição do volume de esgotos e redução significativa no consumo de energia elétrica (PURA, 2006).

Num segundo momento, o objetivo foi desenvolver uma metodologia que pudesse ser aplicada em outros locais. Para tanto, essa metodologia foi estruturada em quatro fases:

- Auditoria no consumo de água, a qual permite o conhecimento da edificação e do sistema hidráulico;
- Diagnóstico, que é a organização da auditoria. Nele estabelecem-se os pontos frágeis, condições de operação e problemas do sistema.
- Plano de intervenção, no qual definem-se o conjunto de medidas a serem adotadas;
- Avaliação do impacto de redução de consumo, que consiste em verificar o efeito de cada uma das ações (Carneiro & Chaves, 2008).

Nessa parte do programa PURA, foi realizada a intervenção de substituição de bacias sanitárias por aparelhos de melhor rendimento e baixo consumo. A etapa seguinte consistiu em racionalização das atividades, principalmente por meio de campanhas com mudanças de hábitos (PURA, 2006). A Tabela 3.5 resume os resultados desse programa.

*Tabela 3.5- Economias obtidas pelo PURA*

| <b>Locais</b>  | <b>Economia</b> |
|--|-----------------|
| Hospital das Clínicas de São Paulo                                 | 25%             |
| Hospital Geral do Exército   | 14%             |
| Hospital do Servidor Público Municipal                             | 14%             |
| Ceagesp – Companhia de Entrepósitos e Armazéns Gerais de São Paulo | 32%             |
| Escola Estadual Toufic Jouliam                                     | 78%             |
| Escola Vera Cruz   | 25%             |
| Fundação de Desenvolvimento Administrativo - FUNDAP                | 29,4%           |
| Instituto de Pesquisa Tecnológica - IPT                            | 53%             |
| Palácio dos Bandeirantes   | 31%             |
| Edifício sede da SABESP  | 62%             |

*Fonte: May, 2009 apud SABESP, 2004*

Em 1997, o Governo Federal criou o programa nacional de combate ao desperdício da água, com o objetivo geral de promover o uso racional – PNCD. Nesse programa foram produzidos diversos documentos técnicos e fóruns com material sobre capacitação em combate ao desperdício, ações de racionalização e instrumentos tecnológicos para apoio ao desenvolvimento de novos produtos (Rocha, 1998).

Já em 1999, o programa de Conservação de Água da Universidade Estadual de Campinas foi criado e consistiu no levantamento e análise dos equipamentos sanitários e proposição de tecnologias de conservação de água para o Hospital das Clínicas (Ilha, 2006).

No estado de São Paulo, em 2003, foi instituído o Programa Estadual de Uso Racional da Água Potável, com medidas de redução de consumo e racionalização do uso de água. Este programa aborda a obrigatoriedade dos órgãos públicos de efetuar a limpeza das áreas externas apenas com varredura ou uso de água oriunda de reúso, regula o modo de rega dos jardins e plantas, implantou o controle de vazamentos e regula procedimentos para a limpeza de caixas de água (Leuck, 2008).

Na cidade de Curitiba, em 2003, criou-se o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações (PURA), implantado pela Lei 10.785/2003. Ele tem como objetivo instituir medidas que induzam à conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para captação de água nas novas edificações, inclusive quando se tratar de habitações de interesse social. Entre as medidas está o uso de águas servidas para reúso em bacias sanitárias (Leuck, 2008).

No município de São Paulo, em 2005, foi criado o Programa Municipal de Conservação e Uso Racional da Água e Reúso em Edificações, que teve por objetivo instituir medidas para a conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para a captação de água e reúso nas novas edificações. Destaca-se nesse programa o incentivo ao uso de outras fontes de água que não sejam oriundas da concessionária (Leuck, 2008).

### **3.5 ESTRATÉGIAS PARA CONSERVAÇÃO DE ÁGUA**

Gonçalves *et al.* (2006) citam uma classificação para a conservação da água com cinco categorias, inseridas em dimensões como natureza incrementais (ou de redução), função (estrutural ou não estrutural) e a progressividade das ações. Nesta última, ressalta-se que as ações de maior complexidade apenas devem ser adotadas quando as mais simples já tiverem sido estudadas, implantadas ou descartadas. As categorias de conservação da água são: uso eficiente das águas, aproveitamento de fontes alternativas, desenvolvimento e adequação tecnológica, gestão das águas nas edificações e desenvolvimento do comportamento conservacionista.

O uso eficiente é dividido em quantitativo (definido a partir de critérios que busquem desempenho) e qualitativo (a partir de percepções socioculturais e da necessidade do usuário).

O primeiro corresponde ao volume diminuído do consumo de água até atingir o volume estritamente necessário, respeitando os parâmetros ambientais, de saúde, higiene e vigilância sanitária. Um exemplo dessa aplicação refere-se ao uso de economizadores de água, como o arejador. O segundo tem relação com a ideia de incorporar a subjetividade e a perspectiva de quem usa o serviço (Gonçalves, 2006). Um exemplo desse item é a utilização de água não-potável nas bacias sanitárias.

O uso de fontes alternativas é considerado como o uso e consumo de qualquer água que não seja oriunda do sistema público/privada de abastecimento. Os exemplos comuns são as águas cinzas, água da chuva e fonte naturais (Gonçalves, 2006).

O desenvolvimento e adequação tecnológica é responsável por inovar, voltando-se basicamente para a pesquisa (Cheung, 2009). Com isso, são concebidos produtos com melhor desempenho no uso de água. Exemplo desse uso é na forma de instalação de mictórios, com o uso de sensores e nas bacias com o uso de válvulas de acionamento duplo. Esse sistema, na verdade, são dois botões. Um faz com que o volume a ser liberado durante o acionamento seja a metade do máximo (usado para urina, em geral); enquanto o outro botão mantém a vazão plena (usado para fezes e sólidos, em geral). Desta forma, com o acionamento adequado à necessidade, consegue-se reduzir o volume de água utilizado.

A gestão da água nas edificações é realizada com manutenções de forma sistemática e contínua, garantindo um bom funcionamento de todo o sistema ao longo de anos (Cheung, 2009).

O comportamento conservacionista trata dos hábitos pessoais e coletivos. Em geral tem relação com a valorização social. É a força motriz do processo de incentivo à mudança de hábitos. Pode ser por meio do aspecto financeiro ou da conscientização. Esse processo de economia devido a conscientização ficou demonstrado de 2014 a 2015, durante a crise hídrica em São Paulo. Porém, essa conscientização também atingiu outros estados de forma indireta. Em Brasília, foi registrada uma redução do consumo de água em 5%, apenas devido à sensibilização com o baixo nível do reservatório de São Paulo, o Cantareira (Rodrigues, 2016).

Diante de um vasto cenário de estratégias, serão apresentadas aquelas que irão fazer parte da metodologia dessa pesquisa e do estudo de caso.

### **3.5.1. Redução na pressão**

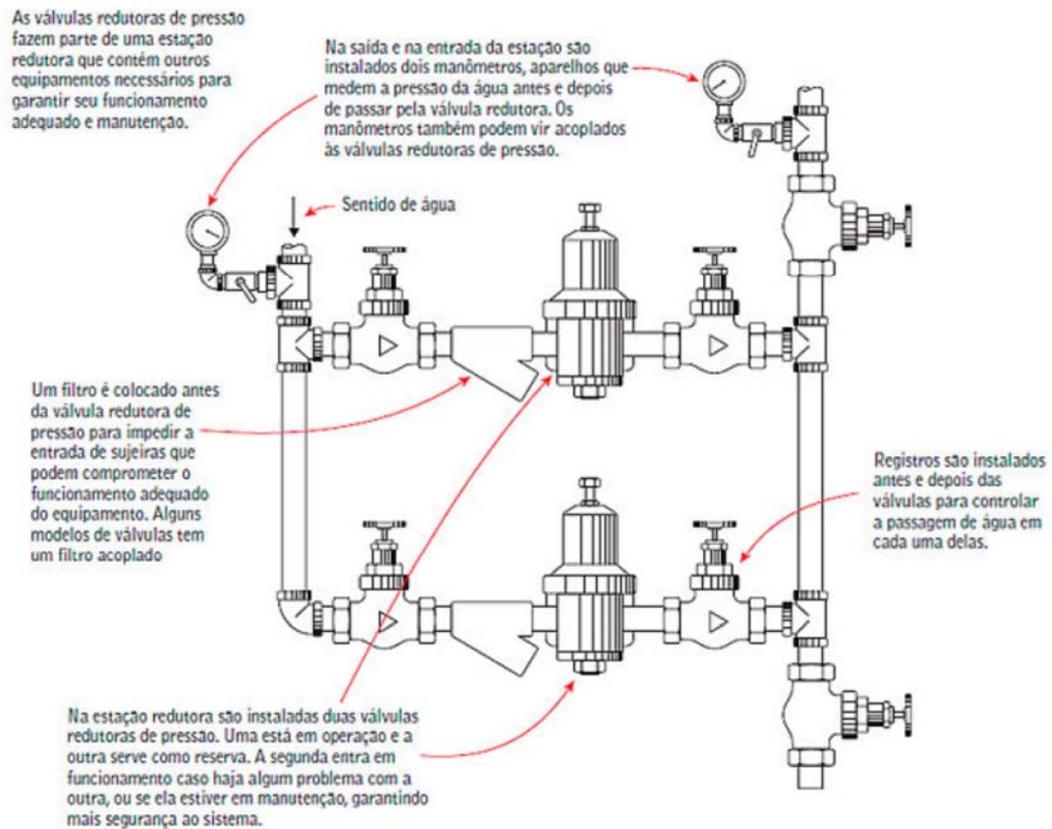
Com o advento das edificações verticais, com cada vez mais andares, as pressões de água começaram a se elevar nos andares mais afastados do reservatório superior. Tal mudança começou a gerar a necessidade de implantação de dispositivos redutores de pressão por segurança na operação da tubulação, a fim de não ultrapassar o limite mecânico de resistência das paredes dos tubos, o que resultaria em seu rompimento.

A norma ABNT NBR 5626 recomenda que, em condições dinâmicas, ou seja, com escoamento, a pressão não deve ser inferior a 1 mca em qualquer peça, sendo a única exceção a caixa de descarga acoplada, cuja pressão dinâmica poderá ser de até 0,5 mca, e a válvula de descarga, que deverá ser no mínimo de 1,5 mca (ABNT, 2008).

Pode-se notar que, num edifício, os andares mais próximos da cobertura terão pressões no limite do preconizado por norma, sendo normalmente esse o foco do dimensionamento. Já nos inferiores, a pressão será alta, aumentando o consumo.

O controle da pressão representa diminuição no consumo de água, da frequência de ruptura de tubulações e minimização dos eventuais vazamentos. Estima-se que uma redução de pressão de 30mca para 17mca pode resultar em uma economia de até 30% do consumo de água (SIDUSCON-SP, 2005).

O método mais comum de reduzir a pressão é por meio do emprego de uma estação redutora de pressão do tipo mostrado na Figura 3.2, devido a sua facilidade de manutenção e eficiência do processo. Já existem válvulas eletrônicas que podem permitir uma gestão mais eficiente de acordo com o nível do reservatório superior.



*Figura 3.2- Sistema de válvula para redução da pressão*

Fonte: Venturini (2011)

### 3.5.2. Medição individualizada

Segundo Silva (2010), a prática de individualizar as medições aponta uma redução de até 22% no volume de água consumido.

Muitas vezes é necessário setorizar os edifícios para realizar as leituras, sejam de forma visual ou eletrônica. Algumas dessas setorizações podem ser simples ou complexas. Na maioria das vezes, essa setorização dependerá do número de colunas de distribuição que o edifício possuir (Tamaki, 2004).

Um fator relevante é relativo à classe alta, que, em geral, é a que menos reduz o consumo da água, comprovando a tese de que o usuário com padrão de vida elevado pode, inconscientemente, ignorar as ações e metodologias de economia de água, ao contrário daquele

que possui menor poder aquisitivo, que, na sua grande maioria, implementa ao máximo ações e hábitos que reduzam gastos.

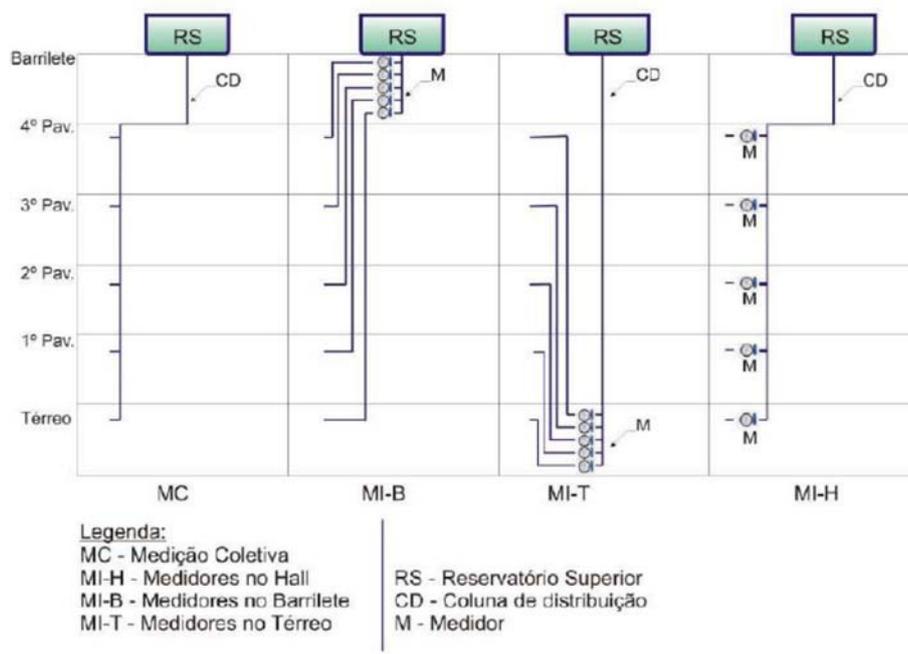
Há diversas formas de medir o volume de água utilizado em um setor. A Figura 3.3 exemplifica alguns casos, tais como a medição coletiva, a medição no hall (andar), a medição no barrilete e a no andar térreo (uma das mais difíceis de implantar devido as altas perdas de carga) (Lima, 2016).

No caso de sistemas de medição por telemetria, são instalados hidrômetros digitais nos locais desejados. Porém, sua medição será realizada por um computador ou painel eletrônico, ficando fixo num local desejado na edificação. Por questões de controle e segurança, este local costuma ser a portaria.

Buscando a maior conservação de água, Tamaki (2004) recomenda a aplicação de medições individuais de forma a controlar melhor o uso da água e a detecção de vazamentos. Nesses casos, é possível identificar o apartamento em que ocorre o vazamento, facilitando a manutenção.

Esta pesquisa considera que, com o advento das tecnologias de telemetria, não há razão para que um sistema de medição individualizada não seja implantado em edificações novas. Em virtude disso, essa opção de conservação de água não será vista como opção e sim obrigação construtiva para novos empreendimentos, em termos técnicos-econômicos.

No Distrito Federal, a Lei 3.557, de 2005, dispõe sobre a individualização de instalação de hidrômetro nas edificações verticais residenciais e nas de uso misto e nos condomínios residenciais do Distrito Federal.



*Figura 3.3- Formas de medição individualizada*

*Fonte: Lima (2015)*

Nesta Lei, é normatizado que, para a aprovação dos projetos de edifício novos, ou seja, a serem construídos, será obrigatória a instalação de hidrômetros individuais para cada uma das unidades.

Para as edificações existentes, foi conferido um prazo até 2015 para adequação à Lei. Contudo, em 2008, a Lei foi alterada e permitiu a não individualização para os casos de inviabilidade técnica e econômica. Essa exceção foi assim definida pela mesma Lei: “considera-se inviável a instalação de hidrômetro individual, do ponto de vista técnico, quando as condições estruturais do prédio não a permitam e, do ponto de vista econômico, quando resulte, por qualquer dos modelos acreditados pela concessionária, em custo econômico-financeiro desproporcional aos benefícios que dela se esperam”.

Utilizando da exceção da Lei, da idade avançada das edificações de Brasília, da quantidade de prumadas de água que os prédios possuem e do custo de uma obra em prédios que datam de 1950, a maioria dos edifícios não aderiram a medição individualizada.

A Lei 13.312, de julho de 2016, alterou as diretrizes de saneamento básico nacional, estabelecendo que as novas edificações condominiais deverão ter medição individualizada. Contudo, as edificações existentes não foram tratadas, ficando sem o benefício da tecnologia.

### 3.5.3. Economizadores de água

Os economizadores de água são, em geral, aparelhos que reduzem a vazão ou limitam o tempo de acionamento do dispositivo com fechamento automático do mesmo. Eles podem ser facilmente instalados em edificações novas, contudo, em edificações existentes e ocupadas, o procedimento pode ser complexo e oneroso.

Alguns equipamentos para instalações hidráulico-sanitárias mais modernos já apresentam essa redução. Exemplo típico são as bacias sanitárias que utilizavam 12 litros por descarga e hoje têm duplo acionamento, consumindo no máximo 6 litros. Mais moderna ainda é a bacia sanitária a vácuo com gasto de apenas 1 litro de água.

A seguir, a Tabela 3.6 apresenta algumas torneiras de baixo consumo comumente utilizadas em edificações comerciais. Nas edificações residenciais sua aplicação é possível, porém rara devido ao custo.

*Tabela 3.6- Economizadores para torneiras*

|                                     |   |   |
|-------------------------------------|---|---|
| <b>TORNEIRAS<br/>HIDROMECAÑICAS</b> | Os usuários não interferem na vazão visto que a mesma é regulada por um registro regulador de vazão. Por também possuírem temporizador, seu consumo é reduzido. Esse tempo pode variar de 4 a 10 segundos. Seu desenho é ilustrado na Figura 3.4. |  |
| <b>TORNEIRAS COM<br/>SENSOR</b>     | O comando e acionamento dar-se-á por um sensor de presença que capta a presença das mãos do usuário. O desligamento é automático e ocorre cerca de 2 segundos após o uso. Seu desenho é ilustrado na Figura 3.5.                                  |  |

Figura 3.4 – Torneira  
Fonte: DECA (2016)

Figura 3.5 –  
Torneira  
Fonte: DECA (2016)

A Tabela 3.7 apresenta alguns exemplos de economizadores em geral.

*Tabela 3.7- Economizadores para torneiras e chuveiros*

|  |   |   |
|--|---|---|
| <b>AREJADORES</b>                                    | Os arejadores são dispositivos abrandadores do fluxo de saída. Geralmente são colocados na extremidade das torneiras e bicas. Sua redução de consumo é baseada no princípio de Venturi, incorporando uma considerável quantidade de ar ao fluxo de água e por consequência reduzindo o volume de água gasto. A referência média de vazão adotada é de 8 litros/minuto, podendo chegar a 1,8 litros/minuto. Seu desenho é ilustrado na Figura 3.6. |    |
| <b>RESTRITORES DE VAZÃO</b>                          | São dispositivos que mantem a pressão em uma faixa (em geral de 10mca a 40mca), o que resulta em redução da vazão. Eles não são dotados de regulagem, e estão disponíveis para lavatórios e chuveiros. Seu desenho é ilustrado na Figura 3.7.   |    |
| <b>REGISTROS REGULADORES DE VAZÃO PARA CHUVEIROS</b> | Esses registros são similares aos restritores de vazão, porém oferecem ao usuário a possibilidade de regular o valor desejado. Seu desenho é ilustrado na Figura 3.8.   |  |
| <b>CHUVEIROS ECONÔMICOS</b>                          | Os chuveiros de baixa vazão (6L/min) propiciam um bom banho com economia de água. Seu desenho é ilustrado na Figura 3.9.  |  |

A Tabela 3.8 apresenta alguns exemplos de economizadores para bacias sanitárias.

*Tabela 3.8- Economizadores para bacias sanitárias*

**CAIXAS DE DESCARGA DUPLO COMANDO** DE DE Conhecidas como “dual-flush”, essas caixas de descarga possibilitam ter-se dois tipos de acionamento da descarga de água por meio da existência de dois botões: um deles, resulta em uma descarga completa de 6 litros, para o arraste de efluentes com sólidos e o outro resulta em uma meia descarga, geralmente de 3 litros, para a limpeza apenas de urina na bacia sanitária. Seu desenho é ilustrado na Figura 3.10.



Figura 3.10- Caixa acoplada dual-flux  
Fonte: DECA (2016)

**VÁLVULAS DE DESCARGA COM DUPLO ACIONAMENTO** DE Essas válvulas de descarga são similares às caixas de descarga de duplo comando, e possibilitam que o usuário acione a válvula com meia descarga, de 3 litros, ou com descarga inteira para 6 litros. Em geral os menores volumes serão para urina. Seu desenho é ilustrado na Figura 3.11.



Figura 3.11- Válvula duplo acionamento  
Fonte: DECA (2016)

A economia que cada tipo de dispositivo pode oferecer está presente na Tabela 3.9.

*Tabela 3.9- Economia gerada pelos dispositivos*

| Local           | Aparelhos Indicados              | Vazão usualmente utilizada (litros/minuto) | Economia estimada (%) | Tempo de retorno do investimento (meses) |
|-----------------|----------------------------------|--|-----------------------|--|
| Chuveiro        | Registro regulador de vazão      | 15 a 48                                    | 20                    | 6  |
|                 | Válvula de fechamento automática |  | 20                    | 12                                       |
| Lavatório       | Registro regulador de vazão      | 6 a 20                                     | 20                    | 5  |
|                 | Arejador para bica ou torneira   |  | 20                    | 5  |
|                 | Torneira automática              |  | 25                    | 8  |
|                 | Torneira eletrônica              |  | 35                    | 12                                       |
| Bacia sanitária | Bacia para 6 litros              | 12 a 40 litros por ciclo                   | 50                    | 6  |
|                 | Caixa de descarga duplo          |  | 50                    | 8  |
|                 | Válvula de descarga duplo        |  | 20                    | 8  |
| Pia de cozinha  | Arejador para bica ou torneira   | 8 a 25                                     | 20                    | 5  |
|                 | Registro regulador de vazão      |  | 20                    | 5  |

Fonte: Adaptado de Grisolia (2015)

### 3.5.4. Aproveitamento da água da chuva

Não é possível pesquisar sobre a água da chuva sem definir o local de estudo. Isso acontece devido às diferenças de clima e geografia, interferindo na quantidade de chuva e seu regime. Soares (1999) considerou como uma excelente alternativa o aproveitamento da água de chuva em áreas com escassez de abastecimento, alto custo de exploração subterrânea e alto índice pluviométrico.

A região de Brasília tem períodos bem caracterizados de chuva e seca, conforme Figura 3.13, assim como Belo Horizonte, Goiânia e Palmas e precipitação anual similar, variando de 1600 a 1800mm. Já a região Amazônica tem períodos de chuva ao longo do ano. Os volumes de chuva médios foram acumulados ao longo de um ano tendo como referência os anos de 2004 a 2013 e analisados por capital brasileira, conforme Figura 3.12.

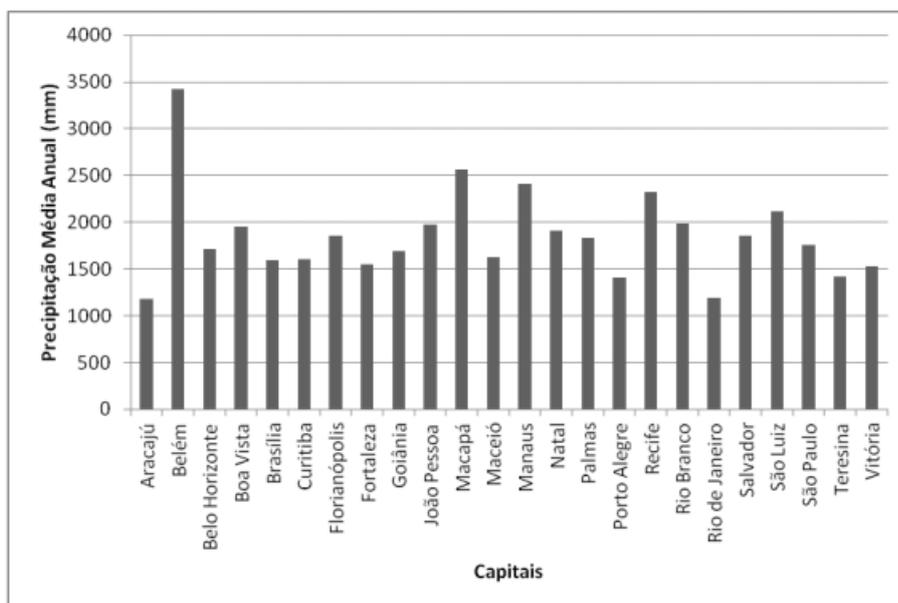
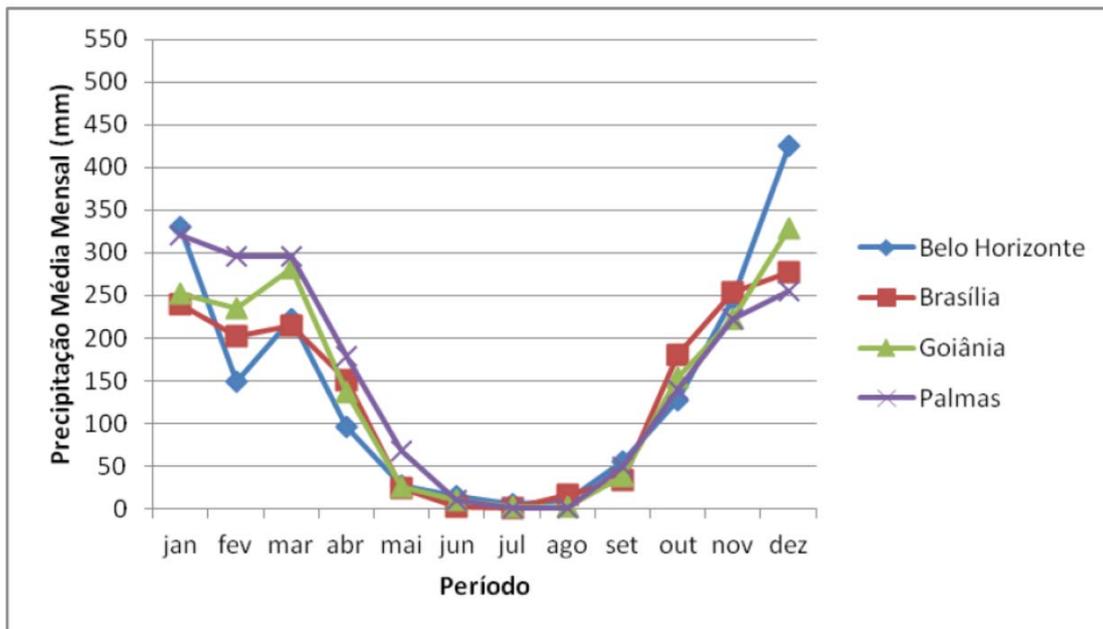


Figura 3.12- Precipitação média anual em capitais brasileiras

Fonte: Zardini (2014)



*Figura 3.13- Precipitação média mensal em capitais brasileiras com estiagem*  
*Fonte: Zardini (2014)*

Um sistema de aproveitamento da água de chuva funciona de modo que a água é coletada pela cobertura da edificação, transportada por condutores e armazenada em reservatórios. Esta água, dependendo da configuração, poderá sofrer algum tipo de tratamento de acordo com o seu uso e a sua qualidade. Por fim, a água será transportada aos destinos finais.

Existem alguns dispositivos e cuidados básicos para o sistema de aproveitamento da água de chuva. Eles colaboram com a segurança, evitando transbordamentos e facilitando o escoamento da água, além de evitarem a piora da qualidade de água, independentemente da destinação da água:

- Um sistema de gradeamento para retirada de folhas e galhos;
- Ralos do tipo abacaxi;
- Limpeza das calhas a cada 3 meses;
- Extravadores nas calhas e reservatório.

Para efeito de análise do volume contribuinte e qualidade de água, deve-se dividir cada evento chuvoso em duas etapas: a primeira, que irá limpar o sistema; e a segunda, que irá efetivamente contribuir para a captação, já com qualidade superior a primeira (Brito *et al.*, 2007).

No Brasil, a norma ABNT NBR-15527 estabelece os processos relativos ao dimensionamento de instalações prediais de águas pluviais. Nela também há diversos métodos para determinação do volume de reservatório para uso de água não potável. Cada método utiliza uma hipótese inicial diferente, variando assim o resultado final (ABNT, 2007).

A chuva atua capturando particulados, dispersando os poluentes, promovendo a limpeza da atmosfera e carregando consigo as substâncias já sedimentadas nos telhados. No intuito de obter a água com menos poluentes, a norma ABNT NBR-15527 recomenda que se descartem os 2 mm iniciais de chuva na área de coleta (ABNT, 2007). Murça (2011) afirma que esse descarte inicial conseguiu diminuir a turbidez em 75% e a DBO em 50% quando aplicado no PAMA-GL (Parque de Material Aeronáutico do Galeão - RJ).

Um dos métodos para realizar tal descarte é utilizando um reservatório de autolimpeza. Sua importância é que ele esteja sempre vazio no início de uma chuva e ao atingir o volume de descarte interrompa seu fluxo e se esvazie. Assim, na próxima chuva, ele já estará vazio. Tal processo ocorre pelo escoamento da chuva inicial, a qual retira as impurezas do telhado e as carrega. Esse volume de água, com grande quantidade de sedimentos e DBO, será descartada (May, 2004).

O sistema proposto por May (2004) e exibido na Figura 3.15, consiste em captar a água e direcioná-la para o reservatório de autolimpeza, que se encontra vazio. Quando a água atinge uma determinada altura, que representa o volume de descarte desejado, a boia de nível é acionada, realizando o fechamento automático da válvula. Com isso, a água começa a escoar diretamente para o reservatório de armazenamento, com menos poluentes.

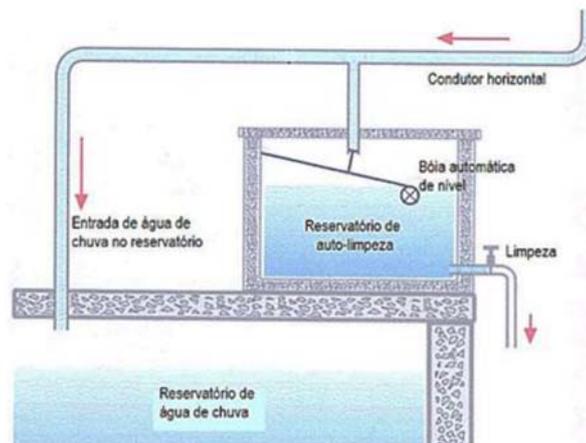
Além desses sistemas de autolimpeza, existem filtros comerciais mais modernos e que desperdiçam menos água durante o processo de separação das impurezas. A Figura 3.14 mostra o funcionamento do modelo volumétrico através de seu corte esquemático.



*Figura 3.14- Filtro comercial de água de chuva*  
*Fonte: Acquasave (2016)*

Em geral, as águas oriundas das telhas mais porosas, apresentam maior turbidez. Isso fica demonstrado na pesquisa de Andrade (2009), na qual as águas provenientes de telhados com telhas de barro apresentaram turbidez de 1,15 uT, enquanto as águas de telhados com telhas de alumínio apresentaram quase a metade deste valor. Em ambos os telhados, os valores de turbidez estão abaixo do preconizado pelo SIDUSCONSP (Sindicato da Indústria da Construção Civil de São Paulo) (2005) em relação aos parâmetros para aproveitamento de água (2uT).

Porém, do ponto de vista biológico, todos os tipos de telhado apresentaram contaminação fecal, reforçando a necessidade da implantação do processo de desinfecção para tratamento das águas de chuva coletadas (Andrade, 2009). Em geral, a DBO tem um valor médio de 7 mg/L (Santos *et al.*, 2006). O SST tem valor médio de 56,3 mg/L, DQO com 31,7 mg/L e CF (coliformes fecais) de 35 NMP/100 mL (Hagemann, 2009).

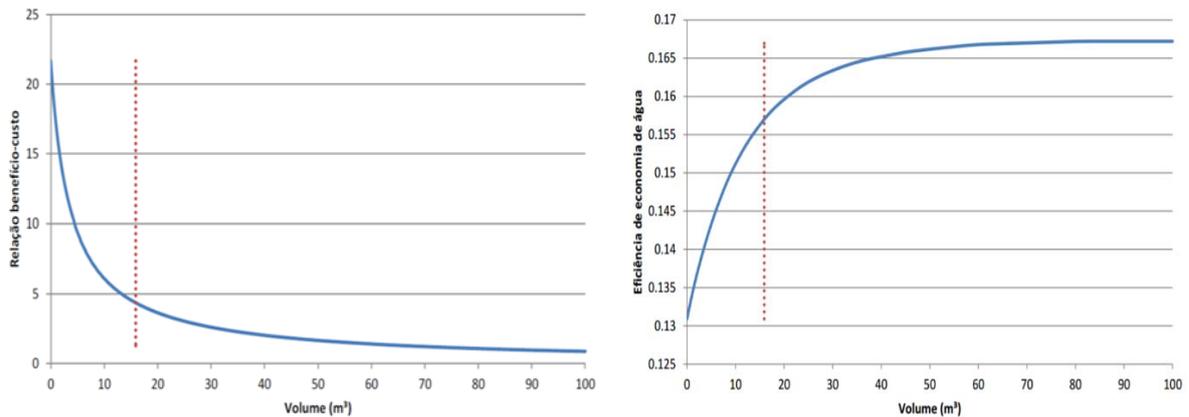


*Figura 3.15- Reservatório de autolimpeza de água de chuva*  
*Fonte: May (2004)*

Apesar do custo de implementação de um sistema de captação e aproveitamento de água pluvial ser reduzido e possuir grandes vantagens, a construção de reservatórios atinge 55% do investimento total, tornando-se o grande limitador pela análise econômica (Campos, 2004).

Com esse alto custo do reservatório, faz-se necessário um estudo complexo visando obter seu volume ideal. Na escolha do volume do reservatório, estão os diversos métodos previstos na NBR 15.527. Cada método escolhido irá resultar num volume bastante diferente. Isso ocorre, pois, cada método apresenta uma hipótese distinta. Os métodos brasileiro, alemão e inglês assumem hipóteses de armazenamento, captação e/ou consumo diferentes, e têm, por consequência, resultados diferentes para as mesmas situações. Já o método de Rippl é conservador e não permite falhas no sistema, sendo por isso aquele que irá gerar reservatórios de maior volume (Sampaio, 2013).

Exemplo dessa escolha, foi feito num edifício residencial, em Brasília, com 240 pessoas e 800m<sup>2</sup> de área de captação. O algoritmo utilizado para esse dimensionamento usou parâmetros econômicos e técnicos. O método consistiu em buscar o maior volume de reservatório capaz de fornecer o melhor benefício econômico e a melhor relação entre oferta e demanda. A partir daí são gerados alguns gráficos; entre eles destaca-se o de volume versus custo benefício e o Volume versus eficiência de economia, ambos na Figura 3.16, com valor ótimo de reservatório de quase 16m<sup>3</sup> (Sampaio, 2013).



*Figura 3.16- Volume x desempenho para Brasília*  
*Fonte: Sampaio (2013)*

Um bom dimensionamento deve produzir um reservatório que não fique um longo período ocioso, nem pode provocar o desperdício de água pluvial. Os métodos Prático Brasileiro e Inglês tendem a superestimar o volume do reservatório, enquanto o método Prático Alemão e Australiano fornecem valores menos conservadores. Os dois primeiros podem ser aplicados em locais em que se deseje suprir a demanda por quase todo ano; enquanto os últimos tendem a diminuir o volume do reservatório, mas devem existir outras fontes (Amorim & Pereira, 2008).

### 3.5.5. Reúso de água

Define-se reúso de água como o uso da água residuária tratada para fins de irrigação, usos menos nobres, troca térmica industrial e outros. Divide-se em direto e indireto; planejados e não planejados. Nos planejados, há um controle sobre a descarga das águas brutas nos corpos hídricos de forma a manter a qualidade de água num padrão mínimo a jusante, sem prejudicar o seu uso ou benefício (Metcalf & Eddy, 1991).

É necessário fixar algumas definições. Assim sendo, serão adotadas as seguintes definições de Metcalf & Eddy (1991):

- Reúso para fins urbanos: utilização de água de reúso para fins de irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, combate a incêndio, dentro da área urbana (BRASIL, 2005);

- Reúso de água potável: tem como característica um alto tratamento, envolve o abastecimento público e atende a padrões de potabilidade;
- Reúso de água direto: consiste em direcionar o esgoto tratado diretamente ao local de uso;
- Reúso de água indireto: é aquele em há a passagem do esgoto por um caminho intermediário. Em geral, a natureza irá colaborar com o tratamento; ou seja, a água residuária será descarregada num manancial e a jusante será colhida a água em melhores padrões;
- Reúso de água não potável: é aquele em que a água não apresenta condições de potabilidade, mas possui outros usos. Os objetivos mais comuns a irrigação de plantas e campos de esportes, e uso em bacias sanitárias;
- Reúso de água não potável direto: limita-se a irrigação subterrânea de jardins e lavagem de pisos. É um método simples, onde as águas das máquinas de lavar roupas podem ser armazenadas em baldes ou tonéis para posterior uso. Não utiliza nenhum tratamento (Sant'Ana, 2011);
- Reúso de água não potável indireto: é o método mais comum empregado na maioria dos países. Nesse caso a água é coletada, tratada e armazenada em reservatórios para uso posterior;
- Águas negras: são as águas proveniente do esgoto do bidê e bacia sanitária; normalmente contaminado por Coliformes Fecais. Gelt (2002) inclui neste grupo as águas da pia da cozinha e da lavadora de pratos devido à alta carga orgânica;
- Águas cinzas: são aqueles proveniente da banheira, chuveiro, área de serviço e lavatórios, em geral, possuem baixo teor de poluentes, mas não dispensam tratamento (Jeppensen, 1996).

O reúso de água pode ser efetuado de forma segregada e não segregada. O primeiro consiste em separar a água negra da cinza, na fonte, utilizando tubulações distintas. Desta forma, a fração referente a água cinza poderá ser utilizada sem qualquer contaminação pelas águas negras. O reúso não segregado utiliza ambos os tipos de água, sem qualquer distinção ou separação por tubulações.

A organização mundial da saúde não tem recomendado o reúso de água potável, por questões de segurança. Com isso, torna-se o sistema de reúso não potável indireto o mais recomendado

por envolver menores riscos. Este tipo de sistema de reúso de água tem sido impulsionado devido à alta demanda por água e baixa oferta da mesma em vários locais do planeta (Muffareg, 2003).

A resolução 54 do CONAMA define reúso de água para fins urbanos como sendo o uso do efluente para irrigação paisagística, lavagem de logradouros públicos e veículos, desobstrução de tubulações, construção civil, edificações, no combate a incêndios e dentro da área urbana (BRASIL, 2005).

O reúso de água planejado para fins não potáveis inclui as finalidades menos nobres, sendo os três primeiros destacados por NAP (2015) como os mais significativos:

- Descargas de bacias sanitárias;
- Lavagem de pisos e similares;
- Espelhos de água e ornamentações;
- Irrigação de jardins;
- Reservas prediais de incêndio.

Entretanto, esses usos devem ser bem estabelecidos e controlados, a fim de não se gerarem riscos e de se atenderem condições mínimas. Conforme Leuck (2008), uma água de reúso deve obedecer às seguintes condições:

- Não deve apresentar mau-cheiro;
- Não deve conter componentes que agridam as plantas ou que estimulem o crescimento de pragas;
- Não deve ser abrasiva;
- Não deve manchar superfícies;
- Não deve contaminar o lençol freático.
- Não deve deteriorar os metais e equipamentos;

Tomaz (2001) estima que o reúso de água predial pode gerar uma economia de até 70% e Neal (1996) incentiva o seu uso devido à tecnologia simples para o tratamento e baixo custo de obtenção de águas cinzas. Além disso, o reúso com águas cinzas apresenta a vantagem de reduzir a quantidade de esgoto, o consumo de água potável das fontes naturais (Vigneswaran & Sundaravadivel, 2004) e o consumo de energia (Anderson, 2003).

As águas oriundas da cozinha possuem alta carga de DBO e DQO, resultando em um tratamento caro. Por isso, Christova-Boal *et al.* (1996) não recomendam a sua utilização, e ainda agregam o fato do volume oriundo das outras fontes (lavatório, chuveiro, área de serviço) já ser superior ao necessário para atender aos principais usos.

Comparando-se as águas cinzas com as águas negras, verifica-se que o fluxo horário é diferente, conforme observa-se na Figura 3.17 na qual a linha em azul representa as águas cinzas e a linha vermelha as águas negras. Diante da análise dessa figura, conclui-se que, para atender às vazões da demanda durante todo o dia, é necessário armazenar água de um dia para o outro.

Diversos autores elaboraram planilhas com dados de amostras de águas cinzas para comparar os parâmetros de qualidade de água. A partir daí foi feita uma adaptação, estabelecendo os valores médios dos parâmetros relevantes, conforme Tabela 3.10.

Em Curitiba, num estudo realizado em 30 edificações residenciais sobre as águas de chuveiros e lavatórios, realizou-se a análise físico-química de amostras de água cinza. Nelas foram detectados os valores máximos de turbidez com 189 uT, de DBO com 286 mg/L e CF com  $1,6 \times 10^7$  NMP/100mL (Santos *et al.*, 2003).

Os valores de turbidez e SST apresentados estão acima dos padrões preconizados pelo SIDUSCONSP (2005) como classe I, destinada a reúso de água em descargas, lavagem de pisos, etc. Dentre as legislações internacionais para o reúso de água em bacias sanitárias, destaca-se a Legislação Alemã como a menos restritiva. Esta estabelece que o limite de DBO é de 20 mg/L e CT de 100 UFC/100mL (Lazarova *et al.*, 2003).

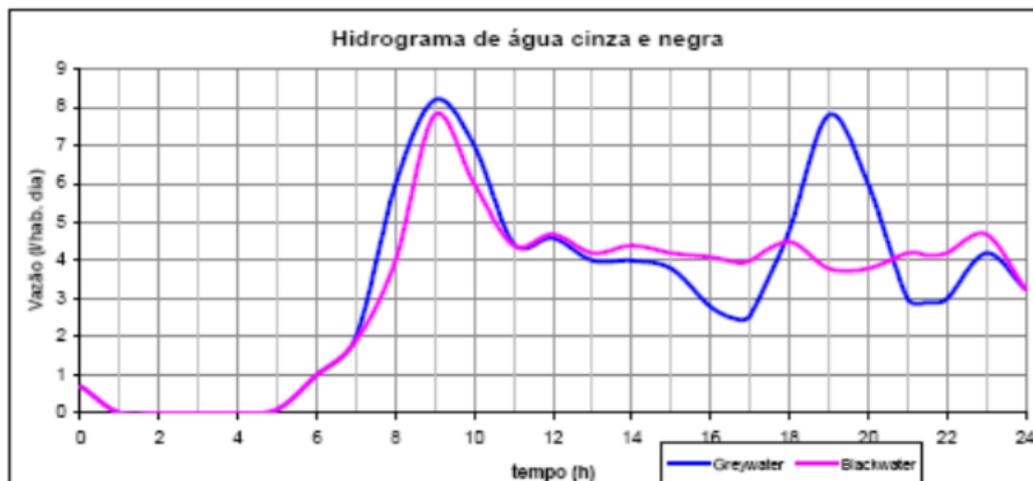


Figura 3.17 – Fluxo horário  
 Fonte: Leuck (2008)

Tabela 3.10- Qualidade da água de reúso

| Equipamento               | DQO<br>(mg/L) | DBO<br>(mg/L) | SST<br>(mg/L) | CT<br>(NMP/100mL)  | CF<br>(NMP/100mL) |
|---------------------------|---------------|---------------|---------------|--------------------|-------------------|
| Chuveiro                  | 582           | 164           | 106           | $3,9 \times 10^4$  | $2,5 \times 10^3$ |
| Lavatório                 | 653           | 209           | 152           | $1,3 \times 10^2$  | $3,5 \times 10^3$ |
| Máquina de lavar<br>Roupa | 521           | 624           | 206           | $8,9 \times 10^5$  | $1,6 \times 10^4$ |
| Tanque                    | 1672          | 570           | 221           | $2,06 \times 10^2$ | $1,0 \times 10^3$ |
| Cozinha                   | 1712          | 521           | 543           | $1,4 \times 10^3$  | $2,0 \times 10^9$ |

Fonte: Adaptado de Bazzarela (2005)

Na Espanha, Gual *et al.* (2008) fizeram o tratamento da água cinza de um hotel com as seguintes características da: vazão de  $26,7\text{m}^3/\text{dia}$ , SST de  $32\text{ mg/L}$ , turbidez de  $39\text{ uT}$ , DBO de  $41\text{ mg/L}$  e CF de  $10^6\text{ NMP}/100\text{mL}$ . O sistema consiste de pré-cloração, filtro de areia e pós-cloração. Uma melhoria significativa na qualidade da água de reúso foi percebida em relação a original (“in-natura”).

Portanto, para evitar entupimentos no sistema de reúso com águas cinzas, será necessário um filtro de areia. Para obedecer a legislação no quesito Coliformes, recomenda-se fazer a

desinfecção. Sugere-se o método dos raios UV devido à facilidade de automação do sistema e possibilidade de criação de alarme caso a lâmpada queime.

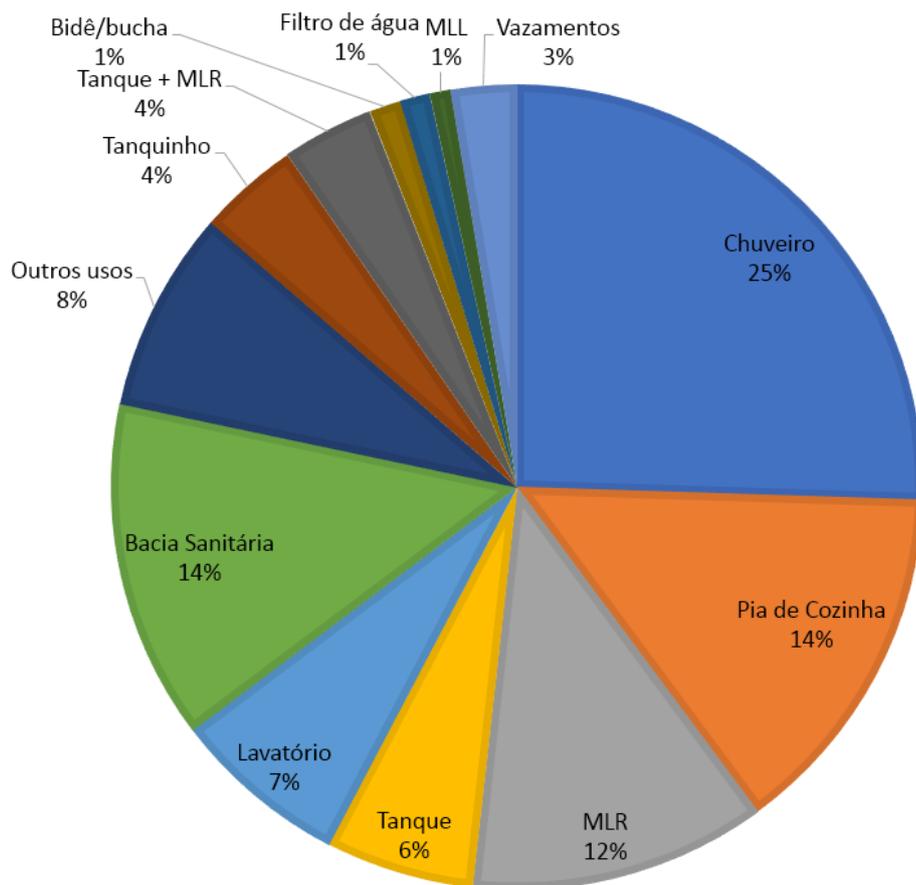
Outro aspecto a ser analisado, é o tempo de permanência da água cinza nos reservatórios. Rapoport (2004) apud Dixon & Butler (1999) observaram que, num tempo de estocagem de 24 horas, a qualidade da água melhora devido à rápida sedimentação. Entretanto, o aumento desse tempo para 48 horas leva à diminuição do oxigênio dissolvido e consequentes problemas de odor. Nirenberg (2010) alerta que os reservatórios devem possuir uma ventilação com o propósito de não acumular gases. Devido a esses odores, Jeppesen (1996) não recomenda o armazenamento desse tipo de água de reúso.

Nesse mesmo reservatório, salienta-se que cerca de 70% do total de águas cinzas não terão demanda suficiente. Com isso, esse excesso deverá ser conduzido para a rede de esgoto (Gonçalves, 2009). Tal fato acontece, pois, os aparelhos produtores de águas cinzas (chuveiro, tanque, máquina de lavar roupa e lavatório) geram, juntos, um volume superior aos aparelhos (bacia sanitária, irrigação de jardins e lavagem de carros) que poderão receber essa água de reúso.

### **3.6 USOS FINAIS DE APARELHOS**

Existem poucos estudos nacionais apontando o perfil de consumo dos diversos aparelhos em residências. A maioria dos estudos, por exemplo, Rocha *et al.* (1998), Oliveira Júnior *et al.* (2003) e Barreto (2008) referem-se a edificações com interesse social, que possui suas peculiaridades de consumo reduzido em função da renda. Há ainda estudos referentes a escritórios, universidades e edificações comerciais que fogem ao escopo desse trabalho.

Entre os estudos nacionais residenciais, destaca-se Barreto (1990), Rocha (1999), Mieli (2001), Lobato (2005), Sant'Ana (2012) e Sant'Ana (2013) sintetizados na Figura 3.18. De sua análise, nota-se um consumo relevante do chuveiro, bacia sanitária, pia de cozinha e máquina de lavar roupa, ficando o restante em patamares inferiores.



*Figura 3.18- Síntese de estudos sobre usos em edificações multifamiliares*

Alguns aspectos são importantes durante o estudo do perfil de consumo e devem ser considerados pois promovem resultados distintos. Em geral, hábitos, cultura regional, localização geográfica, tradições, número de moradores, tempo de permanência, clima, renda e valor da tarifa de água costumam influenciar tais resultados (Hafner, 2007).

Apesar dessas diferenças, os pontos de pico e de mínimo de consumo costumam não ter alterações. Assim, os picos ficam entre 6h e 8h, 12h e 14h e 18 e 20h. Já o mínimo é observado entre 0h e 4h (Cheung, 2009).

A Tabela 3.11 aponta os dados de uma pesquisa para os consumos referentes aos usos nas áreas comuns de uma edificação. Durante a estação chuvosa, a irrigação restringe-se apenas a vasos com plantas ornamentais com 0,002 L/m<sup>2</sup>/dia (Sant'Ana, 2013).

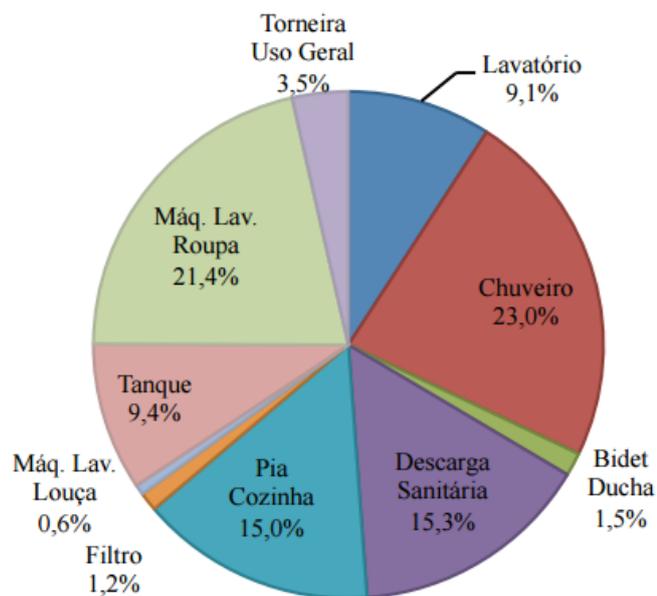
*Tabela 3.11- Consumo da área comum*

| <b>Utilização</b>           | <b>Consumo (%)</b> | <b>Consumo* (L/m<sup>2</sup>/dia)</b> |
|-----------------------------|--------------------|---------------------------------------|
| <b>Irrigação de Jardins</b> | 1,05               | <b>3</b>                              |
| <b>Limpeza Condominial</b>  | <b>3,15</b>        | <b>4</b>                              |

Fonte: Chain *et al.* (1999) e Sella (2011)\*

Uma pesquisa mais fidedigna foi realizada no Plano Piloto por Sant'Ana *et al.* (2013). Esse trabalho monitorou dezenove apartamentos por sete dias por meio do uso de cronômetros, questionários e dados dos equipamentos. A tipologia considerada foi de blocos com predominância de 4 ou 6 pavimentos, com área média de 91m<sup>2</sup> e 3 moradores. Foi considerada área de garagem (no subsolo) de 1.090m<sup>2</sup> e jardins no entorno com 1.000m<sup>2</sup>. Nesse levantamento foi obtida a média de consumo 172 L/hab/dia, consumo de uso comum de 3,5%, e para os equipamentos as médias mostradas no gráfico da Figura 3.19.

A análise desse gráfico mostra que os chuveiros e as máquinas de lavar roupa são os equipamentos com maior parcela de uso. O primeiro tem seu consumo diretamente relacionado ao modo como as pessoas utilizam o equipamento (uma questão cultural), tal como duração do banho, fechamento durante o processo de ensaboar, etc. Por outro lado, equipamentos de redução de vazão instalados no chuveiro colaboram significativamente com essa redução. Em segundo lugar tem-se as máquinas de lavar roupa, onde existe uma questão cultural relacionada a utilização da máquina com carga plena de roupas a fim de otimizar o uso da água e a outra relacionada a eficiência do equipamento, intrínseco do fabricante, principalmente na relação volume de água gasto versus quantidade de roupa lavada.



*Figura 3.19- Uso em edificações multifamiliares*  
*Fonte: Sant'Ana et al. (2013)*

### 3.7 PROCESSOS DE TRATAMENTO DE ÁGUA

As águas da presente pesquisa (de reúso e pluvial) carecem de pouco tratamento. Entretanto, isso não desobriga o atendimento da ABNT NBR 13.969, no que tange ao reúso de água de CLASSE 2, que se refere a aplicação de água de reúso em vasos sanitários e irrigação de jardins. Com isso, recomenda-se o tratamento preliminar, biológico, filtração e a desinfecção. Já o SIDUSCON é mais rigoroso, preconizando também a correção de pH (SIDUSCON-SP, 2005). Esse processo de tratamento possui o objetivo de manter a água com a turbidez e o número de coliformes fecais baixos, e, se possível, com algum teor de cloro residual. Entretanto, Hildebrand (1999) cita que alguns fabricantes de estações para tratamento de efluentes conseguem bons resultados apenas com filtração para o efluente cinza, sem o uso de tratamento secundário.

O tratamento preliminar consiste na remoção de sólidos grosseiros. É indispensável a qualquer sistema para evitar entupimentos e até aumentos de pressão perigosos. Normalmente é empregada uma grade para tal fim (Jordão *et al.*, 2011).

Outro processo importante é a filtração, que pode ser realizada com brita de várias granulometrias e areia. Um dos primeiros indícios do excesso de impurezas é a diminuição da vazão devido ao aumento da perda de carga. Nesse caso, procede-se a retrolavagem dos filtros (seguindo o mesmo princípio dos filtros de piscina). Contudo, após algum tempo de uso, o filtro ficará saturado, sendo recomendada a substituição do meio filtrante. Para tanto, deve-se inspecioná-lo anualmente (Leggett, 2001).

Do ponto de vista ambiental, a retrolavagem devolve todo o lodo ao sistema coletor de esgoto. Contudo, como a maior fração do esgoto corresponde a água, isso não causa problemas operacionais a rede e facilita os processos biológicos na ETE. Já o manuseio e descarte do lodo através da substituição do meio filtrante deverá ser encaminhada ao aterro sanitário ou passar por processos de compostagem e consequente aplicação com adubo na agricultura.

O tratamento biológico pode ser realizado por processo anaeróbia ou aeróbia. Na anaeróbia, ocorre a transformação da maior parte do material biodegradável em biogás. O restante do material biodegradável permanece como biomassa microbiana na forma de lodo. Nos aeróbios, a degradação biológica converte parte da matéria orgânica em água e CO<sub>2</sub>, e o restante em lodo, removendo a turbidez consideravelmente. Os filtros com fluxo ascendente apresentam melhores resultados devido a sustentação hidráulica do lodo, produzindo mais lodo (Campos, 1999). A produção de lodo numa ETE é estimada em 0,2 a 0,6 L/hab/dia von Sperling, 2005). Os tratamentos biológicos mais comuns são a fossa séptica seguida de filtro anaeróbico, as lagoas facultativas, as lagoas anaeróbicas seguidas por lagoas facultativas, os lodos ativados, os reatores UASB (“upflow anaerobic sludge blanket”) sem pós tratamento e os reatores UASB com pós tratamento. Dentre esses processos citados, sua eficiência de remoção de DBO varia de 60 a 80%, com destaque para os lodos ativados (SABESP, 2009).

Há ainda os tratamentos físico-químicos, sendo o mais comum o emprego de coagulação-floculação com adição de sulfato de alumínio. Esse método apresenta resultados inferiores aos reatores UASB na remoção de patogênicos, remoção de nutrientes e matéria orgânica. O tratamento primário, composto, em geral, por coagulação e floculação, tem eficiência de remoção de DBO variando de 35 a 40% (SABESP, 2009). Entretanto, a combinação dos processos físico-químicos e biológicos resulta em excelentes resultados na maioria dos parâmetros de qualidade de água (Jordão *et al.*, 2011).

Os tratamentos químicos conferem aos sistemas de tratamento uma compacidade e flexibilidade operacional. Contudo, tem-se uma maior produção de lodo devido a alta redução de turbidez e um alto valor residual de DQO, com redução de 60% (Pidou *et al.*, 2008).

Outro tratamento disponível é o uso de membranas. Sostar-Turk *et al.* (2005) citam que o uso de membranas filtrantes de ultrafiltração não produziram resultados satisfatórios, indicando a necessidade de outros sistemas de tratamento, contudo, as membranas de nanofiltração e de osmose reversa produziram excelentes resultados na capacidade de remoção de matéria orgânica. Tais divergências apontam uma maior necessidade de estudos tecnológicos sobre as membranas e necessidade de diminuição dos custos (a maioria dos fornecedores comerciais consultados para cotações de estações compactas de água cinza ou pluvial não as utiliza).

A Tabela 3.12 ilustra os diversos tratamentos apresentados através de testes realizados em águas cinzas. Nota-se que os processos de tratamento de melhor desempenho para remoção da turbidez são a MBR (lodo ativado com membrana), filtro aeróbio com leite de brita, coagulação com sulfato de alumínio e a membrana de nanofiltração, todos com eficiência superior a 90%. Já para remoção de SST destaca-se filtro aeróbio com leite de brita e a coagulação com sal de alumínio com filtro de areia e carvão ativado, com eficiência superior a 80%. Para diminuição da DQO, a membrana de nanofiltração e de osmose reversa, coagulação com sal de alumínio com filtro de areia e carvão ativado e filtro aeróbio com leite de brita, com eficiência superior a 90%. Por último, na remoção de Coliformes Totais, os processos com desinfecção, o reator anaeróbico compartimentado e o MBR, com eficiência superior a 98%. Numa análise através das medianas e das médias de todos os resultados apresentados, tem-se que a membrana por nanofiltração, MBR e filtro aeróbio com leite de brita apresentam os melhores desempenhos globais em ambos os casos.

Tabela 3.12- Comparativo entre processos de tratamento de águas cinzas

| PROCESSO   | TURBIDEZ (uT) |         | SST(mg/L) |         | DQO (mg/L) |         | CT (NMP/100ml)      |                       |
|--|---------------|---------|-----------|---------|------------|---------|---------------------|-----------------------|
|  | bruto         | tratado | bruto     | tratado | bruto      | tratado | bruto               | tratado               |
| <b>Grade + sedimentação + desinfecção</b>                                  | 44            | 19      | 44        | 19      | 171        | 78      | 11,4                | 7,1                   |
| <b>Filtro de areia + desinfecção</b>                                       | 21            | 7       | -         | -       | 157        | 47      | 2 x 10 <sup>5</sup> | 13                    |
| <b>Membrana com ultrafiltração</b>   | 35            | 18      | -         | -       | 230        | 130     | -                   | -                     |
| <b>Membrana nanofiltração</b>  | 30            | 1       | 20        | 0       | 226        | 15      | -                   | -                     |
| <b>Membrana osmose reversa</b>   | -             | -       | 18        | 0       | 130        | 3       | -                   | -                     |
| <b>Filtro de cartucho + carvão ativado + filtro de areia + desinfecção</b> | 13            | 6       | 9         | 4       | 51         | 35      | <200                | 0                     |
| <b>Coagulação com sal de alumínio</b>                                      | 46,6          | 4,3     | -         | -       | 791        | 287     | -                   | <1                    |
| <b>Coagulação com Sal de Alumínio + filtro de areia + carvão ativado</b>   | -             | -       | 35        | <5      | 280        | 20      | -                   | -                     |
| <b>UASB</b>  | -             | -       | -         | -       | 681        | 470     | -                   | -                     |
| <b>Reator Anaeróbico compartimentado</b>                                   | 73            | 47      | 78        | 33      | 297        | 97      | 3 x 10 <sup>4</sup> | 4 x 10 <sup>2</sup>   |
| <b>Filtro aeróbio + leito de brita</b>                                     | 168           | 13,8    | 120       | 20      | 383        | 17      | 4 x 10 <sup>4</sup> | 1,4 x 10 <sup>4</sup> |
| <b>MBR</b>   | 29            | 0,5     | -         | -       | 105        | 15      | 1,4x10 <sup>5</sup> | 68                    |

Fonte: Adaptado de Gonçalves (2009)

Por efeito da norma ABNT NBR 13.969, todos os efluentes para corpos receptores superficiais ou galerias pluviais e aqueles destinados para o reúso de água, seja de águas cinzas ou sistemas não segregados, devem ser submetidos a desinfecção (ABNT, 1997). O processo consiste em inativar os organismos patogênicos. Os métodos mais utilizados são a dosagem de cloro em pastilhas, ozônio e a radiação ultravioleta (pelo uso de lâmpadas próprias). Num sistema de desinfecção para a água da chuva com uso de cloro, espera-se gastar menos cloro que para a água de reúso com água cinza. Com isso, o consumo esperado mínimo de cloro é de 2 mg/L, podendo chegar a 3mg/L (Tomaz, 2003). Para um sistema que use raios UV é esperado gastar 40Wh durante todo o tempo do fluxo de água, enquanto para o sistema com ozônio é esperado gastar 50W por trinta minutos numa duração de oito horas por dia, totalizando 25Wh, dependendo das vazões (Fine & Reardon, 2013).

Atualmente existem diversos filtros comerciais para tratamento de água de chuva ou de águas cinzas. Destacam-se os tipos vortex e volumétrico. Algumas empresas possuem produtos em

catálogos que auxiliam a aquisição; enquanto outras necessitam de dados técnicos para confecção sob medida.

A Tabela 3.13 apresenta as recomendações e os requisitos mínimos de qualidade e monitoração para reúso de águas, com aplicação em lavagem de piso, bacias sanitárias, proteção e combate a incêndio e irrigação paisagística.

*Tabela 3.13- parâmetros de qualidade e frequência de monitoramento no reúso de água*

| <b>Tratamento</b>  | <b>Qualidade</b>   | <b>Monitoramento</b>  |
|--|--|---|
| <b>Secundário<br/>(suficiente para<br/>manter DBO abaixo<br/>de 30mg/L)<br/>Filtração (com areia<br/>ou antracito)<br/>Desinfecção</b> | pH=6 até 9<br>DBO <10mg/L<br>Turbidez* <10 uT<br>CF* = 500 NMP /100mL<br>Cloro residual= 1mg/L | pH-semanal<br>DBO-semanal<br>Turbidez-<br>contínuo<br>Cloro- contínuo<br>CF- diário |

Fonte: EPA (1992) e ABNT (1997)\*

### 3.8 RISCOS A SAÚDE

Existem alguns riscos inerentes ao sistema de reúso com águas cinzas e/ou aproveitamento de água da chuva. Borges (2003) propõe uma classificação desses riscos como segue:

- Tecnológicos: caracteriza acidentes e efeitos imediatos a saúde;
- Ambientais: causados por ações e interações entre produtos químicos e suas exposições. Em geral, tem efeitos crônicos.
- Naturais: causados por fenômenos naturais, com efeitos imediato ou de longo prazo.

Os riscos relacionados ao reúso de água são associados à presença de compostos de matéria orgânica, nitrogênio, enxofre, metais pesados e principalmente aqueles causados por microrganismos patogênicos (Boni, 2009 *apud* Gonçalves *et al.*, 2006). Com isso, os riscos nesses casos são avaliados em função de parâmetros microbiológicos e da manipulação do lodo.

Os sistemas de tratamento irão produzir um lodo que deverá ser parcialmente descartado com alguma frequência dependendo do tamanho e condição de operação da estação de tratamento, seja ela compacta ou não. Com isso, faz-se necessário a avaliação da destinação do rejeito. Em geral, o lodo poderá ser seco e disposto em aterros sanitários ou utilizado em compostagem para adubação de áreas de plantio.

O risco microbiológico é avaliado em função da probabilidade de infecção devido ao consumo de água contaminada varia de acordo com a população de patógenos ingerido. O método usual para avaliação desse risco é a distribuição Beta-Poisson (Watercasa, 2004), detalhado no APÊNDICE G.

Esse método é caracterizado pela ingestão ocasional ou acidental de águas contaminadas por parte de pessoas com deficiência imunológica ou crianças abaixo de 6 anos. A equação desse modelo possui dois parâmetros (alfa e beta) que terão valores para cada tipo de agente patogênico a ser analisado. Outro parâmetro presente na equação diz respeito a frequência anual de ingestão dessa água contaminada.

A EPA (1992) definiu que um indivíduo exposto a uma contaminação menor que 0,0001 ao ano não estaria sob risco. Assim, é possível montar a Tabela 3.14, que relaciona a quantidade de água contaminada ingerida com a população de coliformes presente.

*Tabela 3.14- Risco microbiológico*

| <b>Equipamento</b>   | <b>Dias de ingestão no ano (dias)</b> | <b>CF (NMP/100mL)</b> | <b>Volume máximo ingestão (mL)</b> |
|----------------------|---------------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| <b>Água da chuva</b> | 1                                     | 2698                  | 10                                 |
| <b>Tanque</b>        | 1                                     | 1000                  | 94                                 |
| <b>Chuveiro</b>      | 1                                     | 2500                  | 37                                 |
| <b>Lavatório</b>     | 1                                     | 3500                  | 26                                 |
| <b>OUTROS</b>        | 1                                     | 9000                  | 10                                 |
|                      | 0                                     | Acima de 100.000      | 0                                  |

Diante dos volumes expostos na Tabela 3.14, conclui-se que deve haver ao menos a desinfecção das águas antes do uso das mesmas, a fim de minimizar o risco e garantir que a água seja sanitariamente segura frente ao fenômeno de respingos no usuário.

Cabe ressaltar que não existe legislação no meio técnico brasileiro capaz de descrever e quantificar o padrão de água para reúso. Assim, não existem parâmetros que definam os aspectos físicos, químicos ou biológicos (Gonçalves, 2009).

Outro aspecto a ser notado é que a água da bacia sanitária apresenta, mesmo quando alimentada por água da concessionária, coliformes fecais. Ornelas (2004) cita que a água das bacias presentes na UFBA tem CT de  $1,5 \times 10^5$  UFC/100 ml e CF de  $14,9 \times 10^4$  UFC/100 ml. Tal fato ocorre por falhas no selo hídrico das bacias sanitárias. Com isso, a utilização de água para as bacias com qualidade similar a encontrada não afetaria a saúde humana.

### **3.9 SISTEMA DE APOIO A DECISÃO**

Os sistemas de apoio a decisão datam da Segunda Guerra Mundial. Naquela época existia a necessidade de fornecer recursos escassos a diferentes operações militares, sendo necessário priorizá-las (Hillier & Lieberman, 1994).

Um sistema de apoio a decisão caracteriza-se pela necessidade de obter respostas a determinadas questões (Roy, 1985), ou ainda, tomar uma decisão diante de um problema que tenha mais de uma solução (de Paula, 2013). Trata-se, portanto, de um conjunto de ferramentas que permite ao tomador da decisão um avanço entre os diversos pontos de vistas (Vincke, 1992).

Gomes *et al.* (2006) cita que para um correto processo de decisão faz-se necessário colher informações, atribuir importâncias ou pesos, buscar os candidatos a solução e, por último, escolher a melhor solução.

A abordagem tradicional de análise técnico-econômica tem cedido lugar a uma análise mais ampla, com diversos objetivos. Essa nova análise é mais complexa, porém tem maior sustentação de argumentação, pois se aproxima mais dos problemas e decisões enfrentados no dia-a-dia (Braga *et al.*, 1998).

Devido a essa análise mais ampla, o SAD tem sido muito utilizado em decisões com objetivo ambiental e em gestão de recursos hídricos. Isso ocorre pois nessa área há uma alta incerteza, um quadro complexo de objetivos, dificuldade na identificação do decisor, várias linhas de pesquisa, entre outros (Souza *et al.*, 2001).

Para atingir a melhor solução, o SAD considera, em sua essência, o princípio de Pareto: “indivíduos têm a máxima satisfação em uma certa posição ou situação quando é impossível sair dessa posição sem que alguns tenham a sua satisfação diminuída e outros a tenham aumentada” (Pereira, 2005). Contudo, em casos mais complexos, o SAD poderá indicar uma solução de compromisso ou consenso que não seja obrigatoriamente a solução ótima. Isto ocorre devido a impossibilidade de atender todos as variáveis ótimas do processo, ficando a solução alternativa (de compromisso) de atender parcelas significativas dos critérios.

Os métodos multiobjetivos têm sido adotados como ferramentas para o SAD. Desde 1973, esses métodos vêm sendo utilizados para solução de problemas ambientais. O exemplo clássico é o método custo-efetividade utilizado por Popovich com o objetivo de selecionar alternativa para manejo dos resíduos sólidos no Arizona (Souza & Forster, 1996).

Existem diversas técnicas multiobjetivo e multicritério. A escolha de cada uma dependerá de fatores como informações, natureza do problema, condicionantes, etc. Os métodos mais comuns são: da escola americana, Método de Análise Hierárquica ou Analytic Hierarchy Process – AHP (Bottero *et al.*, 2011), o Analytic Network Process – ANP (Saaty, 1999), o método Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution – TOPSIS (Salomon *et al.*, 1999), o método dos Pesos (Zadeh, 1963), o método das Restrições (Marglin, 1967) e o método Multiobjetivo linear (Ângulo-Meza *et al.*, 2006); da escola francesa, a família ELECTRE (Roy, 1996) e a família PROMETHEE - Preference Ranking Organization METHod for Enrichment Evaluations (Brans & Marechal, 2005).

Basicamente, os métodos se definem segundo a problemática: a problemática  $\alpha$  de apoio na escolha das melhores ações, típico do Electre I; a problemática  $\beta$  que apoia a triagem das ações segundo normas preestabelecidas, como no Electre TRI; a problemática  $\gamma$ , a qual tem como objetivo o ordenamento das ações segundo uma ordem de preferência decrescente, utilizando os métodos Electre III e TOPSIS e, finalmente, a problemática  $\delta$  que tem por objetivo realizar uma descrição das alternativas (Gomes *et al.*, 2004).

Nesta pesquisa, serão abordados os métodos ELECTRE III e TOPSIS. Foram selecionados dois métodos com o propósito de buscar o ótimo de Pareto independente da robustez do método, diminuindo assim os erros durante o procedimento de hierarquização, e por estarem esses métodos enquadrados entre os métodos que trabalham a problemática.

Os dois métodos foram selecionados entre outros devido a sua simplicidade, facilidade de uso, disponibilidade de software e transparência. Em relação ao ELECTRE III, há o diferencial que ele permite eliminar alternativas e ordená-las. Em relação ao TOPSIS, há um aumento crescente de artigos publicado desde 2010 utilizando essa técnica.

### **3.11.1. O método ELECTRE**

Foi apresentado pela primeira vez por Bernad Roy em 1968. A sigla ELECTRE, no idioma francês significa, ELimination Et Choix Traduisant la REalité cuja tradução é: Representação da realidade por eliminação e escolha (Cordeiro Netto *et al.*, 2001). É considerado uma filosofia de apoio a decisão com aplicações em diversas áreas. Existem diversas versões da família ELECTRE (I, IS, II, III, IV e TRI).

O ELECTRE I idealiza a separação das alternativas preferidas na maioria dos critérios e que, simultaneamente, não causam descontentamento inaceitável nos outros critérios (Souza *et al.*, 2001).

O ELECTRE II consegue produzir uma ordenação completa das alternativas. Utiliza a mesma lógica do método anterior, porém acrescenta condições de comparação (Cordeiro Netto *et al.*, 2001).

A evolução para o Electre III tem como principal inovação e atratividade a utilização de funções  $q$ ,  $p$  e  $v$ , que indicam indiferença, preferência e veto (Harada, 1999), onde a mudança da indiferença para preferência não ocorre em um ponto e sim em uma faixa, deixando o método com uma gradação contínua.

Exemplo típico de aplicação escolar do método é escolher o café mais doce. As opções são um com 11mg de açúcar e outro com 10mg de açúcar. No método em questão é possível estabelecer que essa 1mg não fará diferença.

O método compara os pares “a” e “b” utilizando algumas variáveis como referências. O valor geral da ação denomina-se “g”, “p” o limite de preferência e “q” o limite de discordância. Por meio dessas variáveis é estabelecido uma relação de hierarquização denotada por “S”, onde

uma ação aSb significa “a é, no mínimo, tão bom quanto b” ou “a não é pior que b”. A Tabela 3.15 demonstra as comparações (Buchanan & Sheppard,1998).

*Tabela 3.15- aSb*

| <b>Simbologia</b> | <b>Significado</b>              | <b>Equação</b>                     |
|-------------------|---------------------------------|------------------------------------|
| <b>aPb</b>        | a é estritamente preferível a b | $g(a) > g(b) + p$                  |
| <b>aQb</b>        | a tem preferência fraca a b     | $g(b) + q < g(a) \leq g(b) + p$    |
| <b>aIb</b>        | a é indiferente a b             | $g(b) - q \leq g(a) \leq g(b) + q$ |

Contudo, o método distingue o quanto forte uma afirmação pode ser. Para tanto, faz-se necessário calcular o nível de concordância e discordância utilizando a equação 3.1 e a equação 3.2.

$$C(a, b) = \frac{1}{k} * \sum ki * ci(a, b)$$

3.1

- Onde C (a,b) – índice de concordância das ações a e b;  
k – soma dos pesos de todos os critérios;  
kj – peso do critério j, para j = 1, 2, 3, ..., n;  
cj(a,b) – índice de concordância das ações a e b, sob o critério j.

Os valores para o índice de concordância “cj”, são dados pela equação 3.2. Enquanto os índices de discordâncias são calculados pela equação 3.3.

$$ci(a, b) = 1 \text{ se } gi(a) + qi \geq gi(b)$$

$$ci(a, b) = 0 \text{ se } gi(a) + pi \leq gi(b)$$

(3.2)

3.2

$$ci(a, b) = \frac{qj+gj(a)-gj(b)}{pj-qj} \text{ nos demais casos}$$

$$di(a, b) = 1 \text{ se } gi(a) + vi \leq gi(b)$$

$$di(a, b) = 0 \text{ se } gi(a) + pi \geq gi(b) \quad (3.3)$$

3.3

$$di(a, b) = \frac{gj(b) - gi(a) - pi}{vi - pi} \text{ nos demais casos}$$

A Figura 3.20 ilustra o índice de concordância para o caso em que os limiares de preferência e indiferença são constantes.

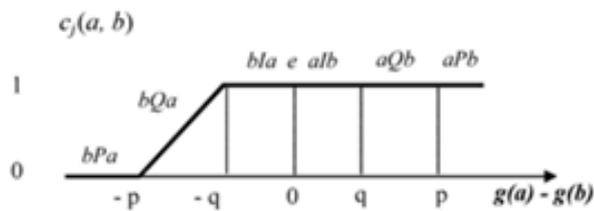


Figura 3.20- Solução baseada no índice de concordância

Fonte: Mota (2007)

Ao contrário da concordância, um critério de discordância é suficiente para o descarte da hierarquização da ação. Com ambos os índices calculados, determina-se a matriz de credibilidade e hierarquização utilizando a equação 3.4

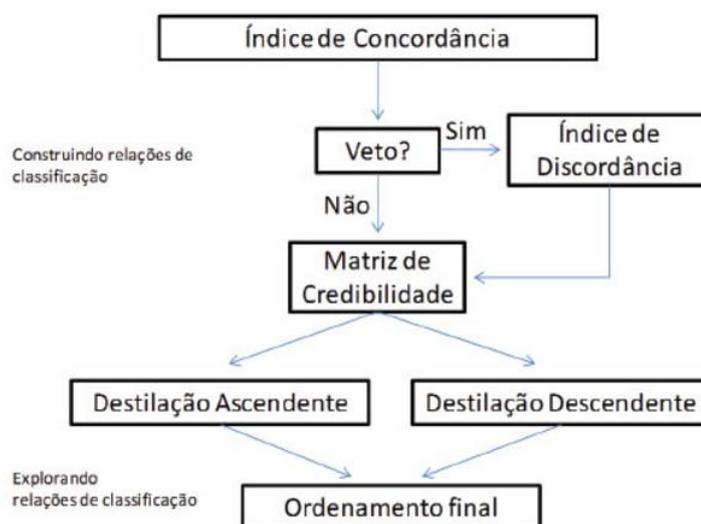
$$S(a, b) = C(a, b) \text{ se } dj(a, b) \leq C(a, b)$$

$$S(a, b) = C(a, b) * \prod_{j \in J(a, b)} \frac{1 - dj(a, b)}{1 - C(a, b)} \text{ no contrário}$$

3.4

Onde  $J(a, b)$  é o conjunto de critérios para o qual  $dj(a, b) > C(a, b)$

A partir daí define-se um valor máximo da  $S(a,b)$ , chamado de  $\lambda$ , e um coeficiente de relaxamento para  $\lambda$ , pela fórmula  $\lambda-s(\lambda)$ . Após, adota-se um valor para cada critério da credibilidade e compara-se com o valor 1, formando então a matriz  $QM(A)$ . Nessa matriz apenas existirão os valores 0 e 1, sendo 0 para credibilidade nula e 1 para alta credibilidade. Com as informações desta matriz, seleciona-se a ação melhor classificada, tendo assim a chamada 1ª etapa da destilação descendente conforme Figura 3.21.



*Figura 3.21- Fluxo ELECTRE III*  
*Fonte: Giannoulis & Ishizaka (2010)*

Repete-se o processo para as demais ações, excluindo-se a ação previamente classificada. Ao final das destilações, procede-se a pré-classificação descendente. Para a classificação ascendente, utiliza-se o mesmo processo, com a diferença que em cada etapa retirar-se-á a pior ação. Realizadas as duas pré-classificações determina-se a classificação final, a qual será a interseção das duas anteriores (Vincke, 1992).

A classificação final deverá atender os requisitos citados por Maystre (1994):

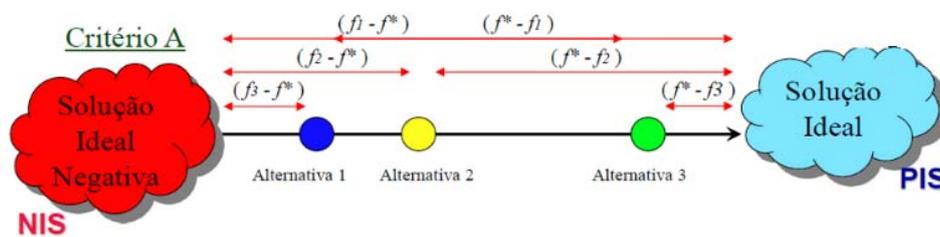
- Se “a” é preferível a “b”, dentro das duas pré-classificações, então “a” será preferível a “b” no ranqueamento final;
- Se “a” é equivalente a “b”, em uma das pré-classificações, mas ela é preferível na outra, então “a” é preferível a “b”;

- Se “a” é preferível a “b” em uma das pré-classificações, mas na outra pré-classificação “b” é preferível a “a”, então as duas ações serão incomparáveis entre si.

### 3.11.2. O método TOPSIS

O método TOPSIS foi desenvolvido em 1980 por Kwangsun Yoon e Hwang Ching-Lai. Sua sigla em inglês representa “Technique for Order Preference by Similarity to Ideal Solution”, significando Técnica de Ordenamento de Preferências por Similaridade a uma Solução Ideal (de Paula, 2013).

O conceito geral é que a alternativa deve ter a menor distância da solução ideal e a maior da pior solução. Nota-se, portanto, ser um método definido por distâncias, conforme ilustra a Figura 3.22.



*Figura 3.22- Representação esquemática do conceito do método TOPSIS*  
*Fonte: Cordeiro (2010)*

Após alguns anos, o método teve o conceito de distância de Chebyshev adaptado ao seu conteúdo. Assim, dependendo do desejo do usuário, poderá escolher entre as alternativas com melhores utilidade de grupo, ao menor desvio máximo ou as alternativas com maiores desvios máximos, conforme Tabela 3.16.

Tabela 3.16- Distâncias aplicadas ao método

| Expoente | Uso  |
|----------|--|
| 1        | Favorece a escolha com melhor utilidade de grupo. Distância de Manhattan   |
| 2        | Favorece à obtenção de alternativas que minimizem o desvio máximo, dando preferência para alternativas que não apresentam grande distância do vetor ideal em nenhum dos critérios. Distância Euclidiana. |
| Infinito | Privilegia alternativas que produzam desvios máximos. Distância de Chebychev   |

Fonte: Rocha (2011)

O procedimento de cálculo do método obedece aos seguintes passos:

- 1- Separação dos vetores que são crescentes dos decrescentes; ou seja, aqueles que se aproximam de um ótimo quando seus valores aumentam, como os benefícios; e o decrescente, quando seus valores diminuem quando se aproximam de uma condição ótima em relação à PIS, como os custos;
- 2- Cálculo dos vetores dos piores e melhor valores, ou seja, determinar NIS e PIS;
- 3- Cálculo das distancias normalizadas, com os pesos relativos ao objetivo conforme equação 3.5 e 3.6;

$$dp^{PIS} = \left( \sum w_j^p * \left( \frac{PIS_j - f_j(x)}{PIS_j - NIS_j} \right)^p + \sum w_i^p * \left( \frac{f_i(x) - PIS_i}{NIS_i - PIS_i} \right)^p \right)^{1/p} \quad 3.5$$

$$dp^{NIS} = \left( \sum w_j^p * \left( \frac{f_j(x) - NIS_j}{PIS_j - NIS_j} \right)^p + \sum w_i^p * \left( \frac{NIS_i - f_i(x)}{NIS_i - PIS_i} \right)^p \right)^{1/p} \quad 3.6$$

Onde: PIS<sub>j</sub>, NIS<sub>j</sub>, f<sub>j</sub>(x) são os referente ao critérios crescente;  
PIS<sub>i</sub>, NIS<sub>i</sub>, f<sub>i</sub>(x) são referentes aos critérios decrescentes.

- 4- Calcular o coeficiente de similaridade conforme equação 3.7;

$$C = \frac{dp^{NIS}}{dp^{NIS} + dp^{PIS}} \quad 3.7$$

- 5- Ordenar as alternativas, lembrando que quanto mais próximo de 1 for o C, melhor ela será.

#### **4. METODOLOGIA**

A realização desta pesquisa foi dividida em três partes, a saber: (Parte i) - Definição da tipologia do edifício, que foi adotado como modelo e que será usado como o objeto central do estudo de caso; (Parte ii) - Estudo da conservação de água na edificação supracitada; e (Parte iii) - Aplicação do método multicritério para hierarquizar as soluções e selecionar a solução mais indicada para o caso.

A primeira parte da pesquisa consistiu em obter dados físicos e ocupacionais (número de quartos, área, número de habitantes, etc.) dos imóveis do Distrito Federal, por meio das estatísticas da CODEPLAN (Companhia de Planejamento do Distrito Federal), definindo as características de uma edificação com maior predominância no Plano Piloto. A partir dessas características, foi aplicado um processo de seleção de um edifício em uma licitação do Exército. Nessa licitação, o objeto foi a reforma de 62 edifícios multifamiliares verticais, todos distribuídos ao longo do Plano Piloto (SQN 102, SQN 103, SQS 209, SQS 115, etc), com ocupação de caráter funcional. Esse tipo de ocupação é regulado pelo Decreto nº 980 de 1993 e concede a alguns servidores públicos o direito de ocupar imóveis residenciais de acordo com suas funções e cargos.

A características desse edifício de maior predominância permitiu elencar as edificações candidatas (dentre os 62 da licitação) a servirem de modelo neste estudo, tendo como critério de desempate, o maior consumo, maximizando, dessa forma, a capacidade de atuação das alternativas de conservação. No caso em que persistiu no processo de escolha mais de uma solução (empate), a escolha final foi feita pelo autor, com critérios apropriados.

Foram criados dois estudos de casos tendo por base a mesma edificação selecionada (modelo). O primeiro estudo foi o caso de uma edificação já construída, que necessitará de reformas para implantação de medidas, elevando o seu custo; e o segundo caso, de uma edificação a ser construída, onde todas as concepções de conservação de água foram previstas durante a fase de construção.

A segunda parte da pesquisa consistiu da aplicação dos métodos de conservação de água aos dois estudos de caso. Foram analisadas duas classes de métodos de conservação de água. Uma com medidas de redução do consumo de água (CLASSE 1) e outra com as medidas

incrementais no fornecimento de água (CLASSE 2). As medidas de redução de consumo (CLASSE 1) têm por objetivo o controle do consumo e a restrição da pressão e vazão. Já as medidas incrementais de fornecimento de água (CLASSE 2) consistiram na instalação de fontes alternativas de água (uso de água pluvial e/ou água de reúso).

Para as medidas de redução de consumo e suas combinações, foi feita uma comparação, a qual permitiu elencar a alternativa de melhor desempenho econômico. Esse desempenho econômico foi avaliado em função do menor tempo de retorno do investimento. A medida selecionada passou a ser de uso obrigatório na composição da solução final, por atuar diretamente na redução do consumo de água. Tal fato teve como objetivo atender a diminuição da demanda e o aumento da redução de custos, características típicas de uma fatura de água residencial.

A partir disso, foram geradas diversas alternativas, compostas pela medida de redução obrigatória seguida das medidas incrementais, com seus respectivos desdobramentos de consumo e oferta. Nesse ponto, com o propósito de diminuir o número de alternativas, foi aplicado um processo de triagem. A triagem baseou-se em duas premissas que buscavam a conservação de água e o equilíbrio dos sistemas: utilizar o mínimo (idealmente zero) de água potável (fornecida pelas concessionárias) nos pontos atendidos por fontes não potáveis; e maximizar o reúso com águas cinzas ou aproveitamento pluvial no limite do consumo, ou seja, extravasar o menor volume das águas cinzas/pluviais que forem coletadas para o uso ou reúso. A fração das águas cinzas que não são coletadas para o sistema de reúso, ou seja, escoam para rede de esgoto normalmente, não foram contempladas nessas premissas.

Para a terceira parte da pesquisa, foi definido um conjunto de critérios e pesos, por meio de um painel de especialistas e gestores (professores, engenheiros síndicos, gestores, pesquisadores, etc). Com base nesses critérios, nos dados da modelagem da edificação e na combinação das alternativas, foi procedida a aplicação de métodos multicritério e multiobjetivo, tendo como resultado a hierarquização das alternativas segundo o grau de adequação ao estudo de caso considerado.

O diagrama da Figura 4.1 ajuda a entender a metodologia adotada nesta pesquisa, mostrando as fases e os passos que foram adotados para a consecução dos objetivos definidos.

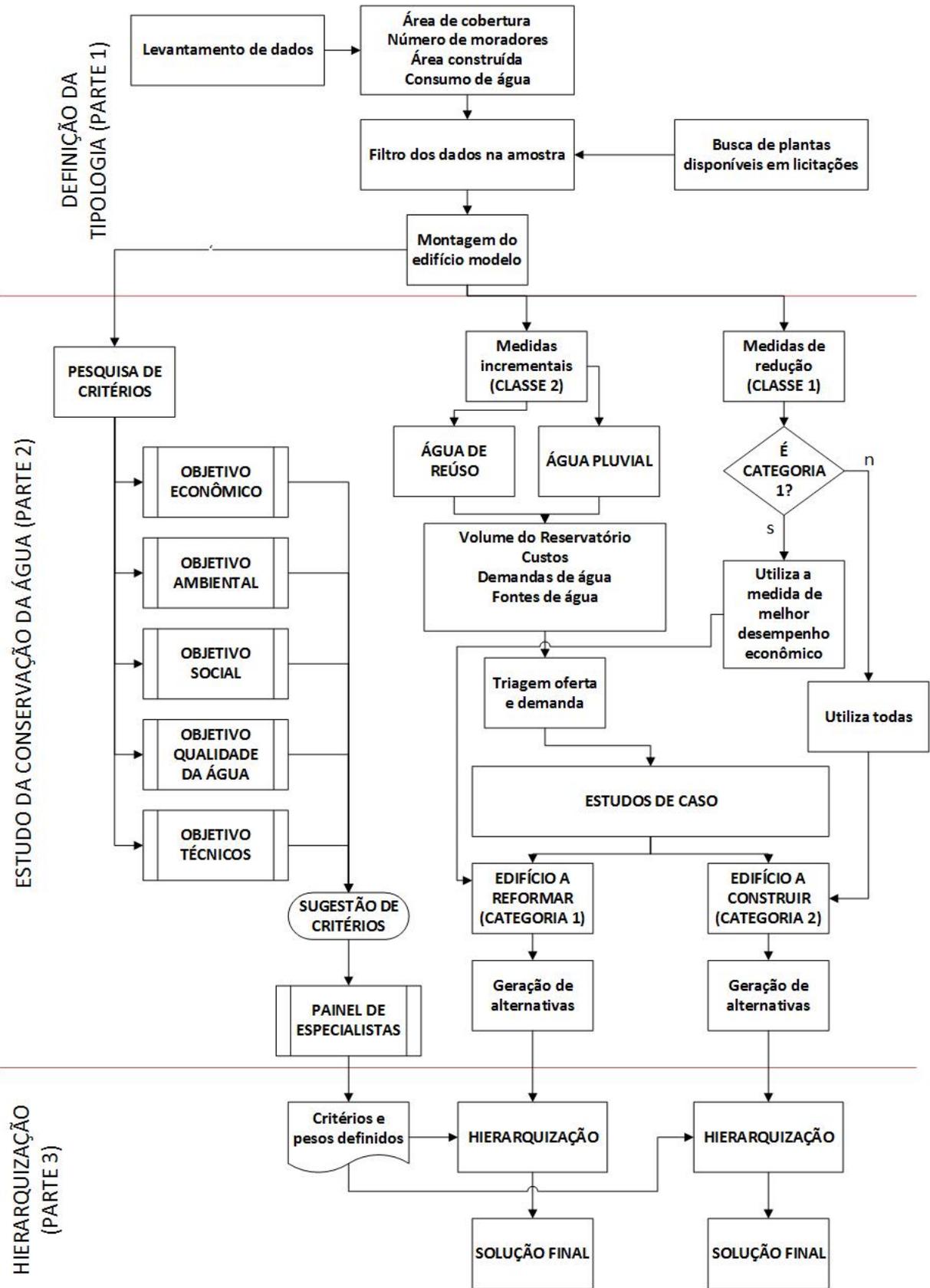


Figura 4.1- Diagrama das etapas de pesquisa

## 4.1 EDIFICAÇÃO

As diversas edificações candidatas (62 blocos), mostradas na Tabela 4.1, tiveram que ser analisadas e comparadas. Para tanto foi definida a tipologia e seus dados de consumo de água, quantidade de moradores, áreas e custos relativos às obras. O consumo de água médio por apartamento foi de 18,34m<sup>3</sup> e a mediana de 16m<sup>3</sup>. Ressalta-se que, apesar do único bloco da SQN 111 apresentar consumo diferenciado das demais quadras, a média por apartamento manteve o padrão na amostra inteira, com desvio padrão de 3m<sup>3</sup>.

*Tabela 4.1 – Resumo dos dados dos edifícios estudados*

| QUADRA       | BLOCOS    | TOTAL APTOS  | MÉDIA DO CONSUMO MENSAL DE ÁGUA POR BLOCO (m <sup>3</sup> ) | ÁREA CONSTRUÍDA DO APARTAMENTO (m <sup>2</sup> ) |
|--------------|-----------|--------------|---|--|
| SQN 113      | 9         | 540          | 874   | 95,74  |
| SQN 102      | 8         | 336          | 831   | 113,40 / 162,15 / 235,10                         |
| SQN 306      | 11        | 684          | 841   | 92,53 / 83,31 / 93,97 / 67,20                    |
| SQN 103      | 11        | 420          | 789   | 113,40 / 162,14                                  |
| SQN 305      | 3         | 180          | 905   | 95,74  |
| SQN 303      | 3         | 120          | 634   | 116,48 / 162,14                                  |
| SQS 209      | 11        | 408          | 567   | 137,80 / 133,85                                  |
| SQS 115      | 4         | 144          | 564   | 138,11   |
| SQN 111      | 1         | 72           | 1281  | 89,42  |
| SQN 208      | 1         | 48           | 867   | 177,77   |
| <b>TOTAL</b> | <b>62</b> | <b>2.952</b> | -----   | -----  |

### 4.1.1. Definição da tipologia da edificação modelo

As superquadras de Brasília, idealizadas por Lucio Costa, tinham o objetivo de criar bairros que favorecessem os laços locais. São compostas por tipologias residenciais características do Plano Piloto: edificações residenciais não muito altas, com gabarito de seis pavimentos, com projeção uniforme, com o térreo livre, elevado por pilotis, o que libera o solo de obstáculos. Essa

modulação residencial repete-se ao longo da Asa Norte e da Asa Sul (Ferreira & Gorovitz, 2009). Recentemente essa modulação foi repetida ao longo do Sudoeste e Noroeste.

Devido à densidade de edificações similares no Plano Piloto e, conseqüentemente, na amostra disponível, foi possível escolher um edifício de forma não tendenciosa (devido as características similares com os outros edifícios existentes) e que retratasse essa realidade. Dessa forma, foi definido um tipo de edificação que serviu de modelo (que dará origem a dois estudos de caso) para a pesquisa, e algumas características desse modelo foram determinadas, a saber: número de apartamentos, planta do apartamento tipo, e área de cobertura.

Os candidatos a estudo de caso foram obtidos através do Portal de Compras Governamentais, onde, entre as diversas licitações, houve uma denominada Operação JAGS (em homenagem a José de Alencar Gomes da Silva). Nessa licitação foram disponibilizadas as diversas plantas de todas as edificações envolvidas no processo, totalizando 62 edifícios.

Uma pesquisa da CODEPLAN, realizada em 2014, verificou que 42% dos imóveis do Plano Piloto têm área construída situada entre 91 e 150m<sup>2</sup>, sendo a maioria com pelo menos três quartos, três banheiros e uma vaga de garagem (CODEPLAN, 2014). Com isso, buscou-se uma edificação com a planta de apartamento padrão que estivesse nessa faixa de área construída. Nesse procedimento de escolha, utilizaram-se como critérios de desempate, caso houvesse duas edificações similares, a maior quantidade de apartamentos por bloco, e a maior área de cobertura do prédio, nesta ordem.

#### **4.1.2. Dados da edificação modelo**

A maioria dos prédios do Plano Piloto possui tubulações antigas, em sua maioria de ferro galvanizado para água fria e tubos de ferro fundido para esgoto e água pluvial. Algumas têm seu trajeto através de pilares, dificultando sua substituição. Em função disso e para assegurar a correta implantação das medidas de conservação, será necessária a substituição integral dos tubos. Entretanto, essa obra não poderá consistir apenas do custo referente à tubulação, visto que os revestimentos também não são mais comercializados, necessitando serem substituídos completamente.

A estimativa de custos para essa obra também foi obtida da licitação do Exército e foi composta por demolição de revestimento, substituição de todas as tubulações desde o reservatório superior até o último ponto de consumo, instalação de novos equipamentos (chuveiro, bacia sanitária, lavatório, etc.) e recomposição total de todos os revestimentos em padrão de acabamento médio.

Para compor este custo, foi feito levantamento do custo da reforma por metro quadrado de cada edifício e seu respectivo cômodo. Após isso, foi obtida a mediana desses valores. A correção desses custos e todos aqueles que possuam relação com serviços e obras de engenharia foi realizada pelo INCC (Índice Nacional de Custo da Construção).

Para efeito do número de habitantes por apartamento, foi considerado o maior valor obtido entre as duas fontes: a média de moradores por apartamento na região do Plano Piloto, que é de 2,81 pessoas (CODEPLAN, 2014) e o levantamento realizado nos apartamentos funcionais, onde obteve-se a média de 3,67 pessoas por unidade. Com isso, será adotada a ocupação de 4 pessoas por unidade habitacional por se tratar do número inteiro mais próximo ao calculado.

Outro fator considerado foi o consumo de água por habitante. Segundo CAESB (2012), a média no Plano Piloto é de 460 L/hab/dia, bem superior à média de consumo nacional que é de 145 L/hab/dia. Enquanto isso, a média no Centro-Oeste é de 160 L/hab/dia, e a da capital do Rio de Janeiro é de 330 L/hab/dia (SNIS, 2006), ambos inferiores à estimativa da CAESB. Como as faixas de valores citadas apresentam uma dispersão muito grande, procurou-se realizar uma pesquisa com dados reais e locais.

Acredita-se que o valor da CAESB sofra influência da variação da população devido aos hóspedes nos hotéis e ao movimento pendular oriundo das cidades satélites, o que faz com que a população de consumo durante o dia no Plano Piloto seja maior que a população real. Tal fato produz um aumento no consumo de água no Plano Piloto, sem que seja considerada essa população não-residente, aumentando a razão de consumo por habitante por dia. Dessa forma, entende-se que seu valor está acima da média real.

Outro aspecto frequentemente questionado é relativo à quantidade de água gasta nos imóveis com piscina. O número de imóveis com piscina no Plano Piloto não é significativo, totalizando 1.385 imóveis (1,76%) (CODEPLAN, 2014). Simplificadamente, existem as perdas em virtude da evaporação e manutenção da piscina. Parte dessa perda é compensada pela água da chuva.

O gasto médio, considerando uma piscina de 12 m<sup>2</sup>, foi calculado em 3 m<sup>3</sup>/mês/piscina. Portanto, esse item não é significativo no aumento do consumo *per capita*.

Por último, há a diferença do consumo entre o comércio local e outros tipos de usos inseridos na Região Administrativa I (Brasília-Plano Piloto). Nesse contexto, destacam-se os seguintes locais: Estação Rodoviária, Setores de Oficinas, Armazenagem e Abastecimento, Indústrias Gráficas, Embaixadas Norte e Sul, Setor Militar Urbano, Clubes, Parque Sarah Kubitschek (Parque da Cidade); Área de Camping; Eixo Monumental; Esplanada dos Ministérios e as Vilas Planalto, Telebrasilândia e Wesleyan Roriz. Tais locais têm tendência de maior consumo do que as edificações residenciais. Além disso, a proporção entre os tipos de habitação é diferente.

Foram analisados os consumos de água de 538 de edificações do Plano Piloto que não adotam nenhum tipo de método de conservação de água e utilizando-se a média de 4 habitantes por apartamento, respeitando a quantidade de apartamentos de cada unidade, obteve-se uma média 130L/hab/dia. Caso fossem 3 habitantes por apartamento, a média seria 174 L/hab/dia. Assim, esse valor se aproxima ao valor obtido na pesquisa de Sant'Ana *et al.* (2013), cuja estimativa é de 172 L/hab/dia. Em virtude do exposto, foi adotada a média dos dois valores, utilizando o valor de 151 L/hab/dia.

## **4.2 GERAÇÃO E TRIAGEM DE ALTERNATIVAS DE CONSERVAÇÃO DE ÁGUA**

Para definir as alternativas, foram analisadas as medidas de redução e as incrementais. A partir disso, as medidas supracitadas foram combinadas sem qualquer restrição, incluindo suas fontes e demandas. Como a quantidade de alternativas atingiu um número elevado, foi necessário fazer uma triagem delas atendendo a determinados critérios.

### **4.2.1. Análise econômica**

Nesta pesquisa serão utilizados dois tipos de análise econômica: (1) a atualização de valores unitários de preço de reforma; e (2) o cálculo do tempo de retorno do investimento.

Para a atualização de preços, será utilizado o INCC (Índice Nacional de Custo da Construção do Mercado). Seu objetivo é de aferir a evolução dos custos de construções habitacionais. Seu cálculo é dado pela razão do índice acumulado anterior e atual, gerando o fator a ser multiplicado, conforme equação 4.1.

$$Novo\ valor = Valor\ antigo * \frac{Índice\ novo}{Índice\ antigo} \quad 4.1$$

Para o cálculo do “payback simples”, será utilizada a razão entre investimento e lucros, conforme a equação 4.2. Já o tempo de retorno, será calculado conforme equação 4.3 e está baseado no mesmo princípio do “payback” simples, porém acrescidos dos juros do período. Esses juros terão como base a SELIC (Sistema Especial de Liquidação e Custódia). Utilizando a referência do mês de novembro de 2015, obtida no Banco Central do Brasil, o valor é de 1,1% ao mês e será considerado constante ao longo dos anos.

$$PS = \frac{Investimento}{Receitas - Despesas} \quad 4.2$$

$$TR = \frac{VP\ (investimento)}{VP(Receita - Gastos)} \quad 4.3$$

O valor presente será calculado com apoio da equação 4.4, onde fluxo de caixa é definido como a economia na fatura menos os gastos com manutenção, operação, energia e o investimento inicial.

$$VP = \sum_{n=1}^{tempo} \frac{Fluxo\ de\ caixa(t)}{(1+juros)^n} \quad 4.4$$

#### **4.2.2. Geração de alternativas**

Foram definidas as alternativas compostas por medidas de redução (de CLASSE 1) e pelas medidas incrementais (de CLASSE 2). Contudo, não é suficiente afirmar que apenas uma única medida satisfará as necessidades de conservação e desempenho do modelo. Por isso, foi necessário fazer as combinações entre as diversas possibilidades.

Entre as medidas de redução, foram consideradas as seguintes:

- a) Medição individual;
- b) Redutores de pressão;
- c) Equipamentos economizadores.

Entre as medidas incrementais, foram consideradas as seguintes:

- a) Aproveitamento de água de chuva;
- b) Reúso de água com utilização de águas cinzas.

O uso da água do sistema de ar-condicionado não foi considerado nesta pesquisa, em virtude de sua baixa representatividade, grande variabilidade, sazonalidade e dos possíveis poluentes do ar que suas águas podem carregar consigo.

Para o sistema de reúso de água, considerou-se apenas o tipo de reúso de água com o esgoto segregado, na tentativa de simplificar o sistema e sua operação. O sistema não segregado apresenta maior concentração de partículas em suspensão e maior carga orgânica. Dessa forma, o uso não segregado iria requerer um tratamento mais complexo. Além de que, no balanço hídrico entre as fontes e consumos prediais, haveria um excedente de água de reúso, obrigando o seu descarte.

Para todas as alternativas compostas por medidas incrementais (CLASSE 2), precisou-se antes definir quais seriam as demandas de água a considerar, cujas opções foram as seguintes:

- a) Bacias sanitárias;
- b) Irrigação de jardins;
- c) Lavagem de pisos; e
- d) Reserva de incêndio.

Com isso, cada medida de redução iria se desdobrar em combinações (de 4, 3, 2 ou apenas 1 opção de demanda), perfazendo um total de 15 alternativas. No entanto, em virtude da reserva de incêndio só ser preenchida uma vez e não haver mais consumo (exceção ao instante de um incêndio), esta foi desprezada para fins de consumo mensal predial. Com isso, acabaram existindo apenas 7 alternativas consideradas de demanda.

Para a concepção do reúso de água com águas cinzas claras, além da definição das demandas, há a necessidade de definir as ofertas (que servirão de fonte de água), cujas opções foram:

- a) Tanque de lavar roupa;
- b) Lavatório do banheiro;
- c) Chuveiro;
- d) Máquina de lavar roupa.

Nos dois estudos de casos, as instalações hidrossanitárias serão novas, com base nas necessidades de conservação de água. Portanto, os hábitos de projetos tradicionais para esgoto poderão não ser feitos sem contrariar as normas vigentes; exemplo disso é a ligação do esgoto do chuveiro e lavatório numa caixa sifonada caracterizando uma única prumada, viabilizando a separação indicada acima nos itens “b” e “c”.

Contudo, ainda existirão as combinações oriundas dessas ofertas (de 4, 3, 2 ou apenas 1 opção de fonte de água), ficando um total de 15 alternativas.

Através de combinação das demandas e ofertas, teve-se um total de 105 alternativas, tendo sido necessário criar um método que pudesse realizar a triagem das opções no intuito de diminuir o número de alternativas viáveis.

As alternativas finais foram geradas a partir da seleção da medida de redução (CLASSE 1) que obteve o melhor desempenho econômico, combinada a uma ou mais medidas incrementais (CLASSE 2).

No estudo de caso referente a uma edificação nova (a ser construída), foi adotado a obrigatoriedade das medidas de redução, por força de lei, como os medidores individualizados de água; ou por incentivo do Governo, como os economizadores, através do PBQPH (Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat). Com isso, foi considerado o uso simultâneo de todas as medidas de redução.

Em todos os usos finais de aparelhos, serão utilizados dados médios de consumo, com o propósito de distribuir as possíveis singularidades de cada local e fonte, tentando minimizar os desvios padrões em relação à Brasília.

#### 4.2.3. Triagem das alternativas

Para realizar a triagem das alternativas, foi necessário definir alguns parâmetros, tal como a vida útil dos sistemas adotados nas diversas alternativas. A vida útil é o tempo durante o qual um equipamento funciona de forma eficiente e produtiva. A maioria dos equipamentos envolvidos nos sistemas prediais (por exemplo, bombas hidráulicas) tem esse valor próximo a 10 anos. Outros sistemas menos complexos, como as tubulações, tem vida útil de 20 anos (ABNT, 2013). Já a edificação tem estimativa de até 60 anos. A maioria dos componentes utilizados numa instalação estão indicados na Tabela 4.2.

*Tabela 4.2- Vida útil de componentes*

| <b>Componente Hidráulico</b> | <b>Vida Útil Indicada *</b> | <b>Vida Útil</b> |
|------------------------------|-----------------------------|------------------|
| Tubulações em PVC            | > 20 anos                   | 30 anos          |
| Bombas de Recalque           | 5-10 anos                   | 7,5 anos         |
| Filtros Pluviais             | 10-15 anos                  | 12,5 anos        |
| Válvulas Solenóide           | 5-10 anos                   | 7,5 anos         |
| Torneiras Bóia               | 10-15 anos                  | 12,5 anos        |
| Chaves Bóia                  | 10-15 anos                  | 12,5 anos        |
| Reservatórios                | > 20 anos                   | 30 anos          |
| Unidade de Tratamento        | 10-50 anos                  | 30 anos          |

Fonte: Leggett *et al.* (2001)

De posse desses valores de vida útil, foi adotado o tempo de retorno do investimento ideal para 30 anos. Esse valor é referente ao tempo esperado para uma reforma predial completa. Portanto, num primeiro momento, foram eliminados os sistemas que tinham tempo de retorno acima de 30 anos e aqueles em que o valor era indeterminado (não possibilidade matemática de retorno do investimento). Contudo, devido ao baixo número de alternativas, esses sistemas foram reinsertados na análise.

Outro parâmetro considerado foi a preferência por escolhas independentes do sistema da rede de água potável, ou seja, que não necessitam de consumo adicional de água potável da rede da concessionária. Assim, num primeiro momento, todas as opções que não atenderam ou superaram as demandas foram desclassificadas. Nos casos em que a maioria das alternativas foram eliminadas pelo critério anterior, foi selecionada aquela que requisitava menor volume de água potável para complementar o sistema; e aquela que desperdiçava o menor volume de água. Contudo, foi permitido combinar diversas fontes para atender a demanda desejada, ou seja, foi permitido, por exemplo, que a água da chuva e a água de reúso fossem combinadas para atender à demanda, mesmo que separadamente não atendessem.

Para fins de comparação, incluiu-se a alternativa de não conservar água, ou seja, não tomar nenhuma medida e conseqüentemente não afetar custos e outros parâmetros.

Além da alternativa de não conservar água, surgiu a necessidade de incluir a alternativa que trata da coleta das águas cinzas oriundas da máquina de lavar roupa e tanque, com a finalidade de reúso para lavagem de piso, carro e irrigação de jardim. Essa necessidade vem do conceito de que a maioria das edificações estudadas tem as tubulações da área de serviço numa única prumada e com fácil acesso pelo subsolo. Assim, os custos de reforma são mínimos e o processo de instalação torna-se rápido, por não haver nenhuma demanda interna aos apartamentos.

#### **4.2.4. Seleção dos objetivos e critérios**

Esta etapa se dividiu em duas, a saber: levantamentos de critérios segundo a revisão bibliográfica e um painel de especialistas e gestores para avaliar a importância de cada critério.

##### **4.2.4.1 Base da revisão bibliográfica**

Foram levantados diversos critérios alicerçados na revisão bibliográfica e na reflexão sobre o problema. Numa análise inicial, ainda sem a consulta ao painel de especialistas e gestores, chegou-se aos critérios e objetivos indicados na Tabela 4.3, com as respectivas unidades.

Para os objetivos econômicos, o propósito era avaliar a rentabilidade das alternativas, as necessidades iniciais de aporte, o retorno financeiro e a eficiência do empreendimento. Para cada item analisou-se o investimento por um aspecto, conforme explicado a seguir:

- O custo de implantação foi computado baseado no gasto de tubulações, conexões e obras civis e elétricas para implementação do sistema em cada alternativa considerada. Consideraram-se os dados da licitação e as pesquisas de mercado;
- O custo de operação foi dado pela soma dos custos dos insumos necessários ao processo, desde o uso de produtos químicos até a limpeza eventual dos sedimentos depositados no fundo dos reservatórios, ou mesmo reparação de componentes;
- O tempo de retorno foi calculado pautado no retorno do investimento, considerando a equação 4.3 e taxa SELIC do item 4.2. Algumas opções não tiveram seu tempo de retorno calculado visto que são equações indeterminadas, o que sugere um investimento sem atratividade, com grandes chances de prejuízo ou rentabilidade abaixo da SELIC. Quando houver uma adequação matemática nas indeterminações, não possuirá unidade;
- O “payback” simples foi calculado utilizando a equação 4.2 e o valor zero para a taxa SELIC. Apenas reflete em quanto tempo o capital será recuperado, sem considerar juros.

Para os objetivos ambientais, a finalidade era avaliar o volume de água em cada situação, seja o economizado, o desperdiçado, ou mesmo sendo complementado pela concessionária. Dessa forma se estaria primando pelo desenvolvimento sustentável. Muitos desses benefícios confundem-se com vantagens econômicas. Para tanto, cada item analisou um aspecto, conforme explicado a seguir:

- O volume de água a ser reduzido do consumo foi considerado como a redução estimada tendo como referência a média mensal da edificação;
- O volume de água desperdiçado foi considerado como a quantidade de água que o sistema capta, mas não tem condições de gerenciar e aproveitar, tendo que extravasá-la para a rede de esgoto ou pluvial (em cada tipo de medida de conservação);
- O volume de água complementar foi considerado como a quantidade de água que a concessionária tem que suprir ao sistema de reúso de água ou de águas pluviais para conferir autonomia ao mesmo.

*Tabela 4.3- Critérios de comparação das alternativas*

| <i>Objetivo</i>                | <i>Critério de julgamento</i>            | <i>Unidade</i>       |
|--------------------------------|--|----------------------|
| <b>ECONÔMICO</b>               | Custo de implantação                     | Monetária            |
|                                | Custo de operação                        | Monetária            |
|                                | Tempo de retorno                         | Mensal / Sem unidade |
|                                | “Payback” simples                        | Mensal               |
| <b>AMBIENTAL</b>               | Volume de água a ser reduzido do consumo | m <sup>3</sup>       |
|                                | Volume de água desperdiçado              | m <sup>3</sup>       |
|                                | Volume de água complementar              | m <sup>3</sup>       |
| <b>SOCIAL</b>                  | Interferência morador                    | ao 0 a 10            |
|                                | Risco anual da falta de água de reúso    | %                    |
|                                | Risco à saúde                            | Sem unidade          |
| <b>TÉCNICOS</b>                | Complexidade do sistema                  | do 0 a 10            |
|                                | Área ocupada                             | m <sup>2</sup>       |
|                                | Consumo de energia                       | kWh                  |
| <b>QUALIDADE DE ÁGUA BRUTA</b> | DBO                                      | mg/L                 |
|                                | SST                                      | mg/L                 |
|                                | CF                                       | NMP/100ml            |

Para os objetivos sociais, o propósito era gerar benefícios e permitir a integração ao empreendimento com o menor desconforto e risco aos moradores. Para tanto, cada item analisou o desconforto por um aspecto, conforme explicado a seguir:

- A possibilidade de risco à saúde foi avaliada por uma adequação matemática ao modelo de Beta Poisson, descrito no item 3.8. Essa adequação, presente na equação 4.5, visa estabelecer um valor determinado quando o volume de água tiver tendência ao infinito (água potável) ou tendência a zero (água extremamente contaminada), comportamento típico de uma função exponencial. Não possui unidade física. Foi calculada através da aplicação da quantidade de coliformes fecais introduzidas ao modelo. Para permitir um padrão de comparação entre alternativas, foi adotado um período de um dia para o tempo de exposição por ano. Refere-se ao tempo mínimo necessário para distinguir as alternativas em questão.

$$RISCO = e^{2x/(x+2)}, \text{ onde } x = \text{volume de água ingerido sem risco}$$

4.5

- A interferência ao morador, diz respeito à quantidade e vulto de obras e intervenções que foram feitas no interior de cada apartamento. Sua nota é comparativa, variando de 0 a 10;
- O risco anual de falta de água foi dado pela incapacidade do sistema em suprir a demanda ao longo de todo do ano. Foi calculado pela razão anual entre consumo e geração.

Para os objetivos técnicos, a finalidade era avaliar os critérios diretamente relacionados às exigências técnico-operacionais e que justificassem a tecnologia empregada, conforme descrito a seguir:

- A área ocupada foi definida como o espaço físico a ser destinado aos filtros, equipamentos e reservatórios aparentes;
- O consumo de energia foi definido pelo gasto de energia elétrica para manter o sistema em funcionamento. Isso incluiu o consumo de lâmpadas UV e bombas de água para retrolavagem de filtros e recalque de água para os reservatórios superiores;
- A complexidade do sistema também foi avaliada de forma comparativa, variando de 0 a 10. Ela foi definida como a dificuldade em instalar, operar e manter o sistema. Quanto mais complexo for, mais especializada seria a mão de obra requerida.

Para os objetivos de qualidade da água, o intuito era controlar a operação do sistema e comparar com os padrões estabelecidos em legislação ou norma, conforme descrito a seguir:

- A DBO (Demanda Bioquímica de Oxigênio) teve seu valor de referência medido imediatamente antes do sistema de tratamento. Altos valores provocam odores e diminuição do oxigênio disponível no sistema. Quanto maior seu valor, existirá maior quantidade de matéria orgânica biodegradável;
- Os SST (Sólidos Suspensos Totais) tiveram seu valor de referência medido imediatamente antes do sistema de tratamento. Altos valores provocam entupimento das tubulações e danos aos equipamentos;

- Os Coliformes Fecais (termotolerantes) na água bruta do sistema também tiveram seu valor de referência medido imediatamente antes do sistema de tratamento.

#### 4.2.4.2 Painel de especialistas e gestores

De posse dessas definições e da Tabela 4.3, os especialistas e gestores (engenheiros, professores, síndicos, reguladores, legisladores, diretores, etc de diversos órgãos, entre eles IME, FAU-UnB, PTARH-UnB, CGU, Exército, IBRAM, SIDUSCON, CEF, NOVACAP, IFB, CAESB, UFSC, UFES, USP, UNICAMP, UFRJ, IPT, SABESP, ANA, UFG, UFRGS, UFV, etc) foram consultados. Para tanto foi utilizado o programa “Lime Survey”, que facilitou a coleta e organização das opiniões. O programa foi escolhido porque ele permite compartilhamento simultâneo dos questionários, usa a rede mundial de computadores (diminuindo gastos e tempo) e facilita no controle estatístico das respostas. O método seguiu as seguintes etapas:

- Desenvolvimento do questionário inicial;
- Seleção dos participantes;
- Envio do questionário inicial;
- Análise estatísticas das opiniões;
- Seleção dos critérios não eliminados;
- Desenvolvimento do questionário relativo aos pesos;
- Envio do questionário;
- Análise estatísticas das opiniões
- Determinação dos pesos.

Cada participante recebeu um questionário, que se encontra no Anexo A, solicitando que avaliasse a necessidade de utilização ou não dos critérios fornecidos na Tabela 4.3. Nessa primeira fase, cada participante definiu qual critério deveria ou não ser utilizado, ou ainda abster-se naquele item. Além disso, teve a oportunidade de inserir novos critérios e observações que julgasse relevantes.

Com base nas respostas, foi calculado o percentual dos votos referente a cada opção a ser utilizado, tendo como razão apenas os votos válidos. Todos os critérios que não tiveram percentual da resposta a ser utilizado superior à opção de não utilização, foram eliminados.

O segundo questionário foi elaborado com os critérios não eliminados da primeira rodada. Assim, os especialistas e gestores pontuaram cada critério de 0 a 10; de acordo com o seu julgamento de importância do item, caracterizando assim o peso de cada critério.

Foi calculado o peso absoluto de cada critério (PAC) através da multiplicação da quantidade de votos pela sua respectiva nota. Após, somaram-se todos os 11 valores (0 a 10), chegando ao peso absoluto, conforme a equação 4.6.

$$PAC = \sum_{i=0}^{10} NOTA_i \times Qtd\ Votos_i \quad 4.6$$

Para o peso relativo dos subobjetivos (PRS), calculou-se o peso absoluto dos subobjetivos (PAS) de forma análoga a equação 4.6 e após obteve-se o peso relativo através da média ponderada, conforme a equação 4.7.

$$PRS_j = \frac{(PAS)_j}{PAS_{eco} + PAS_{soc} + PAS_{tec} + PAS_{eco} + PAS_{amb}} \quad 4.7$$

Já o peso relativo dos critérios (PRC), foi calculado através da média ponderada apenas entre os critérios do mesmo subobjetivo, multiplicando-se pelo peso relativo do respectivo subobjetivo, conforme a equação 4.8.

$$PRC_j = \frac{PAC_j}{\sum_{i=1}^{max\ 4} PAC_i} * PRS_j \quad 4.8$$

#### **4.2.5. Consequências das alternativas segundo os critérios**

Nesta etapa foi realizada a contabilização de todas as eficiências de cada alternativa em cumprir cada critério selecionado.

Após a montagem da matriz de alternativas versus critérios, os dados foram aplicados aos métodos multicritério e multiobjetivo para hierarquização das alternativas.

Essa pesquisa escolheu utilizar os métodos TOPSIS e ELECTRE III. O primeiro pela sua simplicidade de programação e facilidade de entendimento por trabalhar com distâncias. O segundo pela sua robustez e por destinar-se a tratar de problemas de ordenação.

Cada uma das medidas de conservação de água teve alguns requisitos específicos de metodologia de cálculo, e estes serão abordados nos próximos itens. Alguns desses requisitos foram orientados pelas referências bibliográficas já citadas acrescidos de pesquisas de mercado para quantificar o custo das alternativas consideradas.

#### **4.2.6. Implantação de economizadores**

Cada aparelho de cada apartamento foi analisado e teve considerada a implantação de um dispositivo economizador (ECO) acoplado. O custo dos dispositivos na edificação foi considerado como a soma dos custos em um apartamento multiplicado pelo número de apartamentos.

A economia de água e o tempo de retorno estão na Tabela 3.9. Já os dados inerentes a custo foram destacados na Tabela 4.4.

*Tabela 4.4- Custo dos economizadores*

| <b>Nome</b>  | <b>Unidade</b> | <b>Valor (R\$)</b> | <b>Fonte</b>  | <b>Data</b> | <b>Qtd por apartamento</b> | <b>Preço por apartamento (R\$)</b> |
|--|----------------|--------------------|---------------|-------------|----------------------------|------------------------------------|
| <b>Válvula de descarga DUO</b>                       | und            | 299,90             | Leroy Merlin  | Dez-2016    | 3,00                       | 899,70                             |
| <b>Restritor de vazão para chuveiros</b>             | und            | 14,00              | EcoHospedagem | Dez-2016    | 3,00                       | 42,00                              |
| <b>Arejador fixo para torneira de lavatório</b>      | und            | 12,40              | Leroy Merlin  | Dez-2016    | 3,00                       | 37,20                              |
| <b>Arejador articulável para torneira de cozinha</b> | und            | 32,90              | Leroy Merlin  | Dez-2016    | 1,00                       | 32,90                              |
|  |                |                    |               |             | Subtotal                   | 1.011,80                           |
|  |                |                    |               |             | Qtd aptos                  | 48,00                              |
|  |                |                    |               |             | Total                      | 48.566,40                          |

Não foi encontrada nenhuma fonte sobre custos de manutenção. Com isso, foi adotado que os dispositivos economizadores têm sua manutenção condicionada a substituição de peças complementares, tais como reparos, carrapetas, etc. Os arejadores e restritores não necessitam de manutenção (DOCOL, 2015). Com isso, foi realizada pesquisa de preços do material e estimou-se a sua frequência, tendo como referência a experiência de diversos engenheiros da área de manutenção. Tais dados foram compilados na Tabela 4.5. Os custos referentes à mão de obra foram suprimidos devido à simplicidade da troca das peças em questão.

*Tabela 4.5- Custo da manutenção*

| <b>Nome</b>                       | <b>Unidade</b> | <b>Valor (R\$)</b> | <b>Fonte</b> | <b>Data</b>               | <b>Frequência</b> |
|-----------------------------------|----------------|--------------------|--------------|---------------------------|-------------------|
| <b>Reparo válvula de descarga</b> | und            | 35,90              | Leroy Merlin | Dez-2016                  | 1 a cada 5 anos   |
|                                   |                |                    |              | Subtotal anual individual | R\$7,18           |
|                                   |                |                    |              | Qtd aptos                 | 48                |
|                                   |                |                    |              | Total anual               | R\$344,64         |
|                                   |                |                    |              | Total mensal              | R\$28,72          |

#### **4.2.7. Implantação de medição individual**

Conforme citado na bibliografia no item 3.5.2, a economia média de consumo esperada é de 22%, o que foi adotado neste estudo. O custo dependerá do número de prumadas existentes num apartamento, tendo sido adotado o sistema de rádio frequência para diminuir a extensão das obras civis.

Estimou-se para este trabalho um custo de R\$500,00, incluindo as obras civis, para cada prumada de alimentação existente em um apartamento – os apartamentos atuais possuem uma única prumada, mas os antigos chegam a ter cinco. A manutenção mensal foi cotada em R\$4,00 por apartamento. Este custo teve origem em pesquisa de preço com a empresa CONSERGEL (março de 2015) e na Internet com sites de orientação aos síndicos como o Sindiconet (2016) e reportagem do G1 (Leite, 2014).

A vida útil de um hidrômetro por telemetria é de 8 anos, enquanto o equipamento de RF (leitor de rádio frequência) é de 15 anos (Techmetria, 2016), valores que foram adotados neste trabalho.

Para as construções novas, que não necessitam de telemetria, poderiam ser utilizados os hidrômetros convencionais. Nesse caso, diversas concessionárias cobram uma taxa mensal referente à substituição ou manutenção do hidrômetro. Portanto, o custo de manutenção dos hidrômetros seria estimado pelo Decreto 4.442/2009 que estabelece a taxa de manutenção para os hidrômetros em Olímpia/SP. Esse valor é de R\$/m<sup>3</sup> 0,056 e foi aplicado ao volume de água estimado a ser gasto, incluindo as economias dos métodos.

Contudo, afim de modernizar os edifícios, facilitar o controle de vazamentos, obter dados históricos de modo rápido e diminuir o acesso de funcionários das companhias nos andares, adotou-se nessa pesquisa, em ambos os estudos de casos, os hidrômetros por telemetria.

#### **4.2.8. Implantação de sistema de válvulas redutoras de pressão**

Conforme descrição do item 1, o sistema de válvula é composto por 2 manômetros, 6 registros, 2 filtros e 2 válvulas redutoras. Em pesquisa de mercado, realizada em março de 2016, constatou-se que esse sistema tem um custo em média de R\$5.160,00 por sistema, valor que foi utilizado neste trabalho.

Não foi verificado material disponível sobre custos de manutenção com esse dispositivo. Como a válvula trata-se de dispositivo equivalente a um registro, ela enquadra-se na previsão de vida útil mínima de 20 anos (ABNT, 2013). Com isso, estimou-se que haverá troca dos filtros presentes no sistema a cada 3 anos e realizou-se a pesquisa de preço do mesmo, totalizando R\$ 62,80 na loja EMBRAR, cotado em dezembro de 2016. Assim, tem-se que o custo mensal é de R\$3,48 para cada prumada.

#### **4.2.9. Reservatórios em geral**

Utilizou-se um reservatório de concreto padrão conforme detalhes mostrados na Figura 4.2 e na Figura 4.3. Já os custos foram mensurados através do SINAPI (Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil) e do levantamento de quantitativos da Tabela 4.6 que resultaram no gráfico da Figura 4.4.

Para o caso dos blocos já existentes, procurou-se utilizar apenas os reservatórios existentes, evitando a construção de novos, por motivos estruturais, particularmente em relação à fundação. A possibilidade de construir reservatórios aparentes no subsolo também foi evitada, devido à redução do número de vagas para veículos.

Esses reservatórios existentes estão inativos por restrição da CAESB, orientado pelo item 5.2.4.8 da NBR 5626, que trata do risco de contaminação da água potável por materiais

provenientes do solo. Devido a isso, na maioria dos blocos, foi necessária uma adequação, que foi a colocação de caixas de água de fibra ou verticais modulares em áreas não utilizáveis no subsolo para servirem como reservatório inferior, conforme Figura 4.5 e Figura 4.6.

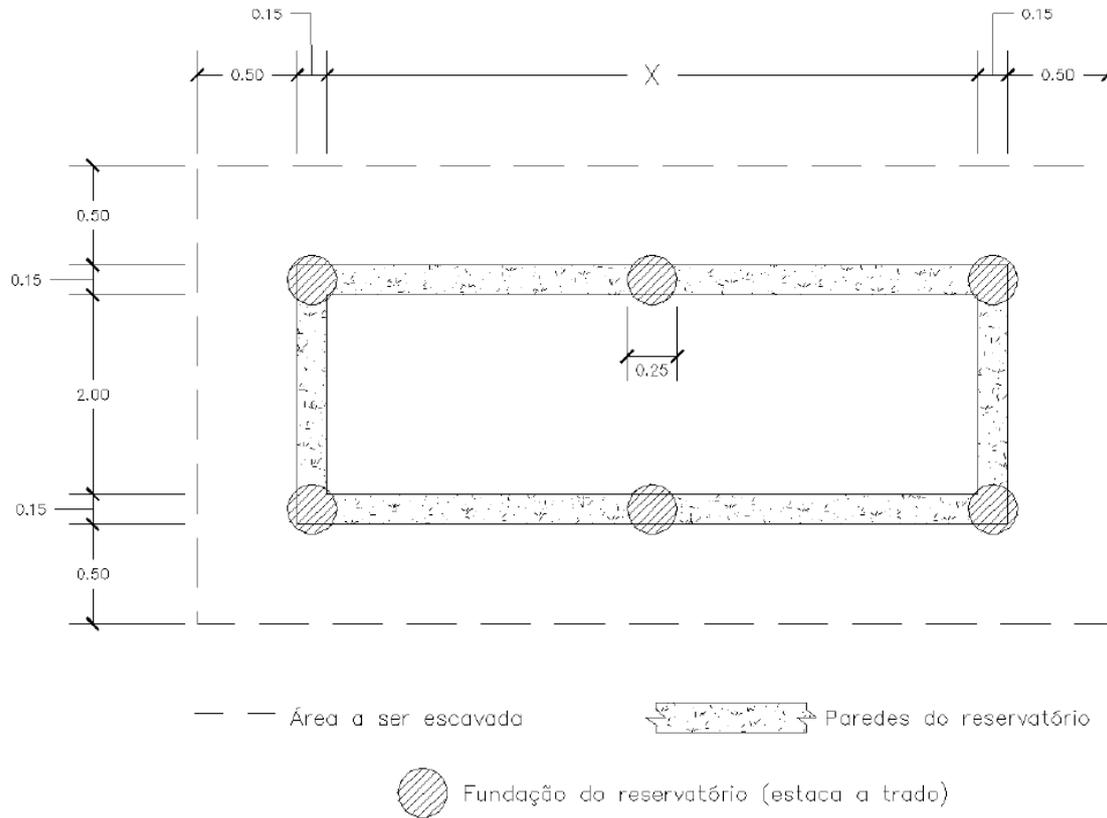


Figura 4.2- Vista em planta do reservatório

*Fonte: Sampaio (2013)*

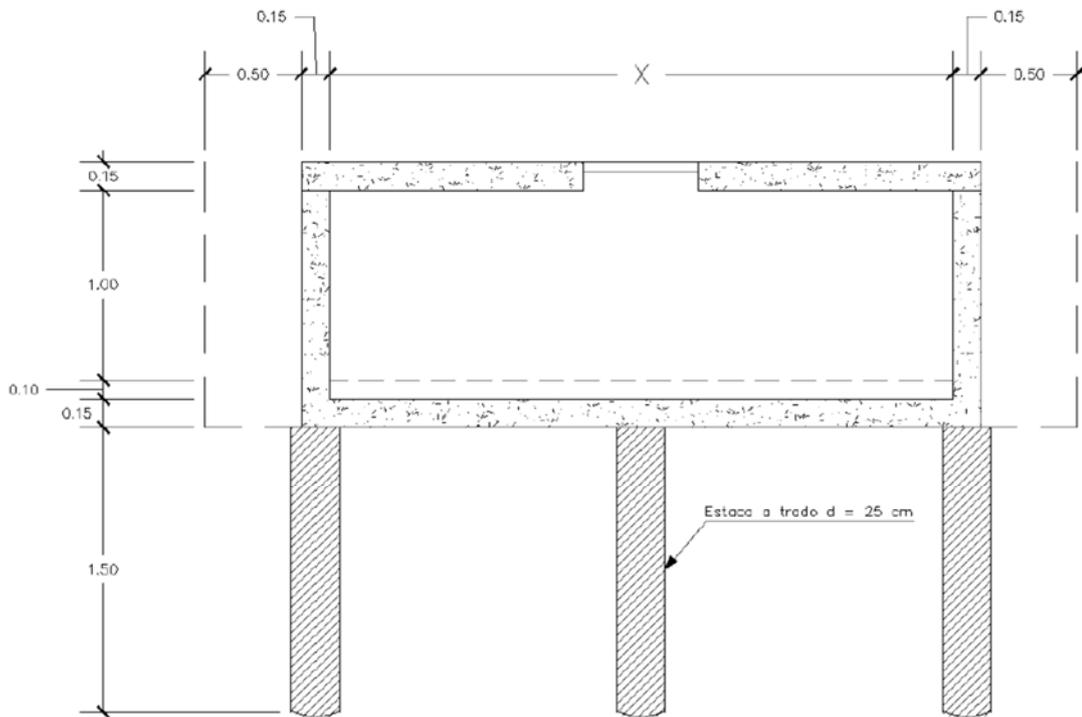


Figura 4.3- Vista em corte do reservatório  
 Fonte: Sampaio (2013)

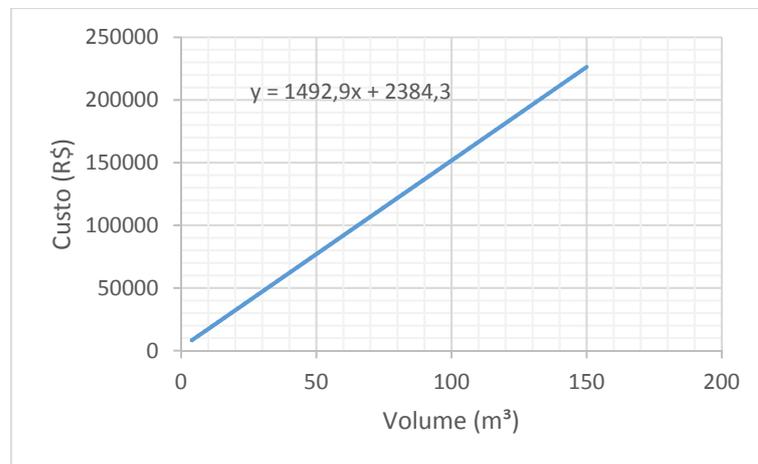


Figura 4.4- Gráfico custo x volume

Esse reservatório adotado e que foi proposto por Sampaio (2013) propicia a facilidade de manutenção (limpeza de um reservatório por vez, sem afetar a reservação), evita contaminação do solo e da água devido às porosidades no concreto, possibilita a futura utilização como reservatório de água potável, fácil detecção e inspeção nas caixas de polietileno e suas

respectivas tubulações, é aplicável em qualquer tipo de solo, é independente do nível de água do solo e apresenta simplicidade de cálculo estrutural.



Figura 4.5- Reservatório inferiores comerciais para garagens  
Fonte: Tecnotri (2016)



Figura 4.6- Reservatório inferiores adaptadas para garagens

Tabela 4.6- Custos dos materiais

| <b>Código SINAPI (mar/2016)</b> | <b>Descrição do serviço</b>   | <b>Unid .</b>  | <b>Forma de cálculo das quantidades (em função do volume do reservatório)</b>                                  | <b>Preço Unitário (mar/2016) (R\$)</b> |
|---------------------------------|---|----------------|--|--|
| <b>79517/002</b>                | ESCAVACAO MANUAL EM SOLO, PROF. MAIOR QUE 1,5M ATE 4,00 M                   | m <sup>3</sup> | $3.3*(1.3+(vol/2))*1.4$  | <b>37,53</b>                           |
| <b>74156/001</b>                | ESTACA A TRADO (BROCA) D=25CM C/CONCRETO FCK=15MPA+20KG ACO/M3 MOLD.IN-LOCO | m              | se vol <= 4 m <sup>3</sup> = 4*1.5<br>se vol > 4 m <sup>3</sup> = 1.5*(volume arredondado para número inteiro) | <b>50,66</b>                           |
| <b>5622</b>                     | REGULARIZACAO E COMPACTACAO MANUAL DE TERRENO COM SOQUETE                   | m <sup>2</sup> | $2.3*(0.3+(vol/2))$  | <b>3,87</b>                            |
| <b>74164/004</b>                | LASTRO DE BRITA   | m <sup>3</sup> | $2.3*(0.3+(vol/2))$  | <b>95,38</b>                           |
| <b>74007/001</b>                | FORMA TABUA P/ CONCRETO EM FUNDACAO C/ REAPROVEITAMENTO 10 X                | m <sup>2</sup> | $(2*(0.3+(vol/2))*1.4)+(2*2.3*1.4)+(2*(vol/2)*1.1)+(2*2*1.1)+(2*(vol/2))$                                      | <b>23,90</b>                           |
| <b>90861</b>                    | CONCRETAGEM PAREDES E LAJES 20MPA   | m <sup>3</sup> | $(2*(vol/2)*0.15)+(2*2.3*1.4*0.15)+(2*(vol/2)*1.4*0.15)+[(2*(vol/2)*0.15)-(0.6*0.6*0.15)]$                     | <b>303,00</b>                          |
| <b>73990/001</b>                | AÇO PARA 1M <sup>3</sup>  | UN             | $(2*(vol/2)*0.15)+(2*2.3*1.4*0.15)+(2*(vol/2)*1.4*0.15)+[(2*(vol/2)*0.15)-(0.6*0.6*0.15)]$                     | <b>520,13</b>                          |
| <b>6171</b>                     | TAMPA DE CONCRETO ARMADO 60X60X5CM PARA CAIXA                               | un             | 1  | <b>20,22</b>                           |
| <b>79488</b>                    | REATERRO MANUAL COM APILOAMENTO MECANICO                                    | m <sup>3</sup> | $[(3.3*(1.3+(vol/2))-(2.3+0.3*(vol/2))]*1.4$   | <b>6,46</b>                            |
| <b>88503</b>                    | RESERV. DE POLIETILENO. CAP=1000L C/ACESSORIOS                              | un             | Vol  | <b>699,11</b>                          |
| <b>83486</b>                    | <b>BOMBA CENTRIFUGA C/ MOTOR ELETRICO TRIFASICO 1CV</b>                     | <b>un</b>      | 1  | <b>1.022,86</b>                        |

Fonte: Adaptado de Sampaio (2013)

#### 4.2.10. Implantação de aproveitamento de água da chuva

Devido à grande variação dos volumes dos reservatórios gerados por cada método, foi adotado o critério de desprezar o maior valor e menor valor dos volumes de reservatório calculados por diversos métodos, adotando-se a média dos demais. Os métodos utilizados para o cálculo do volume de reservatório de água de chuva foram o Australiano (ABNT, 2007), o de Azevedo Neto (Azevedo Netto, 1991), o de Rippl (ABNT, 2007), Prático Inglês (ABNT, 2007), Alemão (ABNT, 2007), Simulação mensal e diária (ABNT, 2007).

Apesar dos métodos Australiano, Prático Inglês e Alemão levarem em conta as características do consumo dos respectivos locais, eles serão utilizados para efeito de comparação entre os métodos. O mesmo acontece com o método de Azevedo Neto, que considera 50% do consumo total. Diante disso, tem-se que os métodos mais precisos foram as simulações.

Para todos os métodos, utilizaram-se os dados da estação meteorológica de Brasília, código 83377, com dados iniciais desde 1961 (INMET, 2015) e o coeficiente de escoamento superficial de 0,8, quando foi o caso, seguindo recomendação de norma. A área de captação e a demanda foram definidas através da tipologia adotada, de tal forma que se utilizou máxima área de cobertura e a demanda média anual estimada. Foi considerada a necessidade de descarte das águas iniciais, conforme item 3.5.2, totalizando 2mm de perda.

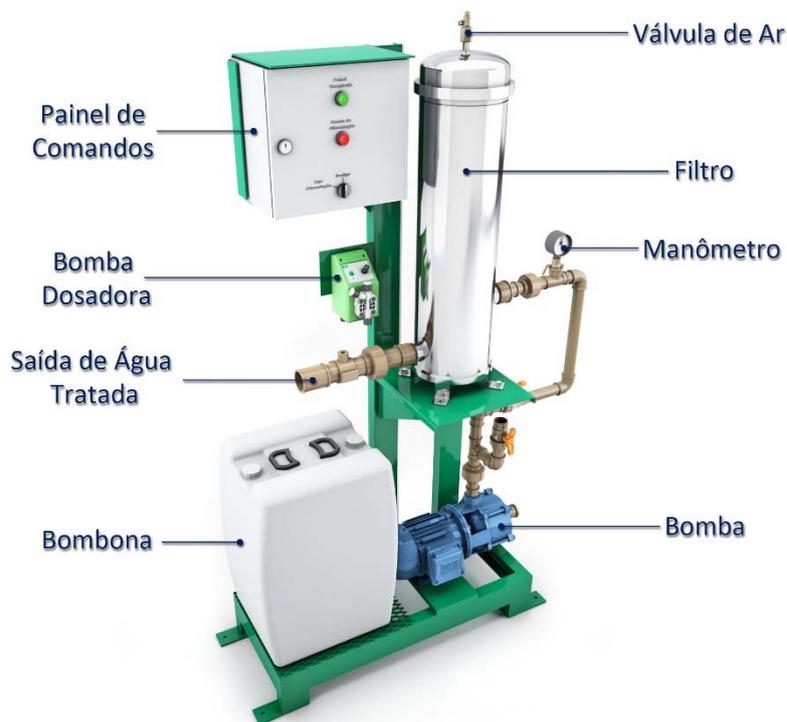
A concepção do aproveitamento da água de chuva era que toda água da chuva que caísse na cobertura fosse captada, o volume necessário passasse por um tratamento na ETAP (Estação de Tratamento de Águas Pluviais) e, após isso, fosse armazenada no reservatório inferior. De acordo com a necessidade de consumo do reservatório superior de reúso/pluvial, esta seria bombeada através de sistema automatizado.

Procurou-se manter um volume mínimo de reservatório que atendesse a demanda e as possíveis faltas de água. Portanto, optou-se por manter o reservatório superior com capacidade para um dia de consumo, afim de minimizar o peso na estrutura e o inferior com capacidade para dois dias de uso dos aparelhos (Macintyre, 1990). No caso dos edifícios a serem reformados, houve a particularidade de utilizarem-se os reservatórios já construídos, desde que atendessem à demanda.

Como a água de chuva varia ao longo dos meses, utilizou-se o valor anual acumulado dividido por 12 meses para a metodologia de cálculo dos critérios.

#### 4.2.10.1 Sistema de tratamento

Foi considerado que seria utilizado um sistema comercial disponível no mercado, chamado ETAP (Estação de Tratamento para Águas Pluviais), sendo de fácil instalação e centralizado numa única empresa, com a finalidade de evitar gastos com a coordenação e gestão do processo de instalação, atendendo assim a um usuário leigo, normalmente o síndico da edificação. Para tanto, foram realizadas cotações de ETAP junto a alguns fabricantes e comerciantes, tendo sido obtida a média conforme Tabela 4.7. As ETAP pesquisadas eram constituídas de processos de filtração com carvão ativado e desinfecção por cloração, conforme Figura 4.7.



*Figura 4.7- Representação de uma ETAP  
Fonte: DLA (2017)*

*Tabela 4.7- Dados iniciais da ETAP*

| <b>TIPO</b> | <b>Custo (R\$)</b> | <b>Área (m<sup>2</sup>)</b> | <b>Consumo (kwh)</b> |
|-------------|--------------------|-----------------------------|----------------------|
| <b>ETAP</b> | 9.465,00           | 1,00                        | 2,00                 |

Os índices de consumo dos produtos químicos e mão de obra foram obtidos através da média de vários catálogos de fabricantes. Já os custos foram estimados através de pesquisa de mercado. Assim, resumiram-se os dados operacionais na Tabela 4.8.

*Tabela 4.8- Custos e consumos mensais do tratamento*

| <b>Mão de obra (H)</b> | <b>Cloro (kg)</b> | <b>Areia (kg)</b> | <b>Carvão ativado (kg)</b> | <b>Custo (JAN/2017)<br/>(R\$)</b> |
|------------------------|-------------------|-------------------|----------------------------|-----------------------------------|
| 45                     | 1,44              | 5,83              | 5                          | 509,65                            |

#### 4.2.10.2 Reservatório

No dimensionamento do sistema de aproveitamento de água da chuva, foi empregado o menor reservatório que atendesse ao consumo desejado durante o ano todo, com a máxima confiabilidade possível, tanto em volume quanto em dias. Tal critério propiciou que houvesse reservatório com capacidade para armazenar o volume de água necessário para todos os dias do ano, sem necessidade de complementação de água potável e sem acumular água por tempo superior ao necessário, mantendo o equilíbrio entre o volume de chuva captado e a demanda. Como foram utilizados vários métodos e não foi possível garantir a segurança nessa escolha, utilizou-se a mediana dos valores.

Os custos e modo de construção foram os especificados na metodologia, no item 4.2.9.

#### **4.2.11. Implantação de reúso com água cinza**

Como pode ser observado no item 3.6, o consumo dos aparelhos que podem ser usados com água de reúso é bem inferior à produção de água cinza. Com isso, poderia haver um desperdício de água cinza. Portanto, para evitar odores devido à decomposição da matéria orgânica, foi considerado o menor reservatório possível. Com isso, foi adotado um reservatório com

capacidade para atender à demanda de consumo de água cinza por um período de 24 horas. De acordo com a Figura 3.19 (Sant'Ana *et al.*, 2013), pode-se resumir e condensar os dados dos aparelhos que foram demandantes por água cinza e aqueles que foram fontes, conforme Tabela 4.9.

*Tabela 4.9- Comparação demanda versus geração*

| <i>Aparelho</i>             | <i>% Consumo</i> | <i>Aparelho</i>        | <i>% Geração</i> |
|-----------------------------|------------------|------------------------|------------------|
| <b>Bacia Sanitária</b>      | 15,3             | Chuveiro               | 23,0             |
| <b>Jardim</b>               | 1,05             | Tanque                 | 9,4              |
| <b>Limpeza áreas comuns</b> | 3,15             | Máquina de lavar roupa | 21,4             |
|                             |                  | Lavatório              | 9,1              |
| <b>Total</b>                | 19,5             | <b>Total</b>           | 62,9             |

FONTE: Valores em percentuais de Sant'Ana *et al.* (2013)

Diante dos dados da Tabela 4.9, nota-se que se tem um maior de volume de água gerada do que a consumida. Com isso, optou-se por tratar somente o volume de água necessária ao consumo, extravasando o excedente para rede de esgoto. Assim, o sistema não é sobrecarregado nem onerado com o tratamento desse volume excedente, ficando o seu tratamento a cargo da concessionária de esgoto.

#### 4.2.11.1 Sistema de tratamento

Foi considerado que seria utilizado um sistema chamado de ETAC (Estação de Tratamento para Águas Cinzas), sendo de fácil instalação e centralizado numa única empresa, com a finalidade de evitar gastos com a coordenação e gestão do processo de instalação. Para tanto, foram realizadas cotações de ETAC junto a alguns fabricantes e comerciantes, tendo sido obtida a média conforme Tabela 4.7. As ETAC pesquisadas tiveram seu funcionamento através de processos convencionais, tais como coagulação, floculação, sedimentação e desinfecção. A Figura 4.8 mostra um diagrama de uma ETAC.

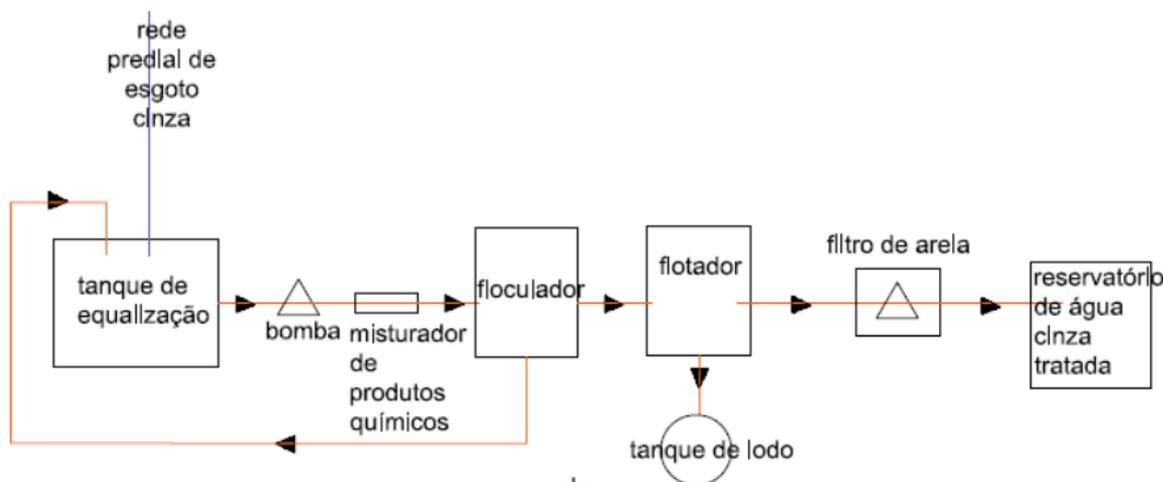


Figura 4.8- Representação de uma ETAC  
 Fonte: Adaptado de DLA (2017)

Tabela 4.10- Dados iniciais da ETAC

| Custo (R\$) | Área (m <sup>2</sup> ) | Consumo (kwh) | Produção de lodo (g/m <sup>3</sup> ) |
|-------------|------------------------|---------------|--------------------------------------|
| 32.500,00   | 6,00                   | 4,00          | 300                                  |

Os índices de consumo dos produtos químicos e mão de obra foram obtidos através da média de vários catálogos de fabricantes. Já os custos foram estimados através de pesquisa de mercado. Assim, resumiram-se os dados operacionais na Tabela 4.8.

Tabela 4.11- Custos e consumos mensais do tratamento

| Mão de obra (H) | Cloro (kg) | Sulfato de alumínio (kg) | Areia (kg) | Carvão ativado (kg) | Custo (JAN/2017) (R\$) |
|-----------------|------------|--------------------------|------------|---------------------|------------------------|
| 90              | 1,8        | 10,8                     | 25         | 15                  | 1182,66                |

#### 4.2.11.2 Reservatório

Para o sistema de reúso de água com água cinza, foi dimensionado um reservatório que atendesse o balanço hídrico entre os aparelhos consumidores e geradores. Em particular, foram analisadas as produções de águas negras (bacias sanitárias) e das águas cinzas (geradores nesse caso). Diante da análise da Figura 3.17, nota-se que há uma variação de vazão horária entre as

duas águas. Com isso, faz-se necessário um reservatório para garantir o atendimento pleno ao longo do dia. Essa variação mostrou que, durante onze horas por dia, aproximadamente, a produção de água negra é superior em volume, além de ter um pico de diferença da ordem de 3 L/hab/dia. Através da mensuração da referida figura em escala, chega-se a 0,3L/hab.

Os custos e modo de construção foram os especificados na metodologia, no item 4.2.9.

#### **4.2.12. Alternativas de referência**

Foram estabelecidas duas alternativas de referência, com o propósito de comparar as possíveis soluções: não adotar qualquer medida (alternativa 01), adotar apenas dispositivos economizadores (alternativa 02) e o reúso da água de máquinas de lavar roupa (alternativa 04).

A primeira alternativa de referência trata da situação atual de Brasília. Nela incorporou-se ao custo de operação a tarifa de contingenciamento (40%) e atribuiu-se ao desperdício todo o volume de águas cinzas que é passível de reúso. À demanda de água da concessionária foi atribuído o valor referente ao consumo do vaso sanitário, jardim e lavagem comum (por tratarem-se do máximo valor a ser economizado).

A segunda alternativa teve como objetivo comparar a adição das medidas incrementais às medidas de redução. Para tanto, foi considerado apenas o custo de implantação, manutenção dos economizadores e sua economia gerada ao sistema.

A terceira alternativa de referência foi inserida devido à facilidade, mesmo em instalações antigas, de se conseguir acesso a tubulação oriunda da área de serviço (máquina de lavar roupa e tanque). Em geral, esta já é separada do restante das instalações e está visível no subsolo dos blocos. Com isso, a probabilidade de instalação do sistema de reúso aumenta e diminuem os custos com obras civis significativamente.

#### 4.2.13. Métodos multicritério e multiobjetivo

Para o TOPSIS foi utilizada uma planilha eletrônica elaborada pelo autor desta pesquisa. Já para o ELECTRE III foi utilizado o programa do LAMSADE (“Laboratoire d'Analyse et de Modélisation des Systèmes pour l'Aide à la Décision, da Universidade de Paris Dauphine”).

No método ELECTRE III, fez-se necessário determinar os limiares de preferência, indiferença e veto, o que é explicado a seguir.

O programa do LAMSADE solicita a entrada de dois valores ( $\alpha$  e  $\beta$ ) para cada limiar, conforme é visto na equação 4.9. Por simplicidade na lógica, facilidade na atribuição de valores e controle dos resultados, adotou-se  $\alpha=0$ .

$$Cf = \alpha * g(a) + \beta \quad 4.9$$

Para os valores de  $\beta$ , adotou-se os valores indicados na que dependem da ordem de grandeza das alternativas, atendendo a relação de  $p/q$  igual a 3 e  $v/p$  igual a 7 (de Paula, 2013). Os valores do limiar de preferência foram definidos respeitando-se as individualidades e valores absolutos de cada critério.

Foram calculadas duas ordenações através do método ELECTRE III: uma considerando o limiar de veto e outra não. Elas foram ordenadas de forma decrescente (melhor opção recebeu número 1). A opção que não considerou o limiar de veto tinha objetivo de avaliar sua influência no resultado e analisar os conceitos de incomparabilidades das alternativas.

O resultado de mais de uma ordenação foi feito fundamentado em lógica matemática, utilizando a formulação da equação 4.10, com o operador “se somente se” ( $\leftrightarrow$ ), onde  $A1$  é uma alternativa com resultados de ordenações “a, b, c” e  $A2$  é uma alternativa com resultados de ordenações “d, e, f”.

$(a = b = c) \leftrightarrow A1 \text{ tem a ordem "a" ELSE}$

$(a = d \text{ AND } b = e \text{ AND } c = f) \leftrightarrow A1 \text{ id\^entico a A2 ELSE}$

$(a \leq d \text{ AND } b \leq e \text{ AND } c \leq f) \leftrightarrow A1 \text{ melhor que A2 ELSE}$

4.10

$(a \geq d \text{ AND } b \geq e \text{ AND } c \geq f) \leftrightarrow A2 \text{ melhor que A1 ELSE}$

A1 e A2 empatados parcialmente

Esse processo é iniciado dos menores valores de classificação e é repetido até que a ordenação completa seja formada. Tal fato foi repetido para cada ordenação do TOPSIS e do ELECTRE, gerando um resultado para cada método. O resultado final consistiu de nova aplicação dessa lógica entre os resultados dos métodos supracitados.

Por exemplo, se em um método uma alternativa “a” recebeu classificação 2 e no outro 4; enquanto a alternativa “b” recebeu 3 e no outro 4; pode-se afirmar que a alternativa “a” tem precedência (melhor) sobre a “b”.

Outro exemplo refere-se a uma alternativa A1 composta por (3,3) e a uma A2 composta por (3,2). Nesse caso a alternativa A2 é melhor que a A1.

Nos casos de empates parciais, coube uma análise mais crítica a fim de determinar-se a real possibilidade de desempate. Para tanto, tais alternativas tiveram suas ordenações realizadas ao final. Nelas buscou-se ordenações parciais idênticas e a comparação com as alternativas imediatamente superior e inferior. Assim, na maioria dos casos, pode-se determinar a extremidade mais próxima da alternativa com ordenação desconhecida, evidenciando sua posição relativa, sem, no entanto, determinar a magnitude dessa diferença. Por exemplo, supondo que exista a alternativa 03 (2,3,2) na quinta colocação, a alternativa 04 (6,3,1) na sexta colocação e a alternativa 11 (5,3,1) estivesse empatada. A alternativa 11 estaria mais próxima da alternativa 04, ocupando a posição imediatamente inferior, ou seja, a quinta posição pois possui mais pares idênticos e no diferente, é melhor que a alternativa 04.

Na tentativa de obter alguns desempates no resultado final, foi necessário utilizar todos os valores do TOPSIS e do ELECTRE III. Assim, foram considerados todas as ordenações simultaneamente.

## **5. RESULTADOS**

Este capítulo apresenta os resultados e discussões obtidos com a metodologia adotada no trabalho. Os resultados são apresentados de acordo com o sequenciamento das etapas propostas na metodologia, sendo divididos em três partes. Na primeira parte encontram-se os resultados referentes à tipologia do edifício. Na segunda parte são apresentados e discutidos os resultados para uma edificação já existente, que deverá passar por reforma para implantação das medidas de conservação de água. Na terceira parte estão os resultados obtidos para uma edificação nova, a ser construída.

### **5.1 DEFINIÇÃO DO MODELO DE PRÉDIO RESIDENCIAL PARA A PESQUISA**

Para que seja possível uma análise de uma edificação já construída e uma que será construída (ambas com as mesmas características), será necessário padronizar suas tipologias.

Para tanto, diante das opções de plantas, estatística e metodologia disponível, a tipologia do edifício selecionado como estudo de caso, para ambas as categorias (reformular e construir) tem as seguintes características:

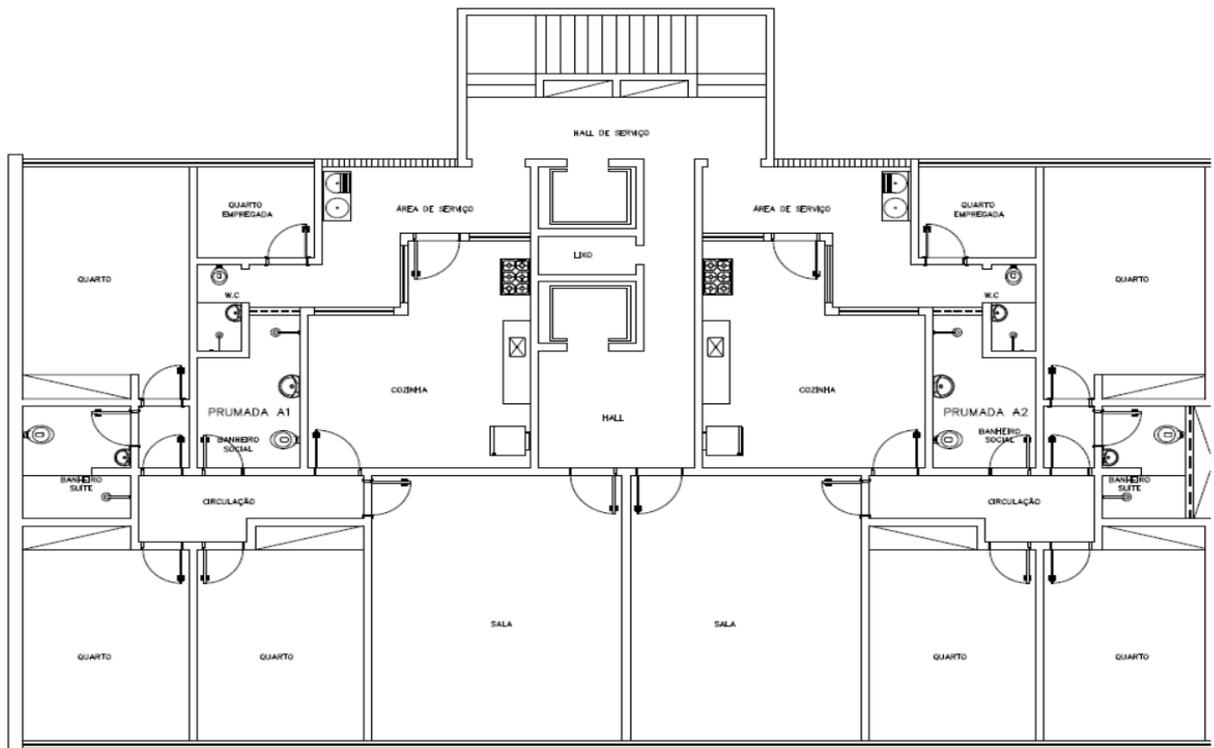
- a) 48 apartamentos;
- b) Área de telhado de 1129m<sup>2</sup>;
- c) 6 pavimentos tipos, além de pavimento de subsolo, térreo e barrilete;
- d) Pé direito médio de 3m, sendo o do térreo e subsolo de 3,5m;
- e) 4 caixas de água, cada uma com 23 m<sup>3</sup>;
- f) Reserva de incêndio total de 17m<sup>3</sup>;
- g) Dois reservatórios inferiores com 30m<sup>3</sup> cada;
- h) Duas bombas de recalque com 2 CV cada, sendo uma reserva;
- i) Altura total do edifício de 30 m;
- j) Cada apartamento com área de 115m<sup>2</sup>, sendo composto por uma suíte, dois quartos, um banheiro social, uma cozinha, área de serviço e um banheiro de empregada;
- k) Uma vaga na garagem por apartamento.

A visão de satélite de duas edificações similares ao modelo pode ser vista na Figura 5.1 e a Figura 5.2 referente a planta da prumada padrão do pavimento que irá se repetir quatro vezes ao longo do andar até formar o pavimento tipo.



*Figura 5.1- Imagem de satélite da edificação modelo*  
*Fonte: Google Earth (2016)*

A quantidade de apartamentos foi determinada através da mediana da amostra buscando um resultado que não fosse afetado pelos extremos da amostra, ou seja, que as edificações com o mais baixo ou o mais alto número de apartamentos influenciasse o resultado. A partir daí, foi selecionada a planta que cumprisse os critérios da metodologia e esse número de apartamentos.



*Figura 5.2- Planta baixa da prumada padrão do pavimento tipo*

*Fonte: COMPRASNET (2012)*

Considerando o número de apartamentos e o levantamento do número de habitantes do item 4.1.2, calculou-se que esse edifício possui 192 pessoas. Utilizando os dados de consumo de água, esta população resultou num consumo médio estimado de 870 m<sup>3</sup> por mês. Isso equivale a 18,1 m<sup>3</sup> de consumo de água por unidade habitacional. Nesse consumo foi considerado o equivalente às áreas comuns do prédio distribuído para cada apartamento.

## **5.2 RESULTADOS DO LEVANTAMENTO DE CUSTOS PARA O EDIFÍCIO MODELO**

Os custos referentes a reformas ou implantações serão abordados a seguir. Eles seguiram a metodologia do item 4.1.2 e estão divididos nas duas categorias: CATEGORIA 1 (a reformar) e CATEGORIA 2 (a construir).

### 5.2.1. Estudo de caso de categoria 1 (a reformar)

Observando-se a planta baixa da edificação em questão e os custos unitários obtidos na licitação, consolidaram-se os dados contidos na Tabela 5.1. Nela é possível visualizar o custo por cômodo e verificar o custo total da reforma das áreas molhadas do apartamento do edifício modelo. Essa reforma é caracterizada pela modernização das instalações sem objetivar a implantação de qualquer alternativa de conservação de água. Contudo, para a maioria das alternativas, conforme é citado na metodologia, fazem-se necessárias tais adequações.

Considerando-se que o custo de construção de uma edificação similar em área e características, obtido de uma licitação da CRO11 (Comissão Regional de Obras da 11ª Região Militar), a ser construída na Asa Norte, foi de R\$21.980.755,11 (preço de outubro de 2013), esse valor leva os custos para R\$2.158,99 por m<sup>2</sup>. Atualizando para os dias atuais, obteve-se o valor de R\$2.873,62 por m<sup>2</sup>. Outro aspecto é que no edifício modelo apenas foram contempladas as reformas nas áreas molhadas, o que demanda mais gastos que as outras áreas, aumentando o custo unitário. Tais fatos comprovam o acerto da pesquisa de preços realizada no COMPRASNET.

*Tabela 5.1- Custo de reforma das áreas molhadas dos apartamentos*

| <b>Local</b>                            | <b>Custo<br/>(Junho<br/>2011)<br/>R\$/m<sup>2</sup></b> | <b>Custo<br/>(Set<br/>2016)<br/>R\$/m<sup>2</sup></b> | <b>Área (m2)<br/>da edificação<br/>modelo</b> | <b>Subtotal<br/>(R\$)</b> |
|---|---|---|---|---------------------------|
| <b>BANHEIRO SOCIAL</b>                  | 1.491,06  | 1989,13   | 5,07  | 10.084,89                 |
| <b>COZINHA E ÁREA DE<br/>SERVIÇO</b>    | 1.157,99  | 1544,80   | 31,02   | 47.919,7                  |
| <b>BANHEIRO DE SERVIÇO<br/>/ LAVABO</b> | 3.951,27  | 5271,14   | 1,44  | 7.590,442                 |
| <b>SUÍTE</b>                            | 2.987,01  | 3984,78   | 4,25  | 16.935,32                 |
| <b>TOTAL POR APARTAMENTO</b>            |   |   | 47,78   | 82.530,35                 |
| <b>BARRILETE</b>                        | ----  | ----  | ----  | 54.901,25                 |
| <b>ESGOTO DO SUBSOLO</b>                | ----  | ----  | ----  | 81.673,21                 |
| <b>TOTAL POR BLOCO</b>                  |   | 1.876,85  | 2.293,44                                      | 4.098.031,36              |

Outro parâmetro a ser analisado é o CUB (custo unitário básico da construção). Para construções de até 8 andares e acabamento normal, o seu valor foi de R\$1.186,33. Contudo, este valor considera a repetição de um projeto tipo, não contempla diversos custos estabelecidos conforme cita a NBR 12.721/2001 (ausência de canteiro, taxas, utilizar o conceito de área equivalente, etc.), trata apenas de construção e não das dificuldades de uma reforma, não possui o BDI (bonificação direta e indireta). Apenas com o acréscimo do BDI de 24,86% (valor utilizada nas licitações supracitadas), o valor do CUB seria de R\$1.481,25. Essa análise também comprovou o acerto da pesquisa de preços realizada no COMPRASNET, visto que a discrepância de valor unitário foi baixa (26%), e que, no edifício modelo, apenas foram contempladas as áreas molhadas, que demandam mais gastos que as outras áreas, aumentando o custo unitário.

Por último, cabe ressaltar que, em novembro de 2016, a PMB (Prefeitura Militar de Brasília) realizou a revitalização de uma prumada com 6 banheiros sociais ao custo de R\$25.000,00 cada. Mais uma vez aponta-se para a coerência dos levantamentos e custos.

### **5.2.2. Estudo de caso de categoria 2 (a construir)**

Para o caso das edificações a serem construídas, não haverá custo extra, pois considerou-se como premissa que tudo que se relaciona a adequações ou obras civis foi previsto no projeto inicial.

## **5.3 DETALHAMENTO DAS DEMANDAS (CATEGORIA 1 E 2)**

As medidas incrementais necessitarão das demandas de água e suas fontes. Essa relação poderá gerar diversas alternativas, conforme já abordado na metodologia. Como as categorias não se diferenciam em relação ao consumo de água, elas são tratadas sem divisão no que tange à escolha das possibilidades de fontes e demandas.

Optou-se, inicialmente, pela seleção de todos os aparelhos de consumo da Tabela 4.9 (demanda e geração dos aparelhos), seguindo duas premissas: (1) utilizar o mínimo de água potável nos

pontos que forem atendidos por fonte de água não potável (preferencialmente zero); e (2) maximizar o uso de águas cinzas/pluviais (extravasar o menor volume).

A Tabela 5.2 resume as possibilidades de demanda de água estudadas. Essa tabela é composta pelos percentuais de consumo de cada aparelho conforme dados de Sant’Ana *et al.* (2013), a soma desses valores para cada combinação (opção) e, por último, o volume de água demandado quando aplicados os dados de consumo do edifício modelo. A escolha preferencial inicial está em destaque (em vermelho). Essa preferência ocorreu devido à maior possibilidade de consumo de água atendendo a todas as premissas já citadas. A equação 5.1 ilustra o cálculo da opção 1 da Tabela 5.2 com a aplicação do consumo total predial do edifício modelo (870 m<sup>3</sup>).

$$15,3 + 1,1 + 3,2 = 19,6\%$$

$$19,6\% \times 870 = 170$$
4.10

Tabela 5.2- Alternativa de demanda de água dos equipamentos passíveis de uso com água não potável

| Opção    | Bacia Sanitária (%) | Jardim (%) | Limpeza (%) | Soma (%)    | Volume (m <sup>3</sup> ) |
|----------|---------------------|------------|-------------|-------------|--------------------------|
| <b>1</b> | <b>15,3</b>         | <b>1,1</b> | <b>3,2</b>  | <b>19,6</b> | <b>170</b>               |
| <b>2</b> | <b>15,3</b>         |            | <b>3,2</b>  | <b>18,5</b> | <b>161</b>               |
| <b>3</b> | <b>15,3</b>         | <b>1,1</b> |             | <b>16,4</b> | <b>142</b>               |
| <b>4</b> | <b>15,3</b>         |            |             | <b>15,3</b> | <b>133</b>               |
| <b>5</b> |                     | 1,1        | 3,2         | 4,2         | 37                       |
| <b>6</b> |                     |            | 3,2         | 3,2         | 27                       |
| <b>7</b> |                     | 1,1        |             | 1,1         | 9                        |

FONTE: Valores em percentuais de Sant’Ana *et al.* (2013)

Por ora, não foi possível eliminar nenhuma alternativa. Contudo, era desejado que as candidatas selecionadas fossem apenas as opções de 1 a 4. Tal fato deve-se a grande diferença de volume da opção 4 para a 5, mostrando um “salto” e a mediana dos volumes ter sido de 133 m<sup>3</sup>.

Para a análise das fontes, não foram considerados aspectos impeditivos devido à instalação, tais como a interligação ou não do esgoto do chuveiro e do lavatório na mesma coluna de esgoto, nem a interligação ou não do esgoto da máquina de lavar e do tanque numa única coluna. Esses

impedimentos foram desconsiderados pois a implantação de projeto de conservação de água irá depender de reforma das áreas molhadas afetadas. Com isso, as necessidades específicas de ligações para o sistema seriam atendidas durante a reforma. Já nos prédios novos, o projeto concebeu todas as necessidades para execução do melhor sistema de reúso de água com águas cinzas e de aproveitamento de água pluvial. Em ambos os prédios (reformado ou novo), haverá possíveis mudanças de traçado das redes em virtude da interferência com elementos estruturais. Nos edifícios novos, tal fato será minimizado pois o calculista estrutural terá controle do projeto e poderá prever orifícios de passagem nesses elementos, conforme cada caso; nas reformas, essa possibilidade de furos praticamente restringe-se às lajes.

#### **5.4 EMPREGO DA ÁGUA CINZA PARA REÚSO (CATEGORIAS 1 E 2)**

As medidas incrementais relativas ao reúso de água com água cinza são idênticas nas duas categorias, porque os edifícios são, por definição do modelo, iguais, diferindo apenas no investimento da reforma e no volume do reservatório. Com isso, esta seção trata das duas categorias sem distinção, sendo especificado o quesito de reservatório.

Observando-se os valores da Tabela 4.9 (demanda e geração dos aparelhos), e seguindo as mesmas premissas da demanda, obteve-se a Tabela 5.3, relativa às fontes de água. As colunas referentes a cada equipamento referem-se à produção, em percentual, de água, conforme é indicado pela revisão bibliográfica (Sant'Ana *et al.*, 2013). A soma, também em percentual, refere-se à soma desses elementos mostrando a quantidade de água passível de reúso. Por último, a coluna “volume” refere-se ao volume produzido pelos equipamentos da opção em questão, em metros cúbicos, utilizando os dados (consumo mensal) do edifício modelo. As escolhas preferenciais iniciais estão em destaque (em vermelho). Essa preferência ocorre devido à compatibilização com a escolha preferencial da Tabela 5.2 (demanda). A equação 5.2 ilustra o cálculo da opção 1 da Tabela 5.3, com a aplicação do consumo total predial do edifício modelo (870 m<sup>3</sup>).

$$\begin{aligned} 23 + 9,4 + 21,4 + 9,1 &= 62,9\% \\ 62,9\% \times 870 &= 547,2 \end{aligned} \qquad 5.2$$

Utilizando as premissas já expostas, e considerando que a demanda máxima de água cinza foi de 170m<sup>3</sup>, podem-se descartar todas as opções com maior volume. Portanto, pela comparação do volume da geração de água cinza para reúso, foram eliminadas as alternativas de 1 a 11. A alternativa 12 manteve-se no limiar, portanto, por cautela, evitou-se a sua exclusão imediata.

*Tabela 5.3- Equipamentos que podem ser utilizados com fontes de água não potável.*

|           | <b>Chuveiro (%)</b> | <b>Tanque (%)</b> | <b>Máquina de Lavar Roupa (%)</b> | <b>Lavatório (%)</b> | <b>Soma (%)</b> | <b>Volume (m<sup>3</sup>)</b> |
|-----------|---------------------|-------------------|-----------------------------------|----------------------|-----------------|-------------------------------|
| 1         | 23                  | 9,4               | 21,4                              | 9,1                  | 62,9            | 547                           |
| 2         | 23                  | 9,4               | 21,4                              |                      | 53,8            | 468                           |
| 3         | 23                  |                   | 21,4                              | 9,1                  | 53,5            | 465                           |
| 4         | 23                  |                   | 21,4                              |                      | 44,4            | 386                           |
| 5         | 23                  | 9,4               |                                   | 9,1                  | 41,5            | 361                           |
| 6         |                     | 9,4               | 21,4                              | 9,1                  | 39,9            | 347                           |
| 7         | 23                  | 9,4               |                                   |                      | 32,4            | 281                           |
| 8         | 23                  |                   |                                   | 9,1                  | 32,1            | 279                           |
| 9         |                     | 9,4               | 21,4                              |                      | 30,8            | 267                           |
| 10        |                     |                   | 21,4                              | 9,1                  | 30,5            | 265                           |
| 11        | 23                  |                   |                                   |                      | 23              | 200                           |
| <b>12</b> |                     |                   | <b>21,4</b>                       |                      | <b>21,4</b>     | <b>186</b>                    |
| <b>13</b> |                     | <b>9,4</b>        |                                   | <b>9,1</b>           | <b>18,5</b>     | <b>160</b>                    |
| <b>14</b> |                     | <b>9,4</b>        |                                   |                      | <b>9,4</b>      | <b>81</b>                     |
| <b>15</b> |                     |                   |                                   | <b>9,1</b>           | <b>9,1</b>      | <b>79</b>                     |

FONTE: Valores em percentuais de Sant'Ana *et al.* (2013)

Já em relação à demanda, a menor produção de água cinza para reúso foi de 79m<sup>3</sup>. Com isso, foram eliminados os candidatos 5 a 7 como demanda.

Ao final restaram 16 alternativas de combinação demanda-fonte, que foram as seguintes: 1-12; 1-13; 1-14; 1-15; 2-12; 2-13; 2-14; 2-15; 3-12; 3-13; 3-14; 3-15; 4-12; 4-13; 4-14; 4-15. Essas alternativas foram consolidadas na Tabela 5.4 com seus respectivos saldos de volume de água. As colunas de opções de demanda e fonte foram selecionadas a partir dos critérios e análises já expostos e das Tabela 5.2 e Tabela 5.3, respectivamente. A coluna saldo foi calculada a partir da diferença dos valores das opções obtidas nas tabelas em questão.

A equação 5.3 ilustra o cálculo da primeira combinação, referente a primeira linha, da Tabela 5.4.

$$79(\text{tabela de fonte}) - 170(\text{tabela da demanda}) = -91 \quad 5.3$$

*Tabela 5.4- Combinações de alternativas e seus respectivos saldos.*

| <b>Demanda (opção)</b> | <b>Fonte (opção)</b> | <b>Saldo (m<sup>3</sup>)</b> |
|------------------------|----------------------|------------------------------|
| 1                      | 15                   | -91                          |
| 1                      | 14                   | -88                          |
| 2                      | 15                   | -81                          |
| 2                      | 14                   | -79                          |
| 3                      | 15                   | -63                          |
| 3                      | 14                   | -60                          |
| 4                      | 15                   | -53                          |
| 4                      | 14                   | -51                          |
| 1                      | 13                   | -9                           |
| 2                      | 13                   | 0                            |
| 1                      | 12                   | 15                           |
| 3                      | 13                   | 18                           |
| 2                      | 12                   | 25                           |
| 4                      | 13                   | 27                           |
| 3                      | 12                   | 43                           |
| 4                      | 12                   | 53                           |

Diante da análise do volume no saldo e das premissas já expostas, a alternativa cuja demanda é 2 e a fonte é 13 está praticamente no equilíbrio desejado. Os candidatos mais próximos em valor, através da comparação pelo volume de saldo, foram 1-13 e 1-12. Assim, não foi possível eliminar nenhuma dessas três alternativas.

Portanto, as alternativas selecionadas foram o uso da demanda pelas opções 1 (Bacia + Limpeza + Jardim) e 2 (Bacia + Limpeza) e com fontes nas opções 12 (máquina de lavar roupa) e 13 (Tanque + Lavatório).

Para o cálculo do volume do reservatório, precisou-se utilizar o dado referente a população do edifício, explicitado no item 5.1, a metodologia apresentada no item 4.3.6 (Reservatórios), e o gráfico da Figura 3.17 (Fluxo horário da água cinza). Através desses dados, pode-se notar que o fluxo horário da produção da água cinza e seu consumo (água negra) é diferente, necessitando um reservatório. Assim, da interpolação do maior pico, chegou-se ao consumo de 10L/hab/dia. Aplicando-se esse valor à população do prédio chega-se a 2m<sup>3</sup>. Esse reservatório irá atuar como

reservatório de contato para desinfecção por cloro e, portanto, deverá ter tempo de detenção mínima de trinta minutos ou a razão entre volume e vazão (ABNT, 1997). Considerando o caso máximo de consumo, que foi  $170\text{m}^3/\text{dia}$ , e a estimativa de 12 horas por dia de produção de água cinza, teve-se uma vazão de  $14,2\text{m}^3/\text{h}$ , que necessitaria de um reservatório de  $8\text{m}^3$  para atender o tempo de contato mínimo. Diante disso, recomenda-se um reservatório inferior de, no mínimo,  $8\text{m}^3$ .

Na edificação nova, o projeto deveria conceber um reservatório conforme foi calculado, de  $8\text{m}^3$ . Entretanto, na edificação já construída, já existia um reservatório com quatro células totalizando  $60\text{m}^3$  que está desativado. Esse reservatório desativado é um reservatório inferior enterrado e era utilizado para recalque de água potável. Ele foi desativado ao longo dos anos devido a problemas de manutenção nas bombas, economia de energia e atendimento da pressão da concessionária para abastecer os reservatórios superiores (pressão média atual registrada na saída dos hidrômetros de 39 mca).

Apesar do maior volume, ele representa uma economia face à construção de outro e as divisões internas poderiam ser lacradas, caso isso se revele necessário, restando apenas um único reservatório de capacidade máxima de  $15\text{m}^3$ . Outro aspecto é que a regulagem de alturas de boia e sistema de captação de bomba podem fazer com que o mesmo opere no volume desejado, não havendo quaisquer problemas.

## **5.5 APROVEITAMENTO DA ÁGUA DA CHUVA (CATEGORIAS 1 E 2)**

O aproveitamento de águas pluviais tem a mesmas características da água de reúso, já abordada, quando se comparam as edificações de CATEGORIA 1 e de CATEGORIA 2. A única diferença dos dois sistemas entre as categorias foi o reservatório. Com isso, esta seção tratou das duas categorias e apenas diferenciou-as nos aspectos referentes à escolha do reservatório final.

Através do item 5.3 (demandas), foi possível concluir que o consumo máximo predial de água da chuva é de  $170\text{m}^3/\text{mês}$ , e o mínimo de  $9,5\text{m}^3/\text{mês}$ . Aplicando-se os métodos de dimensionamento do reservatório de água da chuva, citados na metodologia, chega-se à Tabela 5.5. Para os cálculos do volume necessário para o reservatório de água de chuva, que estão mostrados no APÊNDICE F, foi utilizada a demanda máxima, o custo com referência no

SINAPI, a metodologia do item 4.3.6, o índice pluviométrico de Brasília e a área de cobertura de 1.129m<sup>2</sup> do modelo adotado.

*Tabela 5.5- Volume dos reservatórios de água de chuva obtidos com os diversos métodos indicados, exceto com o método australiano.*

| <i>Método</i>                      | <i>Volume (m<sup>3</sup>)</i> | <i>Custo (R\$)</i> | <i>Projeção da área (m<sup>2</sup>)</i> |
|------------------------------------|-------------------------------|--------------------|---|
| <i>Inglês</i>                      | 73                            | 111.369,70         | 84,6                                    |
| <i>Alemão</i>                      | 88                            | 133.763,90         | 101,8                                   |
| <i>Azevedo Neto</i>                | 184                           | 277.086,50         | 212,3                                   |
| <i>Simulação com dados diários</i> | 500                           | 748.834,30         | 575,7                                   |
| <i>Simulação com dados mensais</i> | 66                            | 100.919,10         | 76,5                                    |
| <i>Rippl</i>                       | 772                           | 1154903,1          | 888,5                                   |

Pelo Método Australiano, cujos resultados são apresentados na Tabela 5.6, notou-se a baixa confiabilidade para atendimento aos volumes de consumo próximos ao máximo da Tabela 5.2 (demanda). Por questões de excesso de custo, espaço físico e estrutura, os reservatórios acima de 300m<sup>3</sup> (mais de 75% da área de projeção da edificação, ou seja, maior que 846 m<sup>2</sup>) foram eliminados. Já o reservatório dimensionado pelo método australiano resultou em grande volume, ficando inviável pelos motivos já citados.

*Tabela 5.6- Volumes de reservatório de água de chuva calculados pelo método australiano para diferentes consumo.*

| <b>Consumo (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Confiabilidade (%)</b> | <b>Reservatório (m<sup>3</sup>)</b> |
|--------------------------------|---------------------------|-------------------------------------|
| <b>9,5</b>                     | 91,6                      | 1122                                |
| <b>27,8</b>                    | 91,6                      | 926                                 |
| <b>36,6</b>                    | 91,6                      | 825                                 |
| <b>133</b>                     | 58,3                      | 225                                 |
| <b>142</b>                     | 50                        | 202                                 |
| <b>161</b>                     | 41,6                      | 160                                 |
| <b>170</b>                     | 33,3                      | 140                                 |

Um aspecto relativo à climatologia de Brasília é que, analisando todas as precipitações diárias dos 19.404 dias da série histórica, apenas 16,7% dos dias de consumo foram atendidos pela água de chuva do mesmo dia. O restante, foi atendido através do armazenamento da água dos dias anteriores. Isso implicou num aumento do tamanho do reservatório e encareceu o processo.

Utilizando o método da simulação mensal, a análise de uma demanda de 133m<sup>3</sup> demonstrou 69% de confiança em ser atendida ao longo do ano utilizando um reservatório de 135m<sup>3</sup>. Contudo, numa análise mais detalhada, notou-se que, num ano, haveria 4 meses com deficiência de abastecimento no sistema abastecido exclusivamente com água da chuva. Tal fato é ratificado pela visualização dos períodos de seca em Brasília.

Diante de diversos métodos para dimensionamento do reservatório, foi escolhida a mediana dos mesmos, resultando em 135m<sup>3</sup> (dois reservatórios conforme item 4.2.8, cada um com dimensões de 16m x 5m x 2,10m de altura). Foi adotada a mediana no intuito de buscar-se um resultado que não fosse afetado pelos extremos dos resultados dos métodos. Sua confiabilidade é de 50%, o que é equivalente a 6 meses por ano com chance de déficit, particularmente, nos meses de junho a setembro, na região de Brasília, conforme pode ser visto na Tabela 5.7. A demanda utilizada foi a referente a bacias sanitárias, irrigação e lavagem de pisos (170 m<sup>3</sup>).

*Tabela 5.7- Análise da situação com a chuva mensal quando se emprega um reservatório com capacidade de 135 m<sup>3</sup> e consumo máximo*

|           | <b>Precipitação<br/>(mm)</b> | <b>Demanda<br/>(m<sup>3</sup>)</b> | <b>Oferta<br/>(m<sup>3</sup>)</b> | <b>Reservatório<br/>em t-1 (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Reservatório<br/>em t (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Déficit de<br/>água<br/>(m<sup>3</sup>)</b> |
|-----------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|--|--|
| Janeiro   | 284                          | 170                                | 257                               | 0  | 87   | 0  |
| Fevereiro | 211                          | 170                                | 191                               | 87   | 107  | 0  |
| Março     | 224                          | 170                                | 202                               | 107  | 107  | 0  |
| Abril     | 136                          | 170                                | 123                               | 107  | 60   | 0  |
| Maió      | 34                           | 170                                | 31                                | 60   | -79  | 79   |
| Junho     | 7                            | 170                                | 6                                 | 0  | -164   | 164  |
| Julho     | 10                           | 170                                | 9                                 | 0  | -161   | 161  |
| Agosto    | 14                           | 170                                | 13                                | 0  | -157   | 157  |
| Setembro  | 49                           | 170                                | 44                                | 0  | -126   | 126  |
| Outubro   | 163                          | 170                                | 147                               | 0  | -23  | 23   |
| Novembro  | 260                          | 170                                | 235                               | 0  | 65   | 0  |
| Dezembro  | 276                          | 170                                | 249                               | 65   | 65   | 0  |

Diante dessa escassez de água, verificou-se a possibilidade de atendimento apenas para as bacias sanitárias (133m<sup>3</sup>), conforme a Tabela 5.8. Nesta, notou-se maior confiabilidade, correspondendo a 67%. Contudo, ainda não foi garantida a alimentação permanente ao sistema.

*Tabela 5.8- Análise da situação com a chuva mensal quando se emprega um reservatório com capacidade de 135 m<sup>3</sup> e consumo apenas com bacias sanitárias*

|           | <b>Precipitação<br/>(mm)</b> | <b>Demanda<br/>(m<sup>3</sup>)</b> | <b>Oferta<br/>(m<sup>3</sup>)</b> | <b>Reservatório<br/>em t-1 (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Reservatório<br/>em t (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Déficit de<br/>água<br/>(m<sup>3</sup>)</b> |
|-----------|------------------------------|------------------------------------|-----------------------------------|--|--|--|
| Janeiro   | 284                          | 133                                | 257                               | 0  | 124  | 0  |
| Fevereiro | 211                          | 133                                | 191                               | 124  | 124  | 0  |
| Março     | 224                          | 133                                | 202                               | 124  | 124  | 0  |
| Abril     | 136                          | 133                                | 123                               | 124  | 113  | 0  |
| Mai       | 34                           | 133                                | 31                                | 113  | 11   | 0  |
| Junho     | 7                            | 133                                | 6                                 | 11   | -116   | 116  |
| Julho     | 10                           | 133                                | 9                                 | 0  | -124   | 124  |
| Agosto    | 14                           | 133                                | 13                                | 0  | -120   | 120  |
| Setembro  | 49                           | 133                                | 44                                | 0  | -89  | 89   |
| Outubro   | 163                          | 133                                | 147                               | 0  | 14   | 0  |
| Novembro  | 260                          | 133                                | 235                               | 14   | 116  | 0  |
| Dezembro  | 276                          | 133                                | 249                               | 116  | 116  | 0  |

Após tantos resultados que não atenderam à demanda, fez-se uma simulação do mesmo consumo predial e um reservatório de 150 m<sup>3</sup>. Mediante essa análise, buscou-se uma área de telhado que atendesse à simulação. Quando se atingiu o valor de 12.000 m<sup>2</sup> (dez vezes maior) e sem atender a demanda, o processo foi paralisado, sugerindo que a opção do aproveitamento da água chuva não seria adequado.

O reservatório estabelecido foi de 135 m<sup>3</sup> e teve o custo estimado pelo SINAPI, através de procedimento mostrado na Metodologia, de R\$203.932,30 para as obras novas, ou seja, para os edifícios de CATEGORIA 2. Para os edifícios de CATEGORIA 1 (a reformar) o custo foi menor, totalizando R\$114.355,60. Essa diferença ocorreu devido a existência de um reservatório desativado de 60m<sup>3</sup> no edifício de CATEGORIA 1.

## **5.6 RESULTADOS OBTIDOS POR CONSULTA A UM PAINEL DE ESPECIALISTAS E GESTORES**

O questionário foi enviado a 178 especialistas e gestores, entre profissionais das mais variadas instituições (IME, FAU-UnB, PTARH-UnB, CGU, Exército, IBRAM, SIDUSCON, CEF, síndicos, gestores, UNIP, NOVACAP, UNIDERP, IFB, CAESB, CBMDF, UFBA, UFSC,

UFES, USP, UNICAMP, UFRJ, IPT, UFC, UERJ, FIOCRUZ, SABESP, ANA, UFG, UFRGS, UFV, UNESP, UFSCAR, CREA, UFRP, UTFPR, etc.).

No primeiro questionário, obtiveram-se 80 respostas dos 177 convites enviados (45%). Cada um despendeu em média 13 minutos para concluir o questionário. Apenas 108 especialistas e gestores chegaram a acessar o questionário e 4 deles solicitaram para não participar. As estatísticas desse questionário inicial estão no APÊNDICE B e as sugestões no APÊNDICE C.

Após ter-se aplicado a metodologia através do questionário inicial, notou-se que o critério Payback simples não possuía respostas “a ser utilizada” em maior número do que as “não ser utilizada”. Assim, esse critério foi eliminado.

Devido à relevância de alguns critérios sugeridos, optou-se por incluir alguns, entre eles a quantidade de lodo produzida e o valor presente líquido. Esse último aglutinou várias sugestões de critérios, entre elas, o próprio valor presente líquido, custo com produtos químicos, despesas operacionais, conversão monetária da água economizada e vida útil do sistema.

No segundo questionário, obtiveram-se 76 respostas. Cada respondente teve o gasto médio de 10 minutos para concluir o questionário. As estatísticas do segundo questionário estão no APÊNDICE D.

Conforme metodologia, foi calculada a média ponderada de cada critério/subobjetivo através da multiplicação dos votos por cada nota, resultando na Tabela 5.9. Os dados dessa tabela estão multiplicados por 1000 para facilitar a comparação e visualização. Nessa tabela, notou-se uma preocupação ambiental grande, comprovada pela primeira posição deste subobjetivo. Enquanto isso, o subobjetivo social ficou em último lugar. A interpretação dos dois subobjetivos levou a ideia de que a sociedade está preocupada com o uso de água e buscando formas de conservá-la, com a necessidade do uso sustentável e a adoção de medidas contra o desperdício.

*Tabela 5.9- Média ponderada das notas dos critérios e subobjetivos.*

| <b>SUBOBJETIVO</b>                       | <b>Média ponderada das notas (x1000)</b> |
|--|--|
| AMBIENTAL                                | 653                                      |
| QUALIDADE DE ÁGUA                        | 645                                      |
| ECONÔMICO                                | 625                                      |
| TÉCNICO                                  | 608                                      |
| SOCIAL                                   | 577                                      |
| <b>CRITÉRIO</b>                          | <b>Média ponderada das notas (x1000)</b> |
| Valor presente líquido                   | 511                                      |
| Custo de implantação                     | 637                                      |
| Custo de operação                        | 635                                      |
| Tempo de retorno                         | 538                                      |
| DBO                                      | 579                                      |
| SST                                      | 605                                      |
| Coliformes fecais                        | 649                                      |
| Volume de água reduzido do consumo final | 669                                      |
| Volume de água desperdiçado              | 555                                      |
| Volume de água complementar              | 507                                      |
| Quantidade de lodo                       | 501                                      |
| Risco a saúde                            | 673                                      |
| Risco anual de falta de água             | 563                                      |
| Interferências ao morador                | 497                                      |
| Área ocupada                             | 555                                      |
| Consumo de energia                       | 597                                      |
| Complexidade do sistema                  | 614                                      |

Foi realizada a busca por “outliers”, onde não se constatou nenhum elemento nessas condições. Após isso, foi calculado o peso de cada subobjetivo, conforme foi descrito na metodologia, tendo como referência o valor dez para a soma final. Já os critérios tiveram seus pesos calculados nos mesmos moldes dos subobjetivos, porém acrescidos de um fator multiplicativo que era o peso do subobjetivo ao qual pertence, conforme é indicado na Tabela 5.10.

Tabela 5.10- Critérios de comparação das alternativas

| <b>Critério de julgamento</b>            | <b>Unidade</b>             | <b>Peso</b>        | <b>Quando é melhor?</b> |
|--|----------------------------|--------------------|-------------------------|
| <b><u>ECONÔMICO</u></b>                  |                            | <b><u>2,02</u></b> |                         |
| Valor presente líquido                   | R\$                        | 0,444              | Maior                   |
| Custo de implantação                     | R\$                        | 0,554              | Menor                   |
| Custo de operação                        | R\$                        | 0,552              | Menor                   |
| Tempo de retorno                         | Meses                      | 0,468              | Menor                   |
| <b><u>QUALIDADE DE ÁGUA</u></b>          |                            | <b><u>2,08</u></b> |                         |
| DBO                                      | mg/L                       | 0,657              | Menor                   |
| SST                                      | mg/L                       | 0,686              | Menor                   |
| CF                                       | NMP/100ml                  | 0,736              | Menor                   |
| <b><u>AMBIENTAL</u></b>                  |                            | <b><u>2,11</u></b> |                         |
| Volume de água reduzido do consumo final | L                          | 0,632              | Maior                   |
| Volume de água complementar              | L                          | 0,479              | Menor                   |
| Volume de água desperdiçado              | L                          | 0,524              | Menor                   |
| Quantidade de lodo produzida             | Kg/ano                     | 0,473              | Menor                   |
| <b><u>SOCIAL</u></b>                     |                            | <b><u>1,86</u></b> |                         |
| Risco a saúde                            | Sem unidade                | 0,722              | Maior                   |
| Risco anual de falta de água             | %                          | 0,604              | Menor                   |
| Interferência ao morador                 | Número inteiro (de 0 a 10) | 0,533              | Menor                   |
| <b><u>TÉCNICO</u></b>                    |                            | <b><u>1,96</u></b> |                         |
| Consumo de energia                       | KWh                        | 0,662              | Menor                   |
| Área ocupada pelo sistema                | m <sup>2</sup>             | 0,615              | Menor                   |
| Complexidade do sistema                  | Número inteiro (de 0 a 10) | 0,681              | Menor                   |

A análise dos pesos dos critérios sugeriu que há uma preocupação substancial com a possível contaminação da água utilizada para as alternativas de conservação. Isso se evidencia na ordem dos critérios globais, onde coliformes fecais, risco a saúde e sólidos totais aparecem nas três primeiras posições. Por outro lado, os critérios econômicos de valor presente líquido e tempo de retorno surgem nas últimas posições, evidenciando uma menor preocupação da rentabilidade financeira em comparação aos problemas ambientais.

Diante dos novos critérios adicionados, teve-se que definir o método de cálculo de cada um. O valor presente líquido, foi dado pela equação 5.4. Quanto maior o VPL, melhor será o investimento. Caso o mesmo venha a ficar negativo, significa que não houve vantagens, apenas aplicações monetárias (saídas de recursos financeiros) sem retornos suficientes para equilibrar as contas e produzir rentabilidade equivalente à taxa da SELIC.

$$VPL = \sum_{i=1}^{20} \frac{\text{Fluxo de caixa}_t}{(1 + SELIC)^t} \quad (5.4)$$

Já a quantidade de lodo a ser produzida foi calculada por métodos distintos, dependendo do sistema. Para o aproveitamento da água de chuva, o lodo foi calculado através do volume anual de chuva aproveitada multiplicado pelo teor de SST médio da água de chuva (54 mg/L, conforme citado na revisão bibliográfica). Para o sistema de reúso com águas cinzas, adotou-se a média do lodo produzido pelo sistema físico-químico. Para tanto, optou-se por calcular o peso do lodo através de estatísticas disponíveis pelos fabricantes das ETAC, que é 300 g/m<sup>3</sup> de água tratada.

No cálculo do lodo referente ao sistema duplo (reúso com águas cinzas e aproveitamento da água da chuva), foi considerado que o sistema seria abastecido primordialmente pela água da chuva e caso houvesse escassez, seria pelo sistema de reúso com águas cinzas. Assim, o lodo proveniente do tratamento da água de chuva foi calculado separadamente do reúso de água; sendo os dois somados ao fim.

Diante dos critérios selecionados, foram produzidos os dados e resultados que serão apresentados nas tabelas do próximo item, todas com as performances de cada alternativa.

## 5.7 ANÁLISE DA EDIFICAÇÃO DE CATEGORIA 1

O estudo de caso da edificação de CATEGORIA 1 (a edificação a ser reformada) foi composto pela análise das medidas de redução e das incrementais. Para tanto, os dados dos itens 5.3, 5.4 e 5.5 foram utilizados e cada uma das medidas foi examinada separadamente. Ao final, todas foram unidas e se consolidaram nas alternativas.

### 5.6.1. Detalhamento das alternativas geradas com as medidas de redução de conservação de água

As análises das medidas de redução, através da viabilidade econômica, geraram sete opções com seus respectivos períodos de retorno, conforme é mostrado na Tabela 5.11. Algumas medidas não tiveram um tempo de retorno passível de ser determinado matematicamente pois não demonstraram sua viabilidade econômica (receitas inferiores às despesas) e com isso foram eliminadas. Tal fato ocorreu devido ao baixo fluxo de caixa mensal. Entre as medidas mais rentáveis, os economizadores foram exigidos em todas as alternativas da Classe 1, gerando uma economia no consumo de 20%.

*Tabela 5.11- Medidas de redução de consumo de água da categoria 1*

| <b>Opção</b>   | <b>Tempo de Retorno<br/>(meses)</b> | <b>Custo<br/>(R\$)</b> |
|--|-------------------------------------|------------------------|
| Economizador   | 50                                  | 49.578,20              |
| Medição individual + economizador                      | Indeterminado                       | 169.578,20             |
| Redutor de pressão                                     | Indeterminado                       | 206.400,00             |
| Economizador + Redutor de pressão                      | Indeterminado                       | 255.978,20             |
| Economizador + Redutor de pressão + Medição individual | Indeterminado                       | 375.978,20             |
| Medição individual                                     | Indeterminado                       | 120.000,00             |
| Medição individual + redutor de pressão                | Indeterminado                       | 326.400,00             |

LEGENDA- O valor indeterminado significa que as despesas superaram as receitas, não havendo recuperação do patrimônio inicial.

### 5.6.2. Resultado do rol das alternativas geradas

Diante dos resultados das medidas de redução, o qual elegeu o economizador, e das triagens realizadas junto as alternativas, obteve-se a informação sistematizada apresentada na Tabela 5.12 com as alternativas selecionadas.

*Tabela 5.12- Resumo das alternativas finais da categoria 1*

| ALTERNATIVA               | A1  | A2  | A3                 | A4                       | A5                       | A6                       | A7                       | A8    |
|---------------------------|-----|-----|--------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|-------|
| <b>MEDIDA DE REDUÇÃO</b>  | não | eco | eco                | eco                      | eco<br>(menos obra)      | eco                      | eco                      | eco   |
| <b>MEDIDA INCREMENTAL</b> | não | não | reúso              | reúso                    | reúso                    | reúso                    | reúso + chuva            | chuva |
| <b>FONTE</b>              |     |     | tanque + lavatório | tanque + lavatório       | mlr + tanque             | mlr                      | tanque + lavatório       |       |
| <b>DEMANDA</b>            |     |     | bacia + limpeza    | bacia + limpeza + jardim | bacia |

Legenda: ECO- emprego de dispositivos economizadores de água; MLR- uso da água da máquina de lavar roupa; TANQUE- uso da água oriunda do tanque; LAVATÓRIO- uso de água proveniente do lavatório dos banheiros; BACIA- utilização de água nas bacias sanitárias; LIMPEZA- utilização de água para limpeza em áreas comuns; JARDIM- utilização de água para irrigação dos jardins; CHUVA- utilização de sistema de captação de água da chuva; REÚSO- utilização de sistema de reúso de água cinza;

Diante do exposto nos itens 5.4 (reúso de água) e 5.5 (uso de água pluvial), relativo às medidas incrementais, produziu-se a Tabela 5.13, com os dados referentes a cada alternativa possível na CATEGORIA 1.

Nessa tabela, o VPL foi calculado através da soma dos fluxos de caixa atualizados para o valor atual (presente) através da SELIC, subtraídos do investimento inicial, e está expresso na

equação 5.5. Esses fluxos de caixas foram contabilizados como sendo os custos mensais de manutenção das medidas de redução, gasto com energia e com a operação do sistema, e com as receitas provenientes da economia na fatura de água.

$$VPL = \left( \sum_{i=1}^{20} \frac{(economia\ na\ fatura - manuten\c{c}\tilde{a}o - opera\c{c}\tilde{a}o - energia)_t}{(1 + SELIC)^t} \right) - investimento \quad (5.5)$$

O custo de implantação foi obtido através da soma dos custos referentes a construção de reservatório, instalação do sistema de tratamento, da reforma dos apartamentos e da implantação das medidas de redução. Já o custo de operação foi obtido através da soma dos gastos para manutenção das medidas de redução e da operação do sistema de tratamento.

O tempo de retorno foi calculado através da equação 5.5, tendo como valor de VPL zero; ou seja, o tempo no qual o retorno do capital investido seria igual ao montante lucrado. Esse tempo nem sempre é determinável visto que os juros podem ter uma curva de crescimento maior do que o lucro. Assim, considerou-se utilizar uma adequação matemática, exibida na equação 5.6. A princípio, espera-se que esse artifício apenas seja utilizado na categoria 1 pois os investimentos são mais altos que na categoria 2.

$$TRf = e^{2t/(t+2)}, \text{ onde } t \text{ é o tempo de retorno inicial} \quad 5.6$$

Os parâmetros de qualidade de água (DBO, SST e CF) foram obtidos da bibliografia e tiveram suas concentrações calculadas com base em médias ponderadas quando houve misturas de águas de fontes diferentes ou de medidas incrementais diferentes.

O volume de água reduzido do consumo final foi calculado através da soma da economia das medidas de redução e das medidas incrementais. O primeiro teve como parâmetro as estimativas percentuais de redução de água disponíveis na bibliografia, já o segundo, a conservação do volume de água produzido e o consumido pelos aparelhos em questão, conforme cada caso.

O volume de água complementar foi obtido através da diferença da disponibilidade do sistema incremental considerando uso exclusivo para aqueles aparelhos e a necessidade de consumo. Essa diferença seria suprida pela concessionária através da mistura das águas de forma segura. Em alguns casos não houve necessidade de água complementar.

O volume de água desperdiçada foi calculado através da capacidade de produção de água dos equipamentos do sistema incremental subtraída da demanda dos aparelhos em questão. Em alguns casos não houve desperdício.

A quantidade de lodo produzido para o sistema de reúso com águas cinzas foi considerado através do parâmetro fornecido pelo fabricante e para o aproveitamento de água da chuva foi considerado o valor de SST da referência bibliográfica.

O risco à saúde foi determinado através da fórmula de Beta-Poisson sobre a possibilidade de ingestão de água contaminada tendo como parâmetro os limites da EPA. Esses cálculos estão disponíveis no Apêndice G.

O risco anual de falta de água de reúso foi estabelecido através do percentual do número de meses do ano que o sistema estaria com volume abaixo do necessário.

A área ocupada e o consumo de energia tiveram seus graus atribuídos de acordo com as especificações técnicas citadas nos catálogos dos fabricantes. A interferência ao morador foi arbitrada em função da quantidade de obras e tempo de permanência no interior das áreas privativas.

A complexidade do sistema teve suas notas inferidas com base na referência bibliográfica, especificações de fabricantes e experiência do autor quanto a dificuldade de instalação e operação dos equipamentos e seus acessórios.

Existem diversos valores nulos na Tabela 5.13 devido a existência de alternativas que não possuíam aquele critério, tal como coliformes fecais na alternativa 01 – apenas instalação de economizadores, ou para critérios que existem na alternativa, mas que não obtiveram valor, tal como a água desperdiçada na alternativa 04, onde o sistema não é capaz de suprir a demanda, necessitando de complementação.

*Tabela 5.13- Matriz “payoff” da categoria 1*

| <b>CRITÉRIOS</b>                                     | <b>A1</b>   | <b>A2</b> | <b>A3</b>     | <b>A4</b>     | <b>A5</b>  | <b>A6</b>    | <b>A7</b>    | <b>A8</b>    |
|--|-------------|-----------|---------------|---------------|------------|--------------|--------------|--------------|
| <b>VPL (R\$)</b>                                     | -348.608,96 | -0,50     | -3.673.936,90 | -3.688.869,41 | -0,17      | -0,01        | -0,01        | -0,01        |
| <b>Custo de implantação (R\$)</b>                    | 0,00        | 48.566,40 | 4.179.097,76  | 4.179.097,76  | 162.739,61 | 4.179.097,76 | 4.302.914,56 | 4.270.414,56 |
| <b>Custo de operação (R\$)</b>                       | 1.644,00    | 28,72     | 1.415,23      | 1.415,23      | 1.415,23   | 1.415,23     | 1.835,16     | 448,64       |
| <b>TR</b>  | 1           | 6,47      | 7,39          | 7,39          | 7,18       | 7,39         | 7,39         | 7,39         |
| <b>DBO (mg/L)</b>                                    | 0           | 0         | 392           | 392           | 607        | 624          | 224          | 7            |
| <b>SST (mg/L)</b>                                    | 0           | 0         | 187           | 187           | 210        | 206          | 130          | 56           |
| <b>CF (NMP/100 mL)</b>                               | 0           | 0         | 2.230         | 2.230         | 11.422     | 16.000       | 1.267        | 35           |
| <b>Volume de água a ser reduzido do consumo (m³)</b> | 0           | 174       | 335           | 326           | 344        | 344          | 344          | 283          |
| <b>Volume de água complementar (m³)</b>              | 170         | 0         | 0             | 9             | 0          | 0            | 0            | 37           |
| <b>Volume de água desperdiçado (m³)</b>              | 348         | 0         | 0             | 0             | 97,9       | 16           | 65           | 17           |
| <b>Lodo (kg/ano)</b>                                 | 0           | 0         | 580           | 580           | 612        | 612          | 333          | 65           |
| <b>Risco a saúde</b>                                 | 7,39        | 7,39      | 6,74          | 6,74          | 3,79       | 4,17         | 7,01         | 7,37         |
| <b>Risco anual da falta de água (%)</b>              | 0           | 0         | 0             | 6             | 0          | 0            | 0            | 39           |
| <b>Interferência ao morador</b>                      | 0           | 3         | 9             | 9             | 5          | 7            | 10           | 1            |
| <b>Consumo de energia (kWh)</b>                      | 0           | 0         | 4             | 4             | 4          | 4            | 6            | 2            |
| <b>Área ocupada (m²)</b>                             | 0           | 0         | 6             | 6             | 6          | 6            | 7            | 1            |
| <b>Complexidade de instalação</b>                    | 0           | 1         | 8             | 8             | 9          | 9            | 10           | 4            |

## 5.8 ANÁLISE DA EDIFICAÇÃO DE CATEGORIA 2

O estudo de caso da edificação de CATEGORIA 2 (relativo à edificação a ser construída) foi composto de todas as medidas de redução e mais algumas incrementais, de acordo com a viabilidade, conforme abordado nos itens 5.4 (reúso de água) e 5.5 (aproveitamento da água de chuva). Para tanto, cada medida foi examinada juntamente com os dados anteriores e ao final, as alternativas foram geradas.

Conforme citado na metodologia, o tempo de retorno utilizado nessa categoria não produziu valores indeterminados, portanto foram calculados com a equação inicial e não a com a adequação matemática.

### 5.7.1. Medidas de redução da CATEGORIA 2

Na edificação de CATEGORIA 2, foram consideradas todas as medidas de redução, conforme exposto em 4.4. Nesse caso, foi considerado que as obras hidráulicas atenderiam cada apartamento com um único ramal, não sendo necessárias diversas prumadas (ramais verticais de alimentação) por apartamento. Os resultados estão na Tabela 5.14.

*Tabela 5.14- Medidas de redução de consumo de água da categoria 2*

| <b>Opção</b>  | <b>Tempo de retorno (meses)</b> | <b>Custo (R\$)</b> |
|---|---------------------------------|--------------------|
| <b>Medição individual</b>                                     | 19                              | 24.000,00          |
| <b>Redutor de pressão</b>                                     | 24                              | 41.280,00          |
| <b>Medição individual + redutor de pressão</b>                | 26                              | 65.280,00          |
| <b>Economizador + Redutor de pressão + Medição individual</b> | 34                              | 114.858,20         |
| <b>Medição individual + economizador</b>                      | 38                              | 73.578,20          |
| <b>Economizador + Redutor de pressão</b>                      | 40                              | 90.858,00          |
| <b>Economizador</b>   | 50                              | 49.578,20          |

Numa construção nova, os economizadores deveriam ser analisados sob um aspecto singular. Afinal, num edifício a ser reformado, já existe um aparelho que precisou ser substituído,

onerando a implantação dos sistemas. Na construção de um edifício, todos os aparelhos serão adquiridos. Esse fato leva à possibilidade da aquisição de aparelhos que atendam ao padrão de economicidade hídrica. Considerando a competição entre fabricantes, existe uma tendência de que os novos aparelhos já sejam econômicos, não havendo sobrecusto na obra. Portanto, este trabalho considerou que os custos devidos a estes aparelhos foram nulos para o caso da construção.

Outro aspecto cabe a exigência legal da implantação de medição individual em construções novas. Da mesma forma, esse custo também não foi computado. Com isso, foi possível reescrever a Tabela 5.14 produzindo a Tabela 5.15 com as alterações comentadas.

*Tabela 5.15- Medidas de redução de consumo de água da categoria 2 com reduções financeiras*

| <b>Opção</b>  | <b>Tempo de retorno (meses)</b> | <b>Custo (R\$)</b> |
|---|---------------------------------|--------------------|
| <b>Economizador</b>   | 0                               | 0                  |
| <b>Medição individual + economizador</b>                      | 0                               | 0                  |
| <b>Medição individual</b>                                     | 0                               | 0                  |
| <b>Economizador + Redutor de pressão + Medição individual</b> | 11                              | 41.280,00          |
| <b>Economizador + Redutor de pressão</b>                      | 16                              | 41.280,00          |
| <b>Medição individual + redutor de pressão</b>                | 16                              | 41.280,00          |
| <b>Redutor de pressão</b>                                     | 24                              | 41.280,00          |

Diante do resultado econômico mostrado na Tabela 5.15 adotou-se a opção de utilizar a medição individualizada em conjunto com economizadores como forma de redução de consumo. O acréscimo dos redutores de pressão, além de aumentar o tempo de retorno em poucos meses, proporciona o aumento da vida útil da instalação devido ao trabalho com menores pressões. Assim, além de utilizar as três medidas por questões legais, conforme item 4.4, demonstrou-se a viabilidade das mesmas numa construção.

### 5.7.2. Resultado do rol das alternativas geradas

Diante dos resultados das medidas de redução, nas quais foram consideradas todas as medidas, e das triagens realizadas junto as alternativas de fonte e demanda de água, obteve-se a Tabela 5.12 com as alternativas de conservação de água selecionadas. Tais opções são idênticas as do edifício CATEGORIA 1 visando estabelecer o mesmo referencial nos dois estudos de caso.

*Tabela 5.16- Resumo das alternativas finais da categoria 2*

| ALTERNATIVA               | A1  | A2  | A3                       | A4                                   | A5                                   | A6                                   | A7                                   | A8    |
|---------------------------|-----|-----|--------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|--------------------------------------|-------|
| <b>MEDIDA DE REDUÇÃO</b>  | não | eco | eco                      | eco                                  | eco<br>(menos obra)                  | eco                                  | eco                                  | eco   |
| <b>MEDIDA INCREMENTAL</b> | não | não | reúso                    | reúso                                | reúso                                | reúso                                | reúso<br>+<br>chuva                  | chuva |
| <b>FONTE</b>              |     |     | tanque<br>+<br>lavatório | tanque<br>+<br>lavatório             | mlr<br>+<br>tanque                   | mlr                                  | tanque<br>+<br>lavatório             |       |
| <b>DEMANDA</b>            |     |     | bacia<br>+<br>limpeza    | bacia<br>+<br>limpeza<br>+<br>jardim | bacia<br>+<br>limpeza<br>+<br>jardim | bacia<br>+<br>limpeza<br>+<br>jardim | bacia<br>+<br>limpeza<br>+<br>jardim | bacia |

Legenda: ECO- emprego de dispositivos economizadores de água; MLR- uso da água da máquina de lavar roupa; TANQUE- uso da água oriunda do tanque; LAVATÓRIO- uso de água proveniente do lavatório dos banheiros; BACIA- utilização de água nas bacias sanitárias; LIMPEZA- utilização de água para limpeza em áreas comuns; JARDIM- utilização de água para irrigação dos jardins; CHUVA- utilização de sistema de captação de água da chuva; REÚSO- utilização de sistema de reúso de água cinza;

Diante do exposto nos itens 5.4 (reúso e água) e 5.5 (uso de água pluvial), relativo as medidas incrementais, produziu-se a Tabela 5.17, com os dados referentes a cada alternativa possível na CATEGORIA 2.

As metodologias de operação e cálculo das linhas da referida tabela são similares aos da CATEGORIA 1. Apenas os valores referentes ao VPL, custo de implantação, custo de operação e tempo de retorno diferem da CATEGORIA 1.

*Tabela 5.17- Matriz “payoff” da categoria 2*

| <b>CRITÉRIOS</b>                                     | <b>A1</b>   | <b>A2</b>  | <b>A3</b>  | <b>A4</b>  | <b>A5</b> | <b>A6</b> | <b>A7</b> | <b>A8</b> |
|--|-------------|------------|------------|------------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| <b>VPL (R\$)</b>                                     | -348.608,96 | 679.676,02 | 632.912,14 | 623.261,78 | -1,18     | -1,18     | -0,79     | -5,03     |
| <b>Custo de implantação (R\$)</b>                    | 0,00        | 0,00       | 32.500,00  | 32.500,00  | 32.500,00 | 32.500,00 | 41.965,00 | 9.465,00  |
| <b>Custo de operação (R\$)</b>                       | 1.644,00    | 94,52      | 1.481,03   | 1.481,03   | 1.481,03  | 1.481,03  | 1.900,96  | 514,44    |
| <b>TR</b>  | 0,00        | 0,00       | 11,06      | 11,24      | 10,88     | 10,88     | 16,68     | 2,43      |
| <b>DBO (mg/L)</b>                                    | 0           | 0          | 392        | 392        | 607       | 624       | 224       | 7         |
| <b>SST (mg/L)</b>                                    | 0           | 0          | 187        | 187        | 210       | 206       | 130       | 56        |
| <b>CF (NMP/100 mL)</b>                               | 0           | 0          | 2.230      | 2.230      | 11.422    | 16.000    | 1.267     | 35        |
| <b>Volume de água a ser reduzido do consumo (m³)</b> | 0           | 330        | 491        | 482        | 500       | 500       | 500       | 439       |
| <b>Volume de água complementar (m³)</b>              | 170         | 0          | 0          | 9          | 0         | 0         | 0         | 37        |
| <b>Volume de água desperdiçado (m³)</b>              | 348         | 0          | 0          | 0          | 97,9      | 16        | 65        | 17        |
| <b>Lodo (kg/ano)</b>                                 | 0           | 0          | 580        | 580        | 612       | 612       | 333       | 65        |
| <b>Risco a saúde</b>                                 | 7,39        | 7,39       | 6,74       | 6,74       | 3,79      | 4,17      | 7,01      | 7,37      |
| <b>Risco anual da falta de água (%)</b>              | 0           | 0          | 0          | 6          | 0         | 0         | 0         | 39        |
| <b>Interferência ao morador</b>                      | 0           | 3          | 9          | 9          | 5         | 7         | 10        | 1         |
| <b>Consumo de energia (kWh)</b>                      | 0           | 0          | 4          | 4          | 4         | 4         | 6         | 2         |
| <b>Área ocupada (m²)</b>                             | 0           | 0          | 6          | 6          | 6         | 6         | 7         | 1         |
| <b>Complexidade de instalação</b>                    | 0           | 1          | 8          | 8          | 9         | 9         | 10        | 4         |

## **5.9 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS DE ANÁLISE MULTIOBJETIVO E MULTICRITÉRIO**

Ao rol das alternativas (“payoff matrix”) de cada categoria foi aplicado aos métodos multiobjetivo e multicritério TOPSIS e ELECTRE III juntamente com os pesos obtidos através do painel de especialistas e gestores. Assim foi possível hierarquizar as alternativas de cada categoria, conforme é mostrado a seguir.

### **5.9.1. Edificação de CATEGORIA 1 (a ser reformado)**

Para a definição de limiares para utilização no método ELECTRE III foram definidos os valores da Tabela 5.18 com base na metodologia e intervalo dos valores de cada critério. Houve valores que extrapolaram a faixa de dados existente na matriz “payoff”, por exemplo custo de operação (com valor máximo de R\$1835 e mínimo de R\$28; e q inicial de 300, p de 900 e v de 6300), com isso os coeficientes betas foram adequados individualmente de forma a distribuir os dados nos intervalos (p, q e v). Para isso, se considerou apenas a ordem de grandeza dos números sem importar-se com suas diferenças.

*Tabela 5.18- Coeficientes do método ELECTRE III da categoria 1*

| Critério de julgamento                   | $\beta$ |        |         |
|--|---------|--------|---------|
|  | q       | p      | v       |
| <b>ECONÔMICO</b>                         |         |        |         |
| VPL                                      | 10.000  | 30.000 | 210.000 |
| Custo de implantação                     | 10.000  | 30.000 | 210.000 |
| Custo de operação                        | 300     | 800    | 1.000   |
| Tempo de retorno                         | 0,10    | 0,20   | 1,00    |
| <b>QUALIDADE DE ÁGUA</b>                 |         |        |         |
| DBO                                      | 10      | 100    | 300     |
| SST                                      | 50      | 100    | 150     |
| CF                                       | 250     | 750    | 5.250   |
| <b>AMBIENTAL</b>                         |         |        |         |
| Volume de água reduzido do consumo final | 50      | 150    | 1.050   |
| Volume de água complementar              | 50      | 150    | 1.050   |
| Volume de água desperdiçado              | 50      | 150    | 1.050   |
| Quantidade de lodo                       | 40      | 100    | 400     |
| <b>SOCIAL</b>                            |         |        |         |
| Risco a saúde                            | 0.2     | 0.3    | 1.00    |
| Risco anual de falta de água             | 3       | 9      | 36      |
| Interferência ao morador                 | 2       | 6      | 9       |
| <b>TÉCNICO</b>                           |         |        |         |
| Consumo de energia                       | 50      | 150    | 1.050   |
| Área ocupada pelo sistema                | 15      | 45     | 315     |
| Complexidade do sistema                  | 2       | 6      | 9       |

Após aplicação da matriz “payoff” e dos pesos no programa para o método TOPSIS, obteve-se os resultados apresentados na Tabela 5.19. Dela foi possível notar que as ALTERNATIVAS 1, 5 e 6 mantêm suas posições independente do parâmetro, demonstrando sua estabilidade. Dentre as alternativas restantes, a maioria se intercala, sendo necessário a adoção de parâmetros da lógica matemática.

Tabela 5.19- Resultado do método TOPSIS para categoria 1

|           | p=1  |       | p=2  |       | p=∞  |       | RESULTADO |
|-----------|------|-------|------|-------|------|-------|-----------|
|           | Ck   | ORDEM | Ck   | ORDEM | Ck   | ORDEM | ORDEM     |
| <b>A1</b> | 0,78 | 2     | 0,67 | 2     | 0,54 | 3     | 2         |
| <b>A2</b> | 0,91 | 1     | 0,81 | 1     | 0,65 | 1     | 1         |
| <b>A3</b> | 0,44 | 5     | 0,47 | 4     | 0,51 | 4     | 5         |
| <b>A4</b> | 0,43 | 6     | 0,47 | 5     | 0,51 | 4     | 6         |
| <b>A5</b> | 0,41 | 7     | 0,43 | 6     | 0,47 | 6     | 7         |
| <b>A6</b> | 0,34 | 8     | 0,39 | 7     | 0,46 | 7     | 8         |
| <b>A7</b> | 0,48 | 4     | 0,65 | 3     | 0,51 | 5     | 4         |
| <b>A8</b> | 0,71 | 3     | 0,65 | 3     | 0,55 | 2     | 3         |

LEGENDA: Ck-coeficiente de similaridade. Quanto mais próximo de 1 melhor será a alternativa. P- expoente relativo ao tipo de distância utilizada no método

Na aplicação do método ELECTRE III, através do programa LAMSADE, obteve-se a matriz de concordância da Figura 5.3 utilizando o limiar do veto.

|       | A0001                | A0002                | A0003                | A0004    | A0005                | A0006    | A0007                | A0008                |
|-------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------------------|----------|----------------------|----------------------|
| A0001 | <b>I</b>             | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>P</b>             | <b>P</b> | <b>R</b>             | <b>P</b> | <b>R</b>             | <b>R</b>             |
| A0002 | <b>P</b>             | <b>I</b>             | <b>P</b>             | <b>P</b> | <b>P</b>             | <b>P</b> | <b>P</b>             | <b>P</b>             |
| A0003 | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>I</b>             | <b>P</b> | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>P</b> | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>P<sup>-</sup></b> |
| A0004 | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>I</b> | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>I</b> | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>P<sup>-</sup></b> |
| A0005 | <b>R</b>             | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>P</b>             | <b>P</b> | <b>I</b>             | <b>P</b> | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>I</b>             |
| A0006 | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>I</b> | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>I</b> | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>P<sup>-</sup></b> |
| A0007 | <b>R</b>             | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>P</b>             | <b>P</b> | <b>P</b>             | <b>P</b> | <b>I</b>             | <b>P</b>             |
| A0008 | <b>R</b>             | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>P</b>             | <b>P</b> | <b>I</b>             | <b>P</b> | <b>P<sup>-</sup></b> | <b>I</b>             |

Figura 5.3- Fac-símile dos resultados com o método ELECTRE III da categoria 1

Fonte: software LAMSADE

LEGENDA: Significados no texto a seguir

As letras em questão da Figura 5.3 tem como referência o tradicional método de classificação do ELECTRE. Então, supondo-se duas alternativas “a” e “b”, as letras representam:

- “I” que a alternativa “a” é indiferente a “b” ou vice-versa (existem razões claras que justificam as equivalências entra as duas opções);
- “P” que “a” é estritamente preferível a “b” (existem razões claras que justificam a preferência por uma das opções);

- “P-” que “a” é fracamente preferível a “b” (existem razões claras que justificam a preferência de uma das opções, contudo são insuficientes para presumir a preferência estrita e a indiferença entre elas);
- “R” que “a” é incomparável a “b” e vice-versa (nenhuma das três situações acima pôde ser determinada).

As ordenações das alternativas com e sem veto foram explicitadas na Tabela 5.20. As ALTERNATIVAS 1, 2 e 3 mostraram-se bastante estáveis mantendo a mesma posição durante dois ordenamentos diferentes.

*Tabela 5.20- Ordenação pelo método ELECTRE III da categoria 1*

|           | ELECTRE III | ELECTRE III | RESULTADO |
|-----------|-------------|-------------|-----------|
|           | Sem veto    | Com veto    |           |
| <b>A1</b> | 2           | 2           | 2         |
| <b>A2</b> | 1           | 1           | 1         |
| <b>A3</b> | 4           | 4           | 5         |
| <b>A4</b> | 4           | 5           | 5         |
| <b>A5</b> | 4           | 3           | 4         |
| <b>A6</b> | 5           | 5           | 6         |
| <b>A7</b> | 3           | 2           | 3         |
| <b>A8</b> | 2           | 3           | 3         |

Após análises isoladas das tabelas referentes aos resultados dos dois métodos, pôde-se realizar a análise global, produzindo-se a Tabela 5.21. Dela extraiu-se que a ALTERNATIVA 02 foi a primeira colocada sem quaisquer contestações. As outras classificações foram realizadas através da lógica matemática expressa na metodologia.

*Tabela 5.21- Resultados da categoria 1*

|           | TOPSIS |     |     | ELECTRE III      |          |          | FINAL             |                 |
|-----------|--------|-----|-----|------------------|----------|----------|-------------------|-----------------|
|           | p=1    | p=2 | p=∞ | RESULTADO TOPSIS | Sem veto | Com veto | RESULTADO ELECTRE | RESULTADO FINAL |
| <b>A1</b> | 2      | 2   | 3   | 2                | 2        | 2        | 2                 | 2               |
| <b>A2</b> | 1      | 1   | 1   | 1                | 1        | 1        | 1                 | 1               |
| <b>A3</b> | 4      | 5   | 4   | 5                | 4        | 4        | 5                 | 5               |
| <b>A4</b> | 5      | 6   | 4   | 6                | 4        | 5        | 5                 | 6               |
| <b>A5</b> | 6      | 7   | 6   | 7                | 4        | 3        | 4                 | 6               |
| <b>A6</b> | 7      | 8   | 7   | 8                | 5        | 5        | 6                 | 7               |
| <b>A7</b> | 3      | 3   | 5   | 4                | 3        | 2        | 3                 | 4               |
| <b>A8</b> | 3      | 3   | 2   | 3                | 2        | 3        | 3                 | 3               |

Diante desse cenário notou-se que a ALTERNATIVA 02 (uso apenas de economizadores) foi destaque positivo em todas as cinco aplicações dos métodos, mostrando sua robustez e performance. Tal fato ratifica os princípios de conservação de água propostos por WUCB (1999) no que tange a redução do consumo, há quase 20 anos. Cabe ressaltar que esta alternativa está embutida nas outras, sendo, portanto, apenas referência.

Na segunda posição teve-se a ALTERNATIVA 01 (não tomar qualquer atitude). Seu destaque foi devido ao uso de apenas água potável para todas as atividades, o que lhe conferiu boas notas no subobjetivo de qualidade de água e no critério risco a saúde, mascarando a priorização do uso racional de água, podendo gerar a interpretação do uso inadequado e desordenado como satisfatório. Cabe ressaltar que esta alternativa não faz parte do rol de alternativas de uso racional e sim como uma testemunha e serve para demonstrar que há algo errado no pensamento da sociedade e incentivos governamentais e precisa ser modificado para alavancar as medidas de conservação de água.

Na terceira posição teve-se a ALTERNATIVA 08 (utilizar a água da chuva nas bacias sanitárias). A água da chuva apresenta como aspecto positivo a qualidade da água, a baixa quantidade de lodo produzido e a simplicidade do processo de tratamento da água. Já sua desvantagem foi a necessidade de complementação de água devido à falta de chuvas suficientes. Diante disso e ao forte peso para o subobjetivo de qualidade da água e ambiental, essa alternativa obteve tal posição de destaque.

Na quarta posição surgiu a ALTERNATIVA 07 (água da chuva e reúso de fonte do tanque e do lavatório e demanda das bacias, limpeza predial e jardins). Ela possui dados econômicos similares a ALTERNATIVA 08, contudo, sua qualidade de água é inferior e possui autonomia para manter o sistema durante o ano todo.

Na quinta posição surgiu a ALTERNATIVA 03 (reúso com fonte do tanque e lavatório com demanda das bacias e limpeza predial). Apresenta desempenho econômico ruim e alta interferência aos moradores, por isso sua classificação.

Na sexta posição surgem empatadas a ALTERNATIVA 04 (reúso com fonte do tanque e do lavatório e demanda nas bacias, limpeza predial e jardins) e a ALTERNATIVA 05 (reúso com fonte da máquina de lavar roupa e tanque com demanda das bacias, limpeza predial e jardins realizando poucas obras). Possuem subobjetivo econômico e de qualidade de água distintas, sendo que no compute geral, esses aspectos se equivalem produzindo seu empate. Contudo, isoladamente resultaram em sua má classificação.

A última posição foi ocupada pela a ALTERNATIVA 06 (reúso com fonte da máquina de lavar roupa com demanda das bacias, limpeza predial e jardins). Tal fato ratifica o comentário dos pesos, no que tange a alta importância relativa do subobjetivo qualidade de água.

### **5.9.2. Edificação de CATEGORIA 2 (a ser construído)**

Para a definição de limiares para utilização no método ELECTRE III foram definidos os valores com base na metodologia e intervalo dos valores de cada critério de forma similar ao feito para CATEGORIA 1. Contudo, houve valores que se diferenciaram da Tabela 5.18 da CATEGORIA 1, tal como custo de implantação e tempo de retorno. Essa variação ocorreu em função da mudança da faixa de valores desses parâmetros tais como demonstra a Tabela 5.22.

Tabela 5.22- Variação dos parâmetros do ELECTRE III entre as categorias

|                                       | CATEGORIA 1 |        |           | CATEGORIA 2 |        |        |
|---------------------------------------|-------------|--------|-----------|-------------|--------|--------|
|                                       | MÁXIMO      | MÍNIMO | MÉDIA     | MÁXIMO      | MÍNIMO | MÉDIA  |
| <b>CUSTO DE IMPLANTAÇÃO (R\$)</b>     | 4.302.915   | 0      | 2.665.241 | 41.965      | 0      | 22.678 |
| <b>TEMPO DE RETORNO (meses)</b>       | 143         | 0      | 57        | 16          | 0      | 7      |
| <b>TEMPO DE RETORNO COM ADEQUAÇÃO</b> | 7,39        | 1      | 6,45      | ---         | ---    | --     |

Após essa diferenciação nos parâmetros, obteve-se a tabela de parâmetros para CATEGORIA 2 conforme Tabela 5.23.

Tabela 5.23- Coeficientes ELECTRE III da categoria 2

| Critério de julgamento                   | $\beta$ |        |         |
|--|---------|--------|---------|
|  | q       | p      | v       |
| <b>ECONÔMICO</b>                         |         |        |         |
| VPL                                      | 10.000  | 30.000 | 210.000 |
| Custo de implantação                     | 5.000   | 15.000 | 30.000  |
| Custo de operação                        | 300     | 800    | 1.000   |
| Tempo de retorno                         | 5       | 10     | 15      |
| <b>QUALIDADE DE ÁGUA</b>                 |         |        |         |
| DBO                                      | 10      | 100    | 300     |
| SST                                      | 50      | 100    | 150     |
| CF                                       | 250     | 750    | 5.250   |
| <b>AMBIENTAL</b>                         |         |        |         |
| Volume de água reduzido do consumo final | 50      | 150    | 1.050   |
| Volume de água complementar              | 50      | 150    | 1.050   |
| Volume de água desperdiçado              | 50      | 150    | 1.050   |
| Quantidade de lodo                       | 40      | 100    | 400     |
| <b>SOCIAL</b>                            |         |        |         |
| Risco a saúde                            | 0.2     | 0.3    | 1.00    |
| Risco anual de falta de água             | 3       | 9      | 36      |
| Interferência ao morador                 | 2       | 6      | 9       |
| <b>TÉCNICO</b>                           |         |        |         |
| Consumo de energia                       | 50      | 150    | 1.050   |
| Área ocupada pelo sistema                | 15      | 45     | 315     |
| Complexidade do sistema                  | 2       | 6      | 9       |

Seguindo o mesmo procedimento da CATEGORIA 1, aplicou-se os pesos obtidos através do painel de especialistas e gestores à matriz “payoff” no método TOPSIS, conforme Tabela 5.24

*Tabela 5.24- Resultado do método TOPSIS para CATEGORIA 2*

|           | <b>p=1</b> |       | <b>p=2</b> |       | <b>p=∞</b> |       | <b>RESULTADO</b> |
|-----------|------------|-------|------------|-------|------------|-------|------------------|
|           | Ck         | ORDEM | Ck         | ORDEM | Ck         | ORDEM | ORDEM            |
| <b>A1</b> | 0,75       | 3     | 0,65       | 3     | 0,54       | 3     | 3                |
| <b>A2</b> | 0,95       | 1     | 0,87       | 1     | 0,70       | 1     | 1                |
| <b>A3</b> | 0,51       | 4     | 0,51       | 4     | 0,51       | 4     | 5                |
| <b>A4</b> | 0,50       | 5     | 0,50       | 5     | 0,51       | 4     | 6                |
| <b>A5</b> | 0,35       | 7     | 0,39       | 6     | 0,47       | 6     | 7                |
| <b>A6</b> | 0,34       | 8     | 0,39       | 7     | 0,46       | 7     | 8                |
| <b>A7</b> | 0,45       | 6     | 0,71       | 2     | 0,51       | 5     | 4                |
| <b>A8</b> | 0,77       | 2     | 0,71       | 2     | 0,55       | 2     | 2                |

LEGENDA: Ck-coeficiente de similaridade. Quanto mais próximo de 1 melhor será a alternativa. P- expoente relativo ao tipo de distância utilizada no método

Na aplicação do método ELECTRE III, através do programa LAMSADE, obteve-se a matriz de concordância Figura 5.4 utilizando o limiar do veto.

|       | A0001    | A0002    | A0003    | A0004    | A0005    | A0006    | A0007    | A0008    |
|-------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| A0001 | <b>I</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>I</b> |
| A0002 | <b>P</b> | <b>I</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> |
| A0003 | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>I</b> | <b>I</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>I</b> | <b>P</b> |
| A0004 | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>I</b> | <b>I</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>I</b> | <b>P</b> |
| A0005 | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>I</b> | <b>I</b> | <b>P</b> | <b>P</b> |
| A0006 | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>I</b> | <b>I</b> | <b>P</b> | <b>P</b> |
| A0007 | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>I</b> | <b>I</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>I</b> | <b>P</b> |
| A0008 | <b>I</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>P</b> | <b>I</b> |

*Figura 5.4- Fac-símile dos resultados com o método ELECTRE III da categoria 2*

Fonte: software LAMSADE

LEGENDA: Idem Figura 5.3

As ordenações das alternativas com e sem veto foram explicitadas na

Tabela 5.25. Apenas as alternativas 1, 2, 5 e 6 mostraram-se bastante estáveis, mantendo a mesma posição durante dois ordenamentos diferentes.

*Tabela 5.25- Ordenação pelo método ELECTRE III da categoria 2*

|           | ELECTRE III | ELECTRE III | RESULTADO |
|-----------|-------------|-------------|-----------|
|           | Sem veto    | Com veto    |           |
| <b>A1</b> | 3           | 3           | 3         |
| <b>A2</b> | 1           | 1           | 1         |
| <b>A3</b> | 4           | 2           | 4         |
| <b>A4</b> | 5           | 2           | 5         |
| <b>A5</b> | 6           | 4           | 6         |
| <b>A6</b> | 6           | 4           | 6         |
| <b>A7</b> | 3           | 2           | 2         |
| <b>A8</b> | 2           | 3           | 2         |

Após análises isoladas das tabelas referentes aos resultados dos dois métodos, pôde-se realizar a análise global, produzindo-se a Tabela 5.26. Dela extraiu-se que a ALTERNATIVA 02 foi a primeira colocada sem quaisquer contestações. As outras classificações foram realizadas através de lógica matemática. Houve uma disputa significativa pela segunda posição mostrando o equilíbrio das alternativas.

*Tabela 5.26- Resultados da CATEGORIA 2*

|           | TOPSIS |     |     | ELECTRE III      |          |          | FINAL             |                 |
|-----------|--------|-----|-----|------------------|----------|----------|-------------------|-----------------|
|           | p=1    | p=2 | p=∞ | RESULTADO TOPSIS | Sem veto | Com veto | RESULTADO ELECTRE | RESULTADO FINAL |
| <b>A1</b> | 3      | 4   | 3   | 3                | 3        | 3        | 3                 | 3               |
| <b>A2</b> | 1      | 1   | 1   | 1                | 1        | 1        | 1                 | 1               |
| <b>A3</b> | 4      | 5   | 4   | 5                | 4        | 2        | 4                 | 5               |
| <b>A4</b> | 5      | 6   | 4   | 6                | 5        | 2        | 5                 | 6               |
| <b>A5</b> | 7      | 7   | 6   | 7                | 6        | 4        | 6                 | 7               |
| <b>A6</b> | 8      | 8   | 7   | 8                | 6        | 4        | 6                 | 8               |
| <b>A7</b> | 6      | 2   | 5   | 4                | 3        | 2        | 2                 | 4               |
| <b>A8</b> | 2      | 2   | 2   | 2                | 2        | 3        | 2                 | 2               |

Do mesmo modo que na categoria 1, a ALTERNATIVA 02 (uso apenas de economizadores) foi destaque positivo em todas as cinco aplicações dos métodos, mostrando sua robustez e performance. Cabe ressaltar que esta alternativa está embutida nas outras, sendo, portanto, apenas referência.

Na segunda posição teve-se a ALTERNATIVA 08 (utilizar a água da chuva nas bacias sanitárias). Ela apresentou a melhor qualidade de água e o menor tempo de retorno.

Na terceira posição teve-se a ALTERNATIVA 01 (não tomar qualquer atitude), que na verdade não faz parte do rol de alternativas de uso racional e sim como uma testemunha. Serve para demonstrar que há algo errado no pensamento da sociedade e incentivos governamentais e precisa ser modificado para alavancar as medidas de conservação de água.

Na quarta posição teve-se a ALTERNATIVA 07 (água da chuva e reúso de fonte do tanque e do lavatório e demanda das bacias, limpeza predial e jardins). Ela apresenta excelente desempenho de qualidade de água, consegue suprir a demanda o ano todo, mas tem o pior tempo de retorno.

Na quinta posição surgiu a ALTERNATIVA 03 (reúso com fonte do tanque e lavatório com demanda das bacias e limpeza predial). Seu destaque ocorre em função de apresentar o segundo melhor valor presente líquido e a terceira melhor qualidade de água.

Na sexta posição surgiu a ALTERNATIVA 04 (reúso com fonte do tanque e do lavatório e demanda nas bacias, limpeza predial e jardins). Sua classificação não satisfatória era esperada visto que a mesma não consegue manter o equilíbrio hídrico e necessita de complementação de água da concessionária para manter o sistema em funcionamento.

A ALTERNATIVA 05 (reúso com fonte da máquina de lavar roupa e tanque com demanda das bacias, limpeza predial e jardins realizando poucas obras) ocupa o sétimo lugar. Sua escolha acaba não sendo justificável numa construção nova devido ao fato de existirem possibilidades de melhor qualidade de água com desempenho econômico mais satisfatório.

A ALTERNATIVA 06 (reúso com fonte da máquina de lavar roupa com demanda das bacias, limpeza predial e jardins), igualmente a categoria 1, ocupou a última posição devido a sua baixa qualidade de água, em particular elevado número de coliformes fecais. Tal fato novamente ratifica o comentário dos pesos, no que tange a alta importância relativa do subobjetivo qualidade de água.

## 6. CONCLUSÃO

Propôs-se nesse trabalho analisar as alternativas de conservação de água em edificações residenciais funcionais no Plano Piloto, em Brasília/DF. Para tanto, foram empregados métodos de análise multiobjetivo e multicritério.

A metodologia para busca de uma edificação residencial modelo mostrou-se adequada para atender ao objetivo pretendido, em virtude da padronização da urbanização do Plano Piloto proposto por Lúcio Costa. Entretanto, torna-se necessário ressaltar que tal modelagem não pode ser expandida a outras localidades, devendo haver um estudo específico para qualquer outra tipologia de edificação.

A estimativa de consumo existente na bibliografia é muito variável, dependendo da localidade, da classe econômica, dos tipos de equipamentos (novos ou antigos), do hábito de uso da água, e da tipologia dos prédios. Portanto, foi utilizado o valor experimental obtido por meio do levantamento do consumo de várias edificações similares ao modelo de edificação adotado. Contudo, para a continuidade da pesquisa, foi considerada a proporção de consumo de água entre os diversos equipamentos existente na bibliografia.

No procedimento adotado para a geração de alternativas de conservação predial de água, procurou-se abranger uma grande variedade de alternativas possíveis, mostrando a variedade de ações e combinações de ações que podem ser tomadas em conservação predial de água. Nesse sentido, foram definidas medidas de redução, com objetivo de diminuição de consumo, e medidas incrementais, com o objetivo de aumentar a disponibilidade de água através de geração de novos volumes.

Para as edificações da categoria 1, foi calculado o tempo de retorno das medidas de redução e utilizada apenas a de melhor desempenho econômico juntamente com as combinações das medidas incrementais. Para a categoria 2, foram utilizadas todas as medidas de redução em conjunto juntamente com as medidas incrementais. Cada medida incremental desdobrou-se em alguns casos, dependendo das fontes e demandas de cada alternativa.

Para proporcionar a aplicação mais precisa da metodologia de análise adotada, foi aplicado um questionário em duas fases junto a especialistas e gestores da área e foi obtida a concordância da existência de cada critério a ser considerado na análise e seus respectivos pesos. O método

de validação dos resultados dessa consulta pôde ser considerado correto, pois não houve nenhum “outlier” na amostra nas duas fases do procedimento, mantendo-se o padrão de respostas. Entretanto, torna-se necessário ressaltar que houve baixa proporção de respostas frente ao número de convites enviados (42,9%).

Os subobjetivos propostos foram classificados em econômicos, de qualidade de água, ambiental, social e técnico. Eles foram obtidos por meio da revisão bibliográfica e podem ser considerados adequados, pois não foram questionados pelo painel de especialistas e gestores, além de terem possibilitado a clara compreensão do assunto. Tiveram como representatividade final os pesos de, respectivamente, 20,2%, 20,8%, 21,1%, 18,7% e 19,5%, demonstrando uma ligeira tendência a favor do subobjetivo ambiental, conforme esperado.

Dos critérios estabelecidos inicialmente, apenas um foi suprimido (“payback” simples) e três foram sugeridos com mais intensidade pelo painel de especialistas e gestores: quantidade de lodo produzida, vida útil e valor presente líquido. Os critérios propostos pelos especialistas e gestores foram analisados e decidiu-se aceitar as sugestões, sendo, portanto, inseridos na matriz de “payoff”. O peso deles foi obtido através da segunda etapa do questionário.

Já a análise dos pesos dos critérios sugeriu que há uma preocupação substancial na possível contaminação da água utilizada para as diversas alternativas de conservação. Isso se evidencia na ordem dos critérios, onde coliformes fecais, risco à saúde e sólidos totais aparecem nas primeiras posições. Por outro lado, os critérios econômicos como valor presente líquido e tempo de retorno surgem nas últimas posições, evidenciando a pouca preocupação com a questão econômica em relação à necessidade de se realizar a conservação de água, mesmo sem lucratividade.

O critério volume de água a ser reduzido do consumo final, que seria tecnicamente o mais importante para medir a eficiência de uma alternativa de conservação de água, ocupou a sétima posição, atrás de, por exemplo, todos os critérios de qualidade de água. Tal fato ratifica a observação anterior quanto à preocupação com a contaminação de água. Era esperado que esse critério ocupasse uma das primeiras posições, devido a sua importância.

Caso houvesse a supressão dos critérios de qualidade de água, ainda restariam os critérios de complexidade do sistema e consumo de energia. Isso demonstra que a sociedade não deseja sistemas complexos cuja manutenção e operação dependa de contratação de empresas especializadas. Para tanto, devem ser sugeridos sistemas tão simples quanto a dinâmica de

funcionamento dos reservatórios inferior e superior. Analogia poderia ser feita aos elevadores, que, em caso de pane, permanecem parados e interditados até que a empresa realize a manutenção, acarretando transtorno no fluxo dos moradores devido ao esforço do deslocamento pela escada.

Diante dos pesos e critérios levantados pelo painel de especialistas e gestores, e das alternativas propostas, obteve-se a ordenação indicada nos resultados deste trabalho através dos métodos multiobjetivo e multicritério TOPSIS e ELECTRE III. É importante salientar que a mudança de pesos ou critérios poderá produzir resultados diferentes dos atuais. Isso poderá ocorrer naturalmente, dependendo da crise hídrica ou dos incentivos governamentais. Cabe destacar que as duas fases do questionário foram distribuídas e respondidas antes da crise hídrica do DF que se instaurou em 2017.

## **6.1 EDIFICAÇÃO DE CATEGORIA 1**

Nas edificações de CATEGORIA 1 (prédios existentes que necessitariam de reforma), foram computados os custos relativos à reforma baseando-se em dados de licitações. O custo inicial e de operação do sistema de filtração e das medidas de redução foi cotado no comércio local, já o reservatório foi cotado via SINAPI.

Após a elaboração da tabela do rol de alternativas, foram aplicados os métodos ELECTRE III e TOPSIS. Em ambos os métodos multicritério utilizados, a ALTERNATIVA 02 (utilização de economizadores) ocupou a primeira posição. Isso é ratificado por uma das ações da política de desenvolvimento sustentável quando cita que se deve atuar na racionalização do uso, em particular na redução do consumo. Dessa forma, a resposta inicial dos métodos atendeu às expectativas.

Nas posições subsequentes, não houve consenso entre os métodos, mas sim algumas tendências. A ALTERNATIVA 1 (não realizar nenhuma ação) ocupa a segunda posição. Porém, ela não corresponde a nenhuma ação de conservação de água e, portanto, não foi considerada como opção. Essa alternativa poderia perder sua classificação e passar para último lugar caso fosse utilizado o custo relativo ao racionamento de água (equipes e manobras da concessionária), o valor que o comércio e a indústria deixaram de faturar e os novos custos com caminhões pipas.

A ALTERNATIVA 8 (aproveitamento de água de chuva) ficou em terceiro lugar pois é a opção com melhor qualidade de água, menos obras civis, apesar de ser a que menos reduz o volume consumido, devido ao período de seca, e, do ponto de vista econômico, é uma das que mais impõe gastos devido à construção de um reservatório de grande capacidade. Ainda assim, consegue reduzir o consumo anual em quase 50%, colaborando significativamente com o meio ambiente

Diante de todo o exposto, e com base nos pesos e critérios apresentados, considera-se viável a adoção de economizadores e implantação do sistema de água da chuva nos casos de reformas prediais. Apesar de ter sido considerada a existência de um reservatório desativado, sua existência tem influência apenas nos subobjetivos econômicos. Tal fato não modifica as classificações devido à baixa diferença financeira oriunda desse reservatório (menor que cem mil reais, 2% do custo de implantação).

## **6.2 EDIFICAÇÃO DE CATEGORIA 2**

Nas edificações de CATEGORIA 2 (prédios a serem construídos), foi admitido que todos os gastos referentes às instalações estariam presentes no projeto inicial. Neste caso, então, assumiu-se que todos os dispositivos de redução de consumo já constavam do projeto obrigatoriamente e deveriam estar instalados e operando, mesmo que nenhum projeto de conservação de água fosse concebido. O custo inicial e de operação do sistema de filtração e das medidas de redução foi cotado no comércio local, e o reservatório foi cotado via SINAPI.

Assim como na CATEGORIA 1, os métodos foram aplicados e novamente a ALTERNATIVA 2 (utilização de medidas de redução de água) ocupou a primeira posição em ambos os métodos. Dessa forma, a resposta inicial dos métodos atendeu às expectativas.

A Alternativa 8 (aproveitamento de água de chuva) surge na segunda posição, devido ao seu baixo custo de implantação, rápido tempo de retorno, redução de quase 50% do consumo anual e alta qualidade de água.

Diante de todo o exposto, e com base nos pesos e critérios apresentados, considera-se viável a adoção de todas as medidas de redução e implantação do sistema de água da chuva nos casos de edificações novas.

### **6.3 RECOMENDAÇÕES**

Algumas recomendações são necessárias para que, em trabalhos futuros, os resultados sejam aprimorados e refinados. A seguir estão apresentadas as recomendações consideradas mais importantes.

- Melhoria das políticas públicas de incentivo à conservação de água

O surgimento da ALTERNATIVA 1 entre as três primeiras posições, independentemente do método e da categoria, sugere que não existe incentivo para a adoção de medidas relacionadas ao reúso de água e ao aproveitamento de água de chuva por parte tanto do Governo e como das concessionárias. De fato, é possível constatar que estas últimas evitam o tema e provocam discussões acerca dos riscos relacionados à qualidade da água, no intuito de evitar a adoção de incentivos, muito provavelmente devido à crença de que haverá diminuição de lucros e possíveis problemas (não comprovados) de diminuição da relação água e esgoto nas redes coletoras. Com isso, sugere-se simular nesse modelo diversas ações de políticas públicas para analisar e testar a eficiência de cada alternativa.

- Consumo residencial no Plano Piloto

Sugere-se utilizar nos estudos futuros dados de levantamento dos consumos residenciais por edificação do Plano Piloto levando em conta apenas os valores obtidos “in-loco” dos hidrômetros e não dados oriundos da CAESB que englobam comércio, hotéis e pousadas. Esse dado irá diminuir a margem de erro das simulações nas alternativas.

- Consumo por aparelho no Plano Piloto

Nos estudos futuros, sugere-se realizar o levantamento dos consumos por aparelho, medidos “in-loco”, mostrando a realidade do consumo de Brasília, particularmente no Plano Piloto, sem precisar utilizar estatísticas gerais ou de outros estados. Desta forma seria retratado o modo do

usuário utilizar os aparelhos quanto a influência do tipo de aparelho, ambos variando com o poder aquisitivo.

- Comparação por tipo de aparelho

Sugere-se realizar o levantamento dos consumos por tipo aparelho dentre os fabricantes mais comuns, comparando-se as vazões e pressões. Assim, será possível ter uma estimativa medida da vazão de chuveiros, torneiras e bacias sanitárias de acordo com seu custo e aplicação. Tal estudo também mostrará o grau de variabilidade ou não que uma marca poderá trazer a eficiência da conservação de água.

- Generalização do modelo construído

Deveriam ser aplicados outros questionários, produzindo novos pesos, em áreas com situações particulares, mas que influenciam a conservação de água. Tais situações gerariam casos distintos das aplicações de conservação de água e poderiam ser criados faixas de uso de cada caso. As situações mais interessantes seriam: área com escassez de água, tal como o Nordeste; área que já teve problemas de abastecimento de água e hoje não o possui, tal como São Paulo; área com problema de abastecimento, tal como Brasília, áreas com alta taxa de uso de reúso e áreas com abundância de água, tal como Amazônia.

- A categoria funcional dos imóveis

Apesar desse estudo ter sido realizado em imóveis funcionais, não há empecilhos técnicos do mesmo ser aplicado a outros imóveis verticais residenciais do Plano Piloto. Essa aplicação poderia ser feita no intuito de otimizar os parâmetros utilizados nessa pesquisa ou buscar a melhor solução para conservar água em cada edificação de acordo com suas peculiaridades.

- Novo padrão de questionário

O atual questionário foi baseado em especialistas e gestores que detêm o conhecimento sobre o assunto. Contudo, seria prudente aplicar um questionário a moradores e síndicos, inicialmente leigos, para saber seu conhecimento sobre o tema e quais as dificuldades que os mesmos temem na implantação de um sistema de conservação de água em seus lares, tais como odores, cor da água, custos, tumulto com obras, manutenção, etc.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACQUASAVE. **Tipos de instalações para aproveitamento da água de chuva**. 2016. Disponível em: < <http://acquasave.com.br/produtos/>>. Acesso em :28/11/2016

AGÊNCIA REGULADORA DE ÁGUAS, ENERGIA E SANEAMENTO BÁSICO DO DISTRITO FEDERAL (ADASA). **Histórico das cotas dos reservatórios do Lago Descoberto e Lago Santa Maria**. Disponível em: <<http://www.adasa.df.gov.br/images/stories/anexos/3Consumidor/2AudienciasPublicas/2016/AP005-2016/DocsEfeitos2Sessao/NT57Anexo9HistoricoCotasDosReservDoLDescobELSantaM.pdf>>. Acesso em: 16 nov. 2016.

AGOSTINI, R. S. **Avaliação do desempenho e da viabilidade econômica de um sistema de reúso de água cinza em um edifício residencial de alto padrão**. Vitória: UFES, 2009. Trabalho Final de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental (Orientador: Prof. Dr. Ricardo Franci Gonçalves). 69p.

AGUIAR, K. C. **Comparação dos Potenciais de Conservação de Água com a Prática do Reúso de Águas cinzas e com a Coleta Segregada da Urina Humana em uma Edificação Residencial Multifamiliar**. Vitória: UFES, 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental).

ALVARES, K.; SANT'ANA, D., Reduções na exploração de recursos hídricos pelo emprego de tecnologias conservadoras de água: uma análise piloto em regiões residenciais do Distrito Federal. In: ENCONTRO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO, 16., 2016, São Paulo. **Anais...** Porto Alegre: ANTAC, 2016.

AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. **Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial**. Ambiente Construído. São Paulo, 2008 v. 08, p. 53/2-66.

ANDERSON, J. **Water Science and Technology: Water Supply**. 2003. Vol 3. No 4. IWA Publishing. p 1–10.

ANDRADE, A.L.M. **Avaliação da potabilidade das águas pluviais utilizadas para o consumo humano na comunidade Nossa Senhora de Fátima do Jandira, Iranduba-AM**. XVIII Simpósio brasileiro de recursos hídricos. Campo Grande/MS, 2009 18p.

ÂNGULO-MEZA, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; CLÍMACO, J. C. N. (2006). **Estudos Conjuntos de Análise Envoltória de Dados (DEA) e Programação Linear Multiobjetivo (PLMO): Uma Revisão Bibliográfica**. Niterói-RJ, 2006 Relatório de Pesquisa em Engenharia de Produção v.6, n.5.

ARAÚJO, S. **Novos sistemas de captação de água vão aliviar reservatórios do DF em épocas de seca**. Agência Brasília/DF. Brasília, 2016 Disponível em: <<http://www.agenciabrasilia.df.gov.br/2016/09/25/novos-sistemas-de-captacao-de-agua-vao-aliviar-reservatorios-do-df-em-epocas-de-seca/>>. Acesso em :25/11/2016

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 10.844**: instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13.969**: tanques sépticos -Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos-Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro,1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.527: Água da Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis–Requisitos.** Rio de Janeiro,2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 15.575: Desempenho de edificações habitacionais– Requisitos.** Rio de Janeiro,2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5.626: Instalação predial de água fria.** Rio de Janeiro,1998.

Atlas Brasil. **Abastecimento urbano de água: panorama nacional.** Brasília. 2010. Agência Nacional de Águas; Engecorps/Cobrape.

AZEVEDO NETTO, J. M. Aproveitamento de águas de chuvas para abastecimento. **Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente – Revista Bio.** Rio de Janeiro,1991. Ano III, número 2, abr/jun.

BARRETO, D. B. **Perfil do consumo residencial e usos finais da água Ambiente Construído.** Porto Alegre, 2008. v. 8, n. 2, abr./jun. Associação Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído. p. 23-40.

BARRETO, D. Caracterização do consumo de água de aparelhos sanitários e economizadores de água. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999.

BARRETO, D. **Water conservation and the monitoring of sanitary appliances.** 1990. 196 f. Dissertação (Mestrado em Building Services Engineering) – , Heriot Watt University Edinburgh, Edinburgh, 1990

BATISTA, L. F., **Lodos gerados nas estações de tratamento de esgotos no Distrito Federal: um estudo de sua aptidão para o condicionamento, utilização e disposição final** Brasília: UnB,2015. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e de Recursos Hídricos.197p.

BAZZARELLA, B. B. **Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não-potável em edificações.** Vitória-ES, 2005. 65p.

BEEKMAN, G. B. **Gerenciamento Integrado dos Recursos Hídricos, IICA.** Brasília,1999. 64 p.

BELISÁRIO, G. Z. **Comparação de balanços hídricos de diferentes edificações multifamiliares de alto padrão no bairro da praia do Canto, Vitória/ES.** Vitória: UFES,2014. Centro Tecnológico. Departamento de Engenharia Ambiental.

BONI, S. S. N. **Gestão de água em edificações:** formulação de diretrizes para o reúso de água para fins não potáveis. Tese de Doutorado. Campinas,2009.

BORGES, L. Z. **Caracterização da água cinza para promoção da sustentabilidade dos recursos hídricos.** Curitiba: UFPR,2003. Dissertação Mestrado em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental.88p.

BOTTERO, M.; COMINO, E.; RIGGIO, V. (2011). **Application of the Analytic Hierarchy Process and the Analytic Network Process for the assessment of different wastewater treatment systems.** *Environmental Modelling & Software.* Amsterdam,2011. 1211–1224p.

BRAGA, B.; BARBOSA, P. S. F.; NAKAYAMA, P. T. **Sistemas de suporte à decisão em recursos hídricos.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos – RBRH. São Paulo-SP, 1998. p. 73-95.

BRANS, J. P.; MARECHAL, B. Promethee Methods. In: Figueira, J.; Greco, S.; e Ehrgott, M. **Multiple Criteria Decision Analysis**. Springer, Brussel, Bélgica, 2005. p. 163-194.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria MS nº 518, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Brasília, 2004.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília, 2011.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional de Recursos Hídricos. Resolução Nº 54 de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável e dá outras providências.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº54, de 28 de novembro de 2005.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº274, de 29 de novembro de 2000.

BRASTEMP. **Especificações técnicas de produtos**. Disponível em: <[www.loja.brastemp.com.br](http://www.loja.brastemp.com.br)>. Acesso em: 01 Nov. 2016.

BRITTO, L.T.L.; SILVA, A.S.; PORTO, E.R.; AMORIM, M.C.C.; LEITE, W.M. **Reservatório inferiores Domiciliares: água para o consumo humano**. Embrapa Semi-árido. 2007.

BUCHANAN J.; SHEPPARD P. **Project Ranking Using Electre III**, apresentado na 33rd Annual Conference ORSNZ. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/download?doi=10.1.1.493.6585&rep=rep1&type=pdf>>. Acesso em: 15/12/2016, 1998.

CAMPOS, J. A. (Coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição no solo**. Rio de Janeiro: Abes, 1999.464 p.

CAMPOS, M. A. S. **Aproveitamento de água pluvial em edifícios residenciais multifamiliares na cidade de São Carlos**. Dissertação de Mestrado em Construção Civil. São Carlos: UFSCar, 2004. Departamento de Engenharia Civil. 157 p.

CARNEIRO, G. L.; CHAVES, J. F. C. **Estudo piloto para estabelecimento da vazão de conforto para consumo residencial de água na cidade de Ponta Grossa**. In: encontro de engenharia e tecnologia dos campos gerais, 04. Ponta Grossa: AEAPG, 2008. p. 01-11. Disponível em: <[http://www.4eetcg.uepg.br/oral/58\\_1.pdf](http://www.4eetcg.uepg.br/oral/58_1.pdf)>. Acesso em: 25 nov. 2015.

CHAIN, R. R.; FIGUEIRA NETTO, C. A. M.; MESSUTI, E. **Sistema de Reaproveitamento de Água para Edificações**. Rio de Janeiro,1999. Trabalho V-053. Anais do 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

CHEUNG, P. B. Consumo de água. In: Gonçalves, R. F. (Coord.). **Uso racional da água e energia: conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 36-98.

CHRISTOVA-BOAL, D.; EDEN, R. E.; MACFARLANE, S. (1996). **An investigation into greywater reuse for urban residential properties**. Desalination. n. 1-3, v.106, p. 391-397. 1996.

CLIMATE DATA. **Dados pluviiais**. 2016. Disponível em: <<http://pt.climate-data.org/location/852/>>. Acesso em: 15 Dez. 15.

COELHO, A. C. **Manual de Economia de Água – Conservação de Água**. Olinda: Comunigraf Editora, 2001.

COMPANHIA DE PLANEJAMENTO DO DISTRITO FEDERAL (CODEPLAN). **Pesquisa distrital por amostra de domicílios – 2013/2014**- Brasília/Plano Piloto. Brasília, 2014. 71p.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL (CAESB). **A água, o cidadão e a CAESB** – Em busca do uso sustentável da água no DF. Brasília, 2010.

COMPANHIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL DO DISTRITO FEDERAL (CAESB). **Apresentação área comercial**, 2012. Disponível em: <[http://www.orcamentofederal.gov.br/eficiencia-do-gasto/Apresentacao\\_Caesb\\_12042012.pdf](http://www.orcamentofederal.gov.br/eficiencia-do-gasto/Apresentacao_Caesb_12042012.pdf)>. Acesso em: 09 jun. 2012.

COMPANHIA DE SANEAMENTO BÁSICO DO ESTADO DE SÃO PAULO (SABESP). **Reunião Sub-grupo de Saneamento - CONAMA**. São Paulo, 2009. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/processos/EFABF603/ApresentacaoRemocaoDBO.pdf>>. Acesso em: 11 Jan. 2015.

CONNOR, R.; KONCAGÜL, E. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento de Recursos Hídricos**. UNESCO, 2015.

CONSELHO NACIONAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Resolução nº54 de 28 de novembro de 2005. Estabelece modalidades, diretrizes e critérios gerais para a prática de reúso direto não potável de água, e dá outras providências. 3p.

CORDEIRO NETTO, O. de M.; SOUZA, M. A. A. de; LOPES JÚNIOR, R. P. **Retrospectiva da análise tecnológica das alternativas para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. In: Chernicharo, C. A. de L. (Coord.). Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios: coletânea de trabalhos técnicos. Belo Horizonte, 2001. v. 2. p. 253 – 272.

CORDEIRO, B. S. **A Gestão de Lodos de Fossas Sépticas: Uma Abordagem por Meio da Análise Multiobjetivo e Multicritério**. Brasília: UnB, 2010. Dissertação de mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação 132/2010, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 143 p.

DANTAS, M. **Ar-condicionado produz até 20 litros de água por dia; veja como aproveitar**. Disponível em: <<http://noticias.ne10.uol.com.br/ciencia-e-vida/noticia/2015/03/20/ar-condicionado-produz-ate-20-litros-de-agua-por-dia-veja-como-aproveitar-538157.php>>. Acesso em: 11 mai. 2016.

DE PAULA, R. L. **Metodologia para avaliação de desempenho operacional de estações de tratamento de esgotos, utilizando métodos multiobjetivo e indicadores**. Brasília: UnB, 2013. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação 151/2013, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 262p.

DECA. **Catálogos**, 2016. Disponível em <http://www.deca.com.br/biblioteca/catalogos>. Acesso em 12/05/2016.

DECA. **Desenvolvido pela DECA**, 2006. Disponível em [www.deca.com.br](http://www.deca.com.br). Acesso em 12/05/2014.

Distrito Federal. **Auditoria Operacional na Gestão dos Recursos Hídricos do Distrito Federal**: relatório (versão simplificada). Tribunal de Contas. Conselheiro-Relator Manoel de Andrade, 2010. Brasília.

Distrito Federal. Tribunal de Contas. **Auditoria Operacional na Gestão dos Recursos Hídricos do Distrito Federal**: relatório (versão simplificada). / Conselheiro-Relator Manoel de Andrade. Brasília, 2010.

DOCOL. **Instalação de Produtos Economizadores de Água. Web curso**, 2015. Disponível em [http://www.clubedocol.com.br/media/03\\_apostila\\_2015\\_Mar%C3%A7o .pdf](http://www.clubedocol.com.br/media/03_apostila_2015_Mar%C3%A7o.pdf). Acesso em Jan-2017.

DRACO. **Ducha Croma Eco**, 2017. Disponível em <http://www.dracoeletronica.com.br/chuveiro-croma.htm>. Acesso em Jan-2017.

FARLEY, M.; TROW, S. (2013). **Losses in Water Distribution Networks – A practitioner’s Guide to Assessment, Monitoring and Control**. IWA Publishing, 2013.

FEDERAÇÃO DAS INDÚSTRIAS DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Conservação e reúso de água em edificações**. São Paulo: Prol editora e gráfica, 2005.

FENDRICH, R. **Manual de Utilização das Águas Pluviais (100 Maneiras Práticas)**. 2.ed.ampl. Curitiba, 2009.190p.

FERNANDES, F. (Org.) **Lodo de esgotos: tratamento e disposição final**. Belo Horizonte: UFMG, 2001. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Curitiba: SANEPAR, 484 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias, v. 6). cap. 2, p. 17-67

FERREIRA, M. M.; GOROVITZ, M. **A invenção da superquadra: o conceito da Unidade de Vizinhança em Brasília**. Brasília: IPHAN, 2009. 528p.

FIESP. **Conservação e reúso de água em edificações**. São Paulo. Prol editora e gráfica, 2005.

FINE, S.; REARDON, C. **Wastewater reuse. YourHome**, 2013. Disponível em <http://www.yourhome.gov.au/>. Acesso em 16 nov 2016.

GELT, J. **Home Use of Graywater, Rainwater – And May Save Money**, EUA, 2002. Disponível em: < <http://www.waterwiser.org>>. Acesso em: 15 nov. 15.

GHISI, E.; FERREIRA, D. **Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil**. Building and Environmental, 2006. vol. 42, p 2512 – 2522.

GIANNOULIS, C.; ISHIZAKA, A. (2010). **A web-based decision support system with ELECTRE III for a personalised ranking of British universities**. Decision Support Systems, 2010. v. 48, n. 3, p. 488-197.

GOMES, L. F. A. M.; ARAVA, M. C. G.; CARAGNANO, C. **Tomada de Decisões em Cenários Complexos**: Introdução aos Métodos Discretos de Apoio Multicritério à Decisão. São Paulo: Editora Pioneira Thonson Learning, 2004.168p.

GONÇALVES, O. M.; ILHA, M. S. O.; AMORIM, S. **Indicadores de uso racional de água em escolas públicas de ensino fundamental e médio**. São Paulo, 2005. Relatório de pesquisa desenvolvida dentro do edital CT-HIDRO do CNPq.

GONÇALVES, O. M.; IOSHIMOTO, E; OLIVEIRA, L. H. **Tecnologias poupadoras de água nos sistemas prediais**. São Paulo, 1999. Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. (DTA – Documento Técnico de Apoio no F1).

GONÇALVES, R. F. (Org.) **Uso Racional da Água em Edificações**. Prosab-Finep Edital 4. Rio de Janeiro: Abes, 2006. 332 p.

- GONÇALVES, R. F. (Org.). **Uso racional de água e energia. Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água.** Prosab-Finep Edital 5. Rio de Janeiro: Abes, 2009. 354 p.
- GRISOLIA, P. Z. **Gestão da demanda para uso racional da água (URA).** São Paulo, 2015. Manual de sustentabilidade Condominial -SECOVISP.
- GUAL, M.; MOIA, A.; MARCH, J. G. **Monitoring of an indoor pilot plant for osmosis rejection and greywater reuse to flush toilets in a hotel.** Espanha, 2008. Desalination. n.219.p 81-88.
- GUANAYEM, M. **Environmental considerations with respect to rainwater harvesting. Palestine, Applied Research Institute-Jerusalem.** In: Rainwater International Systems. Manheim, 2001. Proceedings, Germany, 2001. p11.
- HAFNER, A. V. **Conservação e reúso de água em edificações – experiências nacionais e internacionais.** Rio de Janeiro: UFRJ, 2007. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil.
- HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso.** Santa Maria: UFRS, 2009.
- HARADA, A. L. **Metodologias para a seleção de soluções de coleta, tratamento e disposição de esgotos em condomínios do Distrito Federal.** Brasília: UnB,1999. Dissertação de Mestrado. 201p.
- HESPANHOL, I.; GONÇALVES, O. M. (Coordenadores). **Conservação e Reúso de Água – Manual de Orientações para o Setor Industrial, Vol. 1, 2004.**
- HILDEBRAND, R. **Sedimentationsanlage Hildebrand.** In: Grauwasser Recycling, Schriftenreihe, Fachvereinigung Betriebs und Regenwassernutzung. p. 51 – 60,1999.
- HILLIER, F. S. e LIEBERMAN, G. J. **Introducción a la investigación de operaciones.** M. G. Osuna, McGraw-Hill, México, 1994.
- HOWARD, G.; BARTRAM, J. **Domestic water quantity, service level and health.** WHO/SDE/WSH. Geneva,2003.
- ILHA, M. S. O.; NUNES, S. da S.; SALERMO, L. S. **Programa de conservação de água em hospitais: estudo de caso do Hospital das Clínicas da Universidade Estadual de Campinas.** Campinas: UNICAMP, 2006.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2000.** Disponível em:< <http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Censo Demográfico 2010.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 10 jan. 2016.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Projeção população 2016.** Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/apps/populacao/projecao>>. Acesso em: 10 jan. 2016.
- INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS. **Precipitação diária.** Disponível em: <<http://clima1.cptec.inpe.br/estacaochuvosa/pt>>. Acesso em: 20 Nov. 2016.
- INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS. **Conservação de água de uso doméstico.** São Paulo: IPT, 1988 (Relatório Técnico 27.236).
- INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. **Dados históricos.** Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 25 out. 2015.

JEPPESEN, B. **Domestic greywater re-use: Australia's challenge for the future.** Desalination. Elsevier, 1996. Vol. 106, No. 1-3, pp 311-315.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos.** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. Rio de Janeiro, 2011. 6. Ed, 1050p.

KELMAN, J. **O desafio de levar água para todos.** Rio de Janeiro, 2003. Revista SENAC e Educação Ambiental, ano 12, nº 1, jan/abr. p.8-12.

LAW, I. B. **Rouse Hill – Australia's First Full Scale Domestic Non-Potable Reuse Application .**Austrália, 1996. Water Science and Technology. Vol. 33, No. 10-11, pp 71-78.

LAZAROVA, V.; HILLS, S.; BIRKS, R. **Using recycled water for non-potable, urban uses: a review with particular reference to toilet flushing.** London, 2003. Water Science and Technology: Water supply, , v. 3, n. 4.; p. 69 – 77.

LEGETT, D. J., BROWN, R., BREWER, D., STANFIELD, G., HOLLIDAY, E. **Rainwater and greywater use in buildings: Best practice guidance.** London, 2001. CIRIA Publication C539.

LEHR, V. A. **Grey Water**, 1986 . *American Society of Sanitary Engineering*. 5 p.

LEITE, I. **Como economizar água com instalação de hidrômetros individuais nos condomínios.** Disponível em: <<http://g1.globo.com/sao-paulo/blog/como-economizar-agua/post/como-economizar-agua-com-instalacao-de-hidrometros-individuais-no-condominios.html>>. Acesso: em 10 Ago. 2015.

LEUCK, M. F. **Avaliação econômica do impacto de medidas individualizadas de conservação de água em Porto Alegre.** Porto Alegre: UFRGS, 2008. Dissertação Mestrado. 177p.

LIMA, M. **Gestão de água em edifício público administrativos:** recomendações baseadas no estudo de caso no TCU. Brasília, 2015. Dissertação de Mestrado em Arquitetura e Urbanismo. Programa de Pós-Graduação da Faculdade de Brasília -UnB. 192p.

LIMA, S.M.; ZAQUE, R.A.M.; VALENTINI. C.M.A.; SOUZA, F.S.C.; ALBANO, P.M.F. **Ar condicionado: uma fonte de alternativa de água potável?** Porto Alegre: IBEAS. 2015. VI Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental.

LOBATO, M.B. (2005). **Sistema de hierarquização de ações de conservação da água em edificações com aplicação do método ELECTRE III.** Campinas: UNICAMP, 2005. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo. 260p.

MACINTYRE, A. J. **Manual de instalações hidráulicas.** Rio de Janeiro: Editora Guanabara,1990.

MANCUSO, P. C. S.; SANTOS, H. F. **Reúso de Água.** Barueri: Editora Manole, 2003.

MARGLIN, S. **Public Investment Criteria.** Cambridge, Massachusetts: MIT Press, 1967.

MARTINS, J. L.; MEMELLI, M. S. **Balanço hídrico e indicadores de consumo de água potável e não potável em uma edificação dotada de sistema de reúso de águas cinzas.** Vitória: UFES, 2013. Trabalho de graduação, Departamento de Engenharia Ambiental. 89p

MÁXIMO, C. C.; SOUZA, M. A. A. **Reúso de Água no Distrito Federal.** Goiânia, 2004. III Simpósio de Recursos Hídricos do Centro-Oeste. 20 a 22 de maio de 2004, 20p.

- MAY, S. **Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2015. Tese de Doutorado em Engenharia de Construção Civil, 222p.
- MAY, S. **Estudo de viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. São Paulo: Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2009. Dissertação de Mestrado em Engenharia de Construção Civil.159p.
- MAYSTRE, L. Y.; PICTET, J.; SIMOS, J. **Méthodes multicritères ELECTRE**. 1. França: Presses Polytechniques et Universitaires Romandes, 1994.
- METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. 3.ed. Singapore: McGraw Hill, 1991.
- MIELI, J. **Reúso de água domiciliar**. Niterói: UFF, 2001. Dissertação Mestrado Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração: Produção Civil.
- MUFFAREG, M. R. **Conceitos sobre legislação sobre reúso de águas residuárias**. Rio de Janeiro: ENSP, 2003. Dissertação de Mestrado em Saneamento Ambiental da Escola Nacional de Saúde Pública.
- MURÇA, M. C. R. **Aproveitamento de águas pluviais em instalações militares do Comando da Aeronáutica: aplicação ao caso do PAMA-GL**. São José dos Campos: ITA, 2011. Trabalho de graduação Engenharia Civil, Divisão de Engenharia Civil. 138p.
- NEAL, J. **Wastewater Reuse Studies and Trials in Canberra**. *Desalination*, 1996. Vol. 106, No. 1-3, p 399-405.
- NIRENBERG, L.P; REIS, R.P.A. **Avaliação do desempenho de sistema de reúso de água de uma edificação unifamiliar em Goiânia/GO**. Goiânia, 2010. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 1, 1-13p.
- NOLDE, E. **Greywater reuse system for toilet flushing in multi-storey buildings - over ten years experience in Berlin**. *Urban Water*. Berlim, 2000. Disponível em: <<http://www.elsevier.com/locate/urbwater>>
- NUNES, R. T. S. **Conservação de água em edifícios comerciais: Potencial de uso racional e reúso em shopping centers**. Rio de Janeiro: UFRJ, 2006. Dissertação de mestrado em Ciências.
- OLIVEIRA, L. H. **Metodologia para a implantação de programa de uso racional da água em edifícios**. São Paulo: USP, 1999. Tese de Doutorado, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo.
- ORNELAS, P. **Reúso de Água em Edifícios Públicos: O caso da Escola Politécnica da UFBA**. Salvador: UFBA,2004.
- PALOHEMINO, R. **Reusing Treated Wastewater in Domestic Housing: the Toronto Healthy House Project**. Canadá, 1996. Disponível em: <<http://mhanet.org/msb/html/papersn/palo01/wastewa.htm>>. Acesso em: 15/12/2015
- PEREIRA, T. P. **Reúso de Água em Sistemas de Lavagem de Veículos**. Brasília: UnB, 2005. Monografia de Projeto Final, Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 58p.
- PERTEL, M. **Caracterização do Uso da Água e da Energia Associada à Água em uma Edificação Residencial Convencional e uma Dotada de um Sistema de Reúso de Águas cinzas**. Vitória: UFES, 2009. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico.

PIDOU, M.; AVERY, L.; STEPHENSON, T.; JEFFEREY, P.; PARSONS, AS.; LIU, S.; MEMON, FA.; JEFFERSON, B. **Chemical solutions for greywater recycling**. 2008, vol 71, p. 147-155.

PURA. **Programa De Uso Racional Da Água**. São Pulo: USP, 2006. Disponível em: <<http://www.pura.usp.br/>>. Acesso em: 01 Jan. 2015.

RAPOPORT, B. **Águas cinzas: caracterização, avaliação financeira e tratamento para reúso domiciliar e condominial**. Rio de Janeiro: ENSP, 2004. Dissertação de mestrado. 119 p.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil**. 2<sup>a</sup>.ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2002. 703p.

ROCHA, A. L. Perfil de consumo de água de uma habitação unifamiliar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 20., 1999. Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999.

ROCHA, A. L.; BARRETO, D.; IOSHIMOTO, E. **Caracterização e monitoramento do consumo predial de água**. Brasília: MPOG, 1998. Documento Técnico de Apoio nº E1, PNCDA.

ROCHA, M. C. S. P. **Métodos de Classificação Multicritério com classes parcialmente ordenadas**. Coimbra: Universidade de Coimbra, 2011. Tese de doutorado, Faculdade de Economia. 197p.

RODRIGUES, L. C. S. **Avaliação da eficiência de dispositivos economizadores de água em edifícios residenciais em Vitória/ES**. Vitória: UFES, 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental.

RODRIGUES, M. **DF entra em alerta por falta d'água, e ADASA estuda tarifa adicional em conta**. JORNAL OGLOBO. Disponível em: <<http://g1.globo.com/distrito-federal/noticia/2016/09/df-entra-em-alerta-por-falta-dagua-e-adasa-estuda-tarifa-adicional-em-conta.html>>. Acesso em: 20 set. 2016.

ROY, B. **Methodologie multicritère d'aide à la décision**. Paris: Economica, 1985.

SAATY, T. L. **Fundamental of the analytic network process**. Japan: , 1999 ISAHP. Mervis Hall, Kobe, 48-63.

SALOMON, V. P.; MONTEVECHI, J. A. B.; PAMPLONA, E. O. **Justificativas para aplicação do método de análise hierárquica**. Rio de Janeiro: ABEPRO, 1999. 19º ENEGEP (Associação Brasileira de Engenharia de Produção - ABEPRO).

SAMPAIO, F. V. **Análise da viabilidade de implantação e pré-dimensionamento de sistemas de aproveitamento de água pluvial em centros urbanos**. Brasília: UnB, 2013. Dissertação de Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos, Publicação PTARH.DM 154/2013. Departamento de Engenharia Civil e Ambiental. 165p.

SANT'ANA, D. **Domestic water use and water conservation in the Federal District, Brazil**. Oxford, 2011. Tese (Doutorado) - Oxford Institute for Sustainable Development, Oxford Brookes University. 392 p.

SANT'ANA, D., **Domestic Water End-Uses and Water Conservation in Multi-Storey Buildings in the Federal District, Brazil**. In PLEA2012, 2012.

- SANT'ANA, D.; BOEGER, L.; VILELA, L. **Aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edifícios residenciais de Brasília** – Parte 1: redução no consumo de água. Brasília: Paranoá, Brasília, nº 10, 2013. p. 77-84.
- SANT'ANA, D.; BOEGER, L.; VILELA, L. **Aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edifícios residenciais de Brasília** – Parte 2: viabilidade técnica e econômica. Brasília: Paranoá, Brasília, nº 10, 2013. p. 85-93.
- SANTOS, D. C.; ZABROCKI. **Greywater Characterization in Residential Buildings to assess it's Potential use**. Turquia, 2003. CIB-W62. Ankara. p 107-117.
- SANTOS. D. C.; LOBATO. M.B.; VOLPI. N.M.P.; BORGES.L.Z. **Hierarquização de medidas de conservação de água em edificações residenciais com o auxílio de análise de multicritério**. Porto Alegre, 2006. Ambiente Construído, v. 6, n. 1, p. 31-47.
- SELLA, M, B. **Reúso de águas cinzas: avaliação da viabilidade da implantação do sistema em residências**. Porto Alegre: UFRS, 2011. Trabalho de Graduação em Engenharia Civil, Departamento de Engenharia Civil. 72p.
- SILVA, L. O. A. B.; SOUZA, M.A.A.; ALLAM, N. J. **Uma proposta de reúso de água em condomínios verticais em Brasília – DF**. São Paulo, 2004.I Conferência Latino-Americana de construção sustentável x encontro nacional de tecnologia do ambiente construído.
- SILVA, S. R. S. **Avaliação do sistema de medição individualizada de água em prédios populares situados na cidade de Salvador-Bahia**. Salvador: UFBA, 2010. Dissertação (Mestrado Profissional em Gerenciamento e Tecnologia Ambiental no Processo Produtivo). Disponível em: <<https://repositorio.ufba.br/ri/handle/ri/9585>>. Acesso em: out. 2015.
- SINDICATO DA CONSTRUÇÃO DE SÃO PAULO (SIDUSCONSP). **Conservação e reúso de água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica,2005.
- SINDICONET. **Custos e gestão da medição individualizada**. Disponível em: <<https://www.sindiconet.com.br/informese/7229/individualizacao-de-hidrometros/custos-e-gestao-da-medicao-individualizada>>. Acesso em: 15 dez. 2015.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnósticos dos serviços de água e esgoto**. Brasília: Ministério das cidades, 2006. Tabelas de informações e diagnósticos. SNSA: IPEA.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnósticos dos serviços de água e esgoto**. Brasília: Ministério das cidades,2012. Tabelas de informações e diagnósticos.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnósticos dos serviços de água e esgoto**. Brasília: Ministério das cidades, 2013. Tabelas de informações e diagnósticos.
- SNATURAL. **Estações compactas**. Disponível em: <<http://www.snatural.com.br/ETE-Estacao-Compacta-Tratamento-Efluentes-Esgotos.html>>. Acesso em: 18 dez. 2016.
- SOARES, D. A. F. **Considerações a respeito da reutilização das águas residuárias e aproveitamento das águas pluviais em edificações**. Vitória: ABRH,1999. In: Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, 12, Vitória, Anais.
- SOSTAR -TURK, S.; PETRINIC, I.; SIMONIC, M. **Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration**. Resour Conservation Recycl. 2005, vol 44, p.185-196.

- SOUZA, M. A. A.; CORDEIRO NETTO, O. M.; CARNEIRO, G. A.; LOPES JÚNIOR, R. P. **Análise tecnológica de alternativas para pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**: resultados da avaliação multiobjetivo. João Pessoa, 2001. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.
- SOUZA, M. A. A.; FORSTER, C. F. **Metodologias para seleção de processos de tratamento de águas residuárias**. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, 1996. 19-31p.
- TAMAKI, H. O. **A medição setorizada como instrumento de gestão da demanda de água em sistemas prediais** – estudo de caso: Programa de Uso Racional da Água da Universidade de São Paulo São Paulo: USP. Dissertação de Mestrado, Escola Politécnica.
- TECHMETRIA. **Sistema de medição individual**. Perguntas e Respostas frequentes. Disponível em: <<http://www.techmetria.com.br/site/faq.php>>. Acesso em: 22 ago. 2016.
- TECNOTRI. **Reservatório inferior Vertical Modular**. Disponível em: <[http://www.tecnotri.com.br/produto/index/159/Reservatório inferior-Vertical-Modular-1000-L-Tecnotri-com-Filtro-Tecnotri](http://www.tecnotri.com.br/produto/index/159/Reservatório_inferior-Vertical-Modular-1000-L-Tecnotri-com-Filtro-Tecnotri)>. Acesso em: 22 ago. 2016.
- TERPSTRA, P.M.J. *Sustainable water usage systems – Models for the sustainable utilization of domestic water in urban areas*. *Water Science & Technology*, 1999. v. 39, n.5, p. 65–72.
- THE NATIONAL ACADEMIES OF SCIENCES, ENGINEERING, AND MEDICINE (NAP). **Using Graywater and Stormwater to Enhance Local Water Supplies: An Assessment of Risks, Costs, and Benefits**. Washington, DC: The National Academies Press, 2015.
- TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**: Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Navegar, 2003.
- TOMAZ, P. **Economia de água**: Para empresas e residências. São Paulo: Navegar, 2001. p. 112.
- TUCCI, C. E. M. **Gestão de águas pluviais urbanas**: Saneamento para todos. Brasília, 2005.
- U.S. Environmental Protection Agency (EPA). **Guidelines for Water Reuse**, 1992.
- VEUTRINI, J.; **Válvulas redutoras de pressão**. Revista equipe de obra. Edição 35. Maio/2011.
- VIGNESWARAN, S.; SUNDARAVADIVEL, M. **Wastewater recycle, reuse, and reclamation** - Recycle and Reuse of Domestic Wastewater. Encyclopedia of Life Support Systems (EOLSS), 2004.
- VINCKE, P. **Multicriteria decision-aid**. 1. ed. England: John Wiley & Sons Ltd, 1992.
- VIOTTO, D. A. **Metais e Válvulas**: de vilões a mocinhos. São Paulo: Revista Bio, 2001. Ano XI, n. 18, p24-25.
- VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos** – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. 3. Ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005. V. 1.. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. DESA. 452p
- WATERCASA. **Water quality/soil quality risk assessment**. Disponível em: <<http://www.watercasa.org/water-casa-research/residential-graywater-reuse/>>. Acesso em: 19 jan. 2016

WHO. **Reuse of effluents**: methods of wastewater treatment and health safeguards. Report of a WHO. Meeting of Experts. Geneva, World Health Organization (Technical Report Series No. 517).

WUCB. **A water conservation guide for commercial, institutional and industrial users**. New Mexico: Ed. Water Use and Conservation Bureau, 1999.

ZADEH, L. A. (1963). **Optimality and non-scalar-valued performance criteria**. IEEE Transactions On Automatic Control

## **APÊNDICES**

## **APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO INICIAL**

Foi aplicado um questionário inicial cujo título era: Seleção de critérios para hierarquização de alternativas de conservação de água. Seu conteúdo constava conforme transcrição abaixo:

Prezado Sr. / Sra.,

Obrigado pela sua contribuição a esta pesquisa. Ela é muito importante!

Este questionário é parte integrante da dissertação de Mestrado de **JORGE THIAGO DUARTE DA SILVA VIANNA** no PTARH-UnB (Pós-graduação em tecnologia ambiental e recursos hídricos), cujo título é **ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA A CONSERVAÇÃO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS FUNCIONAIS EM BRASÍLIA-DF**. Meus orientadores são o professor **Marco Antonio Almeida de Souza** e a professora **Conceição de Maria Albuquerque Alves**.

Esta pesquisa tem como objetivo geral analisar as alternativas de conservação de água em edificações residenciais funcionais no Plano Piloto, em Brasília.

Para tanto, a mesma irá ser dividida em três objetivos específicos:

- Analisar o padrão de consumo de uma unidade familiar típica de prédio funcional;
- Levantar e classificar tecnologias de conservação de água em prédios residenciais funcionais;
- Identificar por meio de métodos multiobjetivo e multicritério, aplicados aos imóveis funcionais, as tecnologias com melhor desempenho na economia de água.

Os subobjetivos 1 e 2 já foram alvo de estudo e estão concluídos. Mas para o item 3, faz-se necessário o questionário a seguir.

Este questionário inicial tem a finalidade de estabelecer os critérios de comparação. A segunda rodada de perguntas (futura) terá como objetivo estabelecer seus respectivos pesos.

Os critérios a seguir expostos foram obtidos por meio de pesquisas na literatura juntamente com reflexões sobre a busca pela alternativa de CONSERVAÇÃO DE ÁGUA de melhor desempenho.

Após estabelecidos os critérios e seus respectivos pesos, será possível comparar as alternativas individualmente e em grupos (combinações).

Individualmente, tem-se as alternativas de: medição individual de água, reúso de água com água cinza segregada, uso de água pluvial, redutor de pressão e equipamentos economizadores de água.

As fontes para o sistema de reúso de água cinza serão do chuveiro, lavatório, máquina de lavar roupa, tanque e suas combinações. Já as demandas para os sistemas de água pluvial e reúso serão a bacia sanitária, irrigação de jardins, lavagem de pisos e suas combinações.

O método multicritério faz-se necessário visto que, para um mesmo problema há várias soluções. Assim, dependendo de cada objetivo e seus pesos, a solução pode alternar-se. Daí a necessidade em obter diversos pontos de vistas entre vários atores. Assim, a análise fica mais ampla e diminui o grau de incerteza da decisão.

Há 6 perguntas neste questionário

Caso seja necessária, ao final da tabela haverá uma breve explicação de cada critério.

\* [Quais os critérios ECONÔMICOS devem ser utilizados?

Por favor, escolha a resposta adequada para cada item:

|                      | Deve ser usado        | Não deve ser usado    | Não opinar nesse critério |
|----------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| Custo de implantação | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| Custo de operação    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| Tempo de retorno     | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| Payback simples      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |

**Custo de implantação:** É composto por todos os custos referentes a materiais, serviços, instalações e equipamentos para adequar a edificação às necessidades do sistema.

**Custo de operação:** É composto pelos custos relativos a insumos (tais como cloro, etc) e por substituição de materiais devido a limite da vida útil.

**Tempo de retorno:** Refere-se ao tempo que será necessário para o investimento inicial ser recuperado. Considera os juros do investimento do capital.

**Payback simples:** Refere-se ao tempo de retorno do capital investido. Não considera os juros devido ao investimento do capital.

\* [Quais os critérios DE QUALIDADE DE ÁGUA devem ser utilizados?]

Por favor, escolha a resposta adequada para cada item:

|  | Deve ser usado        | Não deve ser usado    | Não opinar nesse critério |
|--|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| DBO (demanda bioquímica de oxigênio)       | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| SST (sólidos em suspensão totais)          | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| Coliformes fecais na água bruta do sistema | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |

**DBO (demanda bioquímica de oxigênio):** Seu valor de referência será medido imediatamente antes do sistema de tratamento. Altos valores provocam odores e diminuição do oxigênio disponível no sistema. É definida como a quantidade de oxigênio consumido na degradação da matéria orgânica disponível no meio aquático. Ocorre por processos biológicos. Quanto maior seu valor, maior a quantidade de matéria orgânica biodegradável existirá.

**SST (sólidos suspensos totais):** Seu valor de referência será medido imediatamente antes do sistema de tratamento. Altos valores provocam entupimento das tubulações e danos aos equipamentos. Define-se como as pequenas partículas sólidas que ficam em suspensão em água.

**Coliformes fecais na água bruta do sistema:** Seu valor de referência será medido imediatamente antes do sistema de tratamento. Quanto mais alto os valores, maior a contaminação por fezes humanas. São as bactérias que estão presentes em grandes quantidades no intestino dos animais de sangue quente.

\* [Quais os critérios AMBIENTAIS devem ser utilizados?]

Por favor, escolha a resposta adequada para cada item:

|  | Deve ser usado        | Não deve ser usado    | Não opinar nesse critério |
|--|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| Volume de água a ser reduzido do consumo final | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| Volume de água desperdiçado                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| Volume de água complementar                    | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |

**Volume de água a ser reduzido do consumo final:** Refere-se ao volume de água economizado na fatura de água.

**Volume de água desperdiçado pelo sistema:** Refere-se ao volume de água não potável (oriundo da captação pluvial ou de reúso) que o sistema captou, não utilizou e deverá descartar na rede de esgoto/pluvial.

**Volume de água complementar ao sistema:** Volume de água da CAESB a ser inserido no sistema de forma que o mesmo funcione plenamente. Apenas será necessário nos casos em que o sistema não for autossuficiente.

\* [Quais os critérios SOCIAIS devem ser utilizados?

Por favor, escolha a resposta adequada para cada item:

|                                       | Deve ser usado        | Não deve ser usado    | Não opinar nesse critério |
|---------------------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| Interferência ao morador              | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| Risco anual da falta de água de reúso | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| Risco a saúde                         | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |

**Interferências ao morador:** diversas adequações e manutenções necessitarão de intervenções internas ao apartamento. Isso provocará desconforto na rotina dos moradores.

**Risco anual de falta de água:** Corresponde ao risco do sistema não ser autônomo e necessitar de complemento de água proveniente de outra fonte.

**Risco à saúde:** máxima quantidade de água contendo patógenos que poderia ser ingerida sem gerar risco a saúde do ser humano.

\* [Quais os critérios TÉCNICOS devem ser utilizados?

Por favor, escolha a resposta adequada para cada item:

|                         | Deve ser usado        | Não deve ser usado    | Não opinar nesse critério |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| Área ocupada            | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| Consumo de energia      | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |
| Complexidade do sistema | <input type="radio"/> | <input type="radio"/> | <input type="radio"/>     |

**Área ocupada:** espaço físico a ser destinado aos filtros, equipamentos e reservatórios aparentes.

**Consumo de energia:** gasto de energia da concessionária para manter o sistema em funcionamento.

**Complexidade do sistema:** refere-se a dificuldade de instalação e operação dos equipamentos e seus acessórios. Por consequência, irá requerer mão de obra extremamente especializada. Quanto mais simples, melhor.

\* [Há critério(s) que o senhor(a) julgue importantes e não foram listados? Em caso positivo, por favor indique-os abaixo.

Por favor, coloque sua resposta aqui:

## APÊNDICE B – ESTATÍSTICA DO QUESTIONÁRIO INICIAL

Os resultados do questionário inicial estão presentes na tabela B1, elencando a contagem de cada resposta e sua respectiva percentagem.

*Tabela B.1- Resultado do questionário inicial*

| Quais os critérios ECONÔMICOS devem ser utilizados?           |          |             |
|---|----------|-------------|
| [Custo de implantação]  |          |             |
| Resposta  | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)   | 72       | 94,74%      |
| Não deve ser usado (A2)                                       | 4        | 5,26%       |
| Não opinar nesse critério (A3)                                | 0        | 0,00%       |
| [Custo de operação]   |          |             |
| Resposta  | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)   | 70       | 92,11%      |
| Não deve ser usado (A2)                                       | 6        | 7,89%       |
| Não opinar nesse critério (A3)                                | 0        | 0,00%       |
| [Tempo de retorno]  |          |             |
| Resposta  | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)   | 55       | 72,37%      |
| Não deve ser usado (A2)                                       | 10       | 13,16%      |
| Não opinar nesse critério (A3)                                | 11       | 14,47%      |
| [Payback simples]   |          |             |
| Resposta  | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)   | 27       | 35,53%      |
| Não deve ser usado (A2)                                       | 36       | 47,37%      |
| Não opinar nesse critério (A3)                                | 13       | 17,11%      |
| Quais os critérios DE QUALIDADE DE ÁGUA devem ser utilizados? |          |             |
| [DBO (demanda bioquímica de oxigênio)]                        |          |             |
| Resposta  | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)   | 68       | 89,47%      |
| Não deve ser usado (A2)                                       | 6        | 7,89%       |
| Não opinar nesse critério (A3)                                | 2        | 2,63%       |
| [SST (sólidos em suspensão totais)]                           |          |             |
| Resposta  | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)   | 66       | 86,84%      |
| Não deve ser usado (A2)                                       | 7        | 9,21%       |
| Não opinar nesse critério (A3)                                | 3        | 3,95%       |

| [Coliformes fecais na água bruta do sistema]        |          |             |
|---|----------|-------------|
| Resposta  | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)                                 | 69       | 90,79%      |
| Não deve ser usado (A2)                             | 3        | 3,95%       |
| Não opinar nesse critério (A3)                      | 4        | 5,26%       |
| Quais os critérios AMBIENTAIS devem ser utilizados? |          |             |
| [Volume de água a ser reduzido do consumo final]    |          |             |
| Resposta  | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)                                 | 75       | 98,68%      |
| Não deve ser usado (A2)                             | 0        | 0,00%       |
| Não opinar nesse critério (A3)                      | 1        | 1,32%       |
|   |          |             |
|   |          |             |
| [Volume de água desperdiçado]                       |          |             |
| Resposta  | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)                                 | 45       | 59,21%      |
| Não deve ser usado (A2)                             | 26       | 34,21%      |
| Não opinar nesse critério (A3)                      | 5        | 6,58%       |
|   |          |             |
|   |          |             |
| [Volume de água complementar]                       |          |             |
| Resposta  | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)                                 | 49       | 64,47%      |
| Não deve ser usado (A2)                             | 18       | 23,68%      |
| Não opinar nesse critério (A3)                      | 9        | 11,84%      |
|   |          |             |
|   |          |             |
| Quais os critérios SOCIAIS devem ser utilizados?    |          |             |
| [Interferência ao morador]                          |          |             |
| Resposta  | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)                                 | 54       | 71,05%      |
| Não deve ser usado (A2)                             | 19       | 25,00%      |
| Não opinar nesse critério (A3)                      | 3        | 3,95%       |
|   |          |             |
|   |          |             |
| [Risco anual da falta de água de reúso]             |          |             |
| Resposta  | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)                                 | 54       | 71,05%      |
| Não deve ser usado (A2)                             | 18       | 23,68%      |
| Não opinar nesse critério (A3)                      | 4        | 5,26%       |
|   |          |             |
|   |          |             |
| [Risco a saúde]                                     |          |             |
| Resposta  | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)                                 | 63       | 82,89%      |
| Não deve ser usado (A2)                             | 9        | 11,84%      |
| Não opinar nesse critério (A3)                      | 4        | 5,26%       |
|   |          |             |
|   |          |             |

| Quais os critérios TÉCNICOS devem ser utilizados?  |          |             |
|--|----------|-------------|
| [Área ocupada]   |          |             |
| Resposta   | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)  | 65       | 85,53%      |
| Não deve ser usado (A2)  | 9        | 11,84%      |
| Não opinar nesse critério (A3)   | 2        | 2,63%       |
| [Consumo de energia]   |          |             |
| Resposta   | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)  | 70       | 92,11%      |
| Não deve ser usado (A2)  | 5        | 6,58%       |
| Não opinar nesse critério (A3)   | 1        | 1,32%       |
|  |          |             |
|  |          |             |
| [Complexidade do sistema]  |          |             |
| Resposta   | Contagem | Percentagem |
| Deve ser usado (A1)  | 60       | 78,95%      |
| Não deve ser usado (A2)  | 13       | 17,11%      |
| Não opinar nesse critério (A3)   | 3        | 3,95%       |
|  |          |             |
| Há critério(s) que o senhor(a) julgue importantes e não foram listados? Em caso positivo, por favor indique-os abaixo. |          |             |
| Resposta   | Contagem | Percentagem |
| Sem resposta   | 54       | 71,05%      |

## APÊNDICE C– SUGESTÕES DE CRITÉRIOS

As sugestões e critérios fornecidos pelos especialistas e gestores no primeiro questionário foram transcritos abaixo. Não houve qualquer tipo de filtro ou condensação de sugestões parecidas.

1. Redução de custos com manutenção preventiva e corretiva;

ANÁLISE: o tema é pertinente, porém deveria haver uma pesquisa que tratasse apenas do assunto com o objetivo de abordar a redução de cada equipamento.

2. Facilidade de operação e manutenção;

ANÁLISE: esse critério está inserido em complexidade do sistema.

3. Avaliar o lançamento de esgoto gerado pelo uso de água pluvial e alteração na relação esgoto/água, pois é um aspecto de grande relevância na discussão entre companhias de saneamento e programas governamentais de incentivo ao uso de água pluvial, já que estas estarão coletando e tratando um volume maior que o estimado pela medição do consumo de água potável fornecido pela companhia de saneamento, tendo assim um prejuízo;

ANÁLISE: Não haveria lançamento de água pluvial direto na rede, caracterizando uma ligação irregular. Seria lançada apenas após uso pelos equipamentos sanitários, tornando-se esgoto. Quanto a razão comentada, acredita-se que ela seria pouco alterada, na ordem de 15%. Além do que, há a experiência de outros países que trabalharam com uma relação água-esgoto menor e não enfrentam problemas.

4. Em relação aos critérios de qualidade, outros parâmetros são muito mais relevantes, dependendo do tipo de reúso que se pretenda implantar. Estes critérios são relevantes para a água final a ser distribuída, devendo-se levar em conta os perigos potenciais da água de reúso, como presença de organismos patogênicos, presença de contaminantes que possam degradar os materiais com os quais a água de reúso entra em contato e o potencial de desabastecimento;

ANÁLISE: Pretende-se trabalhar com água de reúso não potável, diminuindo essa necessidade. O potencial de desabastecimento está inserido no Risco anual de falta de água.

5. Transformar o volume economizado de água da cia de abastecimento em \$\$\$ economizados (conforme a estrutura tarifária em vigor). A partir daí, avaliar as probabilidades dessa economia ficarem dentro de certos limites, de modo a complementar a análise de RISCO. Assim, o usuário pode saber a probabilidade de economizar \$, conforme a incerteza e variabilidade na precipitação (o que varia de uma região para outra);

ANÁLISE: Como a tarifa varia de acordo com o local, optou-se por utilizar o volume no intuito de facilitar a comparação entre regiões. Contudo, para cálculo do tempo de retorno, esse volume foi convertido para valor monetário.

6. Amplitude da intervenção;

ANÁLISE: Esse critério foi mensurado na interferência ao morador.

7. Facilidade de operação e manutenção da solução;

ANÁLISE: Esse critério foi mensurado na complexidade do sistema.

8. Necessidade de mão de obra / serviço extra especializado para operação da solução;

ANÁLISE: Esse critério foi mensurado na complexidade do sistema.

9. Vida útil esperada da solução;

ANÁLISE: Foi definido, por efeito da norma de desempenho da ABNT, que todos esses equipamentos e instalações deverão ter vida útil mínima de 20 anos. Na análise do tempo de retorno esse período é comparado com a vida útil para avaliar a rentabilidade.

10. Aceitação da solução adotada por parte dos usuários;

ANÁLISE: A aceitação depende do fator que cada usuário considera importante. Então, a decisão final está nas mãos de vários atores com pontos de vista diferente. Com isso, caracteriza-se o método multicritério. Assim, pretende-se que a aceitação seja baseada na análise multicritério de vários objetivos.

11. Cor da água;

ANÁLISE: Normalmente está associada a estética da água e tem relação direta com a potabilidade da água. Para água residuárias, normalmente não é utilizada como parâmetro.

12. Gestão da demanda incluindo: setorização do consumo, controle de perdas, mudança do sistema produtivo para consumir menos água e gerar menos efluentes, e estabelecendo benchmarks para indicadores de consumo (água consumida por unidade de produto e efluente gerado por unidade de consumo);

ANÁLISE: Considera-se esse controle de consumo importante. Contudo ele serve para regular e verificar o ponto ótimo do sistema após uma medição individual ter sido instalado.

13. Vida útil do sistema;

ANÁLISE: Já comentada.

14. Possibilidade de emissão de odores fétidos;

ANÁLISE: O sistema terá tubulação de ventilação para eliminação de odores.

15. Contribuição para redução do pico de vazão de águas pluviais;

ANÁLISE: O sistema contribui parcialmente para o pico de cheias, dependendo do mês do ano, do volume presente no reservatório e do pico da cheia. Por exemplo, numa análise mensal na cidade de Brasília, utilizando o estudo de caso em questão, uma chuva de duração de 15 minutos produziria, pela IDF, aproximadamente, 50m<sup>3</sup>. Considerando o reservatório de 135m<sup>3</sup> adotado, os meses de janeiro e abril a novembro conseguiriam atender o pico dessa cheia. Contudo, os meses de fevereiro, março e dezembro atenderiam parcialmente, sendo o último mês de forma irrisória. Assim, pode-se dizer que há uma colaboração com a diminuição do pico das cheias na ordem de 86% nesse estudo de caso.

16. Normas e convenções existentes que serão aplicadas ao melhor método de economia de água;

ANÁLISE: Esses itens não foram contemplados como critérios e sim como parâmetros para elaboração do sistema.

Na parte que se refere à operação/manutenção, conscientizar os usuários de como utilizar os equipamentos de maneira adequada, para que se possa ter o retorno estimado. No meu entendimento, esta é uma das etapas mais importantes, pois não adianta investir em equipamentos com a finalidade de economia de recursos naturais e de recursos financeiros se o usuário não souber usar os equipamentos. Uma boa alternativa é fazer um manual de usuário para que todos que utilizem a edificação possam operar adequadamente os mesmos;

ANÁLISE: A empresa fornecedora contempla entrega de manual. Além disso, o operador diário do sistema estará treinado e capacitado para os mínimos detalhes de operação.

17. Volume de água que deixa de ser captado;

ANÁLISE: Foi contemplado no item volume de água desperdiçado.

18. Aceitabilidade pelos moradores;

ANÁLISE: Já comentada.

19. Facilidade de operação, manutenção e reparos;

ANÁLISE: Esse critério foi mensurado na complexidade do sistema.

20. Esse estudo deveria ampliar o horizonte (macro) e detalhar mais o tema (micro): a) analisar circunstâncias de oferta e demanda d'água; b) verificar a qualidade da água necessária para cada fim; e c) os costumes da sociedade (cultura). Alguns exemplos: lavar rua e calçada pode ser substituído, em grande parte, por varrer; lavar um carro pode ser equivalente a passar um pano úmido; regar plantas pode ser substituído por umedecer a terra. Relaxar no banho (prazer) pode ser substituído por passar um pano úmido no rosto e algumas partes do corpo e lavar-se apenas; recomendar às pessoas para não urinar no chuveiro ou urinar. 1) Deveria levar em consideração quando há falta de água. Por exemplo: região do sertão nordestino onde a população usa até água barrenta para sobreviver. 2) Sobre o ponto de vista econômico, levando em consideração o princípio de Pareto, a descarga e o banho devem receber mais atenção que os demais consumos e o que se fizer nesses usos tem enorme repercussão no consumo d'água. 3) Se ao andar na rua e cair uma chuva o ser humano se molha com essa água, porque com um tratamento mínimo, apenas para a água da chuva, na residência, essa água não pode ser usada

para tomar banho? O banho consome grande parte da água residencial. 4) Outro grande consumidor de água em uma residência é a descarga. Se houvesse uma separação das fezes da urina, na origem, não poderia ser aproveitada as fezes para adubo orgânico e a urina descartada, tudo, sem grande gasto de água?

ANÁLISE: O presente estudo contemplou apenas a região de Brasília. Mas outros estudos poderão comparar diversas capitais. O banho não foi contemplado nesse estudo visto que se optou por trabalhar por água não potável.

21. Os critérios pareceram-me muito bem delineados;

ANÁLISE: Obrigado.

22. Considero importantes os aspectos comportamentais dos usuários, pois caso isso não seja trabalhado criteriosamente, os investimentos poderão não atingir os resultados esperados. A discussão sobre o consumo necessário, para a realização das atividades consumidoras de água, é muito importante de ser realizada com os usuários;

ANÁLISE: Deverá existir um tempo de maturação do comportamento e hábito com relação ao uso de dois tipos de água (potável e não potável).

23. Algumas dúvidas/considerações: A iniciativa de conservação é só da concessionária? O consumo médio atual de água potável está fora da média aceitável ou a oferta de água está no limite, implicando em novos investimentos da concessionária para atender à população, dentre eles as medidas de conservação? Existe uma boa comunicação da concessionária explicando a necessidade de reduzir consumo e que isso implica em aumento de tarifas para garantir o atendimento e não apenas uma questão de ter payback? A área ocupada está sendo quantificada como perda de espaço útil para outros usos das edificações funcionais? A decisão sobre a construção de novas instalações envolve os condôminos e o órgão ao qual eles pertencem? A verificação da capacidade das estruturas e fundações atuais suportarem as novas instalações é levada em conta? Na cidade de Nova York, a substituição de torneiras, descargas de vasos e chuveiros passou a ser implementada com legislação que exige substituição de equipamentos ineficientes na venda de imóveis, quando se paga um ITBI (Imposto de transmissão de bens imóveis). Como este valor é bem elevado em comparação com os gastos, gradualmente as

instalações vão sendo atualizadas e as que sofreram atualização têm valorização. Os aspectos técnicos não poderiam ser monetizados?

ANÁLISE: A iniciativa de conservação é da população e do meio técnico. A área ocupada foi definida como perda de espaço sim. A decisão de construção de novas instalações envolve apenas o órgão e não o condomínio. A verificação dos aspectos necessários a novas instalações é pré-requisito para viabilidade do empreendimento. No estudo de caso dos edifícios a serem reformados, tudo isso já foi verificado.

24. Os critérios de qualidade de água devem ser usados principalmente na água que será utilizada pelo morador. Não é?

ANÁLISE: Os critérios de qualidade de água serão usados em duas etapas. Na primeira, uso da amostra bruta para selecionar a alternativa de menor necessidade de tratamento. Após instalação, uso da amostra bruta e da amostra final a fim de garantir a operação do sistema.

25. Qualidade de água --> turbidez é mais importante que DBO ou SST ... falta cloro residual na água de reúso. Critérios técnicos --> produção de lodo, nível de mecanização ou facilidade de reposição de componentes, demanda de produtos químicos.

ANÁLISE: O cloro residual tem seu valor definido por norma, não sendo um critério. A produção de lodo foi calculada através da estatística disponível na bibliografia. O nível de mecanização e facilidade de reposição estão contemplados na complexidade do sistema. Já a demanda de produtos químicos está inserida nos custos operacionais, visto que o consumo deles é diretamente proporcional ao custo. A turbidez não é utilizada em águas residuárias no aspecto que considera a maior ou menor dificuldade em tratar a água bruta. Será utilizada (juntamente com odor e cor) como parâmetro e não critério durante a operação a fim de calibrar o sistema.

26. Outros critérios econômicos devem ser considerados: Valor Presente Líquido, Taxa Interna de Retorno, Rentabilidade etc.

ANÁLISE: Existem diversos critérios econômicos para medir o desempenho de um investimento. Alguns apresentam maior ou menor facilidade de cálculo. Foram escolhidos termos menos técnicos a fim de facilitar a compreensão, sem causar danos na análise do investimento.

27. Um Índice de Sustentabilidade, que considere as dimensões social, econômica e ambiental, deve ser proposto ou indicado para facilitar as comparações entre as diferentes soluções.

ANÁLISE: A sustentabilidade tem seu conceito amplo, podendo ser definida por todos os critérios abordados.

28. Os critérios de qualidade da água foram respondidos para águas de reúso ou de aproveitamento de águas de chuva. A água potável tem qualidade estabelecida pela Portaria MS 2914/2011.

ANÁLISE: Em todos os casos dessa pesquisa foi utilizada água não potável, não havendo parâmetro de qualidade de água.

29. A questão relativa a critérios sociais está um tanto dúbia e contém um erro. A água para ingestão deve obedecer ao padrão de potabilidade que por meio de um indicador garante ausente de microrganismos patogênicos.

ANÁLISE: Em todos os casos dessa pesquisa foi utilizada água não potável, não havendo parâmetro de qualidade de água.

30. Ainda no mesmo critério (Risco anual da falta de água de reúso) a palavra risco parece inadequada. Uma modelagem compreendendo o perfil de consumo da unidade habitacional considerada as qualidades (forma como ocorre a demanda por aparelho sanitário) e as médias diárias históricas de precipitação pluvial, permitem uma análise do tipo (oferta x demanda) dia a dia, considerando dia da semana e época do ano.

ANÁLISE: Não há perfil de consumo disponível para as unidades habitacionais em Brasília, carecendo de um estudo para tal fim. Ainda assim, o critério risco foi calculado baseado na média anual de falta de água.

## APÊNDICE D –QUESTIONÁRIO RELATIVO AOS PESOS DOS CRITÉRIOS

Foi aplicado um questionário final cujo título era o mesmo do primeiro apenas diferenciando o conteúdo do questionário. Seu conteúdo constava conforme transcrição abaixo:

Prezado Sr. / Sra.,

Esta é a segunda parte do questionário integrante da dissertação de Mestrado de **JORGE THIAGO DUARTE DA SILVA VIANNA** no PTARH-UnB (Pós-graduação em tecnologia ambiental e recursos hídricos), cujo título é **ANÁLISE DE ALTERNATIVAS PARA A CONSERVAÇÃO DE ÁGUA EM EDIFICAÇÕES RESIDENCIAIS FUNCIONAIS EM BRASÍLIA-DF**. Meus orientadores são o professor **Marco Antonio Almeida de Souza** e a professora **Conceição de Maria Albuquerque Alves**. Relembro que esta pesquisa tem como objetivo analisar as alternativas de conservação de água em edificações residenciais funcionais no Plano Piloto, em Brasília.

As estatísticas, escoima e outros dados da primeira fase estão disponíveis em </upload/surveys/5/files/estatistica.pdf>

Obrigado pela sua contribuição a esta pesquisa, ao ter respondido a primeira parte do Questionário 01, que tratava de distinguir os critérios que são considerados mais importantes para a comparação das tecnologias de conservação de água em prédios residenciais. A partir das respostas obtidas, foi realizada a escoima estatística dos critérios que não obtiveram porcentagem significativa de aceitação. Agora, no Questionário 02, solicitamos que sejam atribuídos pesos a cada um dos subobjetivos e seus critérios. Para avaliar o seu grau de importância no processo de comparação ou seleção das tecnologias de conservação predial de água o (a) senhor (a) poderá pontuá-los de 0 a 10.

Após definidos os pesos de cada subobjetivo e critério, será possível comparar as alternativas individualmente e em grupos (combinações).

Individualmente, têm-se as alternativas de medição individualizada do consumo de água, reúso de água com água cinza, uso de água pluvial, emprego de redução de pressão e de equipamentos

economizadores de água. As fontes para o sistema de reúso de água cinza serão do chuveiro, lavatório, máquina de lavar roupa, tanque e suas combinações. Já as demandas para os sistemas de água pluvial e reúso serão a bacia sanitária, irrigação de jardins, lavagem de pisos e suas combinações.

O método multicritério faz-se necessário visto que, para um mesmo problema há várias soluções. Assim, dependendo de cada objetivo e seus pesos, a solução pode se alternar. Daí a necessidade de obter diferentes pontos de vista. Assim, a análise ficará mais ampla e diminuir-se o grau de incerteza da decisão.

Há 6 perguntas no questionário.

Seguem os subobjetivos e critérios que serão pontuados

Caso seja necessário, ao final da tabela haverá uma breve explicação de cada critério.

\* Os subobjetivos a seguir expostos foram obtidos por meio de pesquisas na literatura juntamente com reflexões sobre a busca pela alternativa de CONSERVAÇÃO DE ÁGUA de melhor desempenho.  
Para avaliar o peso de cada SUBJETIVO abaixo, faz-se necessário que o(a) senhor(a) pontue cada um variando de 0 a 10, conforme seu grau de importância.

|                   | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    | Não opinar            |
|-------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| ECONÔMICO         | <input type="radio"/> |
| AMBIENTAL         | <input type="radio"/> |
| SOCIAL            | <input type="radio"/> |
| TÉCNICOS          | <input type="radio"/> |
| QUALIDADE DE ÁGUA | <input type="radio"/> |

\* Qual o peso mais adequado para cada critério ECONÔMICO ?

|                        | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    | Não opinar            |
|------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Valor presente líquido | <input type="radio"/> |
| Custo de implantação   | <input type="radio"/> |
| Custo de operação      | <input type="radio"/> |
| Tempo de retorno       | <input type="radio"/> |

Valor presente líquido (VPL): é a fórmula matemático-financeira capaz de determinar o valor presente de pagamentos futuros descontados a uma taxa de juros apropriada, menos o custo do investimento inicial. O prazo utilizado no VPL será de 20 anos (vida útil).

Custo de implantação: É composto por todos os custos referentes a materiais, serviços, instalações e equipamentos para adequar a edificação as necessidades do sistema.

Custo de operação: É composto pelos custos relativos a insumos (tais como cloro, etc) e por substituição de materiais devido a limite da vida útil.

Tempo de retorno: Refere-se ao tempo que será necessário para o investimento inicial ser recuperado. Considera os juros do investimento do capital.

Qual o peso mais adequado para cada critério de QUALIDADE DE ÁGUA?

|  | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    | Não opinar            |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| DBO (demanda bioquímica de oxigênio)       | <input type="radio"/> |
| SST (sólidos em suspensão totais)          | <input type="radio"/> |
| Coliformes fecais na água bruta do sistema | <input type="radio"/> |

DBO (demanda bioquímica de oxigênio): Seu valor de referência será medido imediatamente antes do sistema de tratamento. Altos valores provocam odores e diminuição do oxigênio disponível no sistema. É definida como a quantidade de oxigênio consumido na degradação da matéria orgânica disponível no meio aquático. Ocorre por processos biológicos. Quanto maior seu valor, maior a quantidade de matéria orgânica biodegradável existirá.

SST (sólidos suspensos totais): Seu valor de referência será medido imediatamente antes do sistema de tratamento. Altos valores provocam entupimento das tubulações e danos aos equipamentos. Define-se como as pequenas partículas sólidas que ficam em suspensão em água.

Coliformes fecais na água bruta do sistema: Seu valor de referência será medido imediatamente antes do sistema de tratamento. Quanto mais alto os valores, maior a contaminação por fezes humanas. São as bactérias que estão presentes em grandes quantidades no intestino dos animais de sangue quente.

\* Qual o peso mais adequado para cada critério AMBIENTAL?

|  | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    | Não opinar            |
|--|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Volume de água a ser reduzido do consumo final | <input type="radio"/> |
| Volume de água desperdiçado                    | <input type="radio"/> |
| Volume de água complementar                    | <input type="radio"/> |
| Quantidade lodo produzida                      | <input type="radio"/> |

Volume de água a ser reduzido do consumo final: Refere-se ao volume de água economizado na fatura de água.

Volume de água desperdiçado pelo sistema: Refere-se ao volume de água não potável (oriundo da captação pluvial ou de reúso) que o sistema captou, não utilizou e deverá descartar na rede de esgoto/pluvial.

Volume de água complementar ao sistema: Volume de água da CAESB a ser inserido no sistema de forma que o mesmo funcione plenamente. Apenas será necessário nos casos em que o sistema não for autossuficiente.

Quantidade de lodo gerado: material formado por flocos biológicos, resultantes do crescimento biológico do reator. Seu excesso é prejudicial ao sistema e deve ser descartado.

\* Qual o peso mais adequado para cada critério SOCIAL?

|                              | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    | Não opinar            |
|------------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Risco a saúde                | <input type="radio"/> |
| Risco anual de falta de água | <input type="radio"/> |
| Interferências ao morador    | <input type="radio"/> |

Risco à saúde: máxima quantidade de água contendo patógenos que poderia ser ingerida sem gerar risco a saúde do ser humano.

Risco anual de falta de água: Corresponde ao risco do sistema não ser autônomo e necessitar de complemento de água proveniente de outra fonte.

Interferências ao morador: diversas adequações e manutenções necessitarão de intervenções internas ao apartamento. Isso provocará desconforto na rotina dos moradores. Tem relação direta com a amplitude de intervenção.

\* Qual o peso mais adequado para cada critério TÉCNICO?

|                         | 0                     | 1                     | 2                     | 3                     | 4                     | 5                     | 6                     | 7                     | 8                     | 9                     | 10                    | Não<br>opinar         |
|-------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------------|
| Área ocupada            | <input type="radio"/> |
| Consumo de energia      | <input type="radio"/> |
| Complexidade do sistema | <input type="radio"/> |

Área ocupada: espaço físico a ser destinado aos filtros, equipamentos e reservatórios aparentes.

Consumo de energia: gasto de energia da concessionária para manter o sistema em funcionamento.

Complexidade do sistema: refere-se a dificuldade de instalação e operação dos equipamentos e seus acessórios. Por consequência, irá requerer mão de obra extremamente especializada. Quanto mais simples, melhor. Tem relação direta com a facilidade de operação e manutenção.

## APÊNDICE E – ESTATÍSTICA DO QUESTIONÁRIO RELATIVO AOS PESOS

Seguem abaixo as estatísticas de cada item avaliado através do questionário final, assim como suas percentagens finais:

### a) SUBOBJETIVO ECONÔMICO

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Percentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>1 (A2)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 8               | 9,09%              |
| <b>8 (A9)</b>           | 21              | 23,86%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 18              | 20,45%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 21              | 23,86%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 2               | 2,27%              |

### b) SUBOBJETIVO AMBIENTAL

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Percentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>1 (A2)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 6               | 6,82%              |
| <b>8 (A9)</b>           | 14              | 15,91%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 16              | 18,18%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 32              | 36,36%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 1               | 1,14%              |

c) SUBOBJETIVO SOCIAL

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>1 (A2)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 10              | 11,36%             |
| <b>6 (A7)</b>           | 5               | 5,68%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 5               | 5,68%              |
| <b>8 (A9)</b>           | 19              | 21,59%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 12              | 13,64%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 19              | 21,59%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 2               | 2,27%              |

d) SUBOBJETIVO TÉCNICO

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>1 (A2)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 5               | 5,68%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 10              | 11,36%             |
| <b>8 (A9)</b>           | 19              | 21,59%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 18              | 20,45%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 19              | 21,59%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 2               | 2,27%              |

e) SUBOBJETIVO QUALIDADE DA ÁGUA

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>1 (A2)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 4               | 4,55%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 6               | 6,82%              |
| <b>8 (A9)</b>           | 11              | 12,50%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 15              | 17,05%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 34              | 38,64%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 2               | 2,27%              |

a) CRITÉRIOS ECONÔMICOS

a1) VALOR PRESENTE LÍQUIDO

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>1 (A2)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 7               | 7,95%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 4               | 4,55%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 11              | 12,50%             |
| <b>8 (A9)</b>           | 18              | 20,45%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 7               | 7,95%              |
| <b>10 (A11)</b>         | 15              | 17,05%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 6               | 6,82%              |

a2)CUSTO DE OPERAÇÃO

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>1 (A2)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 4               | 4,55%              |
| <b>8 (A9)</b>           | 14              | 15,91%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 19              | 21,59%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 28              | 31,82%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 0               | 0,00%              |

a3)TEMPO DE RETORNO

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>1 (A2)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 4               | 4,55%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 8               | 9,09%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 7               | 7,95%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 6               | 6,82%              |
| <b>8 (A9)</b>           | 14              | 15,91%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 12              | 13,64%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 17              | 19,32%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 2               | 2,27%              |

a4) CUSTO DE IMPLANTAÇÃO

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>1 (A2)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 8               | 9,09%              |
| <b>8 (A9)</b>           | 10              | 11,36%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 20              | 22,73%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 29              | 32,95%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 1               | 1,14%              |

b) CRITÉRIOS AMBIENTAIS

b1) VOLUME DE ÁGUA A SER REDUZIDO DO CONSUMO FINAL

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>1 (A13)</b>          | 0               | 0,00%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 6               | 6,82%              |
| <b>8 (A9)</b>           | 9               | 10,23%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 17              | 19,32%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 38              | 43,18%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 1               | 1,14%              |

b2) ÁGUA DESPERDIÇADA

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>1 (A13)</b>          | 1               | 1,14%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 5               | 5,68%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 5               | 5,68%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 13              | 14,77%             |
| <b>8 (A9)</b>           | 14              | 15,91%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 9               | 10,23%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 20              | 22,73%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 3               | 3,41%              |

b3) VOLUME DE ÁGUA COMPLEMENTAR

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>1 (A13)</b>          | 0               | 0,00%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 9               | 10,23%             |
| <b>6 (A7)</b>           | 4               | 4,55%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 13              | 14,77%             |
| <b>8 (A9)</b>           | 21              | 23,86%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 11              | 12,50%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 7               | 7,95%              |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 6               | 6,82%              |

b4) QUANTIDADE DE LODO PRODUZIDA

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>1 (A13)</b>          | 0               | 0,00%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 5               | 5,68%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 6               | 6,82%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 12              | 13,64%             |
| <b>7 (A8)</b>           | 13              | 14,77%             |
| <b>8 (A9)</b>           | 7               | 7,95%              |
| <b>9 (A10)</b>          | 13              | 14,77%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 11              | 12,50%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 5               | 5,68%              |

a) CRITÉRIOS SOCIAIS

c1) RISCO A SAÚDE

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>1 (A13)</b>          | 0               | 0,00%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>8 (A9)</b>           | 9               | 10,23%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 8               | 9,09%              |
| <b>10 (A11)</b>         | 49              | 55,68%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 3               | 3,41%              |

c2) RISCO ANUAL DE FALTA DE ÁGUA

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>1 (A13)</b>          | 1               | 1,14%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 9               | 10,23%             |
| <b>6 (A7)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 11              | 12,50%             |
| <b>8 (A9)</b>           | 19              | 21,59%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 9               | 10,23%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 19              | 21,59%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 3               | 3,41%              |

c3) INTERFERÊNCIAS AO MORADOR

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>1 (A13)</b>          | 1               | 1,14%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 14              | 15,91%             |
| <b>6 (A7)</b>           | 9               | 10,23%             |
| <b>7 (A8)</b>           | 12              | 13,64%             |
| <b>8 (A9)</b>           | 11              | 12,50%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 7               | 7,95%              |
| <b>10 (A11)</b>         | 12              | 13,64%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 2               | 2,27%              |

d) CRITÉRIOS TÉCNICOS

d1) ÁREA OCUPADA

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>1 (A13)</b>          | 1               | 1,14%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 9               | 10,23%             |
| <b>6 (A7)</b>           | 4               | 4,55%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 14              | 15,91%             |
| <b>8 (A9)</b>           | 22              | 25,00%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 12              | 13,64%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 9               | 10,23%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 1               | 1,14%              |

d2) CONSUMO DE ENERGIA

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>1 (A13)</b>          | 1               | 1,14%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 9               | 10,23%             |
| <b>8 (A9)</b>           | 11              | 12,50%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 20              | 22,73%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 23              | 26,14%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 4               | 4,55%              |

d3) COMPLEXIDADE DO SISTEMA

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>1 (A13)</b>          | 0               | 0,00%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 4               | 4,55%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 9               | 10,23%             |
| <b>8 (A9)</b>           | 14              | 15,91%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 14              | 15,91%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 27              | 30,68%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 3               | 3,41%              |

e) CRITÉRIO DE QUALIDADE DE ÁGUA

e1) DBO

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>1 (A13)</b>          | 0               | 0,00%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 4               | 4,55%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 3               | 3,41%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 8               | 9,09%              |
| <b>8 (A9)</b>           | 12              | 13,64%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 13              | 14,77%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 27              | 30,68%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 12              | 13,64%             |

e2) SST

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>1 (A13)</b>          | 0               | 0,00%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 5               | 5,68%              |
| <b>8 (A9)</b>           | 22              | 25,00%             |
| <b>9 (A10)</b>          | 18              | 20,45%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 20              | 22,73%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 4               | 4,55%              |

e3) COLIFORMES FECAIS NA ÁGUA BRUTA

| <b>Resposta</b>         | <b>Contagem</b> | <b>Porcentagem</b> |
|-------------------------|-----------------|--------------------|
| <b>0 (A1)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>1 (A13)</b>          | 0               | 0,00%              |
| <b>2 (A3)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>3 (A4)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>4 (A5)</b>           | 0               | 0,00%              |
| <b>5 (A6)</b>           | 2               | 2,27%              |
| <b>6 (A7)</b>           | 1               | 1,14%              |
| <b>7 (A8)</b>           | 4               | 4,55%              |
| <b>8 (A9)</b>           | 5               | 5,68%              |
| <b>9 (A10)</b>          | 11              | 12,50%             |
| <b>10 (A11)</b>         | 46              | 52,27%             |
| <b>Não opinar (A12)</b> | 4               | 4,55%              |

## APÊNDICE F - CÁLCULOS DOS RESERVATÓRIOS DE ÁGUA DE CHUVA

As precipitações utilizadas nesse estudo levam em conta os dados obtidos da estação meteorológica de Brasília, código 83377, com dados iniciais desde 1961 (INMET, 2015), totalizando 19404 dias. Foi utilizado o coeficiente de escoamento superficial de 0,8, perdas para limpeza de 2mm e área de 1129m<sup>2</sup>.

Ao calcular-se a soma diária de todos os dias, já descontada as perdas, obteve-se 68.687,4 mm, o que representa uma média de 3,54mm por dia e anual de 1.292,05mm.

O método inglês leva em consideração a equação F1.

$$VOLUME = 0,05 \times Precipitação\ média\ anual \times \frac{Área\ de\ captação}{1000} \quad F1$$

$$VOLUME = 0,05 * 1129 * 1292,05 = 73m^3$$

O método alemão utiliza o menor dos valores calculados nas equações F2 e F3.

$$VOLUME\ 2 = 0,06 \times Precipitação\ média\ anual \times \frac{Área\ de\ captação}{1000} \quad F2$$

$$VOLUME\ 2 = 0,06 \times 1292,05 \times \frac{1129,05}{1000} = 122,4m^3$$

$$VOLUME\ 1 = 0,06 \times Demanda\ mensal \times 12 \quad F3$$

$$VOLUME\ 1 = 0,06 \times 170 \times 12 = 88m^3$$

O método de Azevedo Neto utiliza os meses de menor chuva como referência, assim como é mostrado na equação F4. Nesse caso, foram utilizados apenas os piores meses (junho, julho e agosto).

*VOLOLUME*

$$= 0,042 \times \text{meses pouca chuva} \times \text{Precipitação média anual} \times \frac{\text{Área de captação}}{1000}$$

F4

$$VOLUME = 0,052 \times 1292,05 \times 3 \times \frac{1129,05}{1000} = 184m^3$$

O método da simulação com dados mensais consiste na elaboração de planilha em busca de um reservatório de volume (V) onde haja a maior confiabilidade. Os passos de cálculo são descritos a seguir na equação F5.

$$S(t) = Q(t) + S(t - 1) - D(t)$$

$$S(t) = Q(t) + S(t - 1) - D(t)$$

$$Q(t) = C \times \text{Precipitação} \times \text{Área captação}$$

F5

$$0 \leq S(t) \leq V$$

Onde: S(t) é o volume de água no reservatório no tempo t

S(t+1) é o volume de água no reservatório no tempo t+1

Q(t) é o volume de chuva no tempo t

D(t) é a demanda no tempo t

C é o coeficiente de escoamento superficial

A confiabilidade é dada pela razão entre o número de meses sem falta de água e os doze meses do ano.

Exemplificando o processo através do cálculo para demanda de 170m<sup>3</sup> por mês, e reservatórios de 50m<sup>3</sup>, 66m<sup>3</sup>, 75m<sup>3</sup> e 100m<sup>3</sup> através das Tabela F.1, Tabela F.2, Tabela F.3 e Tabela F.4. Nessa modelagem atingiu-se a maior confiabilidade em 50%.

*Tabela F.1- Simulação mensal para reservatório de 50m<sup>3</sup> com confiabilidade de 41,67%*

|           | Precipitação (mm) | Volume chuva (m <sup>3</sup> ) | S(t-1) (m <sup>3</sup> ) | S(t) (m <sup>3</sup> ) | Extravasado (m <sup>3</sup> ) | Escassez (m <sup>3</sup> ) |
|-----------|-------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Janeiro   | 284               | 257                            | 0                        | 0                      | 37                            | 0                          |
| Fevereiro | 211               | 191                            | 0                        | 21                     | 0                             | 0                          |
| Março     | 224               | 202                            | 21                       | 21                     | 3                             | 0                          |
| Abril     | 136               | 123                            | 21                       | -27                    | 0                             | 27                         |
| Maió      | 34                | 31                             | 0                        | -139                   | 0                             | 139                        |
| Junho     | 7                 | 6                              | 0                        | -164                   | 0                             | 164                        |
| Julho     | 10                | 9                              | 0                        | -161                   | 0                             | 161                        |
| Agosto    | 14                | 13                             | 0                        | -157                   | 0                             | 157                        |
| Setembro  | 49                | 44                             | 0                        | -126                   | 0                             | 126                        |
| Outubro   | 163               | 147                            | 0                        | -23                    | 0                             | 23                         |
| Novembro  | 260               | 235                            | 0                        | 0                      | 15                            | 0                          |
| Dezembro  | 276               | 249                            | 0                        | 0                      | 29                            | 0                          |

*Tabela F.2- Simulação mensal para reservatório de 66m<sup>3</sup> com confiabilidade de 50%*

|           | Precipitação (mm) | Volume chuva (m <sup>3</sup> ) | S(t-1) (m <sup>3</sup> ) | S(t) (m <sup>3</sup> ) | Extravasado (m <sup>3</sup> ) | Escassez (m <sup>3</sup> ) |
|-----------|-------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Janeiro   | 284               | 257                            | 0                        | 0                      | 21                            | 0                          |
| Fevereiro | 211               | 191                            | 0                        | 21                     | 0                             | 0                          |
| Março     | 224               | 202                            | 21                       | 53                     | 0                             | 0                          |
| Abril     | 136               | 123                            | 53                       | 6                      | 0                             | 0                          |
| Maió      | 34                | 31                             | 6                        | -134                   | 0                             | 134                        |
| Junho     | 7                 | 6                              | 0                        | -164                   | 0                             | 164                        |
| Julho     | 10                | 9                              | 0                        | -161                   | 0                             | 161                        |
| Agosto    | 14                | 13                             | 0                        | -157                   | 0                             | 157                        |
| Setembro  | 49                | 44                             | 0                        | -126                   | 0                             | 126                        |
| Outubro   | 163               | 147                            | 0                        | -23                    | 0                             | 23                         |
| Novembro  | 260               | 235                            | 0                        | 65                     | 0                             | 0                          |
| Dezembro  | 276               | 249                            | 65                       | 65                     | 78                            | 0                          |

*Tabela F.3- Simulação mensal para reservatório de 75m<sup>3</sup> com confiabilidade de 50%*

|           | Precipitação (mm) | Volume chuva (m <sup>3</sup> ) | S(t-1) (m <sup>3</sup> ) | S(t) (m <sup>3</sup> ) | Extravasado (m <sup>3</sup> ) | Escassez (m <sup>3</sup> ) |
|-----------|-------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Janeiro   | 284               | 257                            | 0                        | 0                      | 12                            | 0                          |
| Fevereiro | 211               | 191                            | 0                        | 21                     | 0                             | 0                          |
| Março     | 224               | 202                            | 21                       | 53                     | 0                             | 0                          |
| Abril     | 136               | 123                            | 53                       | 6                      | 0                             | 0                          |
| Mai       | 34                | 31                             | 6                        | -134                   | 0                             | 134                        |
| Junho     | 7                 | 6                              | 0                        | -164                   | 0                             | 164                        |
| Julho     | 10                | 9                              | 0                        | -161                   | 0                             | 161                        |
| Agosto    | 14                | 13                             | 0                        | -157                   | 0                             | 157                        |
| Setembro  | 49                | 44                             | 0                        | -126                   | 0                             | 126                        |
| Outubro   | 163               | 147                            | 0                        | -23                    | 0                             | 23                         |
| Novembro  | 260               | 235                            | 0                        | 65                     | 0                             | 0                          |
| Dezembro  | 276               | 249                            | 65                       | 65                     | 69                            | 0                          |

*Tabela F4- Simulação mensal para reservatório de 100m<sup>3</sup> com confiabilidade de 50%*

|           | Precipitação (mm) | Volume chuva (m <sup>3</sup> ) | S(t-1) (m <sup>3</sup> ) | S(t) (m <sup>3</sup> ) | Extravasado (m <sup>3</sup> ) | Escassez (m <sup>3</sup> ) |
|-----------|-------------------|--------------------------------|--------------------------|------------------------|-------------------------------|----------------------------|
| Janeiro   | 284               | 257                            | 0                        | 87                     | 0                             | 0                          |
| Fevereiro | 211               | 191                            | 87                       | 87                     | 7                             | 0                          |
| Março     | 224               | 202                            | 87                       | 87                     | 19                            | 0                          |
| Abril     | 136               | 123                            | 87                       | 39                     | 0                             | 0                          |
| Mai       | 34                | 31                             | 39                       | -100                   | 0                             | 100                        |
| Junho     | 7                 | 6                              | 0                        | -164                   | 0                             | 164                        |
| Julho     | 10                | 9                              | 0                        | -161                   | 0                             | 161                        |
| Agosto    | 14                | 13                             | 0                        | -157                   | 0                             | 157                        |
| Setembro  | 49                | 44                             | 0                        | -126                   | 0                             | 126                        |
| Outubro   | 163               | 147                            | 0                        | -23                    | 0                             | 23                         |
| Novembro  | 260               | 235                            | 0                        | 65                     | 0                             | 0                          |
| Dezembro  | 276               | 249                            | 65                       | 65                     | 44                            | 0                          |

O método da simulação com dados diários consiste na mesma formulação e lógica do método a simulação mensal. Contudo, sua planilha será mais extensa conforme o número de dias disponíveis. No presente estudo utilizou todos os dias disponíveis na estação do INMET, totalizando 19.407 dias. Com isso, produziu-se a tabela F.5 com um resumo dos volumes dos reservatórios por esse método.

*Tabela F.5- Simulação diária para diversos volumes de reservatório e demanda de 177m<sup>3</sup> por mês*

| <b>Volume do reservatório (m<sup>3</sup>)</b> | <b>Confiança no volume (%)</b> | <b>Custo do reservatório (R\$)</b> | <b>Projeção da área do reservatório (m<sup>2</sup>)</b> |
|---|--------------------------------|------------------------------------|---|
| 10  | 22,7                           | 17.313,30                          | 12,19   |
| 20  | 31                             | 32.242,30                          | 23,69   |
| 30  | 37,2                           | 47.171,30                          | 35,19   |
| 40  | 41,6                           | 62.100,30                          | 46,69   |
| 50  | 44,8                           | 77.029,30                          | 58,19   |
| 75  | 49,6                           | 114.351,80                         | 86,94   |
| 100   | 52,4                           | 151.674,30                         | 115,69  |
| 125   | 54,4                           | 188.996,80                         | 144,44  |
| 135   | 55,12                          | 203.925,80                         | 155,94  |
| 150   | 55,9                           | 226.319,30                         | 173,19  |
| 175   | 57,3                           | 263.641,80                         | 201,94  |
| 200   | 58,4                           | 300.964,30                         | 230,69  |
| 250   | 60,4                           | 375.609,30                         | 288,19  |
| 300   | 62                             | 450.254,30                         | 345,69  |
| 400   | 64,5                           | 599.544,30                         | 460,69  |
| 500   | 66                             | 748.834,30                         | 575,69  |
| 750   | 67                             | 1.122.059,30                       | 863,19  |
| 1000  | 67                             | 1.495.284,30                       | 1150,69   |
| 1500  | 67                             | 2.241.734,30                       | 1725,69   |

Diante da tabela F.5 é possível descartar todos os reservatórios com confiança menor que 50% e aqueles com área superior à 30% da projeção edificação, ficando os volumes de 100 a 300 m<sup>3</sup>. Entretanto, a curva de volume versus custo desses volumes aproxima-se de uma reta a partir de 500m<sup>3</sup>. Assim, obteve-se o menor custo, otimizado para o maior volume ocorre para o reservatório de 500m<sup>3</sup>.

## APÊNDICE G - CÁLCULOS DO RISCO A SAÚDE PELO MÉTODO DE BETA-POISSON

Os métodos matemáticos mais usuais para avaliação de dose-resposta, relacionando a dose ingerido de patógeno ao risco de infecção são os modelos exponenciais e os modelos de Beta-Poisson.

O método de Beta-Poisson proposto por Watercasa (2004) foi selecionado pois este considera que a probabilidade de infecção varia de acordo com a população, enquanto o modelo exponencial pressupõe que os microrganismos estão distribuídos de maneira aleatória e com a mesma probabilidade de contaminação. Além do que, os parâmetros desse método são bem definidos para a *Escherichia Coli*, com alfa igual a 0,1705 e beta igual  $1,61 \times 10^6$ . A quantidade de microrganismos ( $D = [NMP/100mL] \times V$  (volume ingerido)), o número de vezes de exposição (N), a contaminação máxima numa exposição unitária (P) e parâmetros de calibragem ( $\alpha$  e  $\beta$ ) são aplicados a equação G1. O risco em um ano é dado pela multiplicação da probabilidade da dose ingerida pelo número de dias que a mesma foi repetida. Já o valor estabelecido pelo critério será dado por uma adequação matemática, conforme equação G2 e visa evitar valores indeterminados.

$$PP = P * N = 1 - \left(1 + \frac{D}{\beta}\right)^{-\alpha}, \text{ onde } D = [NMP] \times V \quad G1$$

$$RISCO = e^{2V/(V+2)} \quad G2$$

A EPA (1992) definiu que um indivíduo exposto a uma contaminação menor que 0,0001 (PP) ao ano não estaria sob risco. Assim, é possível relacionar a quantidade de água contaminada ingerida, o número de dias de ingestão e a população de coliforme presente.

A Tabela G.4 mostra o risco para ingestão da água do tanque misturada com a do lavatório (alternativas 03 e 04) acima de 42mL por 1 dia, tendo a resposta de 6,74 para esse critério.

*Tabela G.4- Cálculo da exposição a Coliformes fecais através do método Beta-Poisson para a água oriunda do tanque e lavatório*

| Volume ingerido (mL) | CF (NMP/100mL) | P                     | Número de dias de exposição | Risco em 1 ano        | Observação             |
|----------------------|----------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| 1                    | 2230           | $2,36 \times 10^{-6}$ | 1                           | $2,36 \times 10^{-6}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| 2                    | 2230           | $4,72 \times 10^{-6}$ | 1                           | $4,72 \times 10^{-6}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| 3                    | 2230           | $7,08 \times 10^{-6}$ | 1                           | $7,08 \times 10^{-6}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| 42                   | 2230           | $9,92 \times 10^{-5}$ | 1                           | $9,92 \times 10^{-5}$ | $> 1,0 \times 10^{-4}$ |
| 43                   | 2230           | $1,02 \times 10^{-4}$ | 1                           | $1,02 \times 10^{-4}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |

A Tabela G5 mostra o risco de ingestão da água do tanque misturada com a da máquina de lavar roupas (alternativa 05) acima de 4 mL por 1 dia, tendo a resposta de 3,79 para esse critério.

*Tabela G5- Cálculo da exposição a Coliformes fecais através do método Beta-Poisson para a água oriunda do tanque e máquina de lavar*

| Volume ingerido (mL) | CF (NMP/100mL) | P                     | Número de dias de exposição | Risco em 1 ano        | Observação             |
|----------------------|----------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| 1                    | 19016          | $2,01 \times 10^{-5}$ | 1                           | $2,01 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| 2                    | 19016          | $4,03 \times 10^{-5}$ | 1                           | $4,03 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| 3                    | 19016          | $6,04 \times 10^{-5}$ | 1                           | $6,04 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| 4                    | 19016          | $8,05 \times 10^{-5}$ | 1                           | $8,05 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| 5                    | 19016          | $1,01 \times 10^{-4}$ | 1                           | $1,01 \times 10^{-4}$ | $> 1,0 \times 10^{-4}$ |

A Tabela G.6 mostra o risco de ingestão da água da máquina de lavar roupas acima de 5mL por 1 dia (alternativa 06), tendo a resposta de 4,17 para esse critério.

*Tabela G.6- Cálculo da exposição a Coliformes fecais através do método Beta-Poisson para a água oriunda da máquina de lavar*

| Volume ingerido (mL) | CF (NMP/100mL) | P                     | Número de dias de exposição | Risco em 1 ano        | Observação             |
|----------------------|----------------|-----------------------|-----------------------------|-----------------------|------------------------|
| 1                    | 16000          | $1,69 \times 10^{-5}$ | 1                           | $1,69 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| 2                    | 16000          | $3,39 \times 10^{-5}$ | 1                           | $3,39 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| 3                    | 16000          | $5,08 \times 10^{-5}$ | 1                           | $5,08 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| 4                    | 16000          | $6,78 \times 10^{-5}$ | 1                           | $6,78 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| 5                    | 16000          | $8,47 \times 10^{-5}$ | 1                           | $8,47 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| 6                    | 16000          | $1,05 \times 10^{-4}$ | 1                           | $1,05 \times 10^{-4}$ | $> 1,0 \times 10^{-4}$ |

A Tabela G.7 mostra o risco de ingestão da água da chuva acima de 2698 mL por 1 dia (alternativa 08), conferindo resposta de 7,37 para o critério.

*Tabela G.7- Cálculo da exposição a Coliformes fecais através do método Beta-Poisson para a água oriunda da chuva*

| <b>Volume ingerido (mL)</b> | <b>CF (NMP/100mL)</b> | <b>P</b>              | <b>Número de dias de exposição</b> | <b>Risco em 1 ano</b> | <b>Observação</b>      |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| <b>1</b>                    | 35                    | $3,71 \times 10^{-8}$ | 1                                  | $3,71 \times 10^{-8}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| <b>20</b>                   | 35                    | $7,41 \times 10^{-7}$ | 1                                  | $7,41 \times 10^{-7}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| <b>100</b>                  | 35                    | $3,71 \times 10^{-6}$ | 1                                  | $3,71 \times 10^{-6}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| <b>500</b>                  | 35                    | $1,85 \times 10^{-5}$ | 1                                  | $1,85 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| <b>1000</b>                 | 35                    | $3,71 \times 10^{-5}$ | 1                                  | $3,71 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| <b>2000</b>                 | 35                    | $7,41 \times 10^{-5}$ | 1                                  | $7,41 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| <b>2698</b>                 | 35                    | $1,0 \times 10^{-4}$  | 1                                  | $1,0 \times 10^{-4}$  | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| <b>2699</b>                 | 35                    | $1,01 \times 10^{-4}$ | 1                                  | $1,01 \times 10^{-4}$ | $> 1,0 \times 10^{-4}$ |

A Tabela G8 mostra o risco de ingestão da água da chuva misturada com a de reúso acima de 74 mL por 1 dia (alternativa 07), conferindo resposta de 7,01 para o critério.

*Tabela G8- Cálculo da exposição a Coliformes fecais através do método Beta-Poisson para a água oriunda do tanque, lavatório e chuva*

| <b>Volume ingerido (mL)</b> | <b>CF (NMP/100mL)</b> | <b>P</b>              | <b>Número de dias de exposição</b> | <b>Risco em 1 ano</b> | <b>Observação</b>      |
|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|------------------------------------|-----------------------|------------------------|
| <b>1</b>                    | 1267                  | $1,34 \times 10^{-5}$ | 1                                  | $1,34 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| <b>20</b>                   | 1267                  | $2,68 \times 10^{-5}$ | 1                                  | $2,68 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| <b>40</b>                   | 1267                  | $5,37 \times 10^{-5}$ | 1                                  | $5,37 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| <b>74</b>                   | 1267                  | $9,93 \times 10^{-5}$ | 1                                  | $9,93 \times 10^{-5}$ | $< 1,0 \times 10^{-4}$ |
| <b>75</b>                   | 1267                  | $1,01 \times 10^{-4}$ | 1                                  | $1,01 \times 10^{-4}$ | $> 1,0 \times 10^{-4}$ |

Já o valor para água potável terá como resposta o valor de 7,389 devido a assíntota e tendência para infinito.