



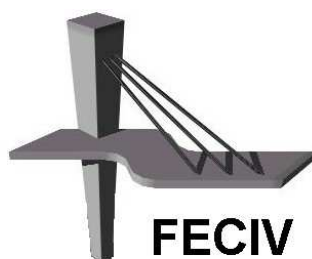
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DO
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA
FINS NÃO POTÁVEIS NA
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA,
UBERLÂNDIA (MG)**

GABRIELA BERNARDI LOPES

UBERLÂNDIA, 02 DE AGOSTO DE 2012.



FECIV

FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil



UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



Gabriela Bernardi Lopes

**ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICA DO
APROVEITAMENTO DE ÁGUA DE CHUVA PARA FINS NÃO
POTÁVEIS NA UNIVERSIDADE FEDERAL DE
UBERLÂNDIA, UBERLÂNDIA (MG)**

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil da
Universidade Federal de Uberlândia, como parte dos requisitos
para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Marcio Ricardo Salla
Co-orientador: Prof. Carlos Eugênio Pereira

Uberlândia, 02 de Agosto de 2012.



SERVIÇO PÚBLICO FEDERAL
MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL



ATA DA DEFESA DE DISSERTAÇÃO DE MESTRADO ACADÊMICO DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL

ATA Nº: 102/2012

CANDIDATA: Gabriela Bernardi Lopes

ORIENTADOR: Prof. Dr. Marcio Ricardo Salla

TÍTULO: "Estudo da viabilidade do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na Universidade Federal de Uberlândia/MG"

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO: Engenharia Urbana

LINHA DE PESQUISA: Planejamento e Infraestrutura Urbana

DATA DA DEFESA: 02 de agosto de 2012

LOCAL: Sala de Apoio I

HORÁRIO DE INÍCIO E TÉRMINO DA DEFESA: JULGAMENTO: 14:12h / TÉRMINO: 16:10h

Após avaliação do documento escrito, da exposição oral e das respostas às arguições, os membros da Banca Examinadora decidem que a candidata foi:

APROVADA

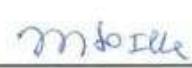
REPROVADA

OBS:

Na forma regulamentar, foi lavrada a presente ata que está assinada pelos membros da Banca:



Professor Orientador: **Prof. Dr. Marcio Ricardo Salla – FECIV/UFU**



Membro externo: **Prof.ª Dr.ª Marina Sangoi de Oliveira Ilha – UNICAMP/SP**



Membro: **Prof.ª Dr.ª Ana Luiza Ferreira Campos Maragno – FECIV/UFU**

Uberlândia, 02 de AGOSTO de 2012.

Aos meus pais Edmar e Rejane
e ao meu irmão Marcelo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente à Deus pela oportunidade de realizar esse trabalho e contribuir para o avanço do conhecimento;

Ao meu guia espiritual por me inspirar na escolha do tema;

Aos meus pais Rejane e Edmar, pelos conselhos, apoio em todos os momentos deste trabalho;

Ao meu irmão Marcelo, pelo carinho e amizade;

Ao meu orientador Prof. Marcio Ricardo Salla pela dedicação, esforço e empenho na realização desse trabalho;

Ao meu co-orientador, prof. Carlos Eugênio Pereira pela ajuda na condução da pesquisa;

Ao prof. José Eduardo Alamy Filho e prof. Heber Martins de Paula, pelas boas sugestões durante a banca de qualificação;

Ao diretor de infraestrutura da UFU, Blaine Alves da Silva pelas informações cedidas quanto aos aspectos construtivos do Campus Santa Mônica e do Bloco 50;

Ao aluno de iniciação científica, João da Costa Moura Neto pelo envolvimento, dedicação e ajuda em todas as coletas e etapas das análises de laboratório;

À técnica do LABSAN, Aline Martins Pinheiro pela amizade, empenho e esforço ao ensinar a metodologia de análise dos 22 parâmetros envolvidos neste trabalho;

À estagiária do LABSAN, Drielly Paixão pela amizade e paciência ao ensinar os primeiros ensaios;

Aos estagiários do LABSAN, Rafael Melo Cardoso e Lucianno Eduardo Fernandes pela contribuição no término das análises;

À todas as pessoas que conheci no LABSAN pela convivência e amizade;

Ao funcionário da UFU, Sr. Edson pela ajuda na montagem do aparato experimental para a coleta de água de chuva no Bloco 50;

Ao Programa de Pró-graduação em Engenharia Civil por financiar a compra do material para a montagem do aparato experimental da coleta de água de chuva;

Ao Departamento Municipal de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE) por ter cedido o hidrômetro instalado no Bloco 50;

À CAPES pela concessão da bolsa de pesquisa;

Aos amigos da equipe do Bezerra de Menezes pelo apoio e atenção;

E à todos que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

LOPES, G.B. Estudo de viabilidade técnica do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia-MG. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, 2012.

RESUMO

Embora a água potável seja utilizada para quase todas as atividades, verifica-se que o abastecimento de uma edificação poderia ser seletivo, apresentando qualidade potável em atividades que incluam o contato direto com o corpo humano, e qualidade não-potável em atividades onde existe apenas utilização indireta. Nesse sentido, a água proveniente das precipitações poderia ser aproveitada para atender a demanda não potável, gerando economia de recursos. Assim, entende-se que a Universidade Federal de Uberlândia (UFU), além de atuar no desenvolvimento pesquisas que visem a melhoria da qualidade de vida da população, poderia também adotar tecnologias que promovessem a redução do consumo de água, pautando-se na utilização consciente dos recursos naturais. Desse modo, o presente estudo teve como objetivo verificar a viabilidade técnica de implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis em um bloco de aulas selecionado como objeto de estudo na UFU. A análise foi feita sob dois aspectos: sob o ponto de vista quantitativo, verificando se a quantidade de chuva coletada supria satisfatoriamente a demanda por água não potável neste bloco; e sob o ponto vista qualitativo, verificando se após o descarte dos primeiros milímetros de precipitação, a água de chuva coletada possuía qualidade suficiente para atender essa demanda. Durante a pesquisa, os resultados indicaram que a implantação desse sistema no bloco em estudo provavelmente seria viável do ponto de vista quantitativo, visto que durante a simulação, um reservatório de 344m³ atendeu 95% da demanda anual por água não potável neste bloco. Além disso, os resultados indicaram que a implantação desse sistema no bloco em estudo provavelmente também seria viável do ponto de vista qualitativo, pois descartando os valores encontrados para os primeiros 0,62mm de precipitação e para as primeiras chuvas após a estiagem do inverno, ou mesmo com um tratamento simplificado de decantação, todos os parâmetros analisados durante a pesquisa atenderam às normas de qualidade da água para fins não potáveis.

Palavras-chave: Viabilidade técnica – Aproveitamento – Águas pluviais – Chuva

LOPES, G.B. Technical viability study of the rainwater harvesting for non-potable uses at the Federal University of Uberlândia, Uberlândia-MG. MSc Dissertation, School of Civil Engineering, Federal University of Uberlândia, 2012.

ABSTRACT

Although the potable water is used for almost all activities, verify that the water supply of a building could be selective, presenting potable quality in activities that include direct contact with the human body, and non-potable quality in activities where there is only indirect use. In this sense, the water from precipitation could be harvested to attend of the non-potable demand, saving resources. Therefore, understands that the Federal University of Uberlândia (UFU), beyond to work in the development of research that aim the improvement of the population life quality, could also adopt technologies to promote the reduction of water consumption, based on conscious use of natural resources. Thus, this study aimed to verify the technical viability of a rainwater harvesting system for non-potable uses in a block of classes selected as object of study at UFU. The analysis was done under two aspects: under the quantitative point of view, verifying if the amount of rainwater collected supplied satisfactorily the demand for non-potable water in this block; and under the qualitative point of view, verifying if after disposal of the first millimeters precipitation, the rainwater collected has sufficient quality to attend this demand. During the research, the results indicated that the implementation of this system in the block in study probably would be viable of the quantitative point of view, because during the simulation, a tank of 344m³ attended 95% of annual demand for non-potable water in the block in study. Furthermore, the results also indicated that the implementation of this system in the block in study probably also would be viable of the qualitative point of view, because discarding the values found for the first 0,62 mm of precipitation and for the first rains after the dry winter, or even with a simplified treatment of decantation, all parameters studied during the research attended the water quality standards for non-potable uses.

Keywords: Technical viability - Harvesting - Rainwater - Rain

SÍMBOLOS, ABREVIATURAS E SIGLAS

SÍMBOLOS

Σ	Somatório
%	Porcentagem
Θ	Teta
<	Menor que
>	Maior que

ABREVIATURAS

cm	Centímetro
km	Quilômetro
m	Metro
m ²	Metro Quadrado
m ³	Metro Cúbico
L	Litro
mm	Milímetro
μm	Micrômetro
$\mu\text{s/cm}$	Microsiemens por centímetro

SIGLAS

CaCO ₃	Carbonato de Cálcio
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
LABSAN	Laboratório de Saneamento
MG	Minas Gerais
NMP	Números Mais Prováveis
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
RS	Rio Grande do Sul
SC	Santa Catarina
SDT	Sólidos Dissolvidos Totais
SST	Sólidos Solúveis Totais
ST	Sólidos Totais
UFC	Unidades Formadoras de Colônias

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
1.1 APRESENTAÇÃO.....	16
1.2 JUSTIFICATIVA.....	20
1.3 OBJETIVO GERAL	20
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	22
2.1 COMPONENTES DO SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS	22
2.1.1 Área de captação	22
2.1.2 Calhas e condutores.....	24
2.1.3 Dispositivos de primeira lavagem.....	26
2.1.4 Reservatório para armazenamento de águas pluviais.....	30
2.1.5 Equipamentos acessórios.....	34
2.1.6 Sistemas de filtração	38
2.1.7 Sistema de bombeamento.....	41
2.1.8 Sistema de realimentação com água potável.....	45
2.2 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO	50
2.3 QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA PARA USO NÃO POTÁVEL	58
2.3.1 Aspectos qualitativos.....	58
2.3.2 Padrões de qualidade da água.....	65
2.3.3 Estudos realizados sobre qualidade da água de chuva	68
3 METODOLOGIA	79
3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA	79
3.2 ANÁLISE QUANTITATIVA	81
3.2.1 Dados pluviométricos da cidade de Uberlândia.....	82
3.2.2 Quantificação da demanda por água não potável.....	82
3.2.3 Dimensionamento do reservatório	83
3.3 ANÁLISE QUALITATIVA.....	84
3.3.1 Caracterização da chuva coletada diretamente da atmosfera	84
3.3.2 Caracterização da chuva coletada após o contato com o telhamento.....	86
4 RESULTADOS.....	90
4.1 ANÁLISE QUANTITATIVA	90

4.1.1 Características pluviométricas de Uberlândia	90
4.1.2 Quantificação da demanda	91
4.1.3 Dimensionamento do reservatório de armazenamento	92
4.2 ANÁLISE QUALITATIVA.....	99
4.2.1 Coletas	100
4.2.2 Caracterização da chuva coletada diretamente da atmosfera	101
4.2.2.1 Temperatura	102
4.2.2.2 Potencial Hidrogeniônico – pH.....	102
4.2.2.3 Condutividade	103
4.2.2.4 Acidez	104
4.2.2.5 Nitrogênio Amoniacal/ Nitrito/ Nitrato	105
4.2.2.6 Sulfato	107
4.2.2.7 Cloreto	108
4.2.3 Caracterização da chuva coletada após o contato com o telhamento.....	109
4.2.3.1 Temperatura	110
4.2.3.2 PH	111
4.2.3.3 Condutividade	112
4.2.3.4 Turbidez / Cor verdadeira	113
4.2.3.5 Acidez / Alcalinidade.....	114
4.2.3.6 Dureza.....	116
4.2.3.7 Nitrogênio Amoniacal / Nitrito / Nitrato	117
4.2.3.8 Sulfato.....	119
4.2.3.9 Cloreto	120
4.2.3.10 Fósforo	121
4.2.3.11 Sólidos Totais / Sólidos Dissolvidos / Sólidos Suspensos.....	122
4.2.3.12 Oxigênio Dissolvido – OD	125
4.2.3.13 DQO / DBO	125
4.2.3.14 Coliformes fecais / <i>Escherichia Coli</i>	127
4.2.4 Comparação da qualidade da chuva coletada diretamente da atmosfera e após o contato com o telhamento	127
4.2.4.1 Temperatura	128
4.2.4.2 Condutividade	128
4.2.4.3 Acidez / Nitrogênio amoniacal / Nitrito / Nitrato / Sulfato	129
4.2.4.4 Cloreto	130
4.2.5 Caracterização da água de chuva do reservatório de armazenamento ao longo do tempo	131

4.2.5.1 Temperatura	132
4.2.5.2 Potencial Hidrogeniônico - PH	133
4.2.5.3 Condutividade	134
4.2.5.4 Turbidez / Cor verdadeira	134
4.2.5.5 Acidez / Alcalinidade.....	136
4.2.5.6 Dureza.....	137
4.2.5.7 Nitrogênio Amoniacal / Nitrito / Nitrato	138
4.2.5.8 Sulfato.....	140
4.2.5.9 Cloreto	142
4.2.5.10 Fósforo	143
4.2.5.11 Sólidos Totais / Sólidos Dissolvidos / Sólidos Suspensos.....	144
4.2.5.12 Oxigênio Dissolvido – OD	146
4.2.5.13 DQO / DBO	147
4.2.5.14 Coliformes fecais / <i>Escherichia Coli</i>	148
4.2.6 Comparação dos resultados desta pesquisa com outros autores	149
5 CONCLUSÕES	154
6 RECOMENDAÇÕES	160
REFERÊNCIAS	162
ANEXO A.....	169
ANEXO B.....	170
ANEXO C.....	171
ANEXO D.....	172
ANEXO E.....	173
ANEXO F	183
ANEXO G	187

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Sistema de aproveitamento de água de chuva	19
Figura 2: Área de coleta – telhado	22
Figura 3: Área de coleta – laje impermeabilizada.....	22
Figura 4: Área de coleta – piso pavimentado	23
Figura 5: Calha de beiral	25
Figura 6: Calha de platibanda.....	25
Figura 7: Calha água-furtada.....	25
Figura 8: Tela de plástico ou metal sobre a calha	26
Figura 9: Sistema de peneiras sobre a calha.....	26
Figura 10: Dispositivo de primeira lavagem com tonel	27
Figura 11: Dispositivo de primeira lavagem com torneira-bóia	28
Figura 12: Dispositivo de primeira lavagem com bóia de fechamento do reservatório de descarte.....	28
Figura 13: Dispositivo de primeira lavagem com bóia de fechamento do reservatório inferior	29
Figura 14: Dispositivo de primeira lavagem e descarte de sólidos grosseiros.....	30
Figura 15: Tanque esférico.....	33
Figura 16: Tanque cilíndrico	33
Figura 17: Tanque semi-esférico.....	33
Figura 18: Tanque retangular	33
Figura 19: Esquema de instalação do tubo de alimentação.....	35
Figura 20: (a) Freio de água (b) Princípio de funcionamento do freio de água.....	35
Figura 21: Esquema de instalação do sifão-ladrão.....	36
Figura 22: (a) Sifão-ladrão (b) Princípio de funcionamento do sifão-ladrão.....	36
Figura 23: (a) Esquema de instalação do conjunto flutuante (b) Detalhe do conjunto flutuante	37
Figura 24: Tipos de filtros do conjunto flutuante.....	37
Figura 25: Filtro de areia.....	40
Figura 26: Funcionamento do filtro de areia.....	40
Figura 27: Filtro de Cartucho	41
Figura 28: Bomba centrífuga auto-escorvante	42
Figura 29: Esquema de uma bomba centrífuga submersível com filtro flutuante	42

Figura 30: Sistema de bombeamento fotovoltaico	43
Figura 31: (a) Eletrônível (b) Esquema de instalação do eletrônível	44
Figura 32: Funcionamento do eletrônível do reservatório superior	44
Figura 33: Funcionamento do eletrônível do reservatório inferior	45
Figura 34: Esquema de separação atmosférica padronizada	46
Figura 35: Equipamento de realimentação de água potável	47
Figura 36: Instalação do equipamento de realimentação	48
Figura 37: Sistemas de automatização	49
Figura 38: Sistema de realimentação sem equipamentos eletrônicos	49
Figura 39: Resultados da simulação para vários reservatórios inferiores	57
Figura 40: Esquema do sistema experimental de aproveitamento de May (2004)	69
Figura 41: Esquema do sistema experimental de aproveitamento de De Paula (2005)	71
Figura 42: Localização da cidade de Uberlândia	79
Figura 43: Localização do campus Santa Mônica da UFU na cidade de Uberlândia	79
Figura 44: Bloco 5OA	80
Figura 45: Esquema dos ramais de distribuição de água no Bloco 5OA	81
Figura 46: Hidrômetro instalado no Bloco 5OA	82
Figura 47: Aparato experimental para coleta de chuva da atmosfera	85
Figura 48: Localização do aparato experimental	86
Figura 49: Aparato experimental do sistema de aproveitamento	87
Figura 50: Médias mensais da cidade entre os anos de 1981 até 2010	91
Figura 51: Demanda semanal por água não potável do Bloco 5OA	91
Figura 52: Demanda mensal por água não potável do Bloco 5OA	92
Figura 53: Volume do reservatório	95
Figura 54: Eficiência do sistema	95
Figura 55: Regime de chuvas no período das coletas	100
Figura 56: Temperatura da água de chuva diretamente da atmosfera	102
Figura 57: pH da água de chuva da atmosfera	103
Figura 58: Condutividade da água de chuva da atmosfera	104
Figura 59: Acidez da água de chuva da atmosfera	104
Figura 60: Concentração de nitrogênio amoniacal da água de chuva da atmosfera	105
Figura 61: Concentração de nitrito da água de chuva da atmosfera	105
Figura 62: Concentração de nitrato da água de chuva da atmosfera	106
Figura 63: Concentração de sulfato da água de chuva da atmosfera	107
Figura 64: Concentração de cloreto da água de chuva da atmosfera	108

Figura 65: Temperatura da água de chuva após o contato com o telhamento	110
Figura 66: pH da água de chuva após o contato com o telhamento	111
Figura 67: Condutividade da água de chuva após o contato com o telhamento	112
Figura 68: Turbidez da água de chuva após o contato com o telhamento	113
Figura 69: Cor verdadeira da água de chuva após o contato com o telhamento	113
Figura 70: Acidez da água de chuva após o contato com o telhamento.....	115
Figura 71: Alcalinidade da água de chuva após o contato com o telhamento	115
Figura 72: Dureza da água de chuva após o contato com o telhamento	116
Figura 73: Concentração de nitrogênio amoniacal da água de chuva após o contato com o telhamento	118
Figura 74: Concentração de nitrito da água de chuva após o contato com o telhamento	118
Figura 75: Concentração de nitrato da água de chuva após o contato com o telhamento.....	118
Figura 76: Concentrações de sulfato da água de chuva após o contato com o telhamento....	120
Figura 77: Concentrações de cloreto da água de chuva após o contato com o telhamento ...	121
Figura 78: Fósforo da água de chuva após o contato com o telhamento	122
Figura 79: Sólidos Totais da água de chuva após o contato com o telhamento.....	123
Figura 80: Sólidos Dissolvidos da água de chuva após o contato com o telhamento	123
Figura 81: Sólidos Suspensos da água de chuva após o contato com o telhamento	123
Figura 82: Oxigênio Dissolvido da água de chuva após o contato com o telhamento.....	125
Figura 83: DQO da água de chuva após o contato com o telhamento	126
Figura 84: DBO da água de chuva após o contato com o telhamento	126
Figura 85: Temperatura da chuva coletada direto atmosfera e após o contato com o telhamento	128
Figura 86: Condutividade da chuva coletada direto da atmosfera e após o contato com o telhamento	128
Figura 87: Acidez da chuva coletada direto atmosfera e após o contato com o telhamento..	129
Figura 88: Nitrogênio Amoniacal da chuva coletada direto da atmosfera e após o contato com o telhamento	129
Figura 89: Nitrito da chuva coletada direto da atmosfera e após o contato com o telhamento	130
Figura 90: Nitrato da chuva coletada direto da atmosfera e após o contato com o telhamento	130
Figura 91: Sulfato da chuva coletada direto da atmosfera e após o contato com o telhamento	130
Figura 92: Cloreto da chuva coletada direto da atmosfera e após o contato com o telhamento	131
Figura 93: Temperatura da água de chuva armazenada ao longo do tempo	132
Figura 94: pH da água de chuva armazenada ao longo do tempo.....	133

Figura 95: Condutividade da água de chuva armazenada ao longo do tempo	134
Figura 96: Turbidez da água de chuva armazenada ao longo do tempo	135
Figura 97: Cor verdadeira da água de chuva armazenada ao longo do tempo.....	135
Figura 98: Acidez da água de chuva armazenada ao longo do tempo	136
Figura 99: Alcalinidade da água de chuva armazenada ao longo do tempo	136
Figura 100: Dureza da água de chuva armazenada ao longo do tempo	138
Figura 101: Concentração de nitrogênio amoniacal da água de chuva armazenada ao longo do tempo.....	139
Figura 102: Concentração de nitrito da água de chuva armazenada ao longo do tempo	139
Figura 103: Concentração de nitrato da água de chuva armazenada ao longo do tempo	139
Figura 104: Concentração de sulfato da água de chuva armazenada ao longo do tempo	141
Figura 105: Concentração de cloreto da água de chuva armazenada ao longo do tempo.....	142
Figura 106: Concentração de fósforo da água de chuva armazenada ao longo do tempo	143
Figura 107: Sólidos Totais da água de chuva armazenada ao longo do tempo.....	144
Figura 108: Sólidos Dissolvidos da água de chuva armazenada ao longo do tempo.....	145
Figura 109: Sólidos Suspensos da água de chuva armazenada ao longo do tempo	145
Figura 110: Oxigênio Dissolvido da água de chuva armazenada ao longo do tempo	146
Figura 111: DQO da água de chuva armazenada ao longo do tempo	148
Figura 112: DBO da água de chuva armazenada ao longo do tempo	148

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de água segundo sua qualidade	17
Tabela 2 – Coeficientes <i>Runoff</i> e características dos tipos de telhado	24
Tabela 3 – Coeficientes de escoamento superficial das áreas de coleta.....	24
Tabela 4 – Vantagens e desvantagens existentes no modo de implantação do reservatório....	31
Tabela 5 – Relação existente entre a geometria e o comportamento dos materiais	33
Tabela 6 – Exigências mínimas para uso da água com finalidade não potável, em função das diferentes atividades realizadas numa edificação.....	39
Tabela 7 – Altura mínima da separação atmosférica	46
Tabela 8 – Variação da qualidade da água em função da superfície de captação.....	59
Tabela 9 – Parâmetros de qualidade da água de chuva para usos não potáveis segundo a ABNT NBR 15527:2007.....	65
Tabela 10 – Padrões de qualidade da água para reuso segundo a NBR 13.969:1997.....	66
Tabela 11 – Padrões de qualidade da água de reuso segundo Sautchuck <i>et al</i> (2005).....	67
Tabela 12 – Padrões de potabilidade segundo a Portaria nº2914/11 do MS.....	68
Tabela 13 – Método de Rippl para as médias mensais	93
Tabela 14 – Método de Rippl para as médias diárias do mês de agosto	94
Tabela 15 – Método Interativo	96
Tabela 16 – Método da Simulação	97
Tabela 17 – Comparação entre os métodos de dimensionamento	98
Tabela 18 – Comparação da precipitação coletada diretamente atmosfera.....	149
Tabela 19 – Comparação da precipitação coletada após contato com telhamento	151
Tabela 20 – Planilha de cálculo do Método de Rippl	173
Tabela 21 – Planilha de cálculo do Método Interativo.....	176
Tabela 22 – Planilha de cálculo do Método da Simulação	179
Comparação com a ABNT NBR15527:2007	187
Comparação com a ABNT NBR13.969:1997 (Classe 3).....	187
Comparação com a Portaria nº2914/11 do MS	188
Comparação com Sautchuck <i>et al</i> (2005) (Classe 1)	189

CAPÍTULO 1

INTRODUÇÃO

1.1 APRESENTAÇÃO

Atualmente, a água para o consumo humano tende a ser considerado um recurso cada vez mais limitado, uma vez que a disponibilidade *per capita* de água doce vem sendo reduzida, face ao aumento gradativo da demanda e à contínua poluição dos mananciais ainda disponíveis (SAUTCHUCK *et al*, 2005). Muitas áreas com recursos hídricos abundantes, mas insuficientes para atender à demandas excessivamente elevadas, já sofrem restrições de consumo que afetam o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida.

A Bacia do Alto Tietê, que abriga uma população superior a 15 milhões de habitantes e um dos maiores complexos industriais do mundo, dispõe, pela sua condição característica de manancial de cabeceira, vazões insuficientes para o atendimento da demanda da Região Metropolitana de São Paulo e municípios circunvizinhos. Esta condição tem levado à busca incessante de recursos hídricos complementares de bacias vizinhas, que trazem, como consequência direta, aumentos consideráveis de custo, além dos evidentes problemas legais e político-institucionais associados (SAUTCHUCK *et al*, 2005).

Portanto, torna-se fundamental a criação de políticas de conscientização da população sobre o uso racional da água, bem como providências quanto a formas mais adequadas de se manter o abastecimento em uma edificação. Na maioria das edificações, a água potável é utilizada para a realização de todas as atividades, independentemente do uso a qual se destina. A evolução do conceito de conservação da água para o conceito de uso racional consiste na gestão, não somente da demanda, mas também da oferta de água, de forma que usos menos nobres possam ser supridos por águas de qualidade inferior (DIAS, 2007).

De acordo com Mascaró (1991), cada pessoa consome diariamente numa residência 110 litros de água por dia. Dessa quantidade, aproximadamente 64% é utilizada na

alimentação, lavagem de louça, e higiene pessoal; e cerca de 36% é destinada à descarga da bacia sanitária, lavagem de roupa e limpeza da habitação. Observa-se, portanto, que 36% da água utilizada por dia numa residência não precisa ser tratada a ponto de ser ingerida, pois sua destinação não inclui o contato direto com o corpo humano. Assim, o abastecimento de água em uma edificação poderia ser seletivo, apresentando qualidade potável em atividades que incluam a ingestão ou o contato direto, e qualidade não-potável em atividades que incluam apenas a utilização indireta. Segundo Adam (2001), o consumo de água poderia ser distribuído de acordo com a qualidade da água, conforme ilustrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Consumo de água segundo sua qualidade

Grau de Qualidade da água	Utilização
Água potável	Beber, cozinhar, lavar louças, realizar a higiene pessoal etc.
Água não potável	Limpar ambientes e carros, lavar roupas, irrigar jardins, bacia sanitária, limpeza de calçadas, extintores de incêndio etc.

Fonte: Adam (2001)

Entretanto, para que o consumo possa ser seletivo, torna-se necessária a implantação de formas alternativas de abastecimento de água que reduzam a demanda nos mananciais, pela substituição da água potável por água de qualidade compatível com seu uso específico. Dias (2007) conceitua tal procedimento como substituição de fontes, e menciona que dessa forma grandes volumes de água potável poderiam ser poupados, utilizando-se águas originárias de outras fontes para o atendimento de demandas cujas finalidades não necessitem de água tratada pela companhia de abastecimento. Dentre estas fontes destaca-se a utilização de águas subterrâneas, o aproveitamento de águas pluviais, o reuso de águas servidas e a dessalinização da água do mar. Contudo, o aproveitamento da água de chuva captada a partir dos telhados e o seu posterior armazenamento em reservatórios caracteriza-se por uma das alternativas mais simples e baratas, capaz de atender a demanda por água não potável em uma edificação.

Deve-se ressaltar, também que a utilização da água de maneira mais racional está gradativamente deixando de ser apenas uma preocupação ambiental e se tornando também uma preocupação econômica. A implantação de um projeto de aproveitamento de águas pluviais, principalmente no que se refere à grandes áreas urbanizadas, representa não só a redução de gastos com o consumo de água nas

edificações, como também uma medida de redução da demanda por água potável e de gastos com energia necessária para manter o funcionamento das companhias de abastecimento, o que poderia se refletir futuramente na redução das tarifas de fornecimento de água potável da própria cidade. Segundo Sickermann (2002), cada metro cúbico de água potável poupada corresponde a uma tonelada a menos de água a ser bombeada para os reservatórios da cidade, o que contribui para a economia de energia. Por este motivo, empresas, organizações não-governamentais e especialistas estão investindo cada vez mais em pesquisas na tentativa de criar novas formas de se utilizar a água e economizar este recurso.

May (2004) menciona que o aproveitamento da água de chuva consiste na captação das águas pluviais utilizando-se normalmente o telhado como superfície coletora. Nesse sistema, primeiramente é necessário fazer um estudo sobre as características climáticas, visando saber qual é a viabilidade de implantação do sistema e o dimensionamento dos equipamentos utilizados, de acordo com o índice pluviométrico da região. Desse modo, a quantidade de água disponível para consumo dependerá da área efetiva de coleta, do volume do reservatório, além da quantidade e distribuição temporal de chuva.

Conforme ilustrado na Figura 1, a montagem do sistema necessita de uma área de captação, calhas que suportem o fluxo intenso de águas, condutores verticais; dispositivo de primeira lavagem para descarte dos primeiros milímetros de chuva; reservatório inferior com dimensões adequadas à quantidade de água captada; freio d' água capaz de diminuir a velocidade com que a água entra no reservatório inferior; sifão-ladrão para retirar o excesso de chuva do reservatório inferior; conjunto flutuante para succionar a água mais limpa encontrada na superfície do reservatório inferior; filtro para retirada de sólidos finos; bomba capaz de conduzir a água do reservatório inferior para o reservatório superior e reservatório superior com dimensões suficientes para atender a demanda.

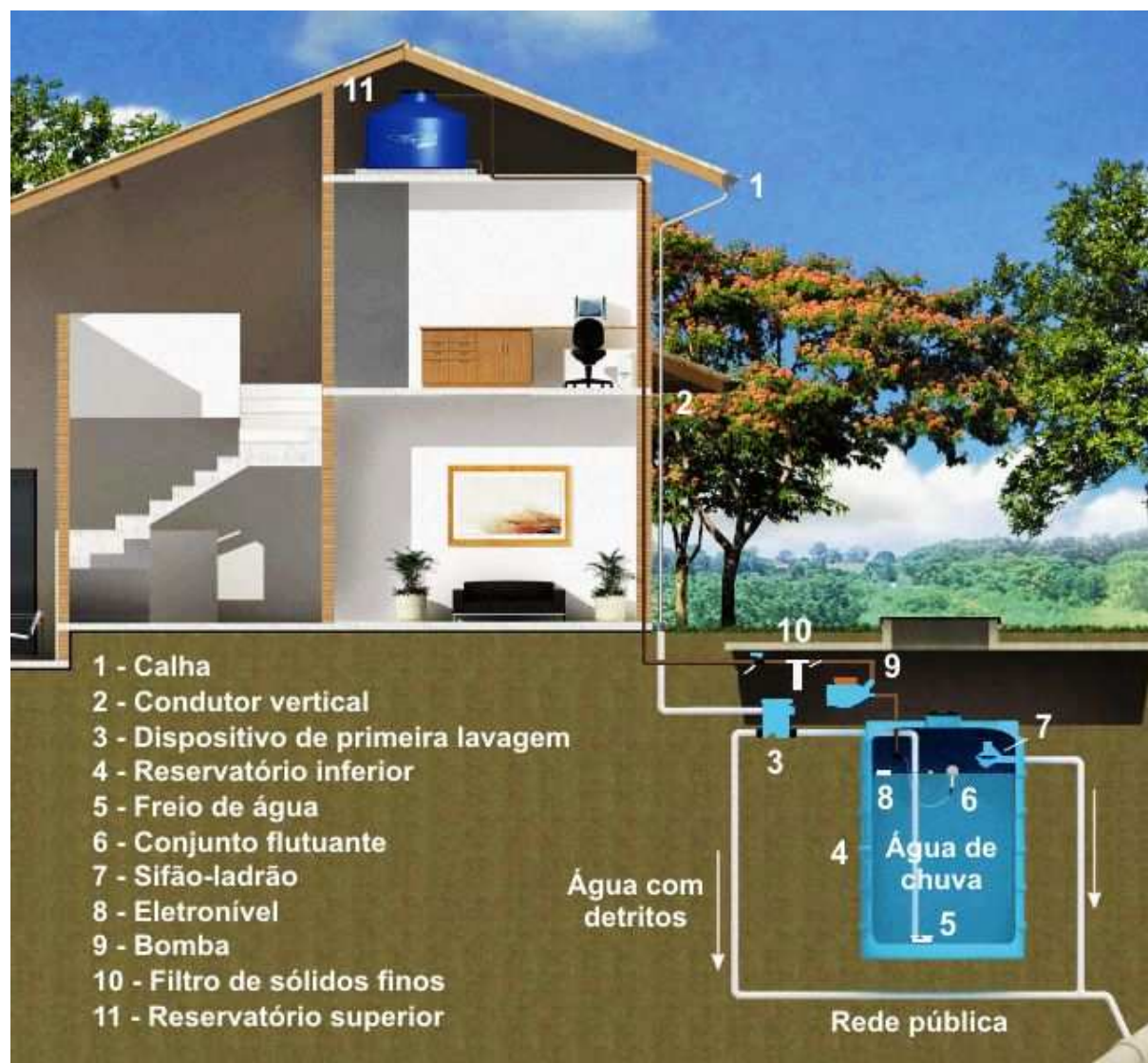


Figura 1: Sistema de aproveitamento de água de chuva
 Fonte: Rocatherm (2011)

Depois de coletada e filtrada, a água armazenada no reservatório está pronta para ser utilizada na bacia sanitária, na limpeza dos ambientes, lavagem de roupas e irrigação de jardins (BRAGA, 2008). É importante salientar que esse sistema pode funcionar de modo perfeitamente integrado com a rede convencional de abastecimento de água, sendo necessário prever reservatórios separados para que não haja mistura de águas com qualidades diferentes.

Como foi visto anteriormente, observa-se que o próprio sistema no qual as cidades estão inseridas induz ao uso inadequado dos recursos hídricos, uma vez que a utilização da água potável, independente da finalidade para a qual se destina, ainda é a forma mais comum de abastecimento de uma edificação. Entretanto, por meio da aplicação de conceitos sustentáveis e formas alternativas de utilização dos recursos

hídricos, muitos problemas urbanos poderiam ser mitigados e até mesmo evitados, gerando menores gastos, menor impacto ambiental e ganhos para a população como um todo.

1.2 JUSTIFICATIVA

Por se tratar de uma instituição ligada à produção do conhecimento, entende-se que a Universidade Federal de Uberlândia (UFU), além de atuar no desenvolvimento de pesquisas que visem a melhoria da qualidade de vida da população, poderia adotar tecnologias que promovessem a redução de gastos no funcionamento das edificações, pautando-se na utilização consciente dos recursos naturais. Considerando o interesse da Diretoria de Infraestrutura da UFU em implantar um sistema de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis em alguns blocos de aulas da UFU e o fato de que não existem estudos que verifiquem a viabilidade técnica de implantação desse sistema na universidade, pretende-se que esse trabalho possa não só contribuir na elaboração de diretrizes para a implantação do sistema nestes blocos, como também alimentar o conjunto de informações necessárias a futuros projetos semelhantes nesta e em outras instituições, sobretudo no que se refere ao novo Campus Glória da UFU.

1.3 OBJETIVO GERAL

Este trabalho de mestrado tem como objetivo geral verificar a viabilidade técnica de implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em um bloco de salas de aulas selecionado como objeto de estudo no Campus Santa Mônica da UFU. A análise será feita considerando apenas os aspectos quantitativos e qualitativos da implantação do sistema, cuja função é atender a demanda não potável consumida nas bacias sanitárias e mictórios do bloco selecionado.

Sob o ponto de vista quantitativo, pretende-se dimensionar o reservatório de armazenamento de águas pluviais, verificando se a quantidade de chuva coletada supre satisfatoriamente a demanda por água não potável neste bloco. Do ponto de vista qualitativo, pretende-se avaliar as modificações físico-químicas e microbiológicas da água de chuva ao longo do sistema de aproveitamento, para que

seja possível estimar as dimensões necessárias para o reservatório de descarte dos primeiros milímetros de chuva, o tipo de tratamento mais adequado à sua utilização, e o tempo máximo de permanência da água no reservatório de armazenamento.

1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

As atividades a serem realizadas para o cumprimento da proposta inicial deste trabalho de mestrado são:

- Quantificar a demanda por água não potável consumida em um bloco de salas de aulas do Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU);
- Dimensionar o reservatório de armazenamento de águas pluviais, por meio de um estudo entre a disponibilidade da água da chuva e a demanda pela mesma;
- Avaliar as modificações das características físico-químicas e microbiológicas da água de chuva ao longo do sistema de aproveitamento, visando verificar o volume ideal de eliminação dos primeiros milímetros de chuva, o tipo de tratamento que será dado à água coletada, e o tempo máximo de permanência da água no reservatório de armazenamento.

CAPÍTULO 2

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 COMPONENTES DO SISTEMA PARA APROVEITAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

2.1.1 ÁREA DE CAPTAÇÃO

A área de captação é considerada um dos principais componentes do sistema de aproveitamento de águas pluviais, visto que a partir dela é determinada a quantidade de chuva captada e aproveitada numa edificação, além de ser o primeiro elemento com o qual a precipitação entrará em contato, estando vulnerável à poluição de diversas origens, como poluentes atmosféricos, folhas, galhos, excrementos de pequenos animais, entre outros poluentes.

Segundo May (2004), as técnicas mais comuns para coleta de água de chuva ocorrem através da superfície de telhados, lajes e pisos pavimentados, sendo que a coleta através do telhado é considerada mais simples, aproveitando uma água de melhor qualidade quando comparada à coleta na superfície do solo. As Figuras 2, 3 e 4, extraídas de Waterfall (2006), ilustram respectivamente as áreas de coleta através do telhado, laje impermeabilizada e piso pavimentado.

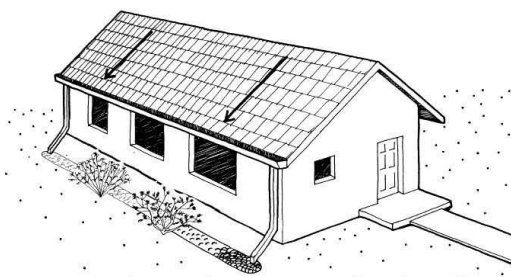


Figura 2: Área de coleta – telhado
Fonte: Waterfall (2006)

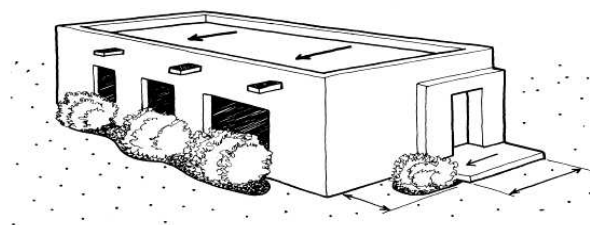


Figura 3: Área de coleta – laje impermeabilizada
Fonte: Waterfall (2006)

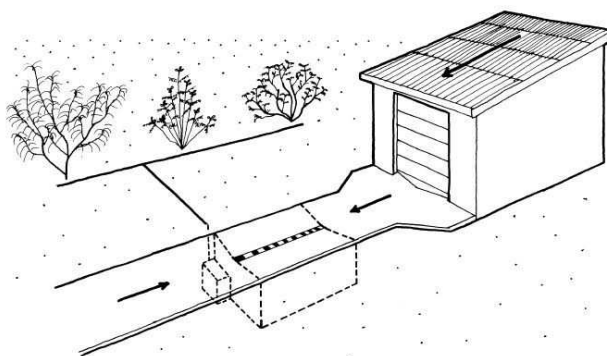


Figura 4: Área de coleta – piso pavimentado
Fonte: Waterfall (2006)

O sistema de coleta através da superfície do solo é normalmente empregado em locais com grande área superficial, sendo necessário que as mesmas possuam uma pequena inclinação capaz de direcionar a água da chuva para dentro do reservatório, conforme ilustra a Figura 4. A coleta de águas pluviais em superfícies onde existe tráfego de veículos não é aconselhável, pois nesses casos a água normalmente possui qualidade inferior, sendo contaminada por óleos combustíveis e resíduos de pneus (ANNECCHINI, 2005).

Em grandes centros urbanos e industriais os telhados podem estar sujeitos à deposição de contaminantes, incluindo metais pesados e químicos derivados do tráfego de veículos, das indústrias, incineradoras e fundições. Em alguns casos a qualidade do ar na região pode obrigar que a água recolhida no telhado seja apenas utilizada para fins não potáveis (ANNECCHINI, 2005).

É importante ressaltar que nem todo volume de água de chuva precipitado é aproveitado, devido às perdas por absorção, evaporação e vazamentos nas tubulações. De acordo com Tomaz (2003), para que essas perdas possam ser consideradas nos cálculos de dimensionamento de reservatório, utiliza-se um valor obtido a partir da relação entre o volume de água aproveitável e o total de água precipitado, denominado coeficiente de *Runoff* ou coeficiente de escoamento, representado pela letra "C". O tipo de revestimento utilizado nos telhados também interfere no volume de água aproveitado pelo sistema, fazendo com que a preferência seja para aqueles que possuem menor absorção a fim de minimizar as perdas. A Tabela 2 apresenta uma comparação dos coeficientes de escoamento de diversos tipos de materiais constituintes das telhas e suas características principais, traduzida de Thomas e Martinson (2007).

Tabela 2 – Coeficientes *Runoff* e características dos tipos de telhado

Tipo	Coeficiente de <i>Runoff</i>	Notas
Folhas de ferro galvanizado	> 0,9	Excelente qualidade da água. A superfície é excelente e, nos dias quentes a alta temperatura ajuda a esterilizar a água.
Telha cerâmica	0,60 – 0,90	Se vitrificada apresenta melhor qualidade. Caso contrário pode apresentar mofo. Pode existir contaminação nas junções das telhas.
Telhas de cimento amianto	0,80 – 0,90	Folhas novas podem dar boa qualidade à água. Não existe nenhuma evidência que causa efeito cancerígeno pela ingestão da água que passa por ela. Levemente porosas, o que diminui o coeficiente de <i>Runoff</i> . Quando velhas podem apresentar mofo e rachaduras.
Orgânicos (Sapê)	0,2	Qualidade fraca (> 200 NMP CF/ 100 mL*). Pouca eficiência na primeira chuva. Alta turbidez devido às matérias orgânicas dissolvidas que não sedimentam.

* Presença superior a 200 Números Mais Prováveis de Coliformes Fecais para cada 100 mL de amostra de água. Fonte: Thomas e Martinson (2007)

Fendrich (2002) apresenta ainda um levantamento de outros tipos de revestimento utilizados em superfícies de captação de águas pluviais, conforme ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3 – Coeficientes de escoamento superficial das áreas de coleta

Áreas de Coleta de Águas Pluviais	Coeficiente de Escoamento Superficial C
- Telhas cerâmicas	0,80 a 0,90
- Telhas, lajotas e ladrilhos vitrificados	0,90 a 0,95
- Telhas de cimento amianto	0,70 a 0,85
- Telhas metálicas corrugadas	0,80 a 0,95
- Lajotas e blocos de concreto	0,70 a 0,80
- Lajotas e blocos de granito	0,90 a 0,95
- Pavimentos de concreto	0,80 a 0,95
- Pavimento de asfalto	0,70 a 0,90

Fonte: Fendrich (2002)

Segundo Tomaz (2003), normalmente são estimadas perdas de 20% do volume precipitado, o que leva à adoção de um coeficiente de 80% nos cálculos de dimensionamento de reservatórios.

2.1.2 CALHAS E CONDUTORES

As calhas e tubulações são elementos fundamentais para o funcionamento do sistema, pois são responsáveis pelo transporte de água desde o ponto de coleta até o local de armazenamento. De acordo com Dias (2007) diversos tipos de calhas podem ser instaladas para atender um sistema de aproveitamento de águas pluviais,

desde que sejam dimensionadas segundo a ABNT NBR 10.844:1989, de modo a evitar perdas significativas do volume precipitado. As Figuras 5, 6 e 7 ilustram os tipos mais comuns de calhas existentes, extraídas de Dias (2007).

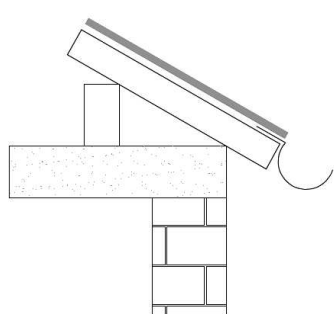


Figura 5: Calha de beiral
Fonte: Dias (2007)

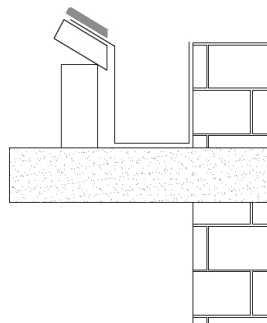


Figura 6: Calha de platibanda
Fonte: Dias (2007)

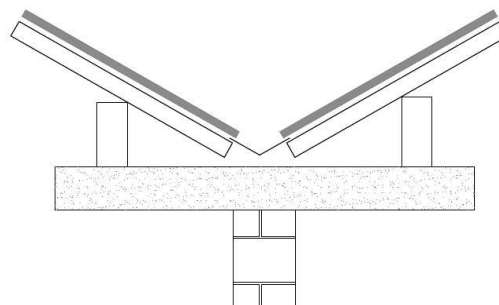


Figura 7: Calha água-furtada
Fonte: Dias (2007)

As calhas utilizadas nesse tipo de sistema podem ser constituídas por vários materiais como chapas galvanizadas, ligas de alumínio, PVC ou outros materiais desde que sejam lisos, leves, rígidos, duráveis, resistentes à corrosão e a mudanças de temperatura (TOMAZ, 2003).

No que se refere à instalação, é importante que as calhas tenham inclinação contínua e suficiente em direção aos tubos de queda de forma a prevenir o acúmulo de água, o que pode conduzir ao aparecimento de vetores, proliferação de microorganismos e crescimento de algas. Assim, a ABNT NBR 10.844:1989 recomenda que as calhas possuam uma declividade de no mínimo 0,5%.

Durante seu funcionamento, as calhas não recolhem apenas água, mas também sedimentos, folhas e galhos, o que pode causar entupimento no sistema e a decomposição de matéria orgânica no interior do reservatório, prejudicando a qualidade da água armazenada. Portanto, as calhas devem ser protegidas através de uma tela de plástico ou metal instalada em toda sua extensão, permitindo que os detritos acumulados sejam removidos periodicamente, conforme ilustrado nas Figuras 8 e 9, extraídas de Waterfall (2006).

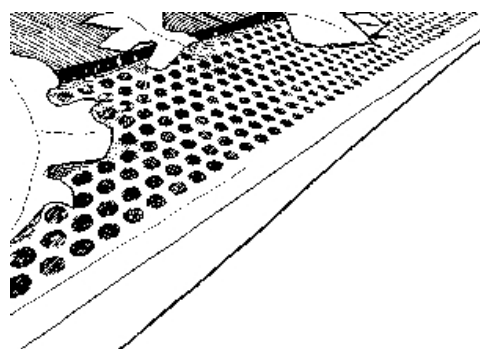


Figura 8: Tela de plástico ou metal sobre a calha
Fonte: Waterfall (2006)

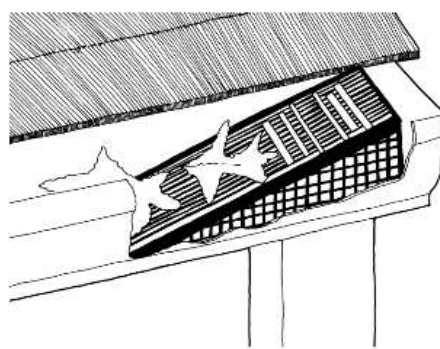


Figura 9: Sistema de peneiras sobre a calha
Fonte: Waterfall (2006)

Quanto às tubulações, a ABNT NBR 10.844:1989 referente às instalações prediais de águas pluviais, recomenda que os condutores verticais de seção circular possuam diâmetro interno mínimo de 70mm, sendo dimensionados segundo cálculos hidráulicos indicados pela norma.

2.1.3 DISPOSITIVOS DE PRIMEIRA LAVAGEM

Considera-se que a primeira chuva, após um período de estiagem, promove a limpeza da superfície do telhado, a qual pode conter grandes quantidades de poeira, dejetos de animais e de outros detritos. Para que não haja contaminação devido a essa limpeza, é recomendável descartar a água proveniente dos primeiros milímetros de chuva, por meio de um componente denominado dispositivo de primeira lavagem ou reservatório de descarte. Segundo Anecchini (2005), este reservatório tem a finalidade de receber e descartar a precipitação inicial, de forma que a mesma não entre em contato com a água direcionada ao reservatório inferior de armazenamento.

Quanto ao dimensionamento, Dacach (1979) sugere que o reservatório de eliminação da precipitação inicial tenha capacidade para armazenar de 0,8 a 1,5 L/m² de área de captação. Segundo Tomaz (2003), nos Estados Unidos normalmente é utilizado 0,4 L/ m² de superfície de telhado. De acordo com a ABNT NBR 15527:2007, que trata do aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis, caso não existam dados específicos que permitam o dimensionamento do dispositivo de primeira lavagem, pode-se considerar um descarte de 2 mm da precipitação inicial.

Atualmente existem várias técnicas para o descarte da precipitação inicial,

utilizando-se dispositivos manuais ou automáticos. A Figura 10 ilustra um dispositivo com descarte automático que funciona de maneira muito simples, extraído de Dacach (1979).

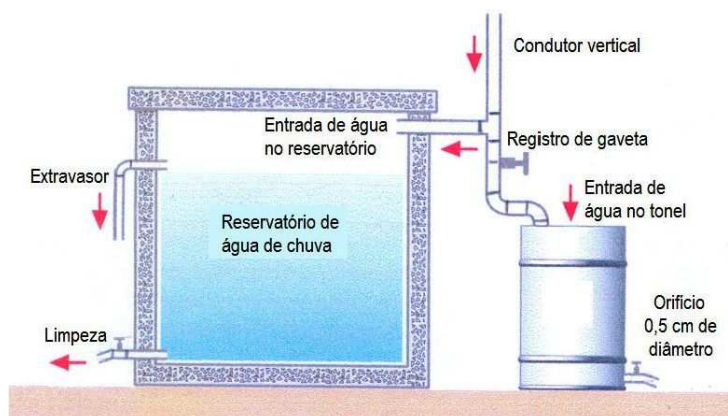


Figura 10: Dispositivo de primeira lavagem com tonel
Fonte: Dacach (1979)

Quando a precipitação é iniciada, a água desce pelo condutor vertical chegando a um tonel com um pequeno orifício de aproximadamente 0,5 cm de diâmetro situado na parte inferior. Este orifício funciona como um redutor de vazão, fazendo com que o escoamento de saída seja menor que o de entrada. Desse modo, o nível de água aumenta gradativamente até alcançar a parte superior do tonel, sendo desviada para o reservatório de armazenamento através de um condutor horizontal. A descarga do orifício só desaparece minutos depois do término da chuva, fazendo com que a quantidade de água descartada seja maior que a capacidade do tonel (DACACH, 1979). Segundo May (2004), as chuvas de pequena intensidade não apresentam condições de aproveitamento com esse sistema, pois apenas atendem a vazão do orifício. Assim, a eficácia desse dispositivo está diretamente relacionada ao tamanho da área de projeção de captação de água de chuva.

Ainda de acordo com Dacach (1979), outra técnica que pode ser aplicada para o descarte da precipitação inicial, é a instalação de um dispositivo com torneira-bóia, conforme ilustrado na Figura 11. Nesse dispositivo, a água desce pelos condutores até o reservatório de descarte situado acima do reservatório de armazenamento. Dessa forma, o nível de água no reservatório de descarte aumenta gradativamente até atingir uma situação limite que implica no fechamento automático da torneira-bóia. A partir daí, a água é desviada para o reservatório inferior onde ficará armazenada até ser distribuída. Após o término da precipitação, o registro inferior

existente no reservatório de descarte deve ser aberto para esvaziá-lo e fazer com que o sistema retome as condições iniciais de funcionamento (DACACH, 1979). Segundo Tomaz (2003), é recomendável ainda que todos os extravasores existentes no sistema possuam grelha para evitar a entrada de pequenos animais.

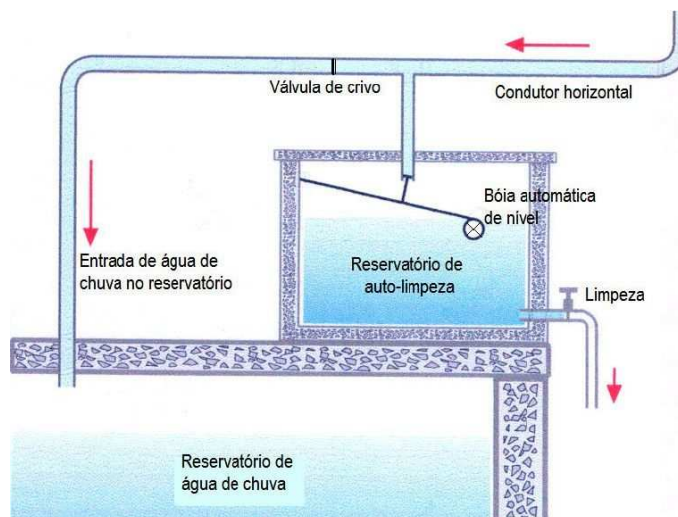


Figura 11: Dispositivo de primeira lavagem com torneira-bóia
Fonte: Dacach (1979)

Um dispositivo muito semelhante pode ser observado na Figura 12. Entretanto, nesse sistema o reservatório de descarte encontra-se conectado diretamente à calha. Assim, quando esse reservatório atinge sua capacidade máxima, a bóia existente em seu interior impede a entrada de água, desviando-a para o reservatório de armazenamento (TOMAZ, 2003).

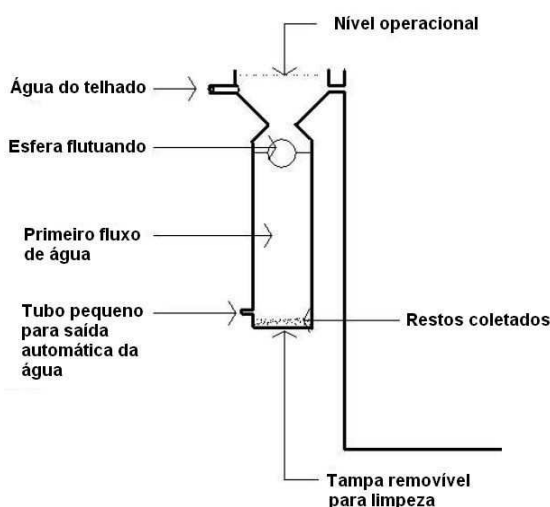


Figura 12: Dispositivo de primeira lavagem com bóia de fechamento do reservatório de descarte
Fonte: Tomaz (2003)

De acordo com Vittori (1997), esse dispositivo instalado diretamente na calha pode

funcionar de outra maneira. Assim, ao invés da bóia ser usada para bloquear a saída do reservatório de descarte, ela é usada para bloquear a entrada da tubulação que conduz ao reservatório de armazenamento, conforme observado na Figura 13.

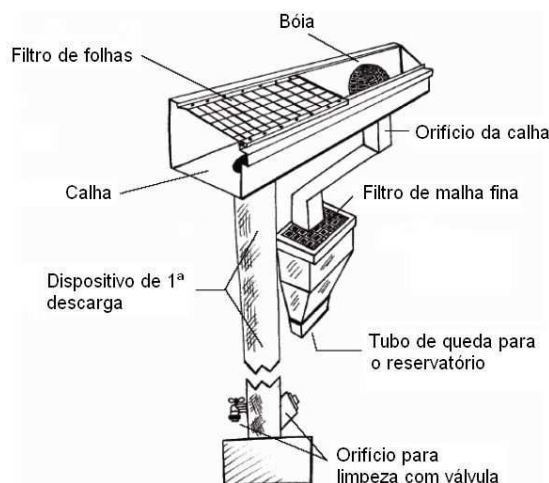


Figura 13: Dispositivo de primeira lavagem com bóia de fechamento do reservatório inferior
Fonte: Vittori (1997)

Nesse dispositivo, a água resultante do início da precipitação passa por uma grelha que retira os materiais grosseiros e é conduzida diretamente ao reservatório de descarte. No momento em que a capacidade máxima desse reservatório é atingida, a água passa a encher a calha, fazendo com que a bóia contida em seu interior se eleve e destampe a entrada da tubulação que conduz ao reservatório de armazenamento. Finalmente, a água chega ao reservatório de armazenamento, passando por uma grelha capaz de retirar os poluentes de menor espessura.

Existe ainda um dispositivo produzido por uma empresa alemã especializada em sistemas de aproveitamento de água de chuva, que funciona conforme pode ser observado na Figura 14. Segundo a 3P Technik (2011), o dispositivo contém ripas paralelas em seu interior que impedem a passagem da precipitação inicial devido à presença de sólidos mais grosseiros, fazendo com que ela seja conduzida ao reservatório de descarte. Desse modo, o restante da precipitação é totalmente conduzido ao reservatório de armazenamento. É importante ressaltar que este dispositivo apenas impede a entrada de material sólido grosseiro, não retendo partículas orgânicas solúveis indesejáveis ao reservatório de acumulação.



Figura 14: Dispositivo de primeira lavagem e descarte de sólidos grosseiros
Fonte: 3P Technik (2011)

2.1.4 RESERVATÓRIO PARA ARMAZENAMENTO DE ÁGUAS PLUVIAIS

Após passar pelo dispositivo de primeira lavagem, a água é direcionada ao reservatório de armazenamento, onde permanecerá reservada até ser utilizada. Dependendo das características locais e especificidades de uso, o reservatório pode ser enterrado, semi-enterrado, apoiado no solo ou elevado. Quando o reservatório é elevado não é necessário que haja bombeamento para o abastecimento da edificação, porém existem custos relacionados à estrutura de sustentação do reservatório. Nos casos em que o reservatório é apoiado ou enterrado são necessárias estruturas mais convencionais e baratas, porém o abastecimento exige bombeamento ou outros dispositivos para captação de água (PETERS, 2006). Portanto é recomendável que se faça uma avaliação das vantagens e desvantagens existentes ao optar por um dos modos de implantação, conforme pode ser visto na Tabela 4.

Tabela 4 – Vantagens e desvantagens existentes no modo de implantação do reservatório

Modo de implantação	Vantagens	Desvantagens
Reservatório acima do solo	<ul style="list-style-type: none"> - Permite verificar facilmente o surgimento de rachaduras e vazamentos; - A extração de água é por gravidade; - Pode ser elevado acima do solo para aumentar a pressão da água. 	<ul style="list-style-type: none"> - Ocupa maior espaço de área construtiva; - É geralmente mais caro; - Mais facilmente danificado por acidentes; - Mais vulnerável à ação do clima; - Mais perigoso em caso de falhas.
Reservatório abaixo do solo	<ul style="list-style-type: none"> - O solo circundante permite que as paredes possuam menor espessura, reduzindo os custos; - Requer pouco ou nenhum espaço acima do solo; - Permite que a água adquira uma temperatura mais fresca. 	<ul style="list-style-type: none"> - A extração de água é mais complexa exigindo bombeamento; - Vazamentos ou rachaduras são mais difíceis de detectar; - Maior risco de poluição a partir de águas subterrâneas ou enchentes; - A estrutura pode ser danificada por raízes de árvores ou ascensão de águas subterrâneas; - Maior risco de acidentes com afogamento para adultos e crianças, caso o reservatório esteja descoberto; - Maior risco de danos, caso o reservatório se encontre abaixo do trânsito de veículos pesados; - A água não é facilmente drenada em caso de limpeza; - A construção é imprópria para solos arenosos.

Fonte: Thomas e Martinson (2007)





Nos casos em que o reservatório for elevado ou apoiado no solo, a tubulação de saída para consumo deve estar aproximadamente a 10cm acima da base do reservatório. Já nos casos em que o reservatório for subterrâneo, é aconselhável que seja utilizada uma bomba com sucção flutuante, visto que a água de superfície possui melhor qualidade. O reservatório também deve conter uma abertura um pouco abaixo da borda, que funcionará como um extravasor caso o volume de água captada seja maior que o volume do tanque. Entretanto, a água descartada deve ser desviada para longe das fundações do reservatório e de construções vizinhas, evitando seu acúmulo tanto em propriedades próximas como em áreas públicas (THOMAS e MARTINSON, 2007).

Em relação à escolha do local de implantação, recomenda-se que o reservatório fique o mais próximo possível de calhas e pontos de consumo, e o mais distante de locais onde existem riscos de poluição da água como indústrias, criação de animais e tanques sépticos (VITTORI, 1997).

Na construção do reservatório normalmente são usados materiais como concreto armado, alvenaria, ferro-cimento, aço inoxidável, fibra de vidro, polietileno e outros. Entretanto, antes de optar por algum deles deve-se considerar como critérios: a finalidade de uso da água, a segurança dos usuários, a durabilidade do material frente às condições ambientais da região, e o custo de implantação do material (CUNLIFFE, 1998).

Segundo Warwick (2001), uma economia considerável de materiais e de custos pode ser conseguida por meio da otimização da geometria do tanque, de modo a minimizar a proporção existente entre a área de superfície e o volume do mesmo. Como cada material favorece determinada forma, a relação entre a geometria e o comportamento dos materiais deve ser considerada um ponto importante na escolha do reservatório, conforme pode ser visto na Tabela 5.

Tabela 5 – Relação existente entre a geometria e o comportamento dos materiais

Forma	Comportamento
<p style="text-align: center;">Esférica</p>  <p>Figura 15: Tanque esférico Fonte: Acqua Save (2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - É normalmente implantada de modo subterrâneo; - As tensões na superfície são baixas; - Pode ser construída com paredes mais espessas na porção inferior e mais finas na porção superior, economizando material em relação às formas cujas paredes são de espessura constante; - Ocupa 87% da área de superfície de um tanque cilíndrico, mantendo o mesmo volume; - Utiliza molde complexo para ser construída, exigindo mão de obra qualificada que normalmente é mais cara; - Mais apropriada para materiais possíveis de serem moldados como cimento e argila ou materiais flexíveis, tais como plástico e polietileno.
<p style="text-align: center;">Cilíndrica</p>  <p>Figura 16: Tanque cilíndrico Fonte: Acqualimp (2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - É a forma mais popular para os tanques de água, sendo mais comumente implantado de modo elevado ou apoiado no solo; - As tensões são aceitáveis na lateral do tanque, porém são maiores na junção fixa entre a parede e a base; - Utiliza molde simples para ser construído, não exigindo mão de obra qualificada que normalmente é mais barata; - Apropriado para uso com materiais possíveis de serem moldados ou outros materiais que possam ser dobrados como a folha de metal.
<p style="text-align: center;">Semi-esférica</p>  <p>Figura 17: Tanque semi-esférico Fonte: Ress (2000)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - É uma forma popular para os tanques subterrâneos por ser fácil de escavar; - Requer uma tampa grande, não engastada; - Agrega parcialmente as vantagens da forma esférica; - Utiliza molde complexo para ser construída, exigindo mão de obra qualificada que normalmente é mais cara; - Apropriada para materiais possíveis de serem moldados como cimento e argila ou materiais flexíveis, tais como plástico e polietileno.
<p style="text-align: center;">Retangular</p>  <p>Figura 18: Tanque retangular Fonte: Dercolit (2011)</p>	<ul style="list-style-type: none"> - Podem ser construídos elevados, apoiados no solo ou subterrâneos; - As tensões nas arestas são elevadas; - Muito simples de construir usando técnica semelhante aos reservatórios de edifícios; - Apropriado para todos os materiais incluindo tijolos e blocos.

Fonte: Warwick (2001)

No que se refere à demanda, é preciso considerar que em períodos de estiagem o sistema de captação de águas pluviais não será suficiente para abastecer a edificação, sendo necessário projetar um dispositivo que permita a entrada de água potável nos pontos de utilização de água de chuva. Ao projetar e construir esse sistema complementar deve-se utilizar dispositivos que evitem o contato entre águas de qualidades diferentes, visando assegurar que apenas água potável possa entrar no reservatório de água não potável e que o inverso não ocorra. Recomenda-se também separar as tubulações de água potável e de água pluvial utilizando cores diferentes para cada sistema (ANNECCHINI, 2005).

Segundo Cunliffe (1998), outros cuidados também devem ser tomados visando garantir a qualidade da água reservada, tais como:

- A cobertura do reservatório deve ser impermeável;
- Deve-se impedir a entrada de luz no reservatório para evitar a proliferação de algas;
- O reservatório deve ser ventilado para evitar a decomposição anaeróbica do lodo depositado;
- O reservatório deve possuir uma abertura para inspeção e limpeza;
- Todas as entradas devem ser protegidas por telas para evitar a entrada de insetos e pequenos animais;
- A água deve entrar no reservatório de forma que não provoque turbulência para não suspender o lodo depositado no fundo;
- O fundo do reservatório deve ser construído em declive, promovendo o acúmulo do lodo depositado em um mesmo ponto, o que facilitará a limpeza;
- O reservatório deve ser limpo uma vez por ano para a retirada do lodo depositado.

2.1.5 EQUIPAMENTOS ACESSÓRIOS

Como foi visto, a manutenção da qualidade da água armazenada depende diretamente de cuidados que evitem sua poluição, tanto na entrada quanto na saída do reservatório. Neste sentido, a sedimentação de sólidos em suspensão durante o período em que a água permanece armazenada no reservatório, é uma etapa

importante no processo de tratamento preliminar da água para usos não potáveis. Assim, é recomendável que o tubo de alimentação do reservatório seja instalado na parte superior do tanque e se estenda até o seu nível mais baixo, conforme ilustrado na Figura 19. Desse modo, evita-se que a água vinda do dispositivo de primeira lavagem chegue com pressão suficiente para provocar agitação de sólidos em suspensão na água armazenada (DUDZEVICH, 2009).



Figura 19: Esquema de instalação do tubo de alimentação
Fonte: 3P Technik (2011)

No final do tubo de alimentação, normalmente se utiliza um dispositivo denominado freio de água, como ilustrado na Figura 20a. Sua finalidade é reduzir a energia cinética com que a água chega ao reservatório, evitando o turbilhonamento e a suspensão de sólidos depositados no fundo. Além disso, o freio de água também atua na oxigenação da água que se encontra na parte inferior do reservatório, conforme esquema ilustrado na Figura 20b. Desse modo, evita-se que ocorra decomposição anaeróbica do lodo depositado no fundo, o que poderia causar liberação de gases como metano (CH_4) causando um cheiro (3P TECHNIK, 2011).



(a)



(b)

Figura 20: (a) Freio de água (b) Princípio de funcionamento do freio de água
Fonte: 3P Technik (2011)

Segundo a Acqualimp (2011) é indicado ainda que seja instalado um sifão-ladrão a 5cm de desnível da entrada de água do reservatório, estando conectado ao tubo de saída para a rede pluvial, conforme ilustrado na Figura 21.



Figura 21: Esquema de instalação do sifão-ladrão
Fonte: 3P Technik (2011)

Esse dispositivo pode funcionar como sifão, aspirando impurezas da superfície da água armazenada; e como ladrão caso o nível de água do reservatório exceda sua capacidade máxima. Além disso, pode servir também como obstáculo para evitar a entrada de pequenos animais, odores desagradáveis e refluxo de água proveniente da galeria pluvial (SICKERMANN, 2002). As Figuras 22a e 22b respectivamente, ilustram o sifão-ladrão e seu princípio de funcionamento.

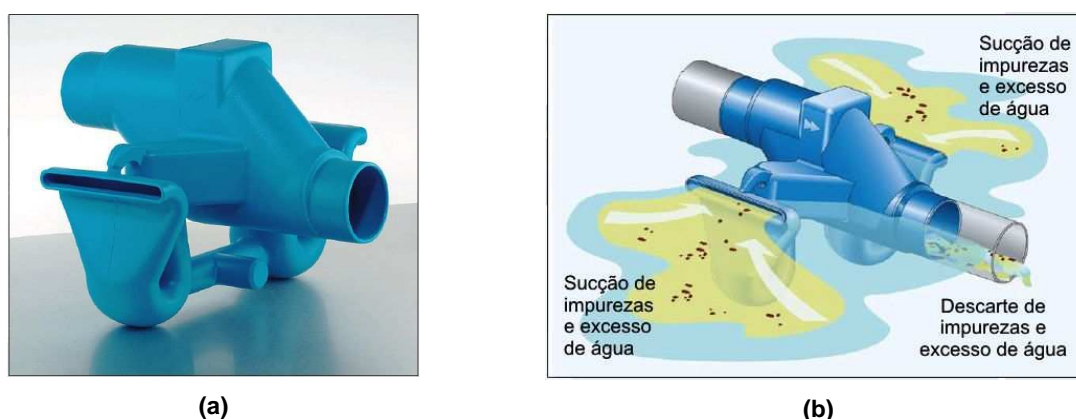


Figura 22: (a) Sifão-ladrão (b) Princípio de funcionamento do sifão-ladrão
Fonte: 3P Technik (2011)

Após permanecer algum tempo armazenada, a água é succionada para o reservatório superior por meio de uma bomba ligada a uma mangueira flutuante cujo bocal normalmente é envolvido por uma tela de malha fina. Com esse dispositivo a

água mais limpa encontrada um pouco abaixo da superfície é captada e filtrada, resultando em água com qualidade compatível para usos não-potáveis (SICKERMANN, 2002). Na Figura 23 é possível observar o esquema de instalação do conjunto flutuante, juntamente com esse conjunto em detalhe.

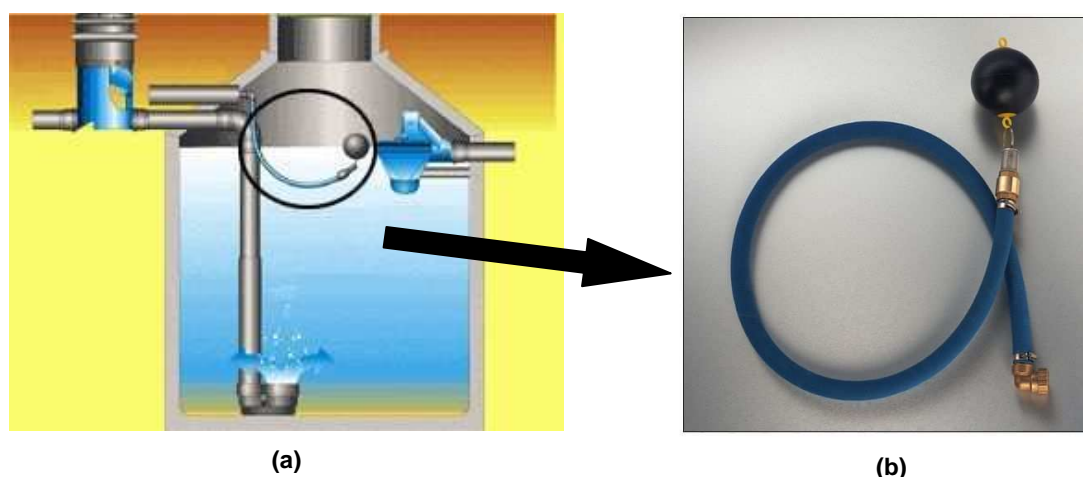


Figura 23: (a) Esquema de instalação do conjunto flutuante (b) Detalhe do conjunto flutuante
Fonte: 3P Technik (2011)

Conforme ilustrado na Figura 24, observa-se também que existem conjuntos flutuantes com malhas de diferentes espessuras para atender diversos níveis de qualidade da água captada.



Figura 24: Tipos de filtros do conjunto flutuante
Fonte: Aquastock (2011)

Desse modo, observa-se que existem várias soluções industrializadas especificamente projetadas para sistemas de aproveitamento de águas pluviais, cuja finalidade é manter a boa qualidade da água captada no que se refere ao consumo não-potável. Entretanto, Peters (2006) ressalta que se a água de chuva for utilizada para fins potáveis como beber, cozinhar e tomar banho, é necessário que seja feito

um tratamento mais complexo de desinfecção, o que aumentaria os custos e exigiria do usuário uma permanente manutenção do sistema.

2.1.6 SISTEMAS DE FILTRAGEM

Dependendo do local onde a água de chuva é coletada, da finalidade de uso e do período de estiagem, pode ser necessária a utilização de filtros de maior capacidade para a retenção de material particulado fino. Prado e Muller (2007) comentam que existem diferenças relacionadas à utilização de filtros e grelhas num sistema de aproveitamento de águas pluviais. Assim, a palavra "filtro" deve ser usada com cautela quando se faz referência a um componente de retenção de impurezas, pois segundo eles,

As peneiras, grades e grelhas empregadas no tratamento de águas pluviais são equipamentos instalados a montante de cisternas, responsáveis pela retenção de sólidos grosseiros (da ordem de alguns milímetros), pela simples interceptação. Já os filtros são instalados a jusante de cisternas para remover partículas (da ordem de alguns milésimos de milímetros), pouco maiores que os espaços intersticiais de seu meio filtrante. Esse fenômeno decorre da ação combinada de mecanismos de aderência e de transporte, ambos relacionados ao escoamento do meio filtrante e às interações superficiais entre as partículas [...] (PRADO e MULLER, 2007).

Em se tratando da montagem de sistemas para fins potáveis, o filtro para retenção de sólidos finos é considerado um componente indispensável, juntamente com procedimentos específicos para desinfecção da água. Porém, quando a finalidade envolve o uso não potável, esse componente normalmente é utilizado somente em situações onde a água ainda permanece visualmente suja, mesmo com o emprego da grelha para a retenção de sólidos grosseiros, do reservatório de descarte da chuva inicial, e do processo de sedimentação da água no reservatório de armazenamento (PROSAB, 2009).

Desse modo, Sautchuck *et al* (2005) recomenda que ao optar pela instalação de um filtro de sólidos finos, deve-se observar se a qualidade da água à jusante do reservatório de armazenamento, apresenta ou não, condições satisfatórias de uso para a finalidade a qual se destina. A Tabela 6 elaborada por Sautchuck *et al* (2005), apresenta as exigências mínimas para o uso da água com finalidade não potável, em função das diferentes atividades realizadas numa edificação.

Tabela 6 – Exigências mínimas para uso da água com finalidade não potável, em função das diferentes atividades realizadas numa edificação.

Água para irrigação, rega de jardim, lavagem de pisos

- 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 causar infecções ou a contaminação por vírus e bactérias prejudiciais à saúde humana.

Água para descarga em bacias sanitárias

- não deve apresentar mau-cheiro;
- não deve ser abrasiva;
- não deve ser turva;
- não deve manchar superfícies;
- não deve deteriorar os metais sanitários.

Água para refrigeração e sistema de ar condicionado

- não deve apresentar mau-cheiro;
- não deve ser abrasiva;
- não deve manchar superfícies;
- não deve deteriorar máquinas;
- não deve formar incrustações.

Água para lavagem de veículos

- não deve apresentar mau-cheiro;
- não deve ser abrasiva;
- não deve manchar superfícies;
- não deve conter sais ou substâncias remanescentes após secagem;
- não deve causar infecções ou contaminação por vírus e bactérias prejudiciais à saúde humana.

Água para lavagem de roupa

- deve ser incolor;
- não deve ser turva;
- não deve apresentar mau-cheiro;
- deve ser livre de algas;
- deve ser livre de partículas sólidas;
- deve ser livre de metais;
- não deve deteriorar os metais sanitários e equipamentos;
- não deve causar infecções ou a contaminação por vírus ou bactérias prejudiciais à saúde humana.

Água para uso ornamental

- não deve ser turva;
- não deve apresentar mau-cheiro.

Água para uso em construção civil na preparação de argamassas, concreto, controle de poeira e compactação de solo

- não deve alterar as características de resistência dos materiais;
- não deve favorecer o aparecimento de eflorescências de sais.

Fonte: Sautchuck *et al* (2005)

Assim, quando a instalação de filtros para a retenção de sólidos finos se fizer

necessária, normalmente os filtros de areia e os filtros de cartucho (semelhantes aos encontrados para tratamento de piscinas) são os mais usados. Os filtros de areia encontrados no mercado são fabricados na forma de cilindros de pressão em aço ou polipropileno, como ilustrado na Figura 25. Em geral, esses filtros possuem leito filtrante composto por carvão antracitoso e areia ou somente areia capaz de reter partículas de até 20 μm (NAUTILUS, 2011).

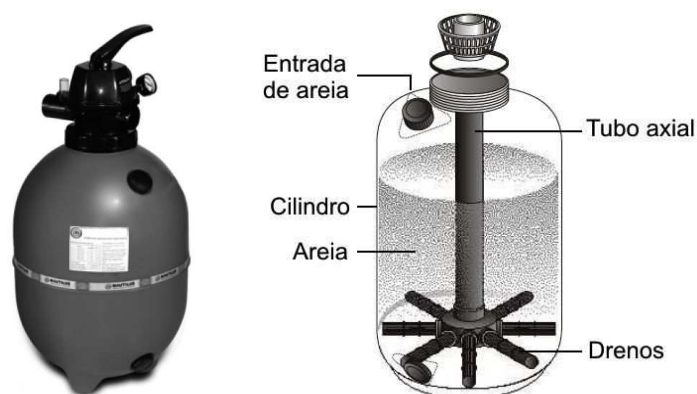


Figura 25: Filtro de areia
Fonte: Nautilus (2011)

No funcionamento desse dispositivo, a água entra após ser bombeada em fluxo descendente, e percola as várias camadas do leito filtrante, de modo que os sólidos em suspensão fiquem retidos nos espaços existentes entre os grãos de areia, conforme ilustrado na Figura 26. Em seguida, a água é coletada por drenos existentes no fundo do cilindro e conduzida para fora do dispositivo através de um tubo axial contido em seu interior (SODRAMAR, 2011).

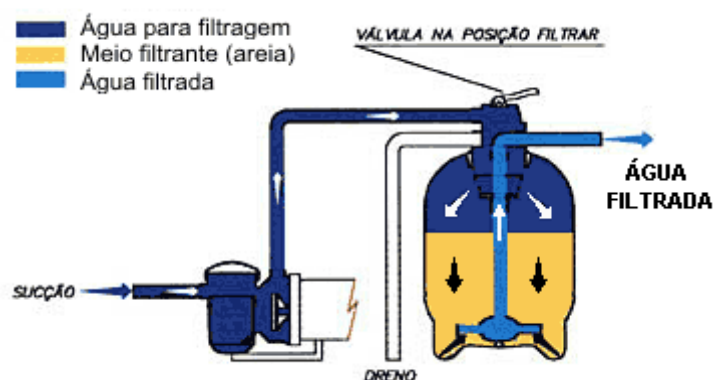


Figura 26: Funcionamento do filtro de areia
Fonte: Sodramar (2011)

Segundo Jacuzzi (2011), os filtros de cartucho, recebem essa denominação porque

são produzidos em copos de polipropileno com cartuchos cilíndricos substituíveis de material poroso. Normalmente esses cartuchos são constituídos de manta de poliéster plissada, capaz de reter partículas de até 50 μm , conforme ilustra a Figura 27.



Figura 27: Filtro de Cartucho
Fonte: Jacuzzi (2011)

Segundo o mesmo autor, a filtração nesse dispositivo é feita de fora para dentro. Assim, a água entra no copo do filtro após ser bombeada e é pressionada a atravessar os microporos do material filtrante, possibilitando que as partículas fiquem retidas na parte externa do material. A partir daí, a água chega ao interior do cartucho e é conduzida em fluxo ascendente por sua cavidade interna, sendo liberada na tampa do filtro.

Caso a instalação dos filtros seja uma opção onerosa à implantação do projeto, pode-se atenuar a presença de sólidos suspensos, utilizando o reservatório superior como um novo componente de sedimentação. Dessa forma, recomenda-se que a tubulação de saída seja projetada à meia-altura do fundo do reservatório e que a tubulação de entrada contenha dispositivos capazes de evitar a ressuspensão de sólidos depositados no fundo (ALVES *et al*, 2008).

2.1.7 SISTEMA DE BOMBEAMENTO

Na maioria dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais, o volume total de água normalmente é dividido entre o reservatório inferior de armazenamento e o reservatório superior de distribuição. Desse modo, é necessário que haja um sistema de bombeamento capaz de fazer com que a água seja recalçada, e a partir daí, distribuída por gravidade até os pontos de utilização. Em geral, os sistemas

elevatórios utilizam bombas centrífugas radiais ou axiais submersíveis.

Segundo Feitosa *et al* (2006), a bomba centrífuga radial auto-escorvante é o tipo mais comum utilizado em sistemas prediais de abastecimento de água, como ilustrado na Figura 28. Essa denominação ocorre porque para funcionar acima do nível da cisterna, esse tipo de bomba possui um reservatório próprio de água, permitindo que o trabalho de sucção e recalque sempre se inicie com o corpo interno do aparelho imerso em água, o que é denominado auto-escorvamento (FEITOSA *et al*, 2006).



Figura 28: Bomba centrífuga auto-escorvante
Fonte: Schneider (2011)

Em geral, utiliza-se também a chamada bomba centrífuga axial submersível, que funciona de maneira semelhante à bomba centrífuga radial, porém submersa no fundo da cisterna, conforme ilustrado na Figura 29.

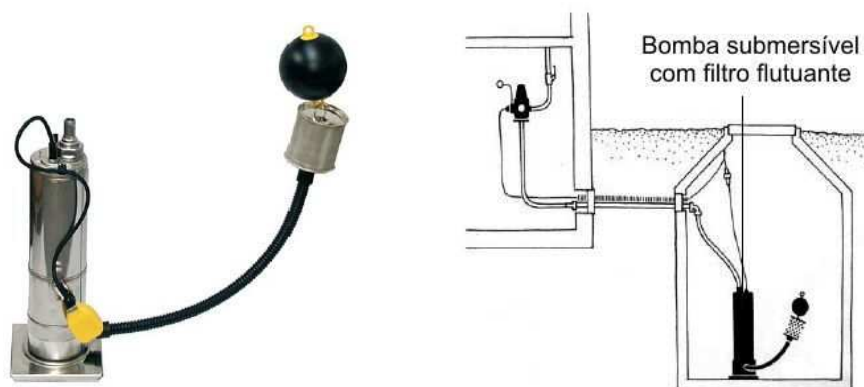


Figura 29: Esquema de uma bomba centrífuga submersível com filtro flutuante
Fonte: Aquastock (2011)

Pela própria natureza do local de instalação, o equipamento não possui reservatório de auto-escorvamento, visto que seu corpo interno se mantém permanentemente imerso, utilizando a própria pressão existente no fundo da cisterna para succionar a

água armazenada. Uma vantagem desse tipo de bomba, é que sua localização no interior do reservatório dispensa a necessidade de um local específico para a instalação, ocultando o ruído de funcionamento (AQUASTOCK, 2011).

Para que os recursos financeiros economizados no aproveitamento da água de chuva não sejam parcialmente gastos com energia necessária para manter o funcionamento da bomba, existe também a opção de se instalar as chamadas bombas fotovoltaicas movidas por energia solar. Nesse sistema, existem quatro componentes principais: o painel fotovoltaico, a bateria, o condicionador de potência e o conjunto moto-bomba, como ilustrado na Figura 30.

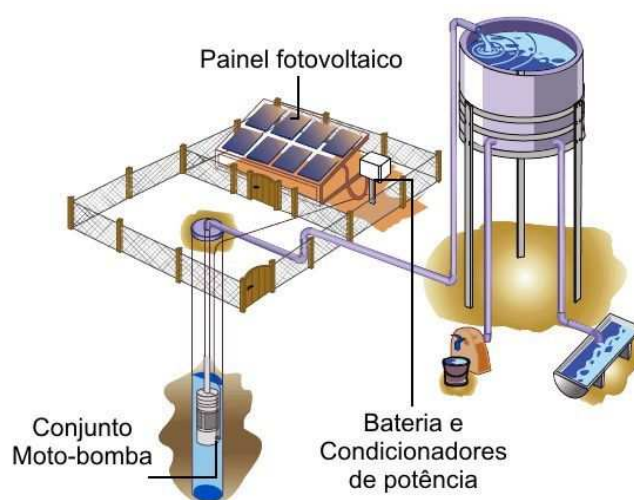


Figura 30: Sistema de bombeamento fotovoltaico
Fonte: Fedrizzi (1997)

Durante o funcionamento do dispositivo, a energia solar é convertida em energia elétrica através de um painel fotovoltaico e armazenada em uma bateria. Quando o painel fotovoltaico gera energia elétrica suficiente, o motor produz torque mecânico e a bomba entra em funcionamento. Dependendo do tipo de bomba utilizada, é necessária a instalação dos condicionadores de potência, cuja função é adaptar as características de potência do gerador fotovoltaico ao conjunto moto-bomba escolhido (FEDRIZZI, 1997).

Qualquer que seja a opção escolhida, a bomba sempre deve funcionar ligada a um eletrônível, cuja função é ativar e desativar automaticamente o bombeamento de acordo com os níveis de água dos reservatórios. Conforme ilustrado na Figura 31a, esse dispositivo é constituído por um cabo elétrico com um contrapeso na porção

média e uma bóia de nível na extremidade. A instalação do cabo é feita de maneira que o contrapeso seja um ponto fixo no interior do reservatório, deixando a bóia livre para se movimentar de acordo com o nível de água. Conforme ilustrado na Figura 31b, é recomendável que a instalação do eletrônível seja feita com no mínimo 55cm de distância entre o contrapeso e a parte superior do reservatório (ACQUALIMP, 2011).

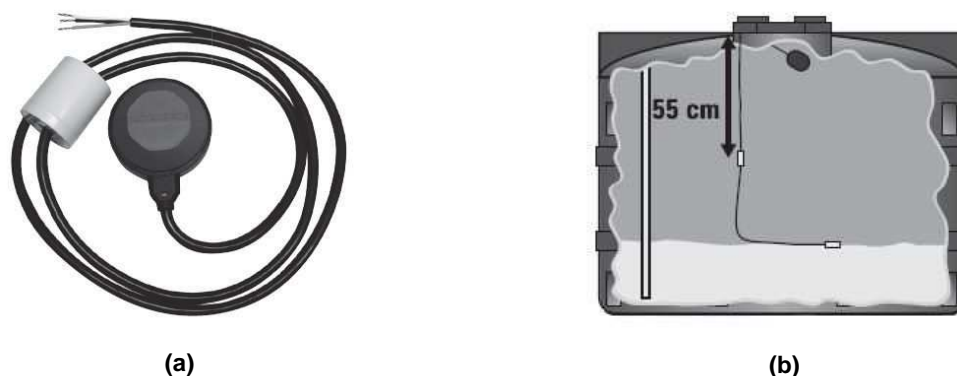


Figura 31: (a) Eletrônível (b) Esquema de instalação do eletrônível
Fonte: Acqualimp (2011)

A montagem do sistema normalmente é realizada com dois eletrôníveis: um para o reservatório inferior e outro para o reservatório superior. Conforme ilustrado na Figura 32, o eletrônível do reservatório superior tem a função de ligar a bomba quando esse reservatório estiver vazio, e desligá-la quando esse reservatório estiver cheio, evitando transbordamentos.

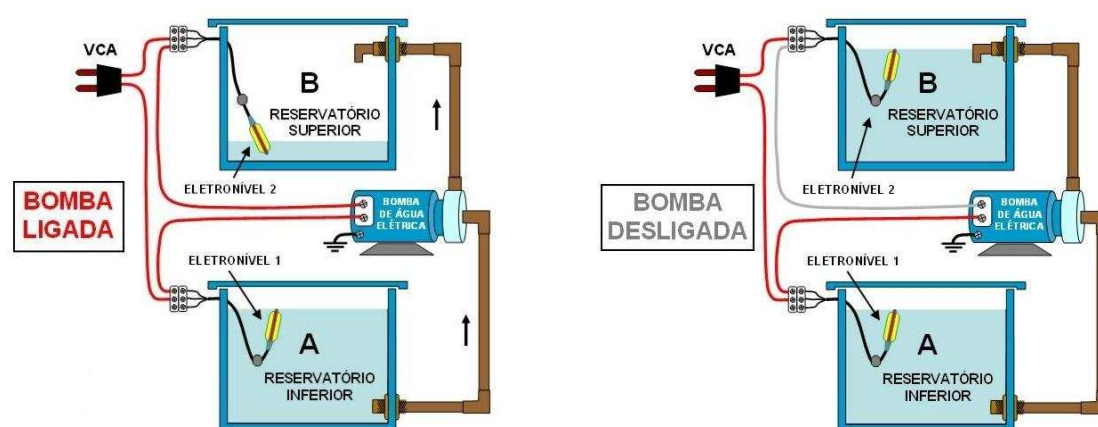


Figura 32: Funcionamento do eletrônível do reservatório superior
Fonte: Sociedade do sol (2011)

Conforme ilustrado na Figura 33 o eletrônível do reservatório inferior tem a função manter o funcionamento da bomba quando esse reservatório estiver cheio e impedir

seu funcionamento quando esse reservatório estiver vazio, evitando que a bomba trabalhe a seco (ACQUALIMP, 2011).

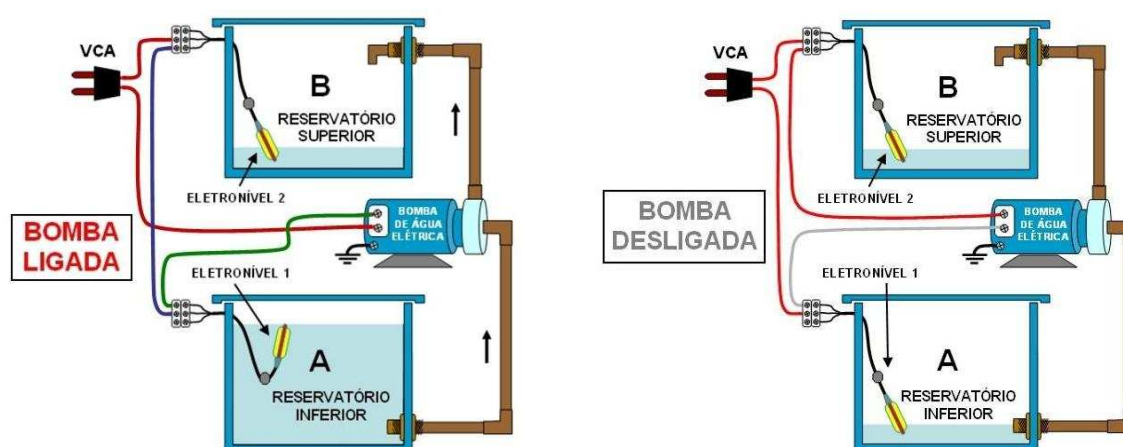


Figura 33: Funcionamento do eletro nível do reservatório inferior
Fonte: Sociedade do Sol (2011)

Segundo a ABNT NBR 15527:2007, que trata dos requisitos mínimos para a implantação de um sistema predial de aproveitamento de água de chuva, as recomendações referentes às tubulações de sucção e recalque bem como o dimensionamento para a escolha do conjunto moto-bomba mais adequado, deve atender as especificações constantes na ABNT NBR 12214:1992, que trata do sistema de bombeamento para abastecimento público.

2.1.8 SISTEMA DE REALIMENTAÇÃO COM ÁGUA POTÁVEL

Em caso de estiagem prolongada ou consumo acima da capacidade de captação, é recomendável que seja previsto um sistema auxiliar de abastecimento de água potável, evitando uma possível escassez nos pontos de consumo não potáveis. Entretanto, uma das preocupações é impedir que ocorra conexão cruzada entre os dois sistemas de abastecimento, evitando que a água de chuva coletada contamine o reservatório de água potável.

De acordo com a ABNT NBR 5626:1998 que estabelece normas para instalações prediais de água fria, deve-se evitar a interligação direta entre a tubulação de água fornecida pela rede pública e a tubulação com água proveniente de sistema particular de abastecimento, seja esta última de qualidade potável ou não. Para que não ocorra refluxo de água poluída no reservatório de água potável, a norma sugere ainda que seja previsto um dispositivo de prevenção por separação atmosférica

padronizada, de modo que o tubo de alimentação de água potável seja instalado a uma distância padronizada da superfície de água do reservatório não potável. A Figura 34 ilustra o esquema de separação atmosférica padronizada constante na norma, onde "d" é o diâmetro interno do ponto de suprimento ou de utilização de água, "S" é a distância vertical do separador atmosférico e "L" é a distância mínima entre o ponto de suprimento e qualquer obstáculo próximo a ele, cujo valor é 3d.

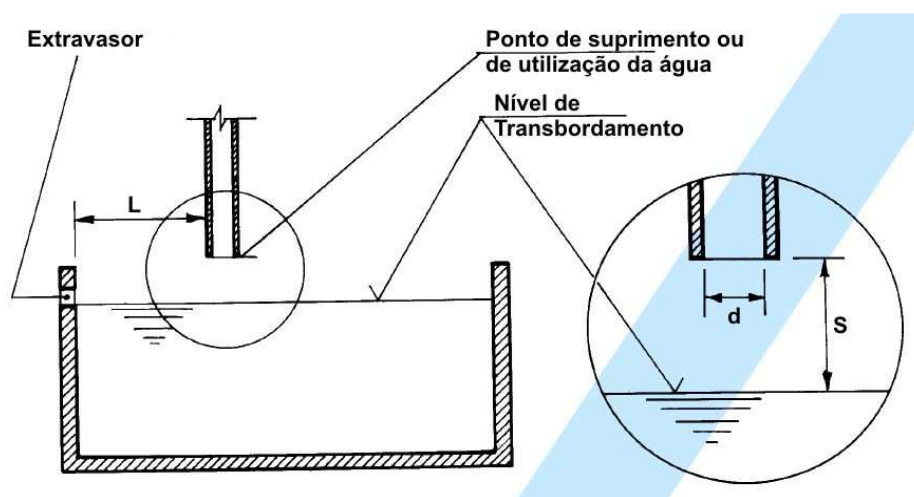


Figura 34: Esquema de separação atmosférica padronizada
Fonte: ABNT NBR 5626: 1998

Segundo a ABNT NBR 5626:1998, essas distâncias variam de acordo com o diâmetro interno do tubo de alimentação, conforme ilustrado na Tabela 7.

Tabela 7 – Altura mínima da separação atmosférica

d (mm)	Smín. (mm)
$d \leq 14$	20
$14 < d \leq 21$	25
$21 < d \leq 41$	70
$41 < d$	2d

Fonte: ABNT NBR 5626: 1998

Com esse dispositivo, se o reservatório encher além de sua capacidade máxima, o excedente de água poluída transbordará pelo extravasor existente na lateral do reservatório, não alcançando a tubulação de água potável.

Para evitar que haja mistura de água com qualidades diferentes e consumo acidental de água não potável, a norma ainda recomenda que,

Em instalação predial de água fria abastecida com água não potável, todas as tubulações, reservatórios e pontos de utilização devem ser adequadamente identificados através de símbolos e cores, e devem advertir os usuários com a seguinte informação: “ÁGUA NÃO POTÁVEL”. (ABNT NBR 5626:1998, p.14)

No que se refere especificamente ao sistema de aproveitamento de águas pluviais, pode-se dizer que existem vários equipamentos no mercado cuja finalidade é evitar a falta de água nos pontos de consumo não potável, permitindo que o reservatório de água pluvial receba água potável, sem riscos de contaminação por refluxo. A Figura 35 ilustra um dispositivo muito usado, composto por uma mangueira em aço inox com torneira, válvula solenóide, bocal separador, conector e eletrônível.

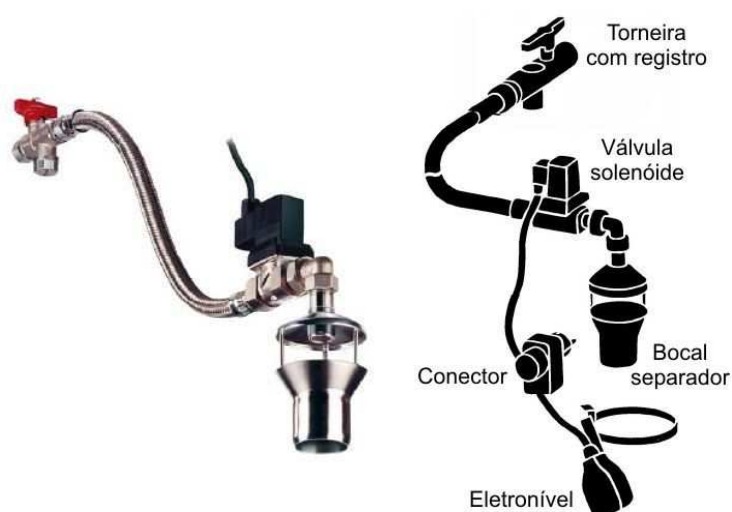


Figura 35: Equipamento de realimentação de água potável
Fonte: Aquastock (2011)

Esse equipamento normalmente é instalado para abastecer o reservatório inferior, funcionando com o registro de entrada fixo num ponto de água potável e o bocal separador encaixado na tubulação que abastece esse reservatório, conforme a Figura 36. Entretanto, com a aquisição de uma válvula solenóide, tubulações e um eletrônível, esse equipamento de realimentação também pode ser montado e instalado no reservatório superior, a fim de economizar energia no funcionamento da bomba (WERNECK, 2006).

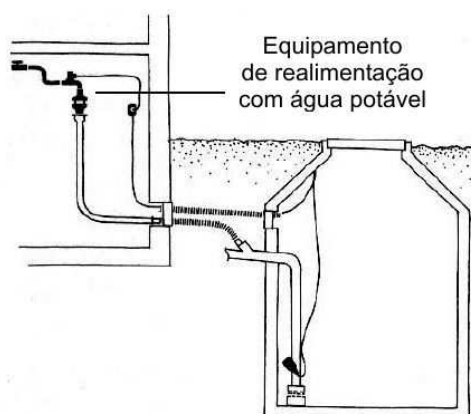


Figura 36: Instalação do equipamento de realimentação
Fonte: Aquastock (2011)

Durante seu funcionamento, o eletrônível detecta o baixo nível de água do reservatório e aciona a válvula solenóide, que se abre permitindo a entrada de água potável. Em seguida, a água é conduzida ao bocal separador que utiliza o recurso de prevenção por separação padronizada para evitar que ocorra refluxo de água de chuva na tubulação de água potável. A partir daí, a água entra na tubulação de água de chuva, sendo lançada no fundo do reservatório inferior. Para um bom funcionamento do sistema, é recomendável que o eletrônível do dispositivo seja instalado um pouco acima do fundo do reservatório, evitando que esse reservatório fique totalmente vazio, e que o lodo de sedimentação seja utilizado juntamente com a água de chuva restante no fundo do reservatório (AQUASTOCK, 2011).

O mercado também oferece equipamentos mais sofisticados que funcionam como centros de controle do sistema de utilização de água de chuva, conforme a Figura 37. Combinam no mesmo conjunto, diversos dispositivos individuais como: bombas, filtro de sucção, medidor de nível, pressurizador com manômetro, realimentação de água potável, mangueiras e conectores. Esses equipamentos são capazes de bombear a água de chuva para fora da cisterna e alimentar a rede de utilização, ao mesmo tempo em que controlam o sistema inteiro de utilização de água de chuva, verificando o nível no tanque de armazenamento e fornecendo alimentação de água potável quando necessário (AQUASTOCK, 2011).



Figura 37: Sistemas de automatização
Fonte: Aquastock (2011)

Existe também um dispositivo que não utiliza equipamentos eletrônicos, mas apenas um terceiro reservatório e uma válvula de retenção, conforme ilustra a Figura 38.

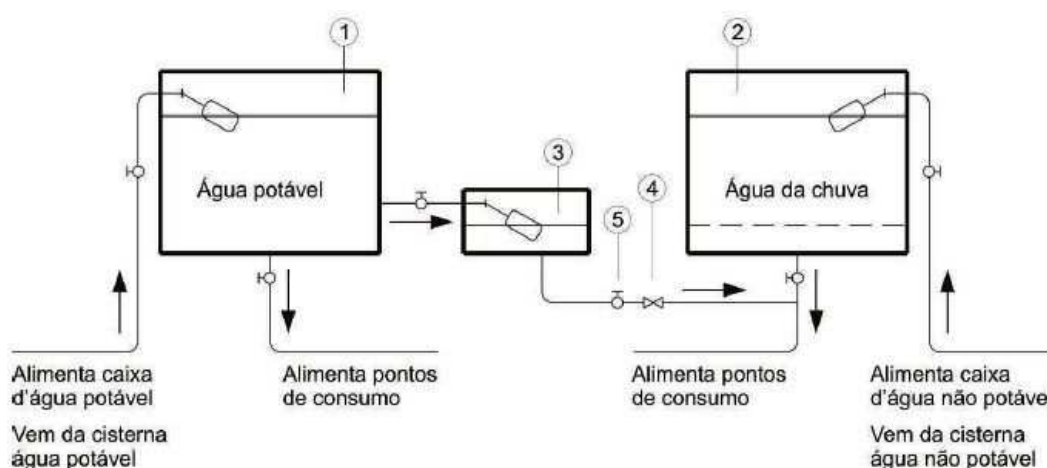


Figura 38: Sistema de realimentação sem equipamentos eletrônicos
Fonte: Werneck (2006)

Nesse dispositivo, além dos reservatórios de água potável (1) e de água da chuva (2), há um reservatório auxiliar (3) que serve como intermediário, evitando o contato direto entre os dois reservatórios principais. Isso porque a válvula de retenção (4) permite que o fluxo de água somente ocorra em um único sentido: do reservatório auxiliar (3) para o reservatório de água de chuva (2) (WERNECK, 2006).

Assim, quando o nível no reservatório de água de chuva (2) estiver mais baixo que o nível de água no reservatório auxiliar (3), a pressão da água sobre a válvula de retenção (4) será maior pelo lado do reservatório auxiliar (3). Desse modo, a água potável presente no reservatório auxiliar (3) é conduzida para o reservatório de água de chuva (2), atendendo os pontos de consumo não potável. Ao baixar o nível do reservatório auxiliar (3), o registro de bóia existente em seu interior se abre,

permitindo a entrada de água potável até que o nível nesse reservatório seja restabelecido. Em caso de refluxo de água de chuva, esse registro também tem a função de impedir a entrada de água poluída para o reservatório de água potável (1), preservando sua potabilidade (WERNECK, 2006).

2.2 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

O reservatório de armazenamento é um dos componentes mais caros de um sistema de aproveitamento de águas pluviais e deve ser dimensionado considerando sempre a relação custo/benefício, pois quanto maior o volume de armazenamento, maior será o tempo em que a demanda será atendida sem necessidade de abastecimento externo, entretanto maiores serão os custos iniciais de implantação e menor será a qualidade da água armazenada em função da proliferação de microorganismos. Desse modo, o dimensionamento de um reservatório depende diretamente dos seguintes fatores: demanda de água pluvial, áreas de captação, precipitação pluviométrica e custos totais de implantação (BRAGA, 2008).

A ABNT NBR 15227:2007, que trata dos requisitos mínimos para o aproveitamento de águas pluviais, recomenda que seja utilizado um dos seguintes métodos para o dimensionamento do reservatório de armazenamento: Método de Rippl, Método da Simulação, Método Prático Australiano, Método Prático Inglês, Método Azevedo Neto ou Método prático Alemão.

Segundo Tomaz (2003), o Método de Rippl é um dos mais usados em se tratando de sistemas de aproveitamento de água de chuva, pois trabalha com a possibilidade de armazenar volumes máximos de precipitação anual, na tentativa de se empregar maior confiabilidade ao sistema. Entretanto, como normalmente o regime de chuvas é irregular, mesmo que o reservatório seja super-dimensionado, esse método resulta em incertezas quanto ao atendimento da demanda em todas as épocas do ano, não pela falta de capacidade do reservatório, e sim por falta de chuvas em alguns períodos do ano. Desse modo, para Tomaz (2003), a importância do Método de Rippl não consiste tanto em determinar o volume ideal do reservatório, e sim em obter uma referência máxima de dimensionamento.

Nesse método, geralmente utilizam-se séries históricas de precipitações mensais

onde todas as variáveis são empregadas em função do tempo, sendo possível expressar os valores obtidos por meio de gráficos ou planilhas. O método é considerado simples e de acordo com a ABNT NBR 15227:2007 pode ser representado pelas Equações 1 e 2, obedecendo à relação $D_{(t)} < Q_{(t)}$.

$$Q_{(t)} = C \times A \times P_{(t)} \quad \text{Equação (1)}$$

$$V = \sum (D_{(t)} - Q_{(t)}) \quad \text{Equação (2)}$$

Onde:

$Q_{(t)}$: Volume de chuva captada no tempo t (m^3);

C : Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

A : Área de captação (m^2);

$P_{(t)}$: Precipitação média no tempo t (mm);

$D_{(t)}$: Demanda de água no tempo t (m^3);

V : Volume do reservatório (m^3)

Como se pode observar, o Método de Rippl utilizado na sua forma mais simples possui uma base de cálculo restrita, onde a partir das médias mensais de precipitação da cidade obtém-se um único valor para o volume do reservatório. Entretanto, como o objetivo desse método é reduzir os riscos de falha no atendimento à demanda, normalmente também são realizadas simulações, variando-se os dados pluviométricos a partir dos piores cenários de seca encontrados dentro da série histórica de precipitação da cidade. Desse modo, obtém-se um volume de reservatório para cada cenário pluviométrico considerado (TOMAZ, 2003).

Para a criação desses cenários, normalmente utiliza-se o Método de Monte Carlo cujo objetivo é gerar séries sintéticas de precipitação mensal com valores pluviométricos gradativamente menores, a partir da série histórica real obtida ao longo de décadas de precipitação. Assim, é possível determinar porcentagens de probabilidade da ocorrência de um cenário anual de precipitação, onde quanto maior a probabilidade de ocorrência do cenário, maior será a quantidade de dados da série histórica que se comportam acima de certo patamar pluviométrico e, portanto, menor será o patamar pluviométrico considerado, garantindo que os períodos de seca no futuro não sejam piores que os anteriores (TOMAZ, 2003).

No estudo realizado por Anecchini (2005), o Método de Rippl foi adaptado, possibilitando propor uma nova metodologia de cálculo denominada Método Interativo. Através desse modelo, foram encontrados resultados mais realistas de dimensionamento ao utilizar valores pré-definidos para o volume de reservatório em cálculos extraídos das equações de Rippl. Com o auxílio de uma planilha eletrônica, esse método permite ao programador definir volumes aleatórios para o reservatório num processo de tentativa e erro, tendo como base o volume total de chuva captável durante o ano.

[...] Desse modo, é possível verificar se o percentual de demanda atendida está satisfatório, e caso não esteja o programador altera o volume do reservatório até achar um valor ideal, o qual vai variar de acordo com as possibilidades físicas e financeiras de cada empreendimento (ANNECCHINI, 2005).

Existe também o Método da Simulação que é semelhante ao Método de Rippl e vai um pouco além do Método Interativo proposto por Anecchini (2005), pois não só utiliza valores pré-definidos para o volume do reservatório, como também considera o volume inicial de chuva presente no reservatório em cada período de tempo. Segundo a ABNT NBR 15227:2007, nesse método aplica-se a equação da continuidade a um reservatório finito para cada mês do ano, utilizando as Equações 3 e 4, onde $0 \leq S_{(t)} \leq V$.

$$Q_{(t)} = C \times A \times P_{(t)} \quad \text{Equação (3)}$$

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad \text{Equação (4)}$$

Onde:

$Q_{(t)}$: Volume de chuva captada no tempo t (m^3);

C: Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

A: Área de captação (m^2);

$P_{(t)}$: Precipitação média no tempo t (mm);

$S_{(t)}$: Volume de chuva presente no reservatório no tempo final t (m^3);

$S_{(t-1)}$: Volume de chuva presente no reservatório no tempo inicial (t-1) (m^3);

$D_{(t)}$: Demanda de água no tempo t (m^3);

V: Volume do reservatório fixado (m^3).

Nesta mesma linha de raciocínio existe o Método Prático Australiano, que é uma

adaptação do Método da Simulação, pois além de utilizar valores pré-definidos para o volume de do reservatório e considerar o volume inicial de chuva presente no reservatório, esse modelo ainda acrescenta uma variável responsável pelas perdas por evaporação e interceptação antes da chuva atingir a superfície de captação. Segundo a ABNT NBR 15227:2007, o volume do reservatório pode ser obtido através desse método para cada mês do ano pelas Equações 5 e 6, onde na situação em que $(Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)}) < 0$, considera-se $S_{(t)} = 0$.

$$Q_{(t)} = C \times A \times (P_{(t)} - I) \quad \text{Equação (5)}$$

$$S_{(t)} = Q_{(t)} + S_{(t-1)} - D_{(t)} \quad \text{Equação (6)}$$

Onde,

$Q_{(t)}$: Volume de chuva captada no tempo t (m^3);

C: Coeficiente de escoamento superficial (adimensional);

A: Área de captação (m^2);

$P_{(t)}$: Precipitação média no tempo t (mm);

I: interceptação da água que molha as superfícies e perdas por evaporação, geralmente 2mm;

$S_{(t)}$: Volume de chuva presente no reservatório no tempo final t (m^3);

$S_{(t-1)}$: Volume de chuva presente no reservatório no tempo inicial (t-1) (m^3);

$D_{(t)}$: Demanda de água no tempo t (m^3);

V: Volume do reservatório fixado (m^3).

Além destes métodos, existe o Método Prático Inglês e o Método de Azevedo Neto, que são metodologias de cálculo empíricas e mais simplificadas, porém ao invés de utilizarem a média de precipitação mensal empregam a média de precipitação anual, não considerando a demanda como dado de entrada, o que segundo Braga (2008), pode levar ao cálculo de volumes imprecisos para o reservatório. No Método Prático Inglês, esse volume pode ser obtido conforme indicado na ABNT NBR 15227:2007, utilizando a Equação 7.

$$V = 0,05 \times P \times A \quad \text{Equação (7)}$$

Onde,

V: Volume do reservatório (L);

P: Precipitação média anual (mm);

A: Área de captação (m^2).

O Método de Azevedo Neto possui uma equação semelhante, porém se diferencia em relação ao Método Prático Inglês somente pelo valor do coeficiente determinado empiricamente, e pela inclusão da variável relativa ao número de meses de estiagem. Semelhante ao Método de Rippl, o modelo utiliza uma linha de raciocínio fundamentada no volume de chuva captado durante o período de estiagem sem, entretanto, considerar a demanda. Assim, o volume do reservatório pode ser calculado conforme indicado na ABNT NBR 15227:2007, utilizando a Equação 8.

$$V = 0,042 \times P \times A \times T \quad \text{Equação (8)}$$

Onde:

V: Volume do reservatório (L);

P: Precipitação média anual (mm);

A: Área de captação (m^2);

T: Número de meses com pouca chuva ou seca.

Outra metodologia empírica de cálculo que também utiliza a média de precipitação anual é o Método Prático Alemão. De acordo com a ABNT NBR 15227:2007, esse modelo busca o volume mínimo para o dimensionamento do reservatório e foi determinado de maneira experimental como sendo o menor dentre os seguintes valores: 6% do volume anual de consumo ou 6% do volume anual de precipitação captada. Conforme a ABNT NBR 15227:2007, esse método pode ser expresso de utilizando a Equação 9.

$$V_{\text{adotado}} = \text{mín}(V; D) \times 0,06 \quad \text{Equação (9)}$$

Onde:

V_{adotado} : Volume do reservatório (L)

V: Volume anual de precipitação captada (L)

D: Demanda anual (L)

Existe também o Método Comportamental que foi utilizado no estudo de Anecchini (2005), obtendo volumes mínimos de armazenamento e resultados satisfatórios de atendimento à demanda. Segundo Anecchini (2005), esse modelo simula a operação do reservatório num dado período de tempo, utilizando algoritmos para

duas situações diferentes: na primeira, o algoritmo descreve a regra de operação do reservatório de produção depois do enchimento (PDE) e, na segunda, descreve a regra de operação do reservatório de produção antes do enchimento (PAE), conforme pode ser observado nas Equações 10 e 11.

$$Y_{(t)} = \text{mín} \begin{cases} D_{(t)} \\ V_{(t-1)} + \theta Q_{(t)} \end{cases} \quad \text{Equação (10)}$$

$$V_{(t)} = \text{mín} \begin{cases} (V_{(t-1)} + Q_{(t)} - \theta Y_{(t)}) - (1 - \theta) Y_{(t)} \\ S - (1 - \theta) Y_{(t)} \end{cases} \quad \text{Equação (11)}$$

Onde:

$Y_{(t)}$: Volume de chuva captada no tempo t (m^3);

$D_{(t)}$: Demanda no tempo t (m^3);

$V_{(t-1)}$: Volume de chuva presente no reservatório no tempo inicial $(t-1)$ (m^3);

$V_{(t)}$: Volume de chuva presente no reservatório no tempo final t (m^3);

$Q_{(t)}$: Volume total de chuva coletado pelo sistema no tempo final t (m^3);

$S_{(t)}$: Volume do reservatório de armazenamento (m^3);

θ : Parâmetro que adapta as equações para a situação de PAE ou PDE.

Ao aplicar as equações 10 e 11, $\theta = 0$ é utilizado para descrever a operação do reservatório na situação de produção depois do enchimento (PDE) e $\theta = 1$ é utilizado para descrever a operação do reservatório na situação de produção antes do enchimento (PAE).

Existe também o Método dos Dias Consecutivos sem Chuva que foi utilizado nos estudos de Amorim *et al* (2008) e Dornelles *et al* (2010), obtendo volumes mínimos para o reservatório de armazenamento. Para Amorim *et al* (2008), a aplicação deste método é interessante somente para casos onde se deseja priorizar a redução de custo do reservatório, em locais onde existem outras fontes de água para o suprimento da demanda. Semelhante ao Método de Rippl, a base de cálculo empregada nesse método possui uma linha de raciocínio fundamentada no volume de chuva captado durante o período de estiagem, utilizando os maiores períodos de dias consecutivos sem chuvas. Segundo Amorim *et al* (2008), o volume do reservatório pode obtido através desse método, aplicando-se a Equação 12.

$$V = Cd \times Dsc \quad \text{Equação (12)}$$

Onde:

Cd: Consumo diário (m³);

Dsc: Dias consecutivos sem chuva.

Segundo ABNT NBR 15227:2007, com os resultados obtidos através de qualquer um dos métodos que utilizam dados de precipitação mensal citados anteriormente, é possível verificar a confiança do sistema, ou seja, a porcentagem de tempo durante o ano em que o reservatório atende à demanda, utilizando as Equações 13 e 14.

$$Fr = \frac{Nr}{n} \quad \text{Equação (13)}$$

$$Rf = (1 - Fr) \quad \text{Equação (14)}$$

Onde:

Fr: Falha no sistema (%);

Nr: Número de meses em que o reservatório não atendeu a demanda;

n: Número total de meses do ano;

Rf: Confiança do sistema (%).

Além disso, de acordo Tomaz (2003), também é possível verificar a eficiência do sistema, isto é, a porcentagem de demanda atendida durante o ano pelo sistema. Para tanto, utiliza-se a Equação 15.

$$Ef = 100 \times \frac{Vs}{Vd} \quad \text{Equação (15)}$$

Onde:

Ef: Eficiência do sistema

Vs: Volume anual de chuva utilizado pela demanda (m³)

Vd: Volume anual de água necessária à demanda (m³)

Existe também o programa computacional Netuno, que foi desenvolvido no Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LABEEE), da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), com o objetivo de calcular o volume do reservatório de armazenamento para um sistema de aproveitamento de água de chuva com fins não potáveis em edificações residenciais. Por meio desse programa, é possível determinar o percentual de economia de água potável a partir da demanda por água não potável, verificando a economia oferecida para diversos volumes de reservatório até obter aquele que apresenta o maior percentual de

economia com menor custo (OLIVEIRA, 2005). As simulações são realizadas através de algoritmos, utilizando dados de precipitação com bases diárias e até horárias, bastando que o usuário disponha dos seguintes dados de entrada: séries históricas de precipitação pluviométrica diária do local de implantação, coeficiente de perdas, área de captação, demanda diária de água potável, porcentagem de água potável a ser substituída por água pluvial, número de moradores e volume desejado para o reservatório superior (GHISI *et al*, 2011).

O programa pode apresentar resultados tanto para a utilização um reservatório inferior como para a utilização de vários reservatórios inferiores. Caso seja utilizado apenas um reservatório inferior, o programa retorna a porcentagem de economia de água potável, o volume de água de chuva extravasado durante o ano e os percentuais de eficiência para três situações diferentes: a) porcentagem de dias do ano em que a água de chuva atende completamente às necessidades diárias de água pluvial; b) porcentagem de dias do ano em que a água de chuva atende parcialmente a essas necessidades; e c) porcentagem de dias do ano em que a água de chuva não atende às necessidades diárias. Caso sejam utilizados vários reservatórios inferiores, o programa retorna o volume ideal de cada reservatório num gráfico onde é possível observar a relação entre a variação desses volumes e o potencial de economia de água potável (GHISI *et al*, 2011). A Figura 39 ilustra um exemplo dos resultados da simulação para vários reservatórios inferiores.

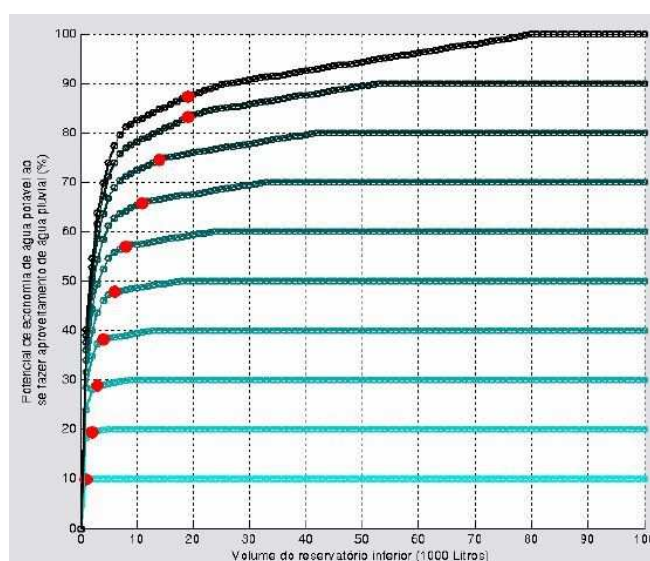


Figura 39: Resultados da simulação para vários reservatórios inferiores
Fonte: Ghisi *et al* (2011)

Em ambos os casos, ainda é possível fazer simulações de análise econômica, permitindo verificar o retorno de capital do sistema em relação a uma taxa de aplicação financeira definida pelo próprio usuário, num dado período de tempo (GHISI *et al*, 2011).

Para Amorim *et al* (2008), a escolha do método de dimensionamento mais adequado para a determinação do volume do reservatório de armazenamento deve considerar não só o local de implantação do projeto, como também os interesses finais de utilização de um sistema de aproveitamento de água pluvial. Segundo esses autores, em regiões com altos índices pluviométricos deve-se escolher métodos mais conservadores que trabalham com volumes mínimos de armazenamento. Já em regiões com baixos índices, o ideal é utilizar métodos que trabalham com volumes máximos de armazenamento, para que a água coletada nos períodos de chuva possa suprir a demanda nos períodos secos. Desse modo, a maioria dos autores recomenda que sejam utilizadas metodologias de cálculo diferenciadas para a verificação do volume ideal do reservatório de armazenamento num sistema de aproveitamento de águas pluviais.

2.3 QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA PARA USO NÃO POTÁVEL

2.3.1 ASPECTOS QUALITATIVOS

Em geral, a montagem de um sistema de aproveitamento de águas pluviais exige a instalação de dispositivos de tratamento de água, para que qualidade da água de chuva coletada ofereça segurança à saúde do usuário e maior vida útil aos componentes do sistema de aproveitamento. Segundo Marinoski (2007), a escolha do tratamento mais adequado a ser instalado num sistema de aproveitamento de águas pluviais depende diretamente da qualidade da água de chuva coletada e do uso final ao qual se destina. Durante a precipitação, a qualidade da água de chuva sofre grandes modificações tanto ao passar pela atmosfera quanto ao passar pela superfície de captação, influenciada principalmente pelos seguintes fatores: localização geográfica, condições ambientais do entorno, estação do ano, período de estiagem e superfície de captação.

Ao passar pela atmosfera, a chuva promove a deposição úmida, removendo os

poluentes, sedimentando o material particulado suspenso e auxiliando na dissolução dos gases presentes no ar (PETERS, 2006). Assim, a chuva entra em contato com substâncias que modificam suas características físicas e químicas, tornando-a nociva à saúde e inadequada aos diversos usos. Segundo Tomaz (2003),

Em regiões próximas aos oceanos existe maior probabilidade de encontrar sódio, potássio, magnésio e cloro na água de chuva, já em regiões com grandes áreas de terra, provavelmente estarão presentes partículas de origem terrestre como a sílica, o alumínio e o ferro. Em regiões de intensa atividade agrícola a água de chuva pode carrear os aerossóis de agrotóxicos e pesticidas lançados nas plantações. Em contrapartida, regiões densamente urbanizadas e industrializadas apresentam em sua atmosfera compostos poluentes, como os óxidos de enxofre e nitrogênio, monóxido de carbono, hidrocarbonetos, material particulado (MP), entre outros, oriundos de lançamentos de chaminés e de automóveis. (TOMAZ, 2003).

Além disso, a reação de certos gases presentes na atmosfera como o dióxido de carbono (CO₂), dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x) com a chuva, formam ácidos que diminuem o pH da água de chuva tornando-a corrosiva e até tóxica, o que normalmente é conhecido como chuva ácida (TOMAZ, 2003).

Após atravessar a atmosfera, a água de chuva passa ainda pela superfície de captação e carrega os poluentes sedimentados ao longo do período de estiagem, o que é denominado deposição seca (PETERS, 2006). Assim, dependendo das condições locais e da superfície de captação, a poluição normalmente torna-se ainda maior. Na Tabela 8 é possível observar as variações na qualidade da água de chuva em função da superfície de captação.

Tabela 8 – Variação da qualidade da água em função da superfície de captação

Qualidade	Superfície de captação	Usos
A	Telhados (lugares não freqüentados por pessoas ou animais)	Se a água for purificada é potável.
B	Telhados (lugares freqüentados por pessoas ou animais)	Apenas usos não potáveis.
C	Pisos e estacionamentos	Necessita de tratamento mesmo para usos não potáveis.
D	Estradas	Necessita de tratamento mesmo para usos não potáveis.

Fonte: Marinoski (2007)

No caso da superfície de captação ser o telhado, normalmente a água de chuva também entra em contato com fezes de pássaros e outros animais, bem como folhas, galhos, materiais de revestimento do telhado, tintas etc. Assim, dependendo do uso que se pretende fazer, a água de chuva sem tratamento pode trazer problemas de entupimento nas tubulações, contaminação por bactérias, sujeira, incrustações e mau cheiro, tornando-se inadequada a diversos usos (TOMAZ, 2003).

Desse modo, o conhecimento das características químicas, físicas e biológicas da água de chuva ganha significativa importância para a definição do tipo de tratamento mais adequado à sua utilização. Segundo Von Sperling (1996), as características físicas estão associadas à presença de sólidos dissolvidos ou suspensos na água e dentre os principais parâmetros destacam-se:

- Cor: causada pela presença de sólidos dissolvidos na água e pode ser classificada em cor aparente ou verdadeira. Em geral, uma parcela da cor aparente é devido à turbidez, e quando esta é removida tem-se a cor verdadeira (VON SPERLING, 1996). Segundo Tomaz (2003), a cor é medida em unidade Hazen (Uh) e normalmente começa a ser notada na água a partir de 10 a 15Uh;
- Turbidez: causada pela presença de sólidos suspensos na água, o que gera interferência à passagem da luz e confere um aspecto turvo à mesma. A turbidez é medida em unidade de Turbidez (uT) e normalmente começa a ser notada na água a partir de 10 uT, fazendo com que se torne praticamente opaca quando atinge 500 uT (VON SPERLING, 1996);
- Temperatura: é a grandeza que quantifica a intensidade de calor, normalmente medida em graus Celsius (°C). Temperaturas elevadas têm como consequência o aumento das taxas de reações químicas e biológicas, diminuição da solubilidade dos gases como o oxigênio dissolvido (OD) e aumento na liberação de gases da solução (VON SPERLING, 1996);
- Condutividade: definida como sendo a capacidade da água de transmitir corrente elétrica e normalmente é medida em micro Siemens por centímetro ($\mu\text{S}/\text{cm}$), que representa a resistência média entre faces opostas de um cubo de solução aquosa de 1cm de aresta (ABNT NBR 9896: 1993). Segundo Hagemann (2009), a

condutividade ocorre devido à presença de íons dissolvidos na água e pode ser utilizada como indicador da presença de sais.

De acordo com Von Sperling (1996), as características químicas indicam a presença de elementos ou compostos químicos na água, e dentre os principais parâmetros estão:

– pH: definido como potencial hidrogeniônico e representa a concentração de íons hidrogênio (H^+) presentes na água, em escala antilogarítmica. A faixa de pH varia entre 0 a 14, indicando a condição de acidez, neutralidade ou alcalinidade da água. Quando o pH é menor que 7, a água apresenta caráter ácido e maior potencial de corrosividade, o que em casos extremos pode levar à deterioração das tubulações e peças por onde essa água passa. Quando o pH é igual a 7, a água apresenta condição de neutralidade e não oferece riscos. E quando o pH é maior que 7, a água apresenta caráter alcalino, o que em casos extremos pode levar ao surgimento de incrustações nas tubulações do sistema de distribuição (VON SPERLING, 1996);

– Alcalinidade: capacidade da água de resistir a mudanças de pH causada por ácidos. Essa capacidade ocorre pela presença de ânions na água, que reagirão para neutralizar os cátions de hidrogênio (H^+) presente nos ácidos. A alcalinidade é medida em miligramas por litro de carbonato de cálcio (mg/L de $CaCO_3$) e seus principais responsáveis são os sólidos dissolvidos na forma de bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e os hidróxidos (OH^-). É uma determinação importante na caracterização da água visto que está relacionada com a redução da dureza, prevenção de incrustações em tubulações e controle da taxa de crescimento de microorganismos (VON SPERLING, 1996);

– Acidez: capacidade da água de resistir à mudanças de pH causada por bases. A acidez é medida em miligramas por litro de carbonato de cálcio (mg/L de $CaCO_3$) e seus principais responsáveis são os sólidos dissolvidos, o gás carbônico livre (CO_2) e o gás sulfídrico (H_2S). É uma determinação importante na caracterização da água estando relacionada com o controle da corrosão em tubulações (VON SPERLING, 1996);

– Dureza: característica conferida à água pela presença de cátions multimetálicos, principalmente cálcio (Ca^{+2}) e magnésio (Mg^{+2}). A dureza é medida em miligramas

por litro de carbonato de cálcio (mg/L de CaCO_3) e pode ser classificada em dureza carbonato quando está associada à alcalinidade e dureza não carbonato quando está associada a demais formas. Desse modo, a água é considerada mole quando a dureza é menor que 50mg/L de CaCO_3 ; moderada quando os valores estão entre 50 e 150mg/L de CaCO_3 ; dura quando os valores estão entre 150 e 300mg/L de CaCO_3 e muito dura quando os valores são maiores que 300mg/L de CaCO_3 . A principal consequência das águas duras é a redução na formação de espumas durante o uso do sabão e o surgimento de incrustações nas tubulações de água quente, devido à característica de formar precipitado em altas temperaturas (VON SPERLING, 1996);

– Cloretos e Sulfatos: componentes resultantes da dissolução de sais, sendo expressos em miligramas de composto por litro de solução (mg/L). Em determinadas concentrações são indicadores de provável poluição (MAY, 2004);

– Nitrogênio: elemento que serve de nutriente para os microorganismos e algas no meio aquático e pode ser encontrado sob diversas formas como resultado de um processo bioquímico denominado nitrificação. Assim, primeiramente o nitrogênio é encontrado sob a forma de nitrogênio orgânico associado à moléculas complexas de proteínas, aminoácidos e uréia, como resultado do lançamento de poluentes industriais ou domésticos, excrementos de animais e fertilizantes na água. Em seguida ele é encontrado sob a forma de amônia (NH_3 ou NH_4^+) como resultado do primeiro estágio de decomposição do nitrogênio orgânico pelas bactérias. Logo depois é encontrado sob a forma de nitrito (NO_2^-) num estágio intermediário da oxidação da amônia. E por fim é encontrado sob a forma de nitrato (NO_3^-) como produto final da oxidação da amônia. Portanto, a determinação da forma predominante do nitrogênio fornece indicações sobre o estágio de poluição da água, visto que se a poluição for recente esse elemento estará basicamente na forma de nitrogênio orgânico ou amônia, e se for antiga estará basicamente na forma de nitrato. O nitrogênio é medido nas suas diversas formas em miligramas de composto por litro de solução (mg/L) e em elevadas concentrações pode conduzir ao crescimento exagerado de algas em lagos e represas num processo denominado eutrofização (VON SPERLING, 1996);

– Fósforo: elemento que serve de nutriente para os microorganismos e algas no meio aquático e pode ser encontrado sob a forma de fósforo orgânico como

resultado do lançamento de poluentes industriais ou domésticos, excrementos de animais e fertilizantes na água; sob a forma de polifosfatos que são moléculas mais simples com um ou dois átomos de fósforo; e sob a forma de ortofosfatos (PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- , H_3PO_4) que estão disponíveis para o metabolismo biológico sem necessidade de mais conversões. O fósforo é medido nas suas diversas formas em miligramas de composto por litro de solução (mg/L) e em elevadas concentrações também pode conduzir ao crescimento exagerado de algas em lagos e represas, causando eutrofização (VON SPERLING, 1996);

– Oxigênio dissolvido (OD): um dos principais indicadores do grau de poluição das águas, visto que para decompor e estabilizar os poluentes orgânicos, as bactérias aeróbicas presentes no meio aquático consomem matéria orgânica fazendo uso do oxigênio dissolvido na água em seus processos respiratórios. Desse modo, quanto maior a carga de matéria orgânica, maior o número de bactérias decompositoras e menor a concentração de oxigênio dissolvido na água. O oxigênio dissolvido é medido em miligramas de oxigênio por litro de solução (mg/L) e caso seja totalmente consumido, a matéria orgânica será decomposta pela ação de bactérias anaeróbicas na ausência de oxigênio, gerando odores desagradáveis devido à produção de gás metano (CH_4) (VON SPERLING, 1996);

– Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO): um dos principais indicadores do teor de poluentes orgânicos na água, visto que mede a quantidade de oxigênio consumido pelas bactérias decompositoras, para a oxidação e estabilização da matéria orgânica presente na água. A DBO é expressa em miligramas de oxigênio por litro de solução (mg/L) e normalmente é medida pela diferença entre o teor de oxigênio dissolvido (OD) presente na água no dia da coleta e o teor de oxigênio dissolvido (OD) presente na água após 5 dias de armazenamento em frasco tampado à temperatura de 20°C. Ressalta-se que a estabilização completa da matéria orgânica ocorre somente após vários dias ou semanas, entretanto para evitar que o teste de laboratório fique sujeito à grande demora, convencionou-se que a demanda bioquímica padrão seria a DBO realizada após 5 dias de coleta (DBO_5), e aquela realizada após o consumo quase total do oxigênio dissolvido para a estabilização da matéria orgânica seria a DBO última (DBO_u) (VON SPERLING, 1996);

– Demanda Química de oxigênio (DQO): também é um indicador importante do teor

de poluentes orgânicos na água, visto que mede o oxigênio consumido durante a oxidação química da matéria orgânica, utilizando o dicromato de potássio em meio ácido, como oxidante. A DQO é expressa em miligramas de oxigênio por litro de solução (mg/L), e apesar de ser possível obter resultados em apenas algumas horas, apresenta o inconveniente de oxidar tanto a fração biodegradável quanto a fração inerte dos poluentes, superestimando o oxigênio a ser consumido pelas bactérias. Desse modo, se relação DQO/DBO₅ for baixa, a fração biodegradável dos poluentes será elevada; e se a relação DQO/DBO₅ for elevada, a fração inerte será elevada (VON SPERLING, 1996);

– Sólidos: são todas as impurezas presentes na água, com exceção dos gases dissolvidos. De acordo com suas características físicas os sólidos podem ser classificados em dissolvidos ou suspensos, e de acordo com suas características químicas podem ser classificados em voláteis ou fixos. Os sólidos dissolvidos (SD) são partículas de menores dimensões capazes de passar por um filtro de papel com porosidade igual à 1,2 µm. Já os sólidos suspensos (SS) são partículas de maiores dimensões que permanecem retidas num filtro de papel com essa mesma porosidade. Os sólidos voláteis (SV) são aqueles que são volatilizados quando a solução é aquecida à 550°C, representando a fração orgânica de sólidos presentes na água. Já os sólidos fixos (SF) são aqueles que não são volatilizados quando a solução é aquecida à 550°C, representando a fração inorgânica de sólidos presentes na água. Os sólidos nas suas diversas formas são medidos em miligramas de sólido por litro de solução (mg/L) e sua determinação possui significativa importância para a caracterização dos poluentes presentes na água (VON SPERLING, 1996).

De acordo com Von Sperling (1996), as características biológicas indicam a presença de microorganismos na água, e dentre os principais parâmetros estão:

– Coliformes: são bactérias pertencentes ao grupo coliforme e apesar de não serem patogênicas, são utilizadas como organismos indicadores de contaminação e presença de organismos patogênicos. O grupo dos coliformes totais (CT) indica a condição higiênica local e é composto por coliformes fecais e não fecais. O grupo dos coliformes fecais (CF) indica a presença de contaminação por fezes humanas ou animais de sangue quente e, portanto, sua determinação indica a possibilidade de existirem agentes patogênicos na água (VON SPERLING, 1996). A quantificação

dos coliformes é expressa através do número de unidades formadoras de colônias em cada 100 mililitros de solução (UFC/100mL), ou através do número mais provável de coliformes em cada 100 mililitros de solução (NMP/100mL) (ABNT NBR 9896: 1993);

– *Escherichia Coli*: são bactérias do grupo dos coliformes fecais (CF), cujo ambiente natural é o intestino do homem e animais de sangue quente. Sua presença na água indica contaminação fecal recente, pois normalmente esse tipo de bactéria não se reproduz fora do ambiente intestinal. Sua quantificação é expressa através do número de unidades formadoras de colônias em cada 100 mililitros de solução (UFC/100mL), ou através do número mais provável de unidades em cada 100 mililitros de solução (NMP/100mL) (ABNT NBR 9896: 1993).

2.3.2 PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Segundo a ABNT NBR 15527:2007, que trata do aproveitamento de águas pluviais em edificações, os padrões de qualidade da água de chuva para fins não potáveis devem ser definidos pelo projetista de acordo com a atividade prevista. Entretanto, na falta destes, a norma indica que seja utilizada a Tabela 9.

Tabela 9 – Parâmetros de qualidade da água de chuva para usos não potáveis segundo a ABNT NBR 15527:2007

Parâmetros	Análise	Valor
Coliformes Totais	Semestral	Ausência em 100mL
Coliformes Termotolerantes	Semestral	Ausência em 100mL
Cloro residual livre ^a	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT ^b , para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da utilização)	Mensal	< 15 uH ^c
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário.	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado

NOTA: Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.

a: No caso de serem utilizados compostos de cloro para a desinfecção
b: uT é a unidade de Turbidez
c: uH é a unidade Hazen

Fonte: ABNT NBR15527:2007

Pode-se também tomar como referência a ABNT NBR 13.969:1997, que estabelece critérios para o tratamento de efluentes e apresenta parâmetros de qualidade para o reuso não potável do esgoto doméstico tratado. Essa norma classifica a água de acordo com sua utilização, onde:

- Classe 1: lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto do usuário com a água, incluindo a possibilidade de aspiração de aerossóis como no caso de chafarizes.
- Classe 2: lavagens de pisos, irrigação de jardins e manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes.
- Classe 3: reuso nas descargas dos vasos sanitários.
- Classe 4: reuso nos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual.

Para cada classe são fixados os padrões de qualidade, aos quais estão apresentados na Tabela 10.

Tabela 10 – Padrões de qualidade da água para reuso segundo a NBR 13.969:1997

Parâmetros	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
pH	–	6,0 a 8,0	–	–	–
Turbidez	UNT	< 5	< 5	< 10	–
SDT	mg/L	< 200	–	–	–
Cloro residual	mg/L	0,5 a 1,5	< 0,5	–	–
OD	mg/L de O ₂	–	–	–	> 2,0
Coliformes fecais	NMP/100m L	< 200	< 500	< 500	< 5000

Fonte: ABNT NBR13.969:1997

O "Manual de Conservação e Reuso da Água em edificações" (SAUTCHUCK *et al*, 2005) também oferece padrões de qualidade para água de reuso de acordo com sua utilização. Segundo o manual, a água é classificada em:

- Água de Reuso Classe 1: descarga de bacias sanitárias, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de roupas ou veículos;
- Água de Reuso Classe 2: fases de construção de uma edificação como a lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira;

- Água de Reuso Classe 3: irrigação de áreas verdes e rega de jardins;
- Água de Reuso Classe 4: equipamentos de ar condicionado e torres de resfriamento.

Para cada classe são apresentados os padrões de qualidade os quais estão sintetizados na Tabela 11.

Tabela 11 – Padrões de qualidade da água de reuso segundo Sautchuck *et al* (2005)

Parâmetros	Unidade	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
pH	–	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	5,0 a 8,3
Cor	uH	≤ 10	–	< 30	–
Odor e aparência	–	Não desagradáveis	Não desagradáveis	–	–
Turbidez	UT	≤ 2	–	< 5	–
Dureza	mg/L	–	–	–	850
Alcalinidade	mg/L	–	–	–	500
Salinidade	mg/L	–	–	450 < SDT SDT < 1500	–
Sódio	SAR	–	–	3,0 a 9,0 ^a ≥ 3,0 ^b	–
Cloretos	mg/L	–	–	< 350 ^a < 100 ^b	600
Cloro residual	mg/L	–	–	≤ 1,0 ^a < 1,0 ^b	–
Sulfatos	mg/L	–	–	–	680
Fósforo Total	mg/L	≤ 0,1	–	–	–
Nitrogênio total	mg/L	–	–	5 a 30	–
Nitrogênio amoniacal	mg/L	≤ 20	–	–	–
Nitrito	mg/L	≤ 1	–	–	–
Nitrato	mg/L	< 10	–	–	–
SDT	mg/L	≤ 500	–	–	1000
Compostos orgânicos voláteis	mg/L	Ausentes	Ausentes	–	–
Óleos e graxas	mg/L	≤ 1	≤ 1	–	–
DBO	mg/L	≤ 10	≤ 30	< 20	–
DQO	mg/L	–	–	–	75
OD	mg/L de O ₂	–	–	–	Presente
Coliformes fecais	NMP/100m L	Não detectáveis	≤ 1000	≤ 200	–

a: para irrigação superficial / b: para irrigação com aspersores

Fonte: Sautchuck *et al* (2005)

Em caso de utilização que envolva o consumo humano, a água deve atender os padrões de potabilidade previstos pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, que estabelece critérios e procedimentos para o controle e vigilância da qualidade da água potável em todo o território nacional. Esses padrões encontram-se sintetizados na Tabela 12 a seguir:

Tabela 12 – Padrões de potabilidade segundo a Portaria nº2914/11do MS

Parâmetros	Unidade	Valores
pH	–	6,0 a 9,5
Cor aparente	uH	≤ 15
Turbidez	UNT	≤ 5
Dureza	mg/L	≤ 500
SDT	mg/L	≤ 1000
Cloro residual	mg/L	0,2 a 2,0
Cloretos	mg/L	≤ 250
Sulfatos	mg/L	≤ 250
Amônia (como NH ₃)	mg/L	≤ 1,5
Nitrito (como N)	mg/L	≤ 1
Nitrato (como N)	mg/L	≤ 10
Escherichia Coli ou Coliformes termotolerantes	NMP/100mL	Ausente

Fonte: Ministério da Saúde (2011)

2.3.3 ESTUDOS REALIZADOS SOBRE QUALIDADE DA ÁGUA DE CHUVA

No estudo de May (2004) a qualidade da água de chuva foi analisada antes e depois de passar por um sistema de aproveitamento de águas pluviais na cidade de São Paulo (SP). Para tanto, foi montado um sistema experimental no Centro de Técnicas da Construção Civil (CTCC) da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo para que fosse possível coletar amostras de precipitação diretamente da cobertura; e amostras de precipitação após o tratamento preliminar de um sistema convencional de aproveitamento de água de chuva para usos não potáveis. A coleta diretamente da cobertura foi realizada por um coletor automático de água de chuva instalado na saída de um dos condutores verticais da edificação analisada. Este

dispositivo foi programado para realizar 8 coletas seqüenciais de um evento de chuva, com intervalo de 5 minutos entre cada uma, possibilitando avaliar as modificações ocorridas na qualidade da água durante a precipitação. Já a coleta das amostras no sistema de aproveitamento foi realizada manualmente em dois reservatórios inferiores destinados ao armazenamento da água de chuva. Esse sistema constituía-se de área de captação, calha, condutor vertical, grelha para retirada dos sólidos grosseiros e reservatório de armazenamento, conforme ilustrado no esquema da Figura 19.

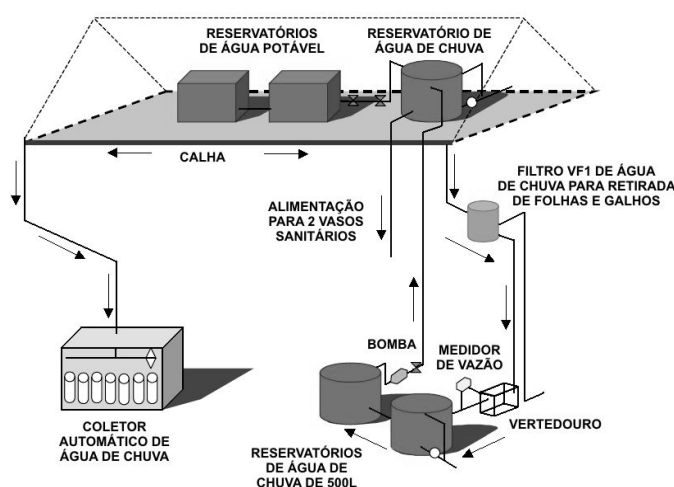


Figura 40: Esquema do sistema experimental de aproveitamento de May (2004)
Fonte: May (2004)

Após a coleta, as amostras foram levadas para análise dos seguintes parâmetros: pH, condutividade, dureza, cor, turbidez, alcalinidade, nitrito, nitrato, cálcio, magnésio, ferro, manganês, cloretos, sulfato, fluoretos, sólidos totais (ST), sólidos totais fixos (STF), sólidos totais voláteis (STV), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos fixos (SSF), sólidos suspensos voláteis (SSV), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos dissolvidos fixos (SDF), sólidos dissolvidos voláteis (SDV), oxigênio dissolvido (OD) e DBO, Coliformes Totais (CT), Coliformes Fecais (CF), Clostrídio Sulfito Redutor, Enterococos, Pseudomonas Aeruginosas. Durante a pesquisa, foi observado que a maioria dos parâmetros físico-químicos permaneceu dentro das normas utilizadas como referência no estudo. Entretanto, os resultados bacteriológicos apresentaram uma concentração bastante elevada de bactérias, pois apesar de não citar valores, foram encontrados Coliformes Totais em mais de 89% das amostras, Coliformes Fecais em 50% das amostras, Clostrídio Sulfito Redutor em mais de 91% das amostras e Enterococos em mais de 91% das amostras

(MAY,2004).

Já no trabalho de Anecchini (2005) o objetivo foi realizar um estudo comparativo da qualidade da água de chuva em diversas situações, a fim de verificar seu potencial de utilização nas edificações da cidade de Vitória (ES). Para tanto, foram coletadas amostras de precipitação diretamente da atmosfera, amostras de precipitação diretamente da cobertura de um dos prédios localizados no campus da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES) e amostras de precipitação ao longo de um sistema experimental de aproveitamento de águas pluviais, instalado ao lado desse prédio. Esse sistema continha cobertura metálica, calha, condutor vertical, grelha para retirada de sólidos grosseiros, dispositivo de descarte da precipitação inicial, tela para retirada de sólidos finos e reservatório de armazenamento. Após o descarte dos primeiros 0,5mm, 1mm e 1,5mm de precipitação, foram coletadas amostras nos seguintes pontos desse sistema: reservatório de descarte, superfície e fundo do reservatório de armazenamento no dia da precipitação e superfície do reservatório de armazenamento após 7 dias de retenção.

Após a coleta, as amostras foram levadas para a análise dos seguintes parâmetros: temperatura, pH, condutividade, turbidez, cor verdadeira, acidez, alcalinidade, dureza, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, fósforo total, sulfato, cloretos, sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos totais (ST), oxigênio dissolvido (OD), DBO, DQO, Coliformes Totais (CT) e *Escherichia coli*. Durante a pesquisa, observou-se que houve piora significativa dos resultados das amostras coletadas após contato do telhamento em comparação com os resultados das amostras coletadas diretamente da atmosfera, exceto no que diz respeito ao nitrogênio amoniacal que apresentou um valor elevado nessas condições. Nas amostras coletadas ao longo do sistema de aproveitamento, constatou-se que à medida que se aumentava o volume de descarte dos primeiros milímetros de precipitação, houve grande diminuição na concentração de poluentes no reservatório de armazenamento. Quanto às amostras coletadas no fundo do reservatório, observou-se melhora significativa em relação às amostras coletadas na superfície, principalmente no que se refere aos sólidos totais e suspensos. Quanto às amostras coletadas na superfície do reservatório de armazenamento após 7 dias de retenção, constatou-se pequena redução dos parâmetros químicos e microbiológicos e grande redução dos parâmetros físicos, principalmente no que se refere à turbidez e sólidos

totais (ANECCHINNI, 2005).

Em De Paula (2005), foi realizado um estudo para avaliar a viabilidade de implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva na cidade de Goiânia (GO) e a influência do período de armazenamento na qualidade dessa água. Para tanto, foi montado um sistema experimental no Laboratório de Sistemas Prediais (LSP) da Escola de Engenharia Civil da Universidade Federal de Goiás (UFG), para que fosse possível coletar amostras de água de chuva ao longo de um período de nove meses de retenção em três pontos: num reservatório de alvenaria subterrâneo, num reservatório de PVC com filtração lenta e num reservatório de PVC sem nenhum tipo de tratamento, conforme ilustrado na Figura 41.

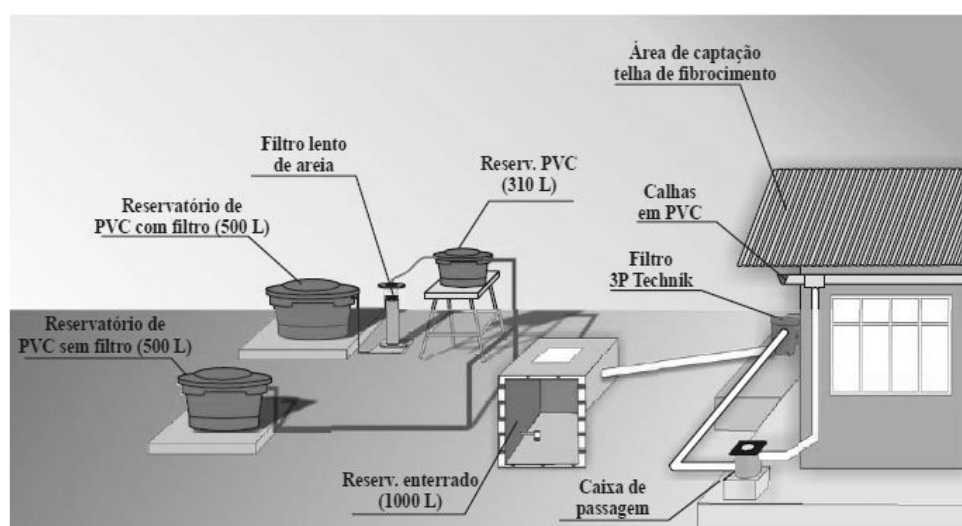


Figura 41: Esquema do sistema experimental de aproveitamento de De Paula (2005)
Fonte: De Paula (2005)

Nesse sistema a água de chuva escoava por um telhado de fibrocimento; era captada pelas calhas; descia pelo condutor vertical; passava por um dispositivo de gradeamento para retenção de sólidos grosseiros e era conduzida a um reservatório de alvenaria subterrâneo (1000L), de onde era bombeada a dois sistemas: no primeiro a água era armazenada num reservatório de PVC (500L) sem passar por nenhum tipo de tratamento; e no outro a água era armazenada num reservatório de PVC (500L) após passar por um reservatório elevado de PVC (310L) e por um filtro de areia (DE PAULA, 2005).

Após a coleta, as amostras foram levadas para análise dos seguintes parâmetros: pH, condutividade, cor, turbidez, dureza, alcalinidade, amônia, cloretos, fósforo, sulfato, ferro, cálcio, magnésio, sódio, potássio, oxigênio dissolvido (OD), DQO,

DBO, Coliformes Totais (CT) e Coliformes Fecais (CF). Os resultados demonstraram que não houve variação sensível dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos ao longo do período de nove meses de retenção. Verificou-se também que o filtro de areia melhorou algumas propriedades da água de chuva armazenada como, por exemplo, a alcalinidade total e, principalmente, a presença de Coliformes Fecais. No que se refere aos parâmetros microbiológicos, foi observada a presença de Coliformes Totais e Fecais em todos os pontos de coleta. Entretanto, as concentrações de Coliformes Fecais não foram elevadas em nenhum dos reservatórios, reduzindo em aproximadamente 54% com a aplicação do filtro de areia (DE PAULA, 2005).

No estudo de Jaques (2005), objetivou-se avaliar a qualidade da água de chuva captada nas edificações da cidade de Florianópolis (SC) para verificar as atividades residenciais mais adequadas à sua utilização. Para tanto, foram coletadas amostras de água de chuva diretamente da atmosfera (denominado ponto P1); amostras de precipitação que passaram pela cobertura de cimento amianto de uma residência após os primeiros 0, 10, 30 e 60 minutos de precipitação (denominado ponto P2); amostras de precipitação que passaram pela cobertura de cerâmica de uma residência após os primeiros 0, 10, 30 e 60 minutos de precipitação (denominado ponto P3); além de amostras contidas no reservatório de armazenamento de um sistema convencional de aproveitamento de águas pluviais instalado em uma empresa comercial (denominado ponto P4). Esse sistema era composto por superfície de captação, calha, condutor vertical, grelha para retenção de sólidos grosseiros e reservatório de armazenamento.

Após a coleta, as amostras foram levadas para análise dos seguintes parâmetros: odor, aspecto, pH, alcalinidade, condutividade, cor, turbidez, dureza, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, cloreto, fósforo, ortofosfato, fluoreto, ferro, cálcio, magnésio, alumínio, sólidos suspensos totais (SST), sólidos sedimentáveis (SS), gás carbônico livre, oxigênio consumido em h+, DBO, DQO, Coliformes Totais (CT) e Coliformes Fecais (CF). Os resultados constataram concentrações de Coliformes fecais e totais acima do estabelecido pela norma em todas as amostras coletadas diretamente dos telhados, inviabilizando seu uso potável. Além disso, os valores de cor e turbidez para essas amostras somente atenderam aos padrões após 60 minutos de precipitação, inviabilizando até mesmo um possível aproveitamento não

potável. Quanto às amostras que passaram pelo tratamento convencional do sistema de aproveitamento de águas pluviais, os resultados constataram valores de Coliformes Fecais acima do permitido em todas as amostras coletadas, restringindo sua utilização apenas para usos não potáveis (JAQUES, 2005).

No trabalho de Peters (2006) o objetivo foi verificar a potencialidade de utilização de fontes alternativas de abastecimento de água em uma edificação, analisando a qualidade da água de chuva antes e após passar por um sistema de aproveitamento de águas pluviais instalado numa residência de baixa renda da cidade de Florianópolis (SC). Esse sistema era constituído pela superfície de captação em telha cerâmica, calha, condutor vertical, grelha para a retirada de sólidos grosseiros, dispositivo de descarte da precipitação inicial, filtro de areia para a retirada de sólidos finos e reservatório de armazenamento. Foram coletadas amostras de água de chuva diretamente da atmosfera, amostras de água de chuva contidas no reservatório de descarte da precipitação inicial e amostras contidas no reservatório de armazenamento.

Após a coleta, as amostras foram levadas para a análise dos seguintes parâmetros: pH, alcalinidade, cloreto, dureza, cor, turbidez, DQO, sólidos totais (ST), sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos suspensos totais (SST), amônia, nitrito, nitrato, sulfato, Coliformes Totais (CT) e *Escherichia Coli*. Quanto ao pH, foi observado que o resultado das amostras coletadas diretamente da atmosfera foi menor do que o das amostras coletadas no reservatório de descarte da precipitação inicial, e este menor do que o das amostras coletadas no reservatório de armazenamento, indicando aumento de pH após a passagem pela cobertura. Em relação aos demais parâmetros, observou-se que o resultado das amostras coletadas diretamente da atmosfera foi menor do que o das amostras coletadas no reservatório de descarte da precipitação inicial, e este maior do que o das amostras coletadas no reservatório de armazenamento, indicando piora da qualidade da água à medida que se aumenta o contato dessa água com os poluentes depositados na cobertura ao longo do tempo. Desse modo, o estudo constatou que houve grande redução de poluentes devido aos componentes do sistema de aproveitamento de águas pluviais, confirmando a importância dos mecanismos de retenção de sólidos grosseiros e finos, além do dispositivo de descarte da precipitação inicial na implantação de sistema de aproveitamento de águas pluviais (PETERS, 2006).

No estudo de Faresin (2008), foi verificada a necessidade de instalação de um dispositivo de descarte da precipitação inicial para implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva com finalidade não potável numa escola da cidade de Erechim (RS). Para tanto, foram coletadas amostras de água de chuva direto da atmosfera, amostras dos 5 minutos iniciais de precipitação que passou pela cobertura de cimento amianto da escola e amostras do restante de precipitação que passou pela cobertura após o descarte dos 5 minutos iniciais.

Após a coleta, as amostras foram levadas para a análise dos seguintes parâmetros: nitrato, ferro, chumbo, sólidos totais (ST), DBO, DQO, bactérias heterotróficas, Coliformes Fecais (CF) e Coliformes Totais (CT). Em relação ao pH, verificou-se que o resultado das amostras coletadas diretamente da atmosfera foi menor do que o das amostras coletadas antes do descarte da precipitação inicial, e este menor do que o das amostras coletadas após esse descarte, indicando aumento de pH após a passagem pela cobertura. Além disso, verificou-se que o resultado de DBO, DQO, sólidos totais (ST), nitrato e ferro das amostras coletadas diretamente da atmosfera foi menor do que o das amostras coletadas antes do descarte da precipitação inicial e este maior do que o das amostras coletadas após esse descarte, indicando piora da qualidade da água à medida que se aumenta o contato dessa água com os poluentes depositados na cobertura ao longo do tempo. Em relação às concentrações de Coliformes Totais e Fecais esse comportamento também foi observado e quanto ao chumbo, não foi detectada a presença desse material em nenhuma das amostras coletadas. Desse modo, constatou-se que o simples descarte da precipitação inicial melhora a qualidade da água, confirmando a importância de instalação desse dispositivo no sistema de aproveitamento. Por fim, o autor constatou que com exceção da DBO, os resultados físico-químicos e microbiológicos encontrados em todas as amostras permaneceram dentro das normas utilizadas como referência no estudo (FARESIN, 2008).

Em Lima *et al* (2011), foi realizado um estudo de viabilidade do aproveitamento e água de chuva para atender os usos não potáveis da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR), na cidade de Campo Mourão (PR). Para tanto, diversas amostras de água de chuva foram coletadas após 0, 10, 30 e 60 min. do início do evento chuvoso em duas situações diferentes: na primeira situação, a água de chuva foi coletada diretamente da atmosfera e na segunda situação, a água de

chuva foi coletada após contato com o telhado de três edificações do campus (Bloco A, Bloco C e Ginásio).

Após a coleta, as amostras foram levadas para análises físico-químicas dos seguintes parâmetros: temperatura, pH, turbidez, condutividade, alcalinidade, ácidos voláteis, DQO, sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), sólidos totais fixos (STF), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV), sólidos suspensos fixos (SSF). De maneira geral, foi observada redução dos valores obtidos para os parâmetros monitorados nos telhados em função do tempo, provavelmente devido a remoção de poluentes depositados nessas superfícies pela ação do escoamento superficial resultante da precipitação. Também foi possível notar que os valores de todos os parâmetros analisados para a precipitação coletada diretamente da atmosfera foram inferiores aos valores verificados nas demais amostras, já que essa coleta não teve influência do escoamento superficial. Após 10 minutos de precipitação, verificou-se que os valores tenderam a se estabilizar. A maioria dos resultados obtidos para a concentração de sólidos totais e turbidez alcançou os padrões estabelecidos pela USEPA (1992) e pela ABNT NBR 15527: 2007. Por fim, o estudo concluiu que após tratamento adequado, a água da chuva coletada no campus poderia ser utilizada em usos não potáveis como lavagem de pisos, descargas sanitárias e rega de jardins (LIMA *et al*, 2011).

O estudo realizado por Suerzut *et al* (2011) teve objetivo semelhante ao avaliar a potencialidade de aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis nas edificações da Universidade de Ribeirão Preto (UNAERP), situada no município de Ribeirão Preto (SP). Desse modo, amostras de água de chuva foram coletadas diretamente da cobertura de duas edificações distintas dentro do campus: o Bloco da Engenharia Química que possui cobertura cerâmica e o Bloco da Manutenção que possui cobertura metálica.

Após a coleta, as amostras foram levadas para análise dos seguintes parâmetros: cor verdadeira, cor aparente, turbidez, dureza, pH, DQO, DBO, condutividade, alcalinidade, cloretos, fósforo, amônia, nitrato, nitrito, ferro, manganês, cádmio, cálcio, magnésio, níquel, prata, zinco. Os resultados demonstraram que os valores de pH foram mais baixos na cobertura cerâmica do que na cobertura metálica, indicando que ao passar por esse tipo de cobertura a água adquiriu caráter ácido.

Em relação à cor, turbidez, cloreto, fósforo, amônia e nitrato os valores foram mais elevados para a cobertura cerâmica, indicando maior concentração desses compostos na água ao passar por esse tipo de cobertura. Já os valores de dureza, alcalinidade, condutividade, DBO e ferro foram mais elevados na água de chuva que passou pela cobertura metálica. Para os demais parâmetros, os valores foram semelhantes para ambos os tipos de telhado. Por fim, o estudo constatou que os resultados de pH e turbidez ficaram dentro dos padrões estabelecidos pela SABESP (Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo), para usos não potáveis tais como: lavagem de pisos, pátios e logradouros; desobstrução de tubulações de águas pluviais e de esgotos, compactação de solos, controle de pó em vias públicas e lavagem de carros; indicando possível viabilidade de aproveitamento para esses usos (SUERZUT *et al*, 2011).

O trabalho de Campos *et al* (2012), também teve objetivo semelhante ao verificar a viabilidade de implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em edificações do município de Formiga (MG). Desse modo, foram coletadas amostras de água de chuva ao longo do ano, no reservatório inferior e superior de um sistema de aproveitamento instalado em uma residência dessa cidade. Esse sistema era composto por cobertura metálica, calhas, condutor vertical, registro para descarte da precipitação inicial, reservatório inferior, bomba e reservatório superior.

Após a coleta, as amostras foram levadas para análise dos seguintes parâmetros: temperatura, cor, turbidez, pH, alcalinidade, acidez, Coliformes Totais (CT), Coliformes Termotolerantes e bactérias heterotróficas. No que se refere à temperatura observou-se aumento dos valores ao longo das estações do ano. Já os resultados de cor, turbidez, alcalinidade e Coliformes Totais tenderam a reduzir durante o período das coletas, o que segundo o autor, ocorreu em função da limpeza natural do telhado com o aumento na frequência de chuvas. Os valores de pH e acidez se mantiveram constantes e as concentrações de bactérias heterotróficas aumentaram, o que segundo o autor, ocorreu provavelmente devido ao aumento do tempo em que a água ficou armazenada dentro do reservatório durante esse período. Além disso, não foi observada presença de Coliformes Totais em nenhuma das amostras coletadas (CAMPOS *et al*, 2012).

O trabalho de Silva *et al* (2012) também teve finalidade semelhante ao avaliar a viabilidade de implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em edificações da Fundação Comunitária de Ensino Superior de Itabira (FUNCESI), na cidade de Itabira (MG). Para tanto, foi montado um sistema experimental de aproveitamento de água de chuva no Laboratório de Controle Ambiental da FUNCESI, permitindo coletar amostras dos quatro tipos de precipitação mais freqüente na cidade (5mm, 10mm, 15mm e 20mm), após o contato com a cobertura. O sistema era composto por cobertura de cimento amianto, calhas, condutor vertical e um reservatório inferior.

As coletas foram realizadas durante um ano e após cada evento chuvoso, as amostras eram levadas para a análise dos seguintes parâmetros: pH, turbidez, alcalinidade, cor aparente, cor verdadeira, condutividade, sólidos sedimentáveis, Coliformes Totais (CT), Coliformes Termotolerantes e *Escherichia Coli*. No que se refere aos resultados de turbidez, alcalinidade, cor aparente, cor verdadeira e condutividade foi observada elevação dos valores durante os meses de seca e redução desses valores durante os meses chuvosos, o que segundo o autor ocorreu devido à limpeza natural do telhado de acordo com o aumento na freqüência de chuvas. Contatou-se também que os valores de pH não variaram de maneira significativa durante o período analisado, as concentrações de sólidos sedimentáveis foram muito baixas e nas poucas amostras em que foi detectada atividade microbiológica, os valores de Coliformes Totais variaram de 240 NMP/100 mL a 1100 NMP/100 mL, a concentração de coliformes termotolerantes apresentou valor igual a 20 NMP/100 mL e a concentração de *E. coli* foi de 4 NMP/100 mL. Em relação aos padrões de qualidade da água, verificou-se que nem todas as amostras atenderam aos limites recomendados pela ABNT NBR 15.527:2007 e USEPA (2004), quanto aos parâmetros para usos não potáveis. Desse modo, o autor concluiu que apesar da boa qualidade da água, seria necessária a implantação de um tratamento secundário visando a remoção da cor, turbidez e microorganismos, para que fosse possível sua utilização com finalidade não potável (SILVA *et al*, 2012).

No trabalho de Brown *et al* (2012), o objetivo foi avaliar a viabilidade do aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis na cidade de Curitiba (PR). Para tanto, foram coletadas amostras de água de chuva diretamente da atmosfera e

após contato com dois tipos de cobertura (fibrocimento e cerâmico), em quatro bairros distintos da cidade (Água Verde, Centro, Novo Mundo e Rebouças), visando verificar se essa água possuía ou não, qualidade suficiente para atender aos usos não potáveis de uma edificação.

Após a coleta, as amostras foram levadas para análise dos seguintes parâmetros: pH, cor, sólidos totais (ST), sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT), DBO, turbidez, cloretos, nitratos, chumbo, zinco, Coliformes Totais (CT) e Coliformes Fecais (CF). Em relação ao pH, verificou-se que os resultados das amostras coletadas após contato com o telhado, foram mais básicos do que as amostras coletadas diretamente da atmosfera e em geral, 70% das amostras analisadas ficaram dentro dos limites de pH estabelecidos pelas normas utilizadas no estudo. Quanto à turbidez 94% das amostras coletadas atenderam às normas, e quanto às concentrações de cloretos, DBO e sólidos, todas as amostras atenderam aos padrões utilizados no estudo. No que se refere ao fosfato, nitrato, zinco e chumbo, somente as amostras coletadas diretamente da atmosfera ficaram dentro dos limites estabelecidos pelas normas de usos não potáveis. Verificou-se ainda que 33% das amostras atenderam à ABNT NBR 15527:2007 em relação aos Coliformes Fecais, e nenhuma das amostras atendeu ao limite estabelecido por essa norma para Coliformes Totais, que recomenda a ausência de Coliformes Totais e Fecais em 100 mL de amostra. Por fim, o autor concluiu que a água de chuva em Curitiba poderia ser utilizada na fabricação de concreto e em serviços como lavagem de agregados, compactação do solo, controle da poeira e outras finalidades não potáveis. Entretanto, para atividades mais restritivas seria necessário desinfecção, colocação de algum filtro para retenção de sólidos na entrada dos reservatórios, e o descarte da água nos instantes iniciais da chuva (BROWN *et al*, 2012).

CAPÍTULO 3

METODOLOGIA

3.1 CONTEXTUALIZAÇÃO DA PESQUISA

A região em estudo localiza-se na cidade de Uberlândia (MG), conforme ilustrado na Figura 42. O município abrange uma área de aproximadamente 14.115 km² e situa-se na região do Triângulo Mineiro, a aproximadamente 800m acima do nível do mar, com uma população estimada em 604.013 habitantes, segundo o IBGE (2011). O clima é do tipo tropical com inverno seco, possuindo temperaturas médias que variam de 30°C durante o mês mais quente a 17°C durante o mês mais frio; umidade relativa do ar variando entre 58% a 80% na maior parte do ano; e precipitação média mensal que chega a 322mm no mês mais chuvoso e 9,2mm nos meses mais secos (SILVA *et al*, 2004).

A pesquisa teve como objeto de estudo o Bloco 50A, que se encontra no Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), região leste da cidade de Uberlândia, conforme ilustra a Figura 43.



Figura 42: Localização da cidade de Uberlândia
Fonte: Silva (2002)



Figura 43: Localização do campus Santa Mônica da UFU na cidade de Uberlândia
Fonte: Google (2012)

O Bloco 50A foi recentemente construído e funciona como um pavilhão de aulas destinado a turmas de diferentes cursos. Este bloco, o qual está ilustrado na Figura 44, apresenta 3 pavimentos e 1 subsolo, possui 26 salas de aulas e uma área construída de aproximadamente 3.451m².



Figura 44: Bloco 50A
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Quanto à distribuição interna, o bloco possui 1 pátio coberto e 4 depósitos no subsolo; 1 pátio coberto, 4 auditórios com capacidade para 80 pessoas, 2 salas comerciais e 2 banheiros no pavimento térreo; 12 salas de aula com capacidade para 45 alunos e 2 banheiros no primeiro pavimento; além de 14 salas de aulas com capacidade para 45 alunos e 2 banheiros no segundo pavimento, conforme ilustra o Anexo A. Em relação aos aparelhos sanitários, pode-se afirmar que a edificação conta com um total de 32 bacias sanitárias e 12 mictórios.

De acordo com o projeto, o telhamento do bloco em estudo possui 1049m² de área, apresenta telha metálica e uma cobertura retangular dividida em quatro águas, conforme ilustrado no Anexo B. Na parte central possui um lanternim e nos dois lados de maior comprimento apresenta cinco condutores verticais para escoamento de águas pluviais em cada lado, somando um total de 10 condutores verticais ao longo do telhamento.

O principal motivo que levou à escolha do Bloco 50 como objeto de estudo foi o fato dele ser um dos únicos blocos em funcionamento na UFU, construído com vistas à implantação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis. Embora o sistema ainda não tenha sido implantado, o prédio possui dois

reservatórios elevados com ramais de distribuição independentes: um para a demanda potável e outro para a demanda não potável, conforme ilustra a Figura 45. De acordo com o projeto, um dos reservatórios seria abastecido com água potável, atendendo não só a reserva de incêndio, como também a demanda potável dos lavatórios, bebedouros e torneiras. Já o outro reservatório seria abastecido com água de chuva, atendendo a demanda não potável das bacias sanitárias e mictórios. Atualmente, ambos são abastecidos com água potável, mas permanecem com ramais de distribuição diferentes para cada tipo de uso, o que facilita a obtenção do consumo não potável.

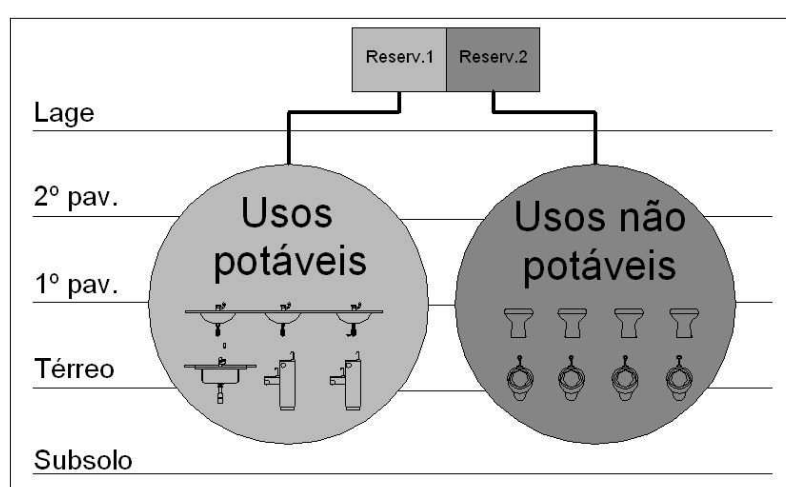


Figura 45: Esquema dos ramais de distribuição de água no Bloco 50A
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Além disso, a escolha também considerou o fato de que todos condutores verticais para escoamento de águas pluviais foram instalados de modo aparente na fachada da edificação, o que facilitou a coleta das amostras para a análise qualitativa.

3.2 ANÁLISE QUANTITATIVA

Para dimensionar o reservatório de armazenamento de águas pluviais do bloco em estudo e verificar se o volume de chuva coletada atendia satisfatoriamente a demanda por água não potável deste bloco, foi necessário realizar um levantamento de dados pluviométricos da cidade de Uberlândia (MG) e quantificar a demanda por água não potável do Bloco 50A.

3.2.1 DADOS PLUVIOMÉTRICOS DA CIDADE DE UBERLÂNDIA

O levantamento de dados pluviométricos foi realizado junto ao Laboratório de Climatologia e Recursos Hídricos (LCRH) do Instituto de Geografia da Universidade Federal de Uberlândia (UFU), o qual disponibilizou a série histórica diária de chuvas da cidade de Uberlândia (MG) entre os anos de 1981 à 2010.

Segundo o LCRH (2011), os dados obtidos de 1981 à 1996 foram coletados no 5º Distrito de Meteorologia do Parque do Sabiá, localizado na zona Leste da cidade de Uberlândia (MG), à aproximadamente 2km da UFU. Já os dados obtidos a partir de 1997 foram coletados na Estação Climatológica da UFU, situada no campus Santa Mônica.

3.2.2 QUANTIFICAÇÃO DA DEMANDA POR ÁGUA NÃO POTÁVEL

A quantificação da demanda por água não potável foi realizada através de um hidrômetro com vazão nominal de 1,5 m³/h cedido pelo Departamento de Água e Esgoto de Uberlândia (DMAE). Este equipamento foi instalado no tubo de alimentação do reservatório que atende a coluna de distribuição de água utilizada nas bacias sanitárias e mictórios do Bloco 50A, conforme ilustrado na Figura 46.



Figura 46: Hidrômetro instalado no Bloco 50A
Fonte: Arquivo pessoal do autor

As leituras foram realizadas semanalmente, tendo início no dia 13 de junho de 2011 e término no dia 30 de dezembro de 2011. O cálculo do consumo semanal foi obtido pela diferença de volume entre duas leituras consecutivas realizadas no intervalo de 7 dias.

3.2.3 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO

Segundo Tomaz (2003), não existe um método ideal para o dimensionamento de reservatórios de águas pluviais e por isso a maioria dos estudos normalmente utiliza modelos diferenciados para obter o volume final do reservatório de armazenamento.

Para o dimensionamento do reservatório no bloco de aulas em estudo, optou-se por modelos que apresentassem níveis diferentes de detalhamento e possuísem, como dados de entrada, as seguintes informações: demanda de água não potável e a média mensal de precipitação local. Desse modo, utilizou-se o Método de Rippl recomendado pela ABNT NBR 15227:2007, por ser o modelo mais comum de dimensionamento e permitir a obtenção de uma referência máxima do volume de armazenamento; o Método Interativo proposto por Anecchini (2005) por ser um pouco mais detalhado ao permitir a utilização de valores pré-definidos para o reservatório; e o Método da Simulação indicado pela ABNT NBR 15227:2007, por apresentar um nível de detalhamento ainda maior ao considerar o volume de chuva inicial presente no reservatório durante a simulação.

No que se refere ao Método de Rippl, os cálculos foram primeiramente empregados para as médias mensais, obtendo-se um volume para o reservatório e um valor para a eficiência anual. Como o objetivo desse modelo é reduzir os riscos de falha no atendimento à demanda, esses cálculos foram aplicados também para as médias diárias do mês mais crítico observado (aquele em que foi obtida a menor eficiência), obtendo-se um valor para o volume do reservatório e um valor para a eficiência mensal. Por esse mesmo motivo, também foram realizadas simulações variando os dados pluviométricos de acordo com os piores cenários de seca encontrados dentro da série histórica de precipitação da cidade entre os anos de 1981 à 2010. Para tanto utilizou-se o Método de Monte Carlo, onde foram criados cenários pluviométricos com probabilidades de seca variando de 5% à 95%, obtendo-se um volume de reservatório e uma eficiência anual para cada probabilidade. Durante a simulação, foram consideradas confiáveis as probabilidades acima de 75%, conforme Tomaz (2003).

Para o cálculo de todos os modelos foi usada a ferramenta computacional Excel, adotando como dados de entrada: as médias mensais de precipitação da cidade de

Uberlândia (MG), a demanda mensal de água não potável consumida nas bacias sanitárias e mictórios do Bloco 5OA, a área de captação que possui 1049m² e o coeficiente de aproveitamento como sendo de 80%, segundo Tomaz (2003). Como a quantificação da demanda foi realizada somente durante o segundo semestre do ano de 2011 e os cálculos de dimensionamento necessitavam da demanda durante todos os meses do ano, os valores de demanda obtidos no segundo semestre foram também utilizados para o primeiro. As planilhas utilizadas em cada método, bem como os cálculos realizados para o dimensionamento do reservatório, foram empregados conforme descrito no Anexo E.

3.3 ANÁLISE QUALITATIVA

O objetivo da avaliação qualitativa foi caracterizar a água de chuva captada no bloco em estudo, visando a obtenção de dados para que os reservatórios de armazenamento e de descarte da precipitação inicial fossem implantados considerando a qualidade necessária à destinação final da água coletada. Para tanto, foram realizadas duas seqüências experimentais: na primeira, foram coletadas amostras da precipitação inicial diretamente da atmosfera; e na segunda, foram coletadas amostras da precipitação inicial e da precipitação restante após o contato com telhamento do bloco 5OA. A explicação detalhada das duas seqüências experimentais é realizada nos itens 3.3.1 e 3.3.2.

3.3.1 CARACTERIZAÇÃO DA CHUVA COLETADA DIRETAMENTE DA ATMOSFERA

Essa etapa, teve como finalidade avaliar a variação da qualidade da água ao longo da precipitação, possibilitando caracterizar a deposição úmida, ou seja, o carregamento de poluentes em suspensão na atmosfera e a dissolução dos gases atmosféricos. Além disso, pretendeu-se também obter dados que permitissem comparar a qualidade da chuva coletada diretamente da atmosfera e após o contato com o telhamento.

Desse modo, foram coletadas separadamente amostras dos primeiros 1, 2 e 3mm de precipitação diretamente da atmosfera, utilizando três tampas de reservatórios perfuradas na parte central, que no momento da precipitação foram posicionadas de forma invertida acima dos recipientes de coleta, conforme ilustra a Figura 47.



Figura 47: Aparato experimental para coleta de chuva da atmosfera
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Para a captação do primeiro milímetro utilizou-se uma tampa com 1,17m de diâmetro e para os demais milímetros foram utilizadas tampas com 1,51m de diâmetro. Os primeiros 1mm, 2mm e 3mm de precipitação foram coletados em recipientes de plástico de 5,5L graduados com volumes correspondentes à 1,0L, 3,6L e 5,4L, calculados pela relação área da tampa (m^2) x altura pluviométrica (mm). Para que os resultados das análises não fossem alterados, as tampas e os recipientes passaram por um processo de limpeza com água destilada antes do experimento.

Após as coletas, as amostras foram levadas ao LABSAN – Laboratório de Saneamento da FECIV/UFU para a análise de 9 parâmetros, dentre os quais: temperatura, pH, condutividade, acidez, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, sulfatos e cloretos. Nessa etapa, as análises foram limitadas a 9 parâmetros em função da quantidade limitada de água de chuva coletada, correspondente aos primeiros milímetros de chuva sobre a área das tampas. Apesar disso, foi possível detectar a presença ou não de NO_x e SO_2 advindos de processos de combustão, que oxidam-se a nitrato e sulfato na atmosfera. Durante os ensaios, foram seguidas as recomendações estabelecidas pelo APHA – *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1995).

Os resultados obtidos foram comparados com os padrões de qualidade da água analisados no item 2.3.2 e com os trabalhos dos autores mencionados no item 2.3.3. Durante a comparação com os resultados de outros autores, buscou-se encontrar valores médios para amostras coletadas diretamente da atmosfera, em experimentos que se assemelhassem o máximo possível daquele realizado nesta

pesquisa.

3.3.2 CARACTERIZAÇÃO DA CHUVA COLETADA APÓS O CONTATO COM O TELHAMENTO

Nessa etapa, o objetivo foi avaliar a qualidade da água de chuva após passar pelos componentes principais de um sistema de aproveitamento, verificando o volume ideal de eliminação dos primeiros milímetros de chuva, o tipo de tratamento necessário à água coletada e a influência do tempo de retenção na qualidade da água de chuva armazenada.

Para tanto, foi montado um aparato experimental a partir das instalações pluviais que incluem o telhamento, as calhas e os condutores verticais já existentes no bloco 50A. O local utilizado para a montagem desse aparato possui aproximadamente 20 m² e situa-se após uma rampa que dá acesso ao estacionamento do bloco 50A, conforme ilustrado na Figura 48.

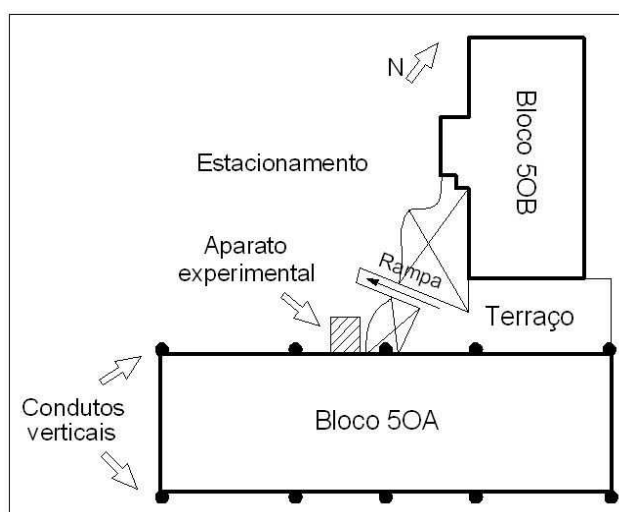


Figura 48: Localização do aparato experimental
Fonte: Arquivo pessoal do autor

O aparato experimental era composto basicamente por três reservatórios de 250L (E, F e G), responsáveis pela coleta dos três primeiros milímetros de precipitação; e um reservatório de 1000L (I), responsável pela coleta da precipitação restante, conforme ilustrado na Figura 49.

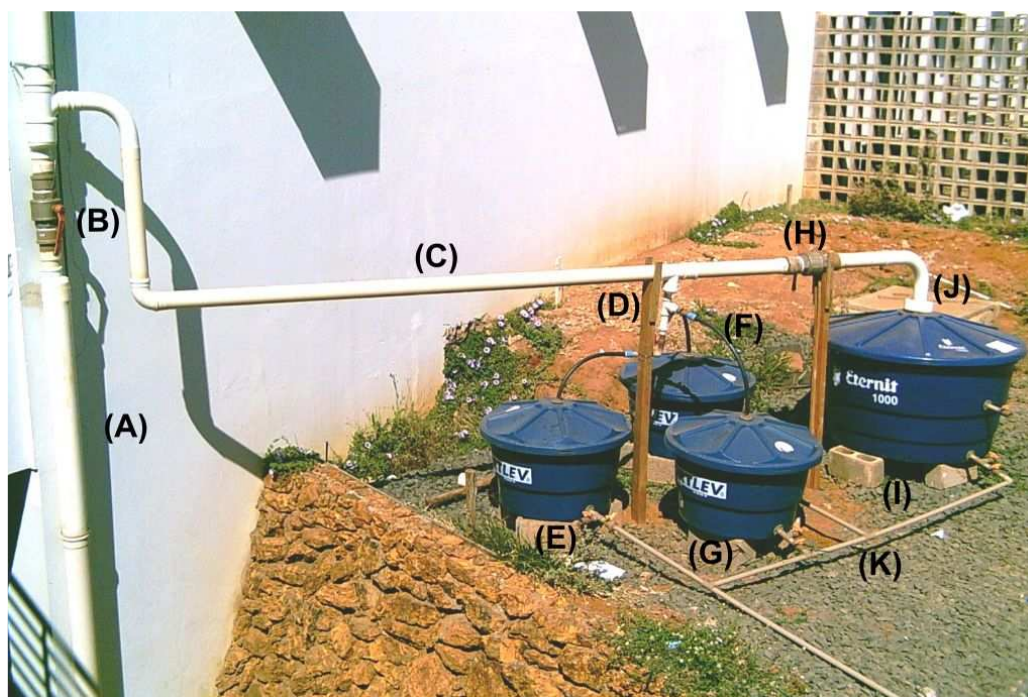


Figura 49: Aparato experimental do sistema de aproveitamento
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Os reservatórios de 250L (E, F e G), responsáveis pela coleta dos primeiros milímetros de precipitação, foram conectados ao sistema através de mangueiras flexíveis. E o reservatório de 1000L (I), responsável pela coleta da precipitação restante, foi conectado ao sistema através de um conduto vertical instalado à pequena distância da entrada desse reservatório. Na entrada do reservatório de 1000L foi instalado um dispositivo contendo uma tela de *nylon* para retenção de sólidos suspensos (J). Além disso, o sistema também possuía dois registros esfera de 100mm. O primeiro registro (B) foi responsável pelo controle geral da entrada de água no sistema e instalado no condutor vertical do bloco em estudo. Já o segundo registro (H) foi responsável pelo controle da entrada de água no reservatório de 1000L e instalado no condutor horizontal do aparato. Na parte superior do sistema existiam registros individuais (D) de 32mm que fazem o controle da entrada de água em cada reservatório, e na parte inferior existia um sistema de drenagem (K) interligando todos os reservatórios em direção à rede pluvial do Campus.

Considerando que o condutor vertical do Bloco 50A conectado ao aparato experimental era responsável pela captação de aproximadamente 100m² da área do telhamento, os volumes dos três primeiros milímetros de precipitação coletados nesse experimento foram: 250L que corresponde à um reservatório cheio ou 2,5mm

de precipitação; 125L que corresponde à metade de um reservatório ou 1,25mm de precipitação; e 62L que corresponde à um quarto de um reservatório ou 0,62mm de precipitação, calculados por meio da relação área de captação do telhamento (m^2) x altura pluviométrica (mm).

Nesse sistema experimental, a água de chuva escoava superficialmente sobre o telhamento do bloco de aula, era captada na calha e descia pelo condutor vertical (A) previamente existente no Bloco 50A. Nesse instante, o registro esfera (B) instalado no condutor vertical era fechado, desviando o escoamento até o aparato experimental. Como o registro esfera (H) também era mantido fechado, o escoamento era conduzido para os reservatórios E, F e G, possibilitando coletar os primeiros 0,62 mm, 1,25 mm e 2,5 mm, respectivamente.

A verificação do volume coletado foi realizada através de piezômetros instalados nos três reservatórios de descarte. Esse dispositivo consistia num tubo flexível de plástico transparente conectado a um orifício inferior do reservatório pelo lado externo, tendo como função indicar o nível de água no interior de cada reservatório através de um sistema de vasos comunicantes.

À medida que os reservatórios de descarte da precipitação inicial atingiam os níveis desejados, os registros individuais (D) existentes acima deles eram fechados. Nesse momento, o registro esfera (H) instalado no condutor horizontal era aberto, possibilitando o enchimento do reservatório de armazenamento. Na entrada do reservatório de armazenamento a água passava ainda pelo dispositivo (J) que continha uma tela de *nylon* para a retenção de sólidos suspensos. Após o enchimento do reservatório de acumulação, o registro esfera (A) instalado no condutor vertical era aberto, permitindo que o restante da precipitação fosse descartado para rede pluvial do Campus.

Para a coleta das amostras, foi instalado um registro esfera de 32 mm junto ao fundo de cada reservatório de descarte da precipitação inicial, conforme ilustrado na Figura 49. O objetivo das coletas no reservatório de descarte dos primeiros milímetros de precipitação foi verificar de que modo os poluentes acumulados no telhamento ao longo do tempo influenciam na qualidade da água de chuva, definindo o volume ideal de eliminação dos primeiros milímetros e o tipo de tratamento necessário à

água de chuva coletada.

Ainda de acordo com a Figura 49, o reservatório de armazenamento com capacidade de 1000L possuía 2 pontos de coleta, sendo um ponto situado no meio e outro ponto situado junto ao fundo desse reservatório. O objetivo de se realizar a coleta no meio e fundo do reservatório de armazenamento foi avaliar a influência da sedimentação natural de poluentes na qualidade da água armazenada, definindo o melhor ponto de coleta. Nesse reservatório, a água de chuva também foi caracterizada após 10 dias de retenção, com homogeneização do volume armazenado, a fim de avaliar a influência do tempo de retenção na qualidade da água de chuva e verificar possível proliferação de microorganismos presentes nessa água após passar pelo telhamento.

Em cada evento de chuva, as amostras coletadas nos três reservatórios de descarte dos primeiros milímetros e no reservatório de armazenamento eram transportadas ao LABSAN – Laboratório de Saneamento da FECIV/UFU para a análise de 22 parâmetros, dentre os quais: temperatura, pH, condutividade, turbidez, cor verdadeira, acidez, alcalinidade, dureza, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, sulfato, cloretos, fósforo total, ST, SDT, SST, oxigênio dissolvido (OD), DBO, DQO, Coliformes totais e *Escherichia Coli*. Durante os ensaios, foram seguidas as recomendações estabelecidas pelo APHA – *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (1995).

Os resultados obtidos foram comparados com os padrões de qualidade da água analisados no item 2.3.2 e com os trabalhos dos autores mencionados no item 2.3.3. Durante a comparação com os resultados de outros autores, buscou-se encontrar valores médios para amostras coletadas diretamente do telhamento e valores médios para amostras coletadas no reservatório de armazenamento após o descarte da precipitação inicial, em experimentos que se assemelhassem o máximo possível daquele realizado nesta pesquisa.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS

Neste capítulo serão apresentados os resultados das análises quantitativa e qualitativa realizadas durante a pesquisa. Na análise quantitativa, foram obtidos os dados históricos de precipitação da cidade de Uberlândia e a quantificação da demanda por água não potável do bloco em estudo, para que fosse possível dimensionar o reservatório de armazenamento de águas pluviais e verificar se a quantidade de chuva coletada supria satisfatoriamente a demanda por água não potável neste bloco. Na análise qualitativa, foi realizada a caracterização da água de chuva coletada diretamente da atmosfera, após o contato com o telhamento e após um período de retenção, para que fosse possível definir o volume ideal de eliminação dos primeiros milímetros de chuva, o tipo de tratamento necessário à água coletada e o grau de influência do tempo de retenção na qualidade da água armazenada.

4.1 ANÁLISE QUANTITATIVA

4.1.1 CARACTERÍSTICAS PLUVIOMÉTRICAS DE UBERLÂNDIA

A partir da série histórica diária de precipitação de Uberlândia entre os anos de 1981 e 2010, foi possível obter a série histórica mensal de chuvas, a qual está ilustrada no Anexo C; e as médias mensais de precipitação da cidade, as quais estão ilustradas na Figura 50. De acordo com esses dados, verifica-se que historicamente o mês de Julho é o mais seco, registrando média mínima de 9,2 mm de precipitação, e em contrapartida, o mês de dezembro é o mais chuvoso registrando média máxima de 322,0mm de precipitação.

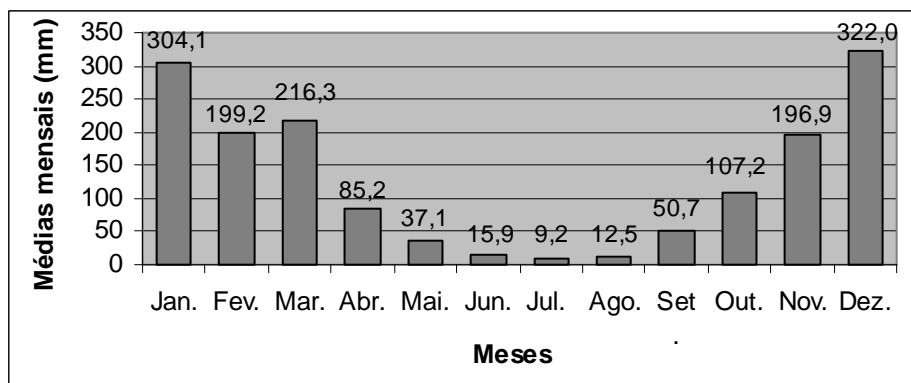


Figura 50: Médias mensais da cidade entre os anos de 1981 até 2010
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

Em relação à distribuição temporal de chuvas, pode-se dizer que entre os meses de outubro e março a precipitação média mensal acumulada é de 1345,6 mm, o que corresponde a 86,5% da precipitação média anual da cidade, e entre os meses de abril à setembro a precipitação média mensal acumulada é de 210,5 mm, o que corresponde à apenas 13,5% da precipitação anual. Desse modo, observa-se que a cidade de Uberlândia possui um regime de chuvas contrastante, com períodos de chuva e de seca bastante delineados.

4.1.2 QUANTIFICAÇÃO DA DEMANDA

Por meio de leituras semanais no hidrômetro instalado na tubulação de alimentação do reservatório que atende as bacias sanitárias e mictórios do bloco em estudo, foi possível obter a demanda semanal por água não potável, a qual está ilustrada na Figura 51.

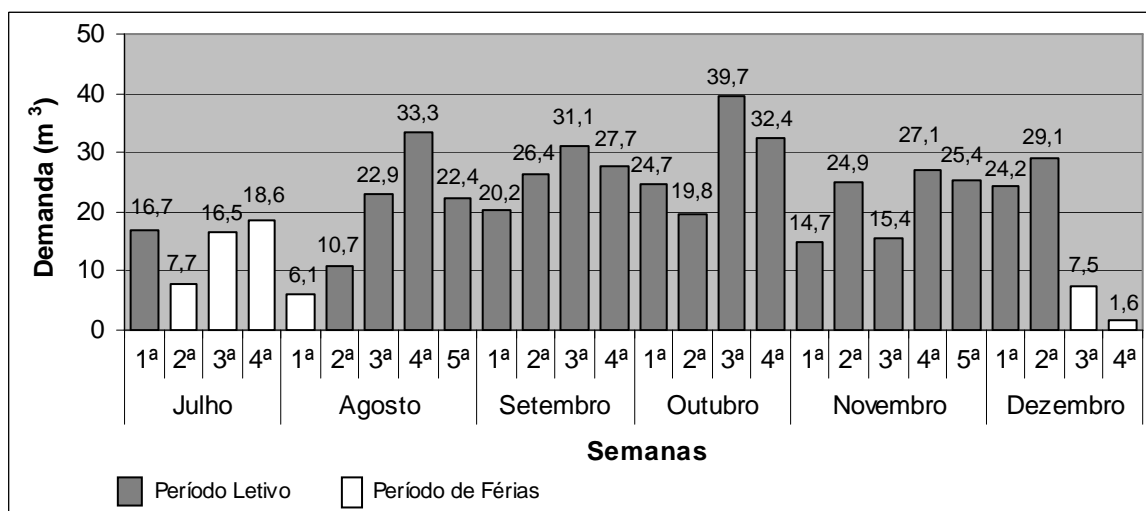


Figura 51: Demanda semanal por água não potável do Bloco 50A
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

Observa-se que o consumo semanal de água nas bacias sanitárias e mictórios do bloco em estudo varia entre o mínimo de $1,6 \text{ m}^3$ durante o período de férias e o máximo de $39,7 \text{ m}^3$ durante o período letivo. Pode-se afirmar que o consumo médio semanal durante todo o período observado foi de $21,0 \text{ m}^3$, sendo que durante o período de férias o consumo médio semanal foi de $9,7 \text{ m}^3$ e durante o período letivo foi de $24,4 \text{ m}^3$.

A partir do consumo semanal foi possível obter também o consumo mensal de água não potável do bloco em estudo, a qual está ilustrada na Figura 52.

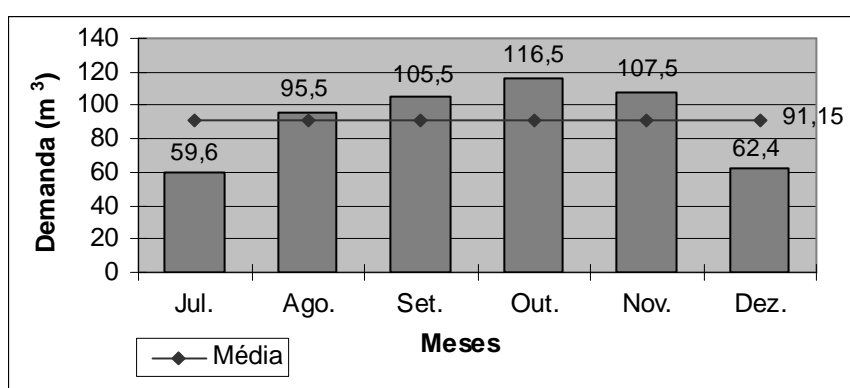


Figura 52: Demanda mensal por água não potável do Bloco 50A
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Observa-se que o consumo mensal inicia-se baixo no período das férias de julho com $59,6 \text{ m}^3$, apresenta um aumento até a metade do semestre letivo atingindo $116,5 \text{ m}^3$ no mês de outubro e em seguida reduz, chegando à $62,4 \text{ m}^3$ no mês de dezembro. Desse modo, pode-se dizer que o volume de água consumido nas bacias sanitárias e mictórios do bloco em estudo durante o período analisado foi em média $91,15 \text{ m}^3$ por mês.

4.1.3 DIMENSIONAMENTO DO RESERVATÓRIO DE ARMAZENAMENTO

Com os valores de demanda mensal foi possível calcular o volume do reservatório de armazenamento, utilizando primeiramente o Método de Rippl para as médias mensais de precipitação da cidade.

De acordo com a Tabela 13, observa-se que entre os meses de janeiro à março e de novembro à dezembro, o sistema consegue suprir 100% da demanda por água não potável, visto que existe excesso de chuva, isto é, o volume de chuva captada pelo telhamento é superior ao volume necessário à demanda não potável. Já entre

meses de abril e outubro, o sistema consegue suprir a demanda apenas parcialmente, já que existe falta de chuva, ou seja, o volume de chuva captada é inferior ao volume necessário à demanda não potável. Nesse período, observa-se que agosto é o mês em que o sistema possui a menor eficiência, conseguindo suprir apenas 11% do volume necessário à demanda com água de chuva. Em relação ao dimensionamento, o modelo indicou que com um volume de 397 m³, o reservatório conseguiria suprir 64% da demanda anual por água não potável no bloco em estudo, armazenando aproximadamente 697,2 m³ de chuva por ano.

Tabela 13 – Método de Rippl para as médias mensais

Dados de Entrada		Dados de Saída		
Área de captação (m ²)	1049	Eficiência anual do sistema (%)		64
Coeficiente de aproveit.	0,8	Volume do reservatório de armazenamento (m ³)		397

Meses	Precipitação média mensal (mm)	Demanda mensal (m ³)	Volume de chuva captada (m ³)	Volume de excesso ou falta de chuva (m ³)	Volume acumulado de falta de chuva (m ³)	Eficiência mensal do sistema (%)
Janeiro	304,1	59,6	255,2	195,6	0,0	100
Fevereiro	199,2	95,5	167,2	71,7	0,0	100
Março	216,3	105,5	181,5	76,0	0,0	100
Abril	85,2	116,5	71,5	-45,0	-45,0	61
Mai	37,1	107,5	31,1	-76,4	-121,4	29
Junho	15,9	62,4	13,3	-49,1	-170,4	21
Julho	9,2	59,6	7,7	-51,9	-222,3	13
Agosto	12,5	95,5	10,5	-85,0	-307,3	11
Setembro	50,7	105,5	42,5	-63,0	-370,3	40
Outubro	107,2	116,5	90,0	-26,5	-396,8	77
Novembro	196,9	107,5	165,2	57,7	-396,8	100
Dezembro	322,0	62,4	270,2	207,8	-396,8	100
Demanda anual total (m ³)						1094,0
Demanda anual suprida com água potável (m ³)						396,8
Demanda anual suprida com água de chuva (m ³)						697,2

De acordo com o que foi apresentado, verifica-se que o mês de agosto é o período mais crítico observado durante o ano, já que possui a menor eficiência. Como o objetivo desse modelo é reduzir os riscos de falha no atendimento à demanda, o Método de Rippl também foi aplicado para as médias diárias desse mês, obtidas de acordo com a série histórica diária de precipitação da cidade entre os anos de 1981 à 2010.

Conforme ilustrado na Tabela 14, observa-se que houve redução significativa no

dimensionamento do reservatório que passou para um volume de 85m³, atendendo com água de chuva, 11% da demanda não potável durante o mês.

Tabela 14 – Método de Rippl para as médias diárias do mês de agosto

Dados de Entrada		Dados de Saída			
Área de captação (m ³)	1049	Eficiência mensal do sistema (%)			11
Coefficiente de aproveit.	0,8	Volume do reservatório de armazenamento (m ³)			85

Dia	Precipitação média diária (mm)	Demanda diária constante (m ³)	Volume de chuva captada (m ³)	Volume de excesso ou falta de chuva (m ³)	Volume acumulado de falta de chuva (m ³)	Eficiência diária do sistema (%)
01	0,0	3,08	0,0	-3,1	-3,1	0
02	0,0	3,08	0,0	-3,1	-6,2	0
03	0,0	3,08	0,0	-3,1	-9,2	1
04	0,0	3,08	0,0	-3,1	-12,3	0
05	1,0	3,08	0,8	-2,2	-14,5	27
06	0,2	3,08	0,2	-2,9	-17,4	6
07	0,4	3,08	0,3	-2,8	-20,2	10
08	0,2	3,08	0,2	-2,9	-23,1	6
09	1,2	3,08	1,0	-2,1	-25,2	33
10	0,3	3,08	0,3	-2,8	-28,0	8
11	0,0	3,08	0,0	-3,1	-31,1	0
12	0,0	3,08	0,0	-3,1	-34,1	0
13	0,0	3,08	0,0	-3,1	-37,2	0
14	0,0	3,08	0,0	-3,1	-40,3	0
15	0,3	3,08	0,2	-2,8	-43,1	8
16	0,1	3,08	0,1	-3,0	-46,2	2
17	0,1	3,08	0,1	-3,0	-49,2	3
18	0,4	3,08	0,3	-2,8	-51,9	10
19	0,6	3,08	0,5	-2,6	-54,5	17
20	0,3	3,08	0,2	-2,8	-57,3	8
21	1,3	3,08	1,1	-2,0	-59,3	35
22	0,6	3,08	0,5	-2,6	-61,9	16
23	1,1	3,08	0,9	-2,2	-64,1	29
24	0,2	3,08	0,2	-2,9	-67,0	6
25	1,1	3,08	0,9	-2,2	-69,2	29
26	0,8	3,08	0,6	-2,4	-71,6	21
27	0,4	3,08	0,3	-2,8	-74,4	10
28	1,0	3,08	0,8	-2,2	-76,6	27
29	0,7	3,08	0,6	-2,5	-79,1	19
30	0,1	3,08	0,1	-3,0	-82,2	2
31	0,3	3,08	0,2	-2,9	-85,0	7
Demanda mensal total (m ³)					95,5	
Demanda mensal suprida com água potável (m ³)					85,0	
Demanda mensal suprida com água de chuva (m ³)					10,5	

Por meio da série histórica de precipitação da cidade, também foi possível variar os dados pluviométricos, criando os piores cenários de seca, de modo a reduzir os riscos e oferecer maior confiabilidade ao sistema. Através do Método de Monte Carlo, utilizou-se estatística descritiva através da função percentil para determinar porcentagens de probabilidade da ocorrência de um cenário anual de precipitação, conforme ilustra o Anexo D. Desse modo, quanto maior a probabilidade da ocorrência de um cenário, menor o patamar pluviométrico considerado, e maior a quantidade de dados da série histórica que se comportam acima daquele patamar, gerando menores riscos no atendimento à demanda. Durante a simulação, foram criados cenários pluviométricos com probabilidades variando de 5 a 95% e para cada cenário foi calculado o volume do reservatório e a eficiência do sistema, cujos resultados estão ilustrados nas Figuras 53 e 54.

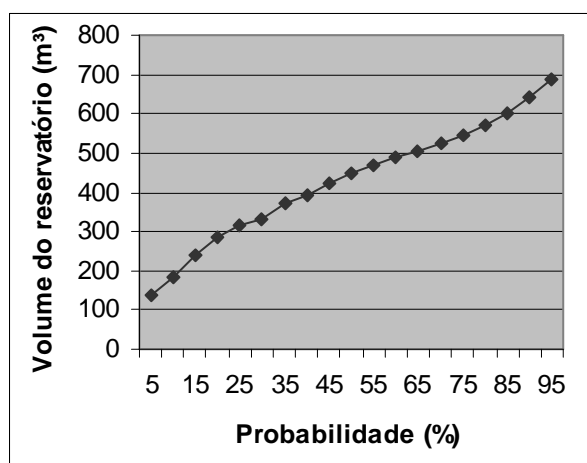


Figura 53: Volume do reservatório
Fonte: Arquivo pessoal do autor

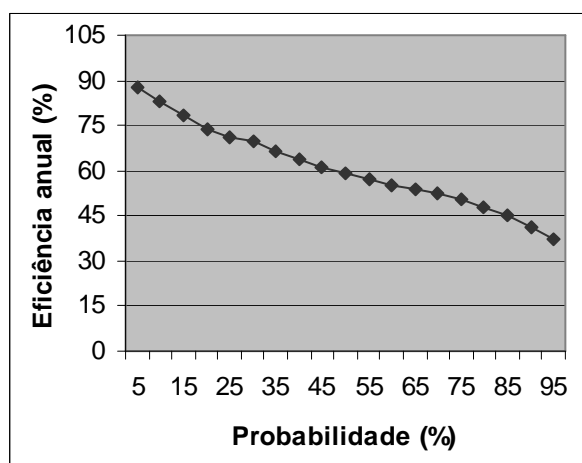


Figura 54: Eficiência do sistema
Fonte: Arquivo pessoal do autor

De acordo com a Figura 53, observa-se que quanto maior a probabilidade, menores são os riscos envolvidos, entretanto menor será o patamar pluviométrico considerado, e maior será o volume do reservatório, já que esse volume é calculado em função da falta de chuva. Além disso, observa-se na Figura 54 que quanto maior a probabilidade, menor será a eficiência do sistema, visto que menor será o patamar pluviométrico considerado e menor será a porcentagem de demanda atendida com água de chuva. Desse modo, durante a simulação verifica-se que o Método de Rippl tende a reduzir os riscos em detrimento de um aumento considerável no volume do reservatório e uma redução acentuada na eficiência do sistema.

Considerando o ponto do gráfico de menor risco cuja probabilidade é de 95%, o

reservatório apresenta-se com um volume de 686 m³ e uma eficiência de apenas 37%. Nesse caso, para que os riscos sejam mínimos, o volume do reservatório apresenta-se super dimensionado, envolvendo maiores custos de implantação e menor retorno de economia durante o funcionamento, já que consegue suprir somente 37% da demanda anual por água não potável.

Entretanto, segundo Tomaz (2003), geralmente considera-se confiáveis porcentagens acima de 75%. De acordo com os cálculos, para uma probabilidade de 75% o reservatório apresenta-se com um volume de 543 m³ e um eficiência de 50%. Desse modo, observa-se que aumentando os riscos dentro de uma faixa considerada confiável é possível obter grande redução no volume do reservatório, envolvendo menores custos de implantação e aumento considerável na eficiência do sistema.

Além disso, também foi possível calcular o volume do reservatório e a eficiência do sistema através do Método Iterativo, conforme ilustra a Tabela 15.

Tabela 15 – Método Iterativo

Dados de Entrada		Dados de Saída		
Área de captação	1049	Eficiência anual do sistema (%)		64
Coefficiente de aproveit.	0,8	Volume do reservatório de armazenamento (m ³)		108

Meses	Precipitação média mensal (mm)	Demanda mensal (m ³)	Volume de chuva captada (m ³)	Volume de chuva presente no reservatório (m ³)	Volume de excesso ou falta de chuva (m ³)	Eficiência mensal do sistema (%)
Janeiro	304,1	59,6	255,2	108,0	48,4	100
Fevereiro	199,2	95,5	167,2	108,0	12,5	100
Março	216,3	105,5	181,5	108,0	2,5	100
Abril	85,2	116,5	71,5	71,5	-45,0	61
Maio	37,1	107,5	31,1	31,1	-76,4	29
Junho	15,9	62,4	13,3	13,3	-49,1	21
Julho	9,2	59,6	7,7	7,7	-51,9	13
Agosto	12,5	95,5	10,5	10,5	-85,0	11
Setembro	50,7	105,5	42,5	42,5	-63,0	40
Outubro	107,2	116,5	90,0	90,0	-26,5	77
Novembro	196,9	107,5	165,2	108,0	0,5	100
Dezembro	322,0	62,4	270,2	108,0	45,6	100
Demanda anual total (m ³)						1094,0
Demanda anual suprida com água potável (m ³)						396,8
Demanda anual suprida com água de chuva (m ³)						697,2

De acordo com a Tabela 15, observa-se que entre os meses de janeiro à março e de novembro à dezembro, o volume de chuva captado pelo sistema é suficiente para encher completamente o reservatório de 108 m³ e suprir 100% da demanda, visto que existe excesso de chuva. Já entre meses de abril e outubro, o volume de chuva captado pelo sistema foi suficiente para encher apenas parte do reservatório e suprir a demanda parcialmente, já que existe falta de chuva. Além disso, verifica-se que o percentual de eficiência do sistema pelo Método Iterativo foi o mesmo obtido pelo Método de Rippl para as médias mensais, suprimindo 64% da demanda não potável com água de chuva. Entretanto, para uma mesma eficiência, o Método Iterativo apresentou um volume de reservatório consideravelmente menor, com apenas 108 m³. Desse modo, pode-se dizer que os resultados obtidos para o volume do reservatório através desta modelagem foram mais enxutos se comparados ao Método de Rippl, envolvendo menores custos de implantação.

Além desses modelos, utilizou-se também o Método da Simulação, cujos resultados estão ilustrados na Tabela 16.

Tabela 16 – Método da Simulação

Dados de Entrada			Dados de Saída					
Área de captação		1049	Eficiência anual do sistema (%)			95		
Coeficiente de aproveitamento		0,8	Volume do reservatório de armazenamento (m ³)			344		

Meses	Precipitação média mensal (mm)	Demanda mensal (m ³)	Volume de chuva captada (m ³)	Volume inicial no reservatório (m ³)	Volume final no reservatório (m ³)	Volume de excesso de chuva (m ³)	Volume de falta de chuva (m ³)	Eficiência mensal do sistema (%)
Janeiro	304,1	59,6	255,2	0,0	195,6	0,0	0,0	100
Fevereiro	199,2	95,5	167,2	195,6	267,3	0,0	0,0	100
Março	216,3	105,5	181,5	267,3	343,3	0,0	0,0	100
Abril	85,2	116,5	71,5	343,3	298,3	0,0	0,0	100
Maiο	37,1	107,5	31,1	298,3	221,9	0,0	0,0	100
Junho	15,9	62,4	13,3	221,9	172,9	0,0	0,0	100
Julho	9,2	59,6	7,7	172,9	121,0	0,0	0,0	100
Agosto	12,5	95,5	10,5	121,0	36,0	0,0	0,0	100
Setembro	50,7	105,5	42,5	36,0	-27,0	0,0	-27,0	74
Outubro	107,2	116,5	90,0	0,0	-26,5	0,0	-26,5	77
Novembro	196,9	107,5	165,2	0,0	57,7	0,0	0,0	100
Dezembro	322,0	62,4	270,2	57,7	265,6	0,0	0,0	100
Demanda anual total (m ³)								1094,0
Demanda anual suprida com água potável (m ³)								53,5
Demanda anual suprida com água de chuva (m ³)								1040,5

Observa-se que entre os meses de janeiro à agosto e de novembro à dezembro, o sistema conseguiu suprir 100% da demanda por água não potável, visto que o volume de água captada mais o volume que restou dentro do reservatório no mês anterior foram superiores à demanda. Já nos meses de setembro e outubro, o sistema conseguiu suprir a demanda apenas parcialmente, já que o volume de chuva captada mais o volume que restou dentro do reservatório no mês anterior foram inferiores à demanda. Nesse período, observa-se que setembro é o mês em que o sistema possui a menor eficiência, conseguindo suprir com água de chuva 74% do volume necessário à demanda. Entre os meses de janeiro à agosto e de novembro à dezembro, observa-se que não existe falta nem excesso de chuva, ou seja, o volume de chuva captada pelo sistema mais o volume que restou dentro do reservatório no mês anterior foram suficientes não só para atender a demanda como também para encher parcialmente o reservatório.

Em relação ao dimensionamento, verifica-se que o volume de reservatório proposto pelo modelo foi de 344 m³, com atendimento de 95% da demanda por água não potável. Observa-se, portanto, que com um volume razoável para o reservatório, esse modelo foi o que apresentou maior porcentagem de atendimento à demanda durante o ano. Isto ocorre porque os demais modelos vistos anteriormente consideram o reservatório vazio no início de cada mês, enquanto que este tipo de modelagem possui uma base de cálculo mais realista, considerando para o início de cada mês, o volume de água de chuva restante dentro do reservatório no final do mês anterior.

A Tabela 17 apresenta um quadro comparativo dos três métodos de dimensionamento analisados.

Tabela 17 – Comparação entre os métodos de dimensionamento

Métodos	Volume do reservatório (m³)	Eficiência anual (%)
Método de Rippl para 75% de probabilidade	543	50
Método de Rippl para as médias mensais	397	64
Método de Rippl para as médias diárias	85	-
Método Interativo	108	64
Método da Simulação	344	95

De acordo com a Tabela 17, observa-se que o Método de Rippl para 75% de probabilidade foi o que apresentou maior segurança, entretanto apresentou também o maior volume de reservatório com 543 m^3 e a menor eficiência, suprimindo apenas 50% da demanda por água não potável. Nesse modelo, observa-se que mesmo com um reservatório extremamente grande, o sistema não foi capaz de coletar um volume de chuva suficiente para atender completamente a demanda. Além disso, verifica-se que tanto o Método de Rippl para as médias mensais como o Método Interativo apresentaram 64% de eficiência, entretanto o volume do reservatório pelo Método Interativo foi de 108 m^3 , consideravelmente menor do que pelo Método de Rippl que foi de 397 m^3 . Já o Método de Rippl para as médias diárias do mês de agosto apresentou um dimensionamento extremamente menor que os demais, indicando um volume de 85 m^3 para o reservatório, mas a inexistência de dados referentes à sua eficiência durante o ano, deixa incertezas a respeito de sua confiabilidade. O Método da Simulação apresentou um volume de reservatório razoável de 344 m^3 , valor que ficou entre aquele proposto pelo Método Interativo e aquele indicado pelo Método de Rippl para as médias mensais. Entretanto, esse modelo foi o que apresentou maior porcentagem de atendimento à demanda, suprimindo com água de chuva 95% da demanda por água não potável.

4.2 ANÁLISE QUALITATIVA

Durante a análise qualitativa serão apresentados os resultados da caracterização da chuva coletada diretamente da atmosfera, a caracterização da chuva coletada após o contato com o telhamento, a comparação da chuva coletada diretamente da atmosfera e após o contato com o telhamento, além da caracterização da chuva coletada após um período de retenção.

Na caracterização da chuva coletada diretamente da atmosfera (deposição úmida) serão analisados os primeiros 1, 2 e 3mm de precipitação que não passaram por nenhum tipo de superfície exposta ao ar livre ao longo do tempo. Na caracterização da água de chuva coletada após o contato com o telhamento (deposição seca) serão analisados os primeiros 0,62mm, 1,25mm e 2,5mm de precipitação coletados após o contato com o telhamento, além de amostras do meio e do fundo do reservatório de armazenamento. Na comparação da qualidade da chuva coletada diretamente da atmosfera e após o contato com o telhamento, serão analisados os primeiros 1mm,

2mm e 3mm de precipitação diretamente da atmosfera, e os primeiros 0,62mm, 1,25mm e 2,5mm de precipitação após o contato com o telhamento. E na caracterização da água de chuva ao longo do tempo de retenção serão analisadas amostras do meio e do fundo do reservatório de armazenamento ao longo de um período de retenção.

4.2.1 COLETAS

Durante a pesquisa, as coletas foram organizadas em ordem cronológica, a fim de facilitar a interpretação dos resultados em relação às precipitações anteriores, conforme ilustra a Figura 55. Nessa figura, as colunas azuis representam a precipitação acumulada referente à 3 dias consecutivos e as colunas amarelas representam a precipitação ocorrida no dia da coleta.

Foram realizadas 5 coletas no período entre 04 de agosto de 2011 e 09 de fevereiro de 2012. A primeira ocorreu no dia 04 de agosto de 2011, durante período seco do ano. Nessa época, foram obtidas somente amostras de água de chuva coletadas diretamente da atmosfera, visto que o aparato experimental para caracterização da chuva após o contato com o telhamento ainda não tinha sido montado.

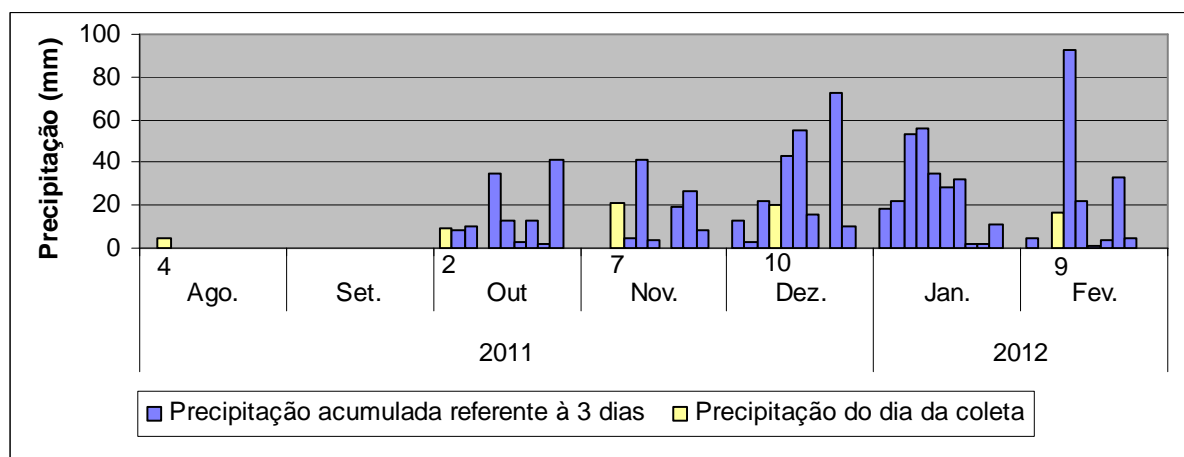


Figura 55: Regime de chuvas no período das coletas
Fonte: LCRH (2012)

A segunda coleta foi realizada no dia 02 de outubro de 2011, quando choveu o equivalente a 8,8mm de precipitação, após um período de quase dois meses sem chuva, (ver Figura 55). Nessa época, o aparato experimental para caracterização da chuva após o contato com o telhamento já havia sido montado, sendo possível coletar tanto a precipitação da atmosfera, quanto a precipitação após o contato com

o telhamento. Nesse período, também foram coletadas amostras de água de chuva após 10 e 20 dias de armazenamento.

A terceira coleta foi realizada no dia 07 de novembro de 2011, quando choveu o equivalente a 21mm de precipitação, após um período de 6 dias sem chuva, (ver Figura 55). Nesse dia, foram coletados apenas os três primeiros milímetros de chuva da atmosfera e do telhamento, visto que após o enchimento dos reservatórios responsáveis pelos três primeiros milímetros de precipitação no aparato experimental (ver Figura 49), houve rompimento da tubulação que conduzia a água de chuva ao reservatório de armazenamento, impossibilitando a coleta nesse reservatório.

A quarta coleta foi realizada no dia 10 de dezembro de 2011, quando choveu o equivalente a 20,2mm de precipitação após vários dias consecutivos de chuvas (ver Figura 55). Nesse dia, foi coletada tanto a precipitação da atmosfera quanto do telhamento. Entretanto, durante a precipitação, ocorreu entupimento no tubo que conduzia a água de chuva ao reservatório responsável pelo acúmulo dos primeiros 1,25 mm, o que impossibilitou a coleta apenas nesse reservatório. Todavia, o ocorrido não prejudicou as coletas realizadas nos dois outros reservatórios de descarte dos primeiros milímetros e no reservatório de armazenamento. Também foi coletada a água de chuva após 10 dias de armazenamento.

A quinta coleta foi realizada no dia 09 de Fevereiro de 2012, quando choveu o equivalente a 16,2mm de precipitação, após 5 dias sem chuva (ver Figura 55). Nesse dia, foi coletada tanto a precipitação da atmosfera quanto a precipitação de todos os reservatórios após o contato com o telhamento. Além disso, também foi coletada a água de chuva armazenada por 10 dias.

4.2.2 CARACTERIZAÇÃO DA CHUVA COLETADA DIRETAMENTE DA ATMOSFERA

Nessa etapa da pesquisa foram coletados os primeiros 1mm, 2mm e 3mm de precipitação diretamente da atmosfera. Como mencionado anteriormente, o objetivo da coleta dos primeiros milímetros de chuva diretamente da atmosfera foi caracterizar a deposição úmida, ou seja, o carreamento de poluentes em suspensão na atmosfera e a dissolução dos gases atmosféricos, para que fosse possível avaliar a qualidade da água de chuva ao longo da precipitação e comparar esses resultados

com os valores obtidos para a água de chuva coletada após o contato com o telhamento.

Durante a caracterização da chuva coletada diretamente da atmosfera, foram analisados os seguintes parâmetros: temperatura, pH, condutividade, acidez, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, sulfatos e cloretos. Todos os resultados referentes a este item estão descritos integralmente no Anexo F.

4.2.2.1 TEMPERATURA

Conforme ilustra a Figura 56, observa-se que a temperatura dos primeiros milímetros de precipitação da atmosfera aumentou durante o período das coletas, provavelmente por influência das estações do ano. A primeira coleta ocorreu no inverno, quando a temperatura dos primeiros milímetros variou entre 7°C e 9°C. Já a segunda, terceira e quarta coletas ocorreram na primavera, quando houve um aumento gradativo, ficando a segunda coleta entre 21,4°C e 21,9°C; a terceira coleta entre 25,7°C e 26,8°C e a quarta coleta entre 25,8°C e 26,2°C. A quinta coleta ocorreu no verão quando os primeiros milímetros alcançaram temperaturas de 28,1°C a 28,6°C.

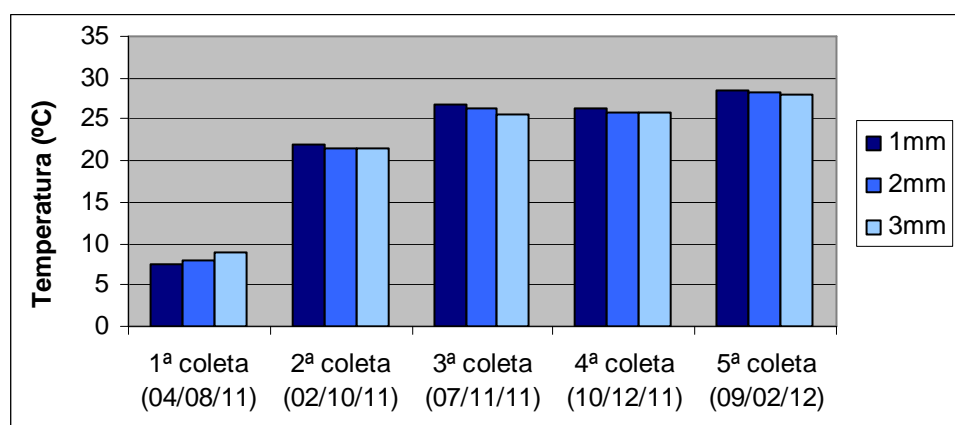


Figura 56: Temperatura da água de chuva diretamente da atmosfera
Fonte: Arquivo pessoal do autor

4.2.2.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO – PH

Durante a primeira coleta, observa-se que o pH se manteve acima de 6, conforme ilustra a Figura 57. Tendo em vista o baixo volume de precipitação ocorrido no dia 04 de agosto de 2011 e o enorme período de estiagem que antecedeu o dia 02 de outubro (ver Figura 55), o pH da segunda coleta apresentou-se com elevada acidez, ficando entre 3,95 e 4,15. Isto provavelmente ocorreu devido a reações químicas

entre a água de chuva e alguns gases presentes no ar, tais como óxidos de carbono, enxofre e nitrogênio, em decorrência da área urbanizada e da presença de indústrias. Na terceira, quarta e quinta coletas, o pH recuperou seu valor inicial variando entre 6,1 e 6,5, provavelmente devido ao aumento na frequência de chuvas e limpeza natural da atmosfera. É interessante observar que na maioria das coletas, o primeiro milímetro apresentou-se mais ácido do que o segundo, e este mais ácido do que o terceiro, indicando redução do pH devido à limpeza natural da atmosfera no decorrer da precipitação.

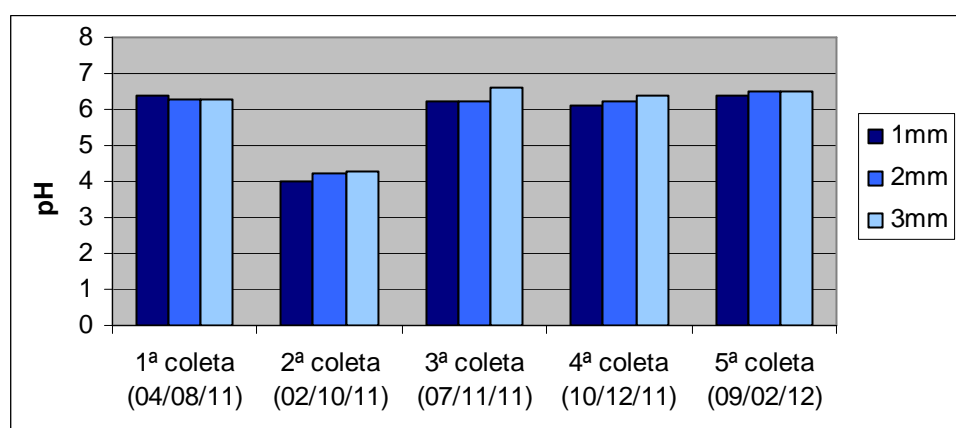


Figura 57: pH da água de chuva da atmosfera
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Em relação aos padrões de qualidade da água, pode-se dizer que, com exceção da segunda coleta, todas as outras mantiveram os valores de pH dentro dos parâmetros de qualidade da ABNT NBR15527:2007, que estabelece pH entre 6,0 e 8,0 para o aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis. Além disso, o pH dessas coletas também permaneceu dentro dos parâmetros do CONAMA nº274/00 referente à balneabilidade; e até mesmo dentro dos parâmetros da Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, que estabelece pH entre 6,0 e 9,5 para fins potáveis.

4.2.2.3 CONDUTIVIDADE

Conforme ilustra a Figura 58, verifica-se que a condutividade da primeira coleta apresentou os maiores valores, variando entre 33,6 $\mu\text{s}/\text{cm}$ e 37,5 $\mu\text{s}/\text{cm}$. Nas demais coletas esses valores reduziram, variando entre 3,5 $\mu\text{s}/\text{cm}$ e 26,5 $\mu\text{s}/\text{cm}$, provavelmente devido à redução na concentração de sais dissolvidos na atmosfera, influenciada pelo aumento na frequência do regime de chuvas e conseqüente

limpeza natural da atmosfera.

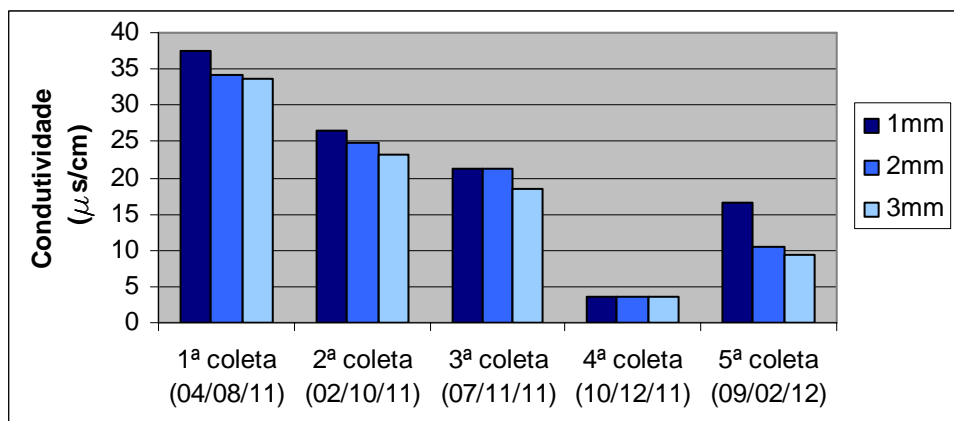


Figura 58: Condutividade da água de chuva da atmosfera
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

Verifica-se que na maioria das vezes, a condutividade do terceiro milímetro apresentou-se menor do que o segundo, e este menor do que o primeiro, indicando redução na concentração de sais e melhora da qualidade da água ao longo da precipitação. Quanto aos padrões de qualidade da água, não foram encontradas indicações para valores de condutividade.

4.2.2.4 ACIDEZ

Observa-se na Figura 59, que houve pequeno aumento nos valores de acidez entre a primeira coleta, cujos resultados variavam entre 3,0 mg/L e 4,0 mg/L de CaCO₃; e a segunda coleta, cujos resultados variaram entre 3,3 mg/L e 4,6 mg/L de CaCO₃, provavelmente devido ao longo período de estiagem entre as duas datas.

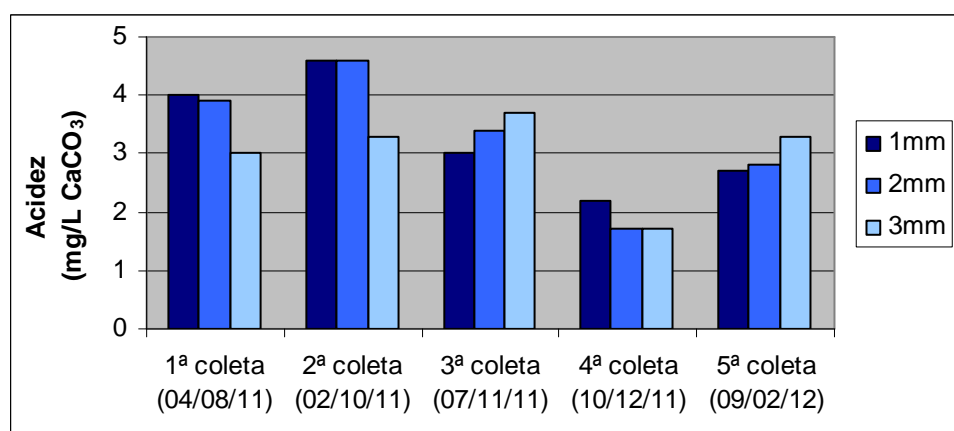


Figura 59: Acidez da água de chuva da atmosfera
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

Nas demais coletas, verifica-se que os valores reduziram, variando entre 1,7 mg/L e

4,6 mg/L de CaCo₃. Essa redução indica que o pH da água ficou menos resistente ao ataque de bases, provavelmente devido à redução na concentração de compostos ácidos, influenciada pelo aumento na frequência das chuvas e conseqüente limpeza natural da atmosfera. Quanto aos padrões de qualidade da água, não foram encontradas indicações para valores de acidez.

4.2.2.5 NITROGÊNIO AMONIACAL/ NITRITO/ NITRATO

Conforme ilustram as Figuras 60 e 62, verifica-se que as concentrações de nitrogênio amoniacal e nitrato aumentaram da primeira à segunda coleta e reduziram da segunda à quinta coleta, variando entre 0,2 mg/L e 4,9 mg/L para nitrogênio amoniacal e entre 0,1 mg/L e 2,6 mg/L para nitrato. Já as concentrações de nitrito, alcançaram os maiores valores na primeira coleta e reduziram gradativamente, variando entre $0,6 \times 10^{-2}$ mg/L e $3,2 \times 10^{-2}$ mg/L nas demais coletas, conforme ilustra a Figura 61.

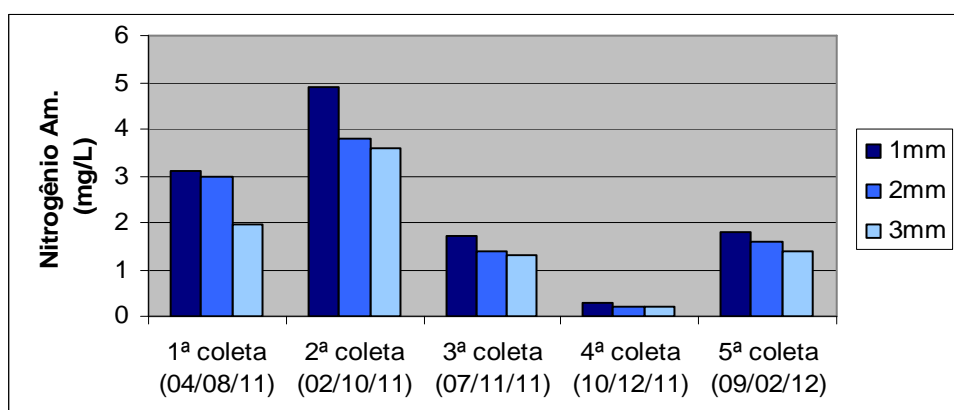


Figura 60: Concentração de nitrogênio amoniacal da água de chuva da atmosfera
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

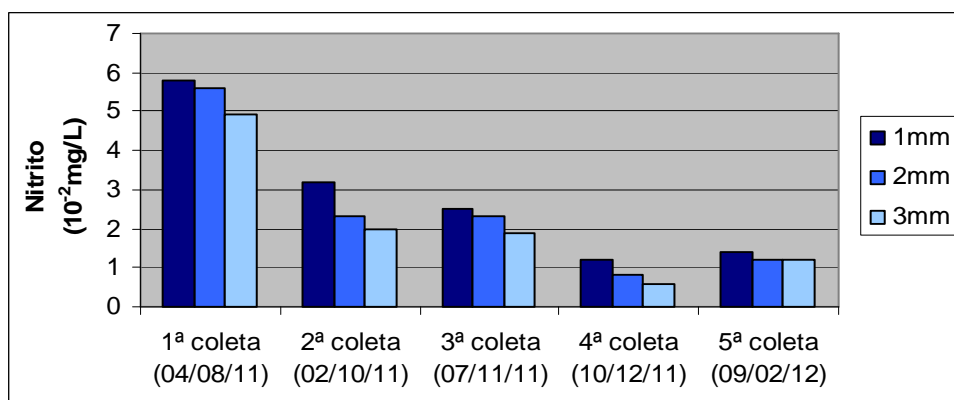


Figura 61: Concentração de nitrito da água de chuva da atmosfera
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

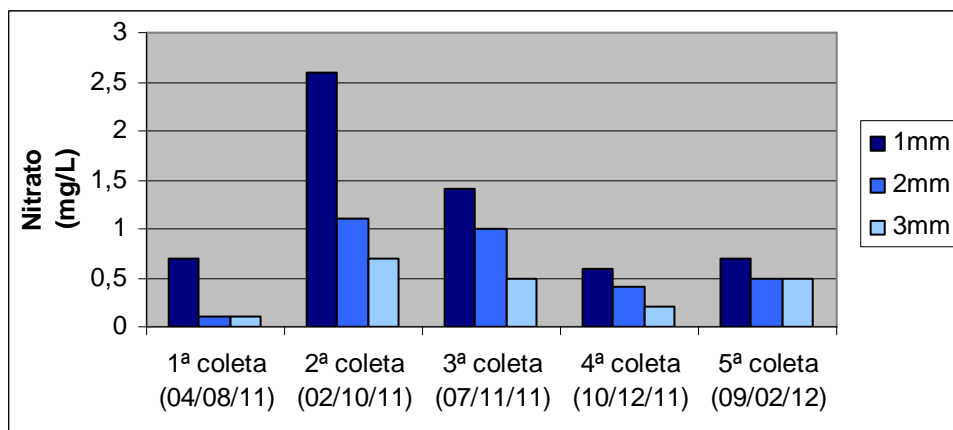


Figura 62: Concentração de nitrato da água de chuva da atmosfera
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Observa-se ainda que, na maioria das coletas, houve redução na concentração de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato do primeiro milímetro em relação ao segundo, e deste em relação ao terceiro, indicando a limpeza natural da atmosfera.

Quanto aos padrões de qualidade da água para nitrogênio amoniacal, todos os resultados ficaram dentro dos parâmetros indicado por Sautchuck *et al* (2005), que sugere concentrações menores que 20mg/L para fins não potáveis. Somente a quarta coleta manteve-se dentro dos parâmetros da Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde que estabelece concentrações menores que 1,5 mg/L para fins potáveis. Quanto às concentrações de nitrito e nitrato, pode-se afirmar que todos os resultados permaneceram dentro dos parâmetros indicados por Sautchuck *et al* (2005) e pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, que estabelecem concentrações de nitrito menores ou iguais à 1mg/L e concentrações de nitrato menores ou iguais a 10 mg/L. Em relação à ABNT NBR15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato.

Na seqüência são apresentados os resultados obtidos para sulfato que, juntamente com o nitrito e o nitrato, são subprodutos da queima de hidrocarbonetos, relacionados aos combustíveis fósseis e resíduos gasosos de indústrias.

No processo industrial, a queima do enxofre produz óxidos de enxofre, cujos subprodutos relevantes em relação à poluição atmosférica são: dióxido de enxofre, trióxido de enxofre e íon sulfato. É sabido que o trióxido de enxofre (SO_3) combina-se com a água, resultando no ácido sulfúrico H_2SO_4 e conseqüente redução do pH.

O Sulfato de amônia é formado na reação entre amônia (ver Figura 60) com o ácido sulfúrico. Já o dióxido de enxofre (SO_2) em contato com a água de chuva forma o ácido sulfuroso (H_2SO_3). Desse modo, o nitrogênio amoniacal presente na atmosfera neutraliza os ácidos, formando bissulfito que rapidamente se oxida a sulfato.

De acordo com a Figura 57, o aumento do pH na terceira, quarta e quinta coleta pode estar relacionado à considerável quantidade de nitrogênio amoniacal na atmosfera durante a segunda coleta (ver Figura 60), visto que o nitrogênio amoniacal neutraliza os ácidos. Além disso, verifica-se que o nitrito presente na atmosfera apresentou valores bem reduzidos para todas as coletas em função de sua instabilidade natural, conforme ilustra a Figura 61.

4.2.2.6 SULFATO

Conforme ilustrado na Figura 63, observa-se que as concentrações de sulfato em todas as coletas foram muito baixas (inferiores à $0,006 \text{ mg/L}$), indicando ausência quase total de compostos sulfatados. Devido aos reduzidos valores encontrados, as variações ocorridas entre uma coleta e outra podem ser consideradas insignificantes, sendo possível afirmar que os resultados de todas as coletas variaram dentro de uma mesma faixa, cujos valores ficaram entre $1,5 \times 10^{-3} \text{ mg/L}$ e $5,3 \times 10^{-3} \text{ mg/L}$.

Apesar disso, ainda foi possível notar que em todas as coletas houve redução na concentração de sulfato do primeiro milímetro em relação ao segundo, e deste em relação ao terceiro, indicando redução de compostos sulfatados em função da limpeza natural da atmosfera.

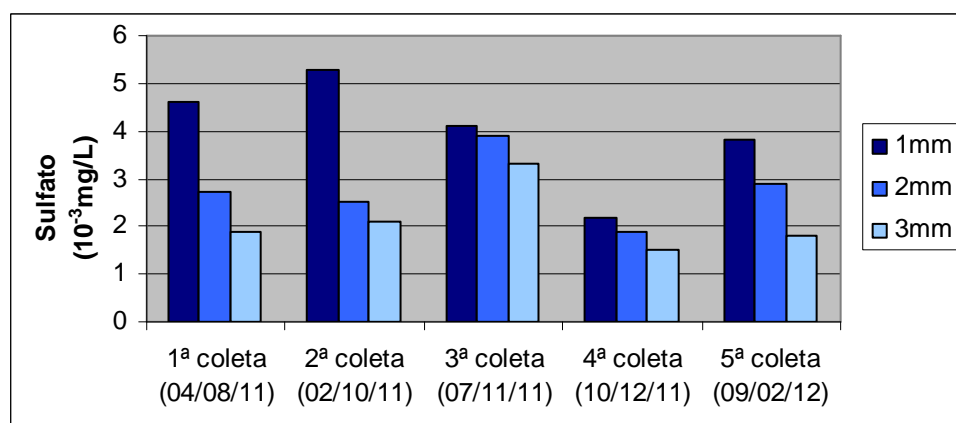


Figura 63: Concentração de sulfato da água de chuva da atmosfera
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Quanto aos padrões de qualidade da água, verificou-se que a concentração de todas as coletas permaneceu bem abaixo dos valores máximos fixados pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, que estabelece concentrações de sulfato abaixo de 250 mg/L para fins potáveis. Em relação à ABNT NBR15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de sulfato.

4.2.2.7 CLORETO

Verifica-se que os resultados seguiram comportamento semelhante aos parâmetros anteriores, conforme ilustra a Figura 64. Na primeira coleta as concentrações de cloreto ficaram bem acima das demais, variando entre 2,5 mg/L e 3,5 mg/L, provavelmente porque a coleta ocorreu durante o período seco do ano. A partir daí, as concentrações reduziram, permanecendo na faixa entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L, possivelmente devido ao aumento na frequência do regime de chuvas. Ainda na Figura 64, observa-se que em todas as coletas a concentração de cloreto do terceiro milímetro apresentou-se menor ou igual ao segundo, e este menor ou igual ao primeiro, indicando redução na concentração de sais e melhora da qualidade da água ao longo da precipitação, em função da limpeza natural da atmosfera.

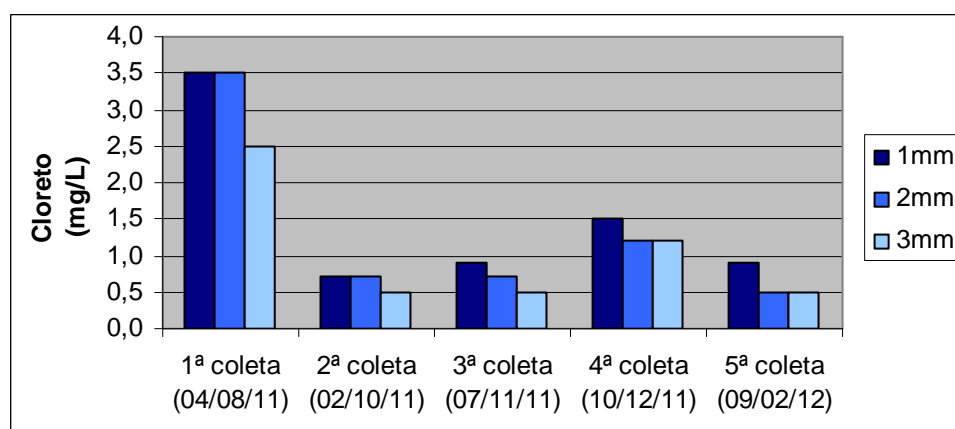


Figura 64: Concentração de cloreto da água de chuva da atmosfera
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Quanto aos padrões de qualidade da água, a concentração de cloreto em todas as coletas permaneceu bem abaixo dos valores máximos fixados pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, que estabelece concentrações abaixo de 250 mg/L para fins potáveis. Em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas

indicações para valores de cloreto.

Uma análise geral da qualidade da água de chuva coletada diretamente da atmosfera evidencia que as elevadas concentrações dos parâmetros (condutividade, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, sulfato e cloreto) na primeira e/ou segunda coleta estão relacionadas ao período de inverno em que essas coletas ocorreram, o que pode ser comprovado pelas baixas temperaturas da primeira e segunda coleta (ver Figura 56). Isso porque as condições meteorológicas do período de inverno são desfavoráveis à dispersão dos poluentes, uma vez que as baixas temperaturas associadas à baixa umidade e estabilidade atmosférica aumentam a possibilidade de inversão térmica junto à superfície.

No que se refere à dispersão de poluentes, segundo Da Silva (2007), os ventos predominantes na cidade de Uberlândia (MG) sopram na direção nordeste e leste. Entretanto, o distrito industrial concentra-se na região noroeste deste município e o aparato experimental para coleta da água de chuva foi instalado no Campus Santa Mônica da Universidade Federal de Uberlândia (região leste de Uberlândia). Desse modo, não foi possível fazer nenhuma associação entre a qualidade da água de chuva analisada e o carreamento de poluentes do distrito industrial em direção ao local de estudo, por influência dos ventos predominantes (rosa dos ventos).

4.2.3 CARACTERIZAÇÃO DA CHUVA COLETADA APÓS O CONTATO COM O TELHAMENTO

Nessa etapa da pesquisa foram coletados os primeiros 0,62 mm, 1,25 mm e 2,5 mm de precipitação após o contato com o telhamento, além de amostras do meio e do fundo do reservatório de armazenamento. Como mencionado anteriormente, o objetivo da coleta antes e após o descarte dos primeiros milímetros de precipitação foi definir o volume ideal de eliminação dos primeiros milímetros de chuva e o tipo de tratamento necessário à água coletada. Já o objetivo das coletas realizadas no meio e fundo do reservatório de armazenamento foi avaliar a influência da sedimentação natural de poluentes na qualidade da água armazenada, definindo o melhor ponto de coleta.

Na primeira coleta não foi possível obter amostras de precipitação após o contato com o telhamento, visto que o aparato experimental para a caracterização da água

de chuva ainda não tinha sido montado. Na segunda coleta foram obtidas amostras de precipitação em todos os reservatórios, normalmente conforme o previsto. Na terceira coleta não foi possível coletar amostras no reservatório de armazenamento, visto que houve rompimento na tubulação que conduzia a água de chuva à esse reservatório. Na quarta coleta somente não foi possível coletar amostras no reservatório responsável pelos 1,25 mm de precipitação, visto que houve entupimento no tubo que conduzia a água de chuva a esse reservatório. E finalmente na quinta coleta foram coletadas amostras de precipitação em todos os reservatórios, normalmente conforme o previsto.

Durante a caracterização da água de chuva após o contato com o telhamento, serão analisados os seguintes parâmetros: temperatura, pH, condutividade, turbidez, cor verdadeira, acidez, alcalinidade, dureza, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, sulfato, cloretos, fósforo total, ST, SDT, SST, oxigênio dissolvido (OD), DBO, DQO, Coliformes totais e *Escherichia Coli*. Todos os resultados referentes a este item estão descritos integralmente no Anexo F.

4.2.3.1 TEMPERATURA

De acordo com a Figura 65, a segunda, terceira e quarta coletas foram realizadas na primavera, quando houve aumento gradativo de temperatura, mantendo-se entre 21,8°C e 24,3°C na segunda coleta; entre 25,2 °C à 25,7°C na terceira e entre 28,6°C à 28,8°C na quarta coleta, possivelmente devido à aproximação do verão. Já a quinta coleta ocorreu no verão, quando houve pequena variação que ficou entre 27,1°C e 27,6°C.

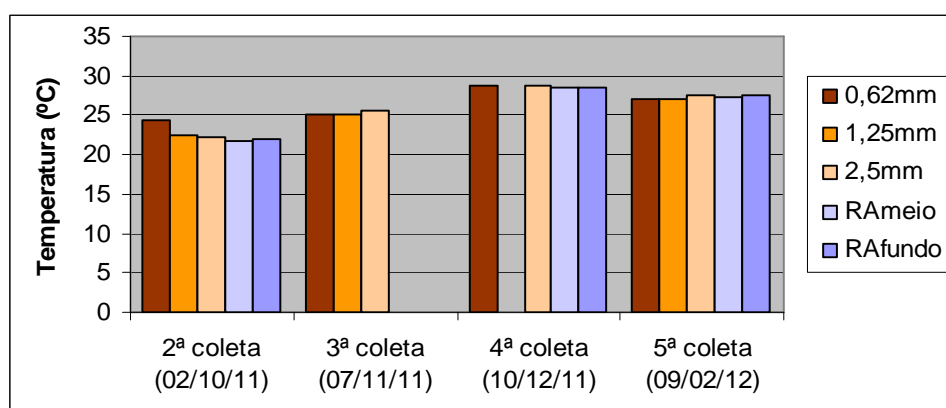


Figura 65: Temperatura da água de chuva após o contato com o telhamento
Fonte: Arquivo pessoal do autor

4.2.3.2 PH

Em relação ao pH, verifica-se conforme ilustrado na Figura 66, que os valores da segunda coleta variaram entre 5,4 e 5,8, indicando uma precipitação com caráter levemente ácido, provavelmente devido à alta concentração de óxidos e dióxidos de carbono, óxidos de nitrogênio e sulfatos existentes na atmosfera após longo período de estiagem. Da terceira à quinta coleta, o pH aumentou levemente variando entre 6,2 e 6,6, possivelmente devido ao aumento na frequência de chuvas e conseqüente limpeza natural da atmosfera.

Analisando os resultados, pode-se dizer que o comportamento não monotônico do pH em cada coleta não permite avaliar a influência das diferentes alturas pluviométricas de descarte e do volume de armazenamento nas variações deste parâmetro (ver Figura 66).

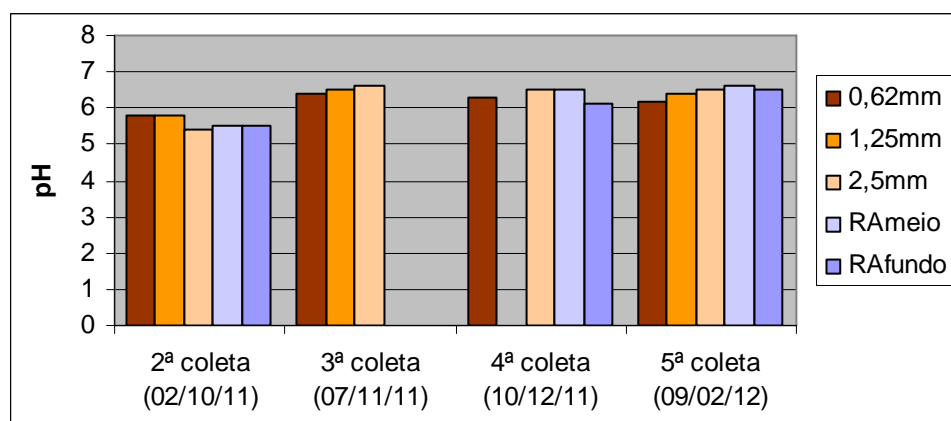


Figura 66: pH da água de chuva após o contato com o telhamento
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Em relação aos padrões de qualidade da água para pH, pode-se dizer que com exceção da segunda coleta, todas as outras se mantiveram dentro dos parâmetros de qualidade da ABNT NBR 15527:2007, que estabelece pH entre 6,0 e 8,0 para o aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis. Além disso, o pH dessas amostras também permaneceu dentro dos parâmetros do CONAMA nº 274/00 referente à balneabilidade; e dentro dos parâmetros da Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, que estabelece valores entre 6,0 e 9,5 para fins potáveis. Portanto, no que se refere ao pH, verifica-se que o aproveitamento da água de chuva apenas não seria interessante, após um período prolongado de estiagem.

4.2.3.3 CONDUTIVIDADE

Conforme ilustra a Figura 67, observa-se que a segunda coleta apresentou os maiores valores de condutividade, sendo que a precipitação referente aos 0,62 mm apresentou um pico de 129,1 $\mu\text{s/cm}$ e os demais milímetros variaram entre 32 $\mu\text{s/cm}$ e 48,5 $\mu\text{s/cm}$, provavelmente devido à alta concentração de sais depositados no telhamento após o período de estiagem que antecedeu essa coleta; e devido à superfície lisa da telha metálica que permitiu rápida limpeza da cobertura na primeira chuva após o inverno, ou contrário da telha cerâmica onde a limpeza é mais gradativa. Da terceira à quinta coleta, os valores de condutividade reduziram significativamente, variando entre 3,9 $\mu\text{s/cm}$ e 23,6 $\mu\text{s/cm}$, possivelmente em devido ao aumento na frequência de chuvas e conseqüente limpeza natural do telhamento.

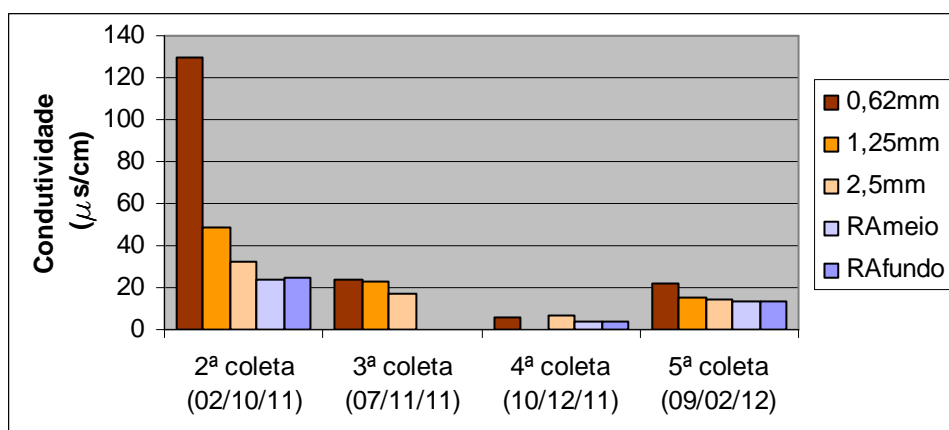


Figura 67: Condutividade da água de chuva após o contato com o telhamento
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Observa-se que em todas as coletas, houve redução da condutividade dos 0,62 mm em relação aos 1,25 mm, deste em relação aos 2,5 mm, e deste em relação à água de chuva coletada no meio do reservatório de armazenamento, indicando redução na concentração de sais e melhora da qualidade da água que passa pelo telhamento, ao longo da precipitação. Entretanto, houve pouca variação nos valores de condutividade das amostras coletadas no meio e no fundo do reservatório de armazenamento, indicando pouca influência da sedimentação de sais na qualidade da água de chuva armazenada logo após a precipitação.

Em relação aos padrões de qualidade da água, não foram encontradas indicações para valores de condutividade.

4.2.3.4 TURBIDEZ / COR VERDADEIRA

Os valores de turbidez e cor verdadeira das precipitações coletadas após o contato com o telhamento seguiram comportamento semelhante ao da condutividade. Conforme ilustram as Figuras 68 e 69, a segunda coleta apresentou os maiores valores de turbidez e cor, sendo que a precipitação referente aos 0,62 mm apresentou um pico de 245,3 UNT para turbidez e de 129 UH para cor, provavelmente devido à alta concentração de poluentes após o período de estiagem que antecedeu essa coleta; e devido à superfície lisa da telha metálica que permitiu rápida limpeza da cobertura na primeira chuva após o inverno, ou contrário da telha cerâmica onde a limpeza é mais gradativa. Da terceira à quinta coleta, os valores reduziram significativamente, e ficaram entre 1,1 UNT e 12,3 UNT para turbidez e entre 1,7 UH e 14,7 UH para cor, possivelmente devido ao aumento na frequência de chuvas e conseqüente limpeza natural da atmosfera e superfície do telhamento.

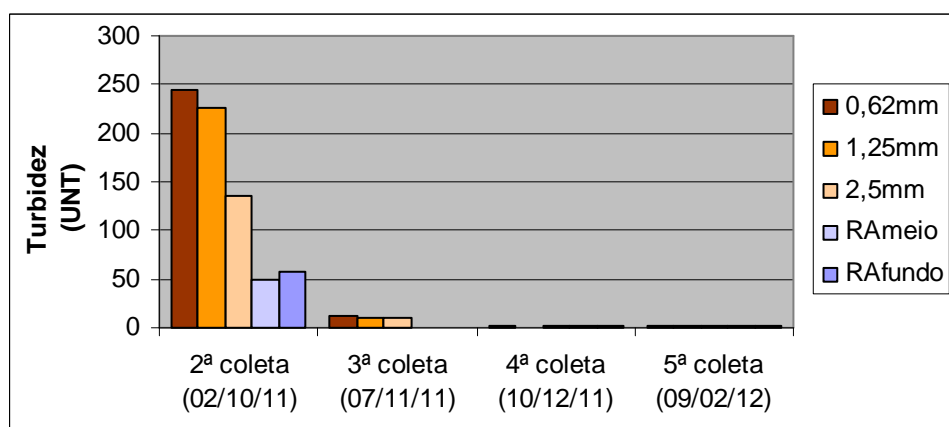


Figura 68: Turbidez da água de chuva após o contato com o telhamento
Fonte: Arquivo pessoal do autor

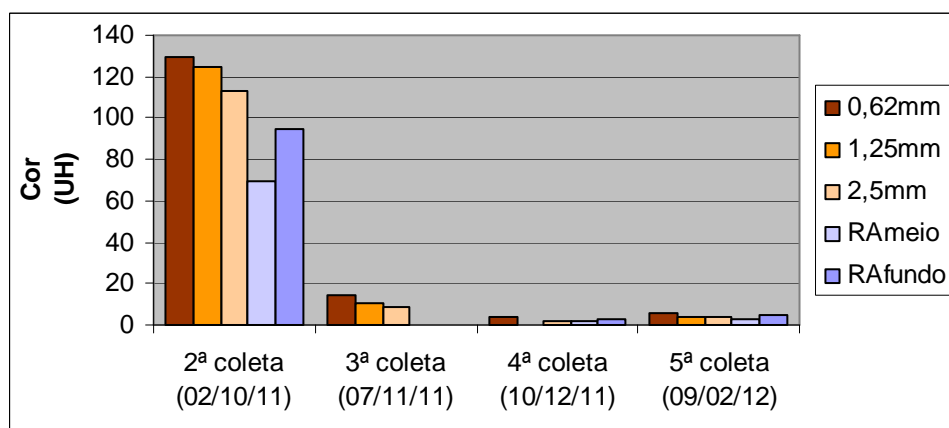


Figura 69: Cor verdadeira da água de chuva após o contato com o telhamento
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Verifica-se que somente a segunda coleta teve redução significativa nos valores de turbidez e cor dos 0,62 mm em relação aos 1,25 mm, deste em relação aos 2,5 mm, e deste em relação à precipitação coletada no meio do reservatório de armazenamento, indicando redução na concentração de poluentes e melhora da qualidade da água que passa pela cobertura no decorrer da precipitação. Observa-se ainda que somente na segunda coleta, os valores de turbidez e cor da água de chuva encontrada no meio do reservatório de armazenamento foram menores do que a água de chuva encontrada no fundo desse reservatório, provavelmente devido à sedimentação de poluentes. Por isso a importância do descarte dos primeiros milímetros de chuva antes de sua utilização e a importância da localização do ponto de coleta o mais próximo possível da superfície do reservatório de armazenamento.

No que se refere aos padrões de qualidade da água para turbidez, pode-se dizer que 50% das coletas permaneceram dentro dos parâmetros da ABNT NBR 15527:2007 para o aproveitamento de água de chuva, e dentro dos parâmetros da Portaria nº 2914/11 do Ministério da Saúde para fins potáveis, que estabelecem valores de turbidez menores que 5 UNT. Quanto à cor verdadeira, verifica-se que 50% das coletas também se mantiveram dentro dos parâmetros recomendados por Sautchuck *et al* (2005), que estabelece valores menores ou iguais a 10 UH, para usos em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais.

4.2.3.5 ACIDEZ / ALCALINIDADE

Durante a pesquisa, o comportamento da acidez e alcalinidade foi semelhante ao que ocorreu para os parâmetros anteriormente analisados. Conforme ilustra as Figuras 70 e 71, a segunda coleta apresentou os maiores valores de acidez e alcalinidade, sendo que a precipitação referente aos 0,62 mm apresentou um pico de 17,8 mg/L de CaCO_3 para acidez e de 17,5 mg/L de CaCO_3 para alcalinidade, muito provavelmente devido à alta concentração de poluentes após o período de estiagem que antecedeu essa coleta; e devido à superfície lisa da telha metálica que permitiu rápida limpeza da cobertura na primeira chuva após o inverno, ou contrário da telha cerâmica onde a limpeza é mais gradativa. Da terceira à quinta coleta, os valores reduziram significativamente, variando entre 1,7 mg/L e 3,4 mg/L de CaCO_3 para acidez e entre 3,1 mg/L e 8,0 mg/L de CaCO_3 para alcalinidade, possivelmente devido ao aumento na frequência de chuvas.

Observa-se que os valores de alcalinidade foram ligeiramente maiores do que os valores de acidez, indicando que o pH das amostras é mais resistente ao ataque de ácidos do que ao ataque de bases.

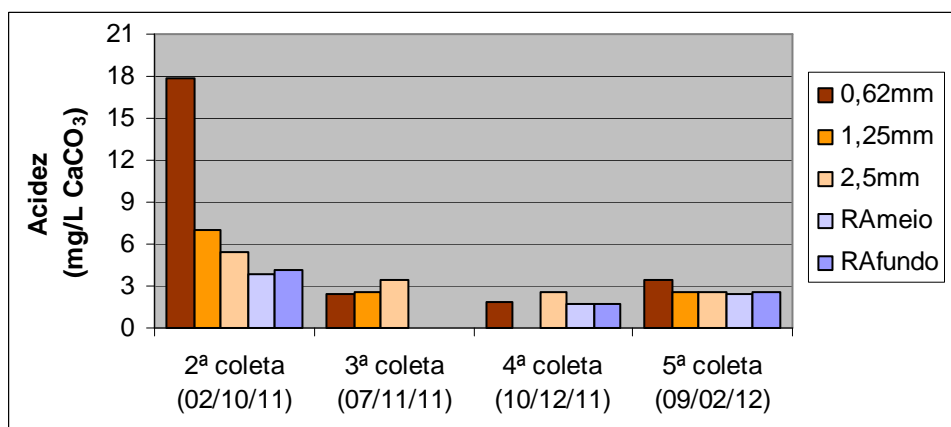


Figura 70: Acidez da água de chuva após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

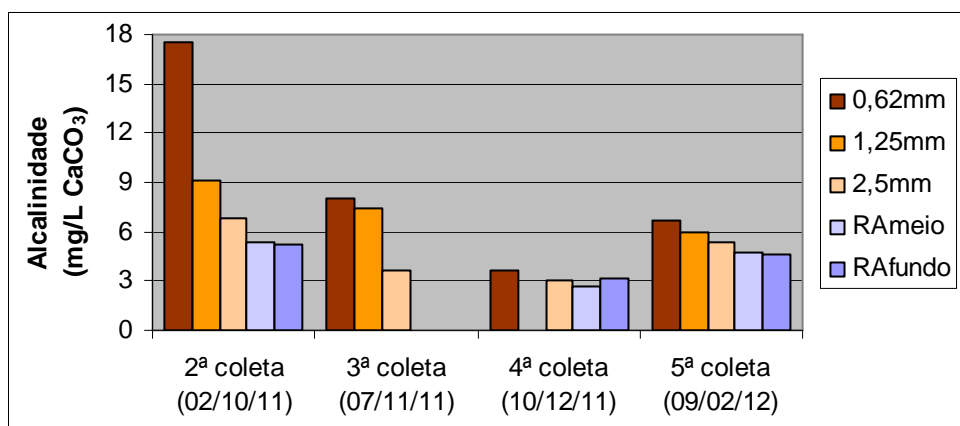


Figura 71: Alcalinidade da água de chuva após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

Na maioria das coletas, observou-se redução da acidez e da alcalinidade dos primeiros milímetros em relação à precipitação coletada no meio do reservatório de armazenamento, indicando a importância do descarte dos primeiros milímetros de chuva antes de sua utilização. Entretanto, foi observada pouca variação nos valores de acidez e alcalinidade das amostras coletadas no meio e no fundo do reservatório de armazenamento, indicando pouca influência da sedimentação na qualidade da água de chuva armazenada logo após a precipitação.

Quanto aos padrões de qualidade da água, pode-se dizer que todas as coletas ficaram dentro dos parâmetros encontrados em Sautchuck *et al* (2005) que recomenda alcalinidade menor que 500 mg/L de CaCO₃ para usos em equipamentos

de ar condicionado e torres de resfriamento. Quanto aos valores de acidez, não foram encontradas indicações para esse parâmetro. E em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para esses parâmetros.

4.2.3.6 DUREZA

Os valores de dureza seguiram comportamento semelhante aos parâmetros anteriormente analisados. Conforme ilustra a Figura 72, a segunda coleta apresentou os maiores valores de dureza, sendo que a precipitação referente aos 0,62 mm apresentou um pico de 52,3 mg/L de CaCO_3 , provavelmente devido à alta concentração de poluentes após o período de estiagem que antecedeu essa coleta; e devido à superfície lisa da telha metálica que permitiu rápida limpeza da cobertura na primeira chuva após o inverno, ou contrário da telha cerâmica onde a limpeza é mais gradativa. Da terceira à quinta coleta, os valores reduziram significativamente, variando entre 2,3 mg/L e 7,0 mg/L de CaCO_3 . Verifica-se que somente a precipitação relativa aos 0,62 mm da segunda coleta pode ser considerada água de dureza moderada, permanecendo na faixa entre 50 e 150 mg/L de CaCO_3 . Todas as demais amostras são consideradas águas moles, com dureza menor que 50 mg/L de CaCO_3 .

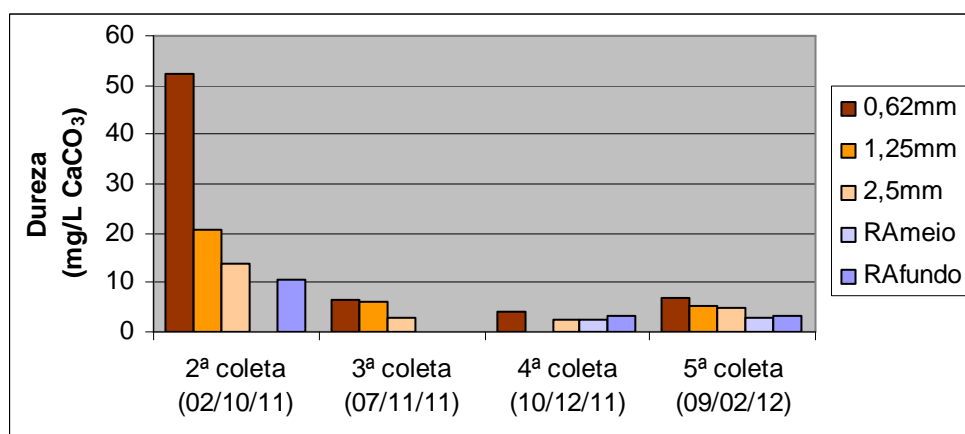


Figura 72: Dureza da água de chuva após o contato com o telhamento
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Em todas as coletas, houve redução nos valores de dureza dos 0,62 mm em relação aos 1,25 mm, deste em relação aos 2,5 mm, e deste em relação à precipitação coletada no meio do reservatório de armazenamento, indicando redução na concentração de sais e melhora da qualidade da água que passa pelo telhamento,

ao longo da precipitação. Entretanto, foi observada pouca variação nos valores de dureza das amostras coletadas no meio e no fundo do reservatório de armazenamento, indicando pouca influência da sedimentação na qualidade da água de chuva armazenada logo após a precipitação.

Quanto aos padrões de qualidade da água, pode-se dizer que todas as coletas ficaram dentro dos parâmetros encontrados em Sautchuck *et al* (2005), que recomenda dureza menor que 850 mg/L de CaCO₃ para usos em equipamentos de ar condicionado e torres de resfriamento. Além disso, todas as coletas também atenderam aos parâmetros fixados pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde que estabelece valores menores ou iguais à 500 mg/L de CaCO₃ para fins potáveis. Em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores dureza.

4.2.3.7 NITROGÊNIO AMONIAL / NITRITO / NITRATO

Durante a pesquisa, as concentrações de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato das precipitações coletadas após o contato com o telhamento seguiram comportamento semelhante aos parâmetros anteriormente analisados. Conforme ilustram as Figuras 73, 74 e 75, a segunda coleta apresentou as maiores concentrações de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato, sendo que a precipitação referente aos 0,62 mm apresentou um pico de 12,9 mg/L para nitrogênio amoniacal, pico de $9,1 \times 10^{-2}$ mg/L para nitrito, e pico de 16,1 mg/L para nitrato, provavelmente devido à alta concentração de poluentes após o período de estiagem que antecedeu essa coleta; e devido à superfície lisa da telha metálica que permitiu rápida limpeza da cobertura na primeira chuva após o inverno, ou contrário da telha cerâmica onde a limpeza é mais gradativa. Da terceira à quinta coleta, as concentrações reduziram significativamente, e ficaram entre 0,5 mg/L e 2,1 mg/L para nitrogênio amoniacal, entre $1,3 \times 10^{-2}$ mg/L e $3,8 \times 10^{-2}$ mg/L para nitrito e entre 0,2 mg/L e 2,2 mg/L para nitrato, possivelmente devido ao aumento na frequência de chuvas. A diferença de ordem de grandeza do parâmetro nitrito em relação ao nitrogênio amoniacal e nitrato está relacionada à acentuada instabilidade deste parâmetro.

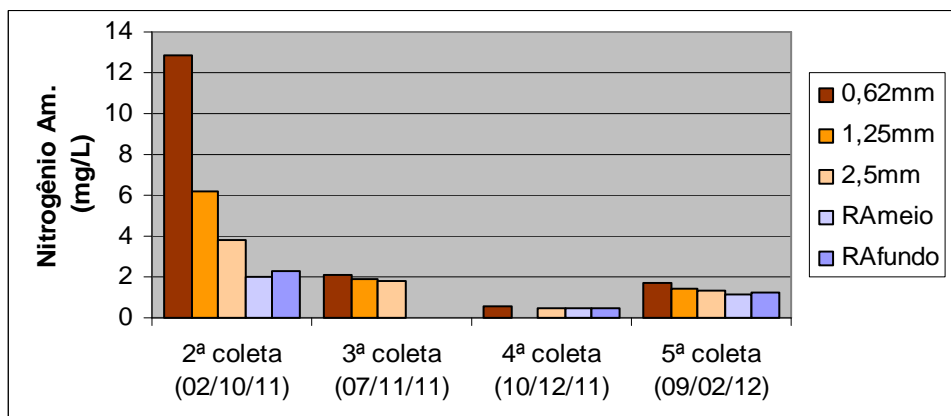


Figura 73: Concentração de nitrogênio amoniacal da água de chuva após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

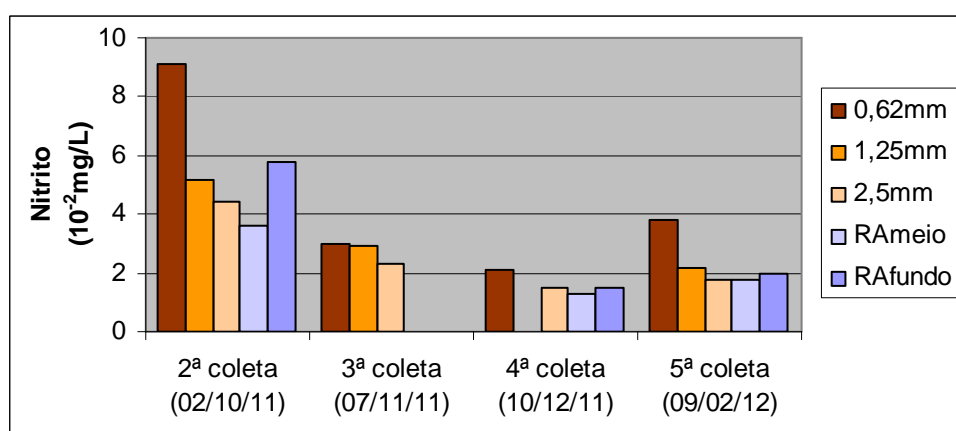


Figura 74: Concentração de nitrito da água de chuva após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

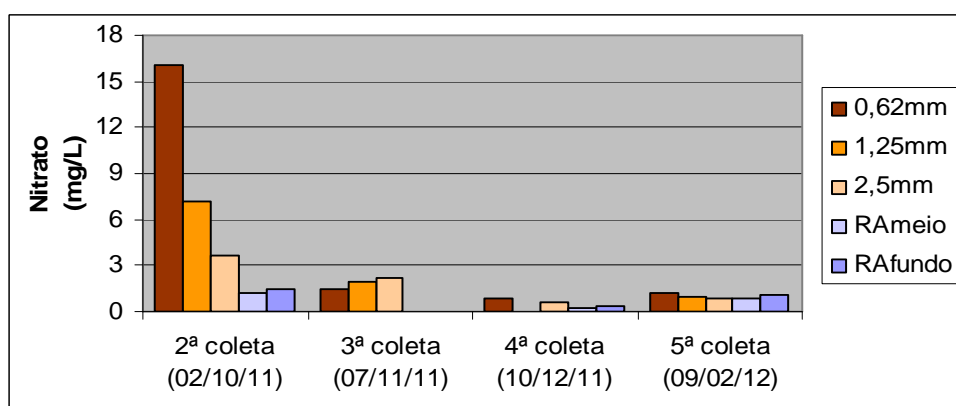


Figura 75: Concentração de nitrato da água de chuva após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

Em todas as coletas, houve redução das concentrações de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato dos 0,62 mm em relação aos 1,25 mm, deste em relação aos 2,5 mm, e deste em relação à precipitação coletada no meio do reservatório de armazenamento, indicando redução nas concentrações de poluentes orgânicos e melhora da qualidade da água que passa pelo telhamento, ao longo da precipitação.

Desse modo, ressalta-se a importância do descarte dos primeiros milímetros de chuva antes de sua utilização. Entretanto, foi observada pouca variação nos valores de nitrogênio, nitrito e nitrato das amostras coletadas no meio e no fundo do reservatório de armazenamento, indicando pouca influência da sedimentação na qualidade da água de chuva armazenada logo após a precipitação.

No que se refere aos padrões de qualidade da água para nitrogênio amoniacal e nitrito, todas as coletas permaneceram dentro dos parâmetros estabelecidos por Sautchuck *et al* (2005), que sugere concentrações de nitrogênio amoniacal menores ou iguais à 20 mg/L e concentrações de nitrito menores ou iguais à 1,0 mg/L, para usos em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais. Com exceção da precipitação referente aos 0,62 mm da segunda coleta, todas as outras também se mantiveram dentro dos parâmetros de nitrato estabelecidos por Sautchuck *et al* (2005), que recomenda concentrações de nitrato menores que 10 mg/L para esses usos. Além disso, as amostras coletadas no reservatório de armazenamento durante a quarta e quinta coletas, também ficaram dentro dos parâmetros fixados pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, que estabelece concentrações de nitrogênio amoniacal menores ou iguais à 1,5 mg/L, concentrações de nitrito menores ou iguais à 1,0 mg/L, e concentrações de nitrato menores ou iguais à 10,0 mg/L para fins potáveis. Em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato.

4.2.3.8 SULFATO

As concentrações de sulfato das precipitações coletadas após o contato com o telhamento seguiram tendência semelhante aos parâmetros anteriormente analisados. Entretanto, em todas as coletas essas concentrações foram muito baixas (inferiores à 0,03 mg/L), indicando ausência quase total de compostos sulfatados. Conforme ilustra a Figura 76, a segunda coleta apresentou os maiores valores de sulfato, sendo que a precipitação relativa aos 0,62 mm apresentou um pico de $23,3 \times 10^{-3}$ mg/L. Da terceira à quinta coleta, os valores reduziram significativamente, variando entre 1,6 mg/L e 4,3 mg/L, possivelmente devido ao aumento na frequência de chuvas.

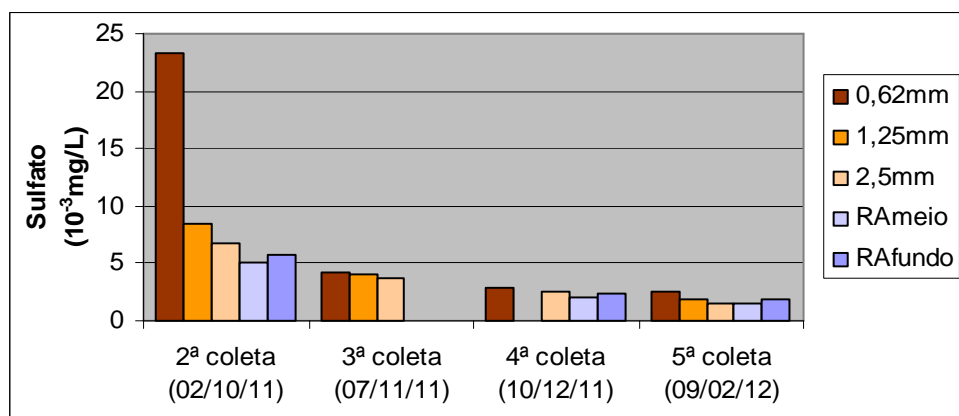


Figura 76: Concentrações de sulfato da água de chuva após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

Verifica-se ainda que em todas as coletas houve redução das concentrações de sulfato dos 0,62 mm em relação aos 1,25 mm, deste em relação aos 2,5 mm, e deste em relação à precipitação coletada no meio do reservatório de armazenamento, indicando redução das concentrações de compostos sulfatados e melhora da qualidade da água que passa pelo telhamento, ao longo da precipitação. Entretanto, houve pouca variação nos valores sulfato das amostras coletadas no meio e no fundo do reservatório de armazenamento, indicando pouca influência da sedimentação na qualidade da água de chuva armazenada logo após a precipitação.

No que se refere aos padrões de qualidade da água, verificou-se que as concentrações de sulfato de todas as coletas permaneceram bem abaixo dos valores máximos fixados pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, que estabelece concentrações menores que 250 mg/L para fins potáveis. Além disso, esses valores também permaneceram bem abaixo dos parâmetros encontrados em Sautchuck *et al* (2005) que recomenda concentrações de sulfato menores que 680 mg/L de CaCO₃ para usos em equipamentos de ar condicionado e torres de resfriamento. Em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de sulfato.

4.2.3.9 CLORETO

De acordo com a Figura 77, verifica-se que da segunda à quarta coleta houve um aumento gradativo nas concentrações de cloreto que variaram entre 0,3 mg/L e 1,2 mg/L.; e na quinta coleta houve pequena redução que variou entre 0,3 mg/L e 0,7 mg/L. Embora não tenha sido possível identificar a causa do aumento nos valores de

cloreto entre a segunda e quarta coletas, uma análise mais aprofundada fica prejudicada em função da pequena ordem de grandeza e da quantidade limitada de coletas realizadas.

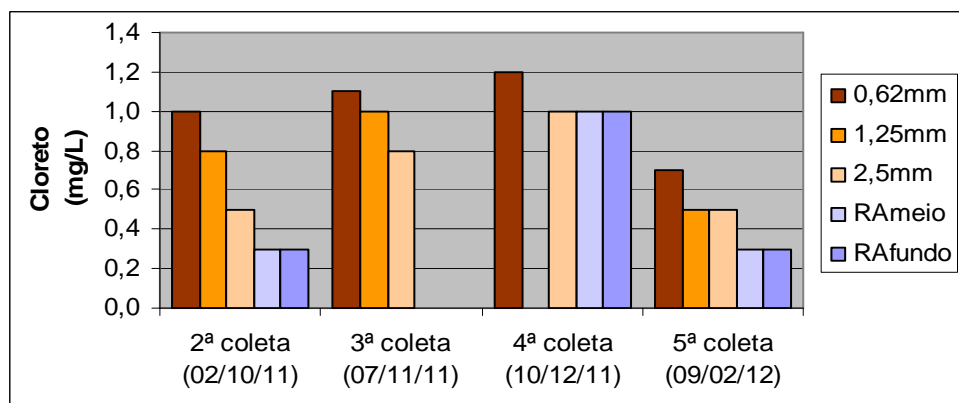


Figura 77: Concentrações de cloreto da água de chuva após o contato com o telhamento
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Apesar disso, pode-se observar que em todas as coletas houve redução das concentrações de cloreto dos 0,62 mm em relação aos 1,25 mm, deste em relação aos 2,5 mm, e deste em relação à precipitação coletada no meio do reservatório de armazenamento, indicando redução na concentração de sais e melhora da qualidade da água que passa pelo telhamento durante a precipitação. Entretanto, foi observada pouca variação nos valores cloreto das amostras coletadas no meio e no fundo do reservatório de armazenamento, indicando pouca influência da sedimentação de sais na qualidade da água de chuva armazenada logo após a precipitação.

Quanto aos padrões de qualidade da água, verificou-se que as concentrações de cloreto de todas as coletas permaneceram bem abaixo dos valores máximos fixados pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, que estabelece concentrações menores que 250 mg/L para fins potáveis. Em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de cloreto.

4.2.3.10 FÓSFORO

De acordo com a Figura 78, verifica-se que a segunda e a terceira coletas apresentaram as maiores concentrações de fósforo, ficando entre $2,6 \times 10^{-2}$ mg/L e $8,5 \times 10^{-2}$ mg/L na segunda, e entre $2,0 \times 10^{-2}$ mg/L e $46,3 \times 10^{-2}$ mg/L na terceira

coleta. Da terceira à quinta coleta, os valores reduziram significativamente, variando entre $0,8 \times 10^{-2}$ mg/L e $2,9 \times 10^{-2}$ mg/L. Embora não tenha sido possível identificar a causa do aumento nos valores de fósforo entre a segunda e terceira coletas, uma análise mais aprofundada fica prejudicada em função da pequena ordem de grandeza e da quantidade limitada de coletas realizadas.

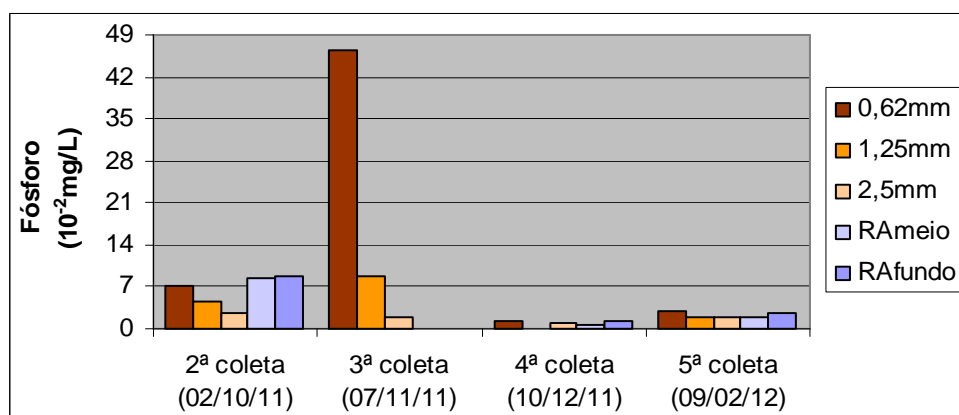


Figura 78: Fósforo da água de chuva após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

Observa-se que na maioria das coletas houve redução dos 0,62 mm de precipitação em relação aos 1,25 mm, deste em relação aos 2,5 mm, e deste em relação à precipitação coletada no meio do reservatório de armazenamento, indicando redução na concentração de poluentes e melhora na qualidade da água que passa pelo telhamento ao longo da precipitação. Entretanto, não foram observadas variações significativas nos valores fósforo das amostras coletadas no meio e no fundo do reservatório de armazenamento, indicando pouca influência da sedimentação na qualidade da água de chuva armazenada logo após a precipitação.

Em relação aos padrões de qualidade da água observa-se que, com exceção da precipitação relativa aos 0,62 mm da terceira coleta, todas as outras permaneceram dentro dos parâmetros encontrados em Sautchuck *et al* (2005) que recomenda concentrações menores ou iguais a 0,1 mg/L de fósforo para usos em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais. Em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de fósforo.

4.2.3.11 SÓLIDOS TOTAIS / SÓLIDOS DISSOLVIDOS / SÓLIDOS SUSPENSOS

Conforme ilustram as Figuras 79 e 81, observa-se que as concentrações de sólidos

totais e suspensos reduziram da segunda à terceira coleta e aumentaram da terceira à quinta coleta, variando entre 125 mg/L e 804 mg/L para sólidos totais e entre 9 mg/L e 686 mg/L para sólidos suspensos. Já as concentrações de sólidos dissolvidos, aumentaram da segunda à quarta e coleta; e reduziram da quarta à quinta coleta, variando entre 62 mg/L e 345 mg/L, conforme ilustra a Figura 80.

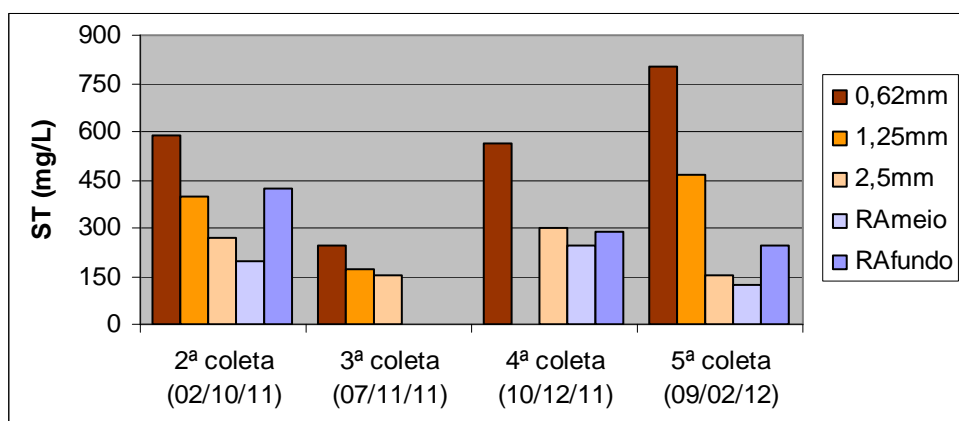


Figura 79: Sólidos Totais da água de chuva após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

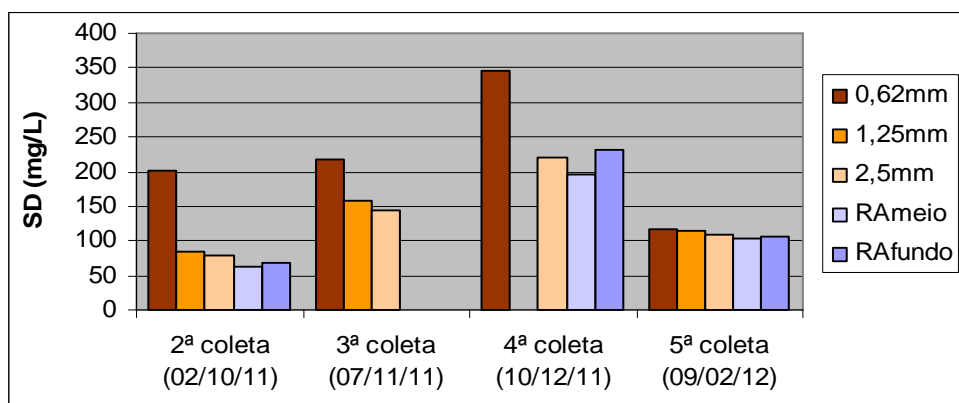


Figura 80: Sólidos Dissolvidos da água de chuva após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

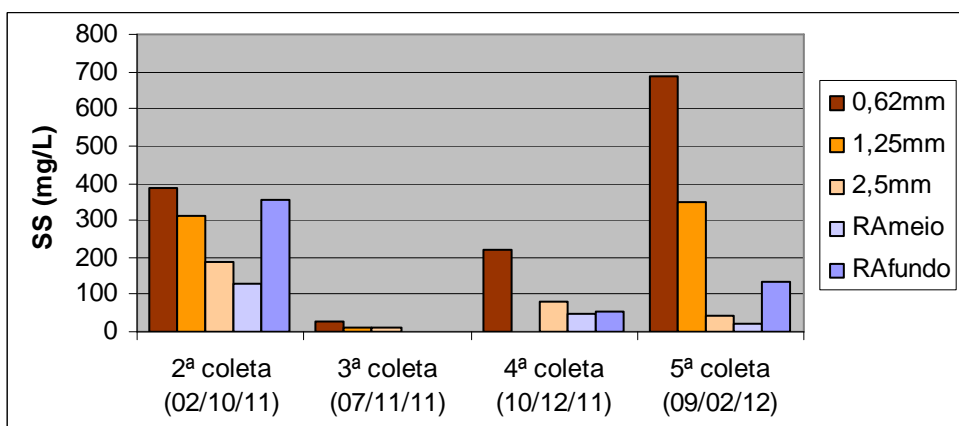


Figura 81: Sólidos Suspensos da água de chuva após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

Nas coletas em que a concentração de sólidos suspensos foi maior do que a concentração de sólidos dissolvidos, pode-se afirmar que a matéria inorgânica prevalece sobre a matéria orgânica. Isso evidencia a elevada influência que os ventos geram na deposição seca, uma vez que o telhamento do bloco de aula 50 encontra-se em uma altura superior a copa das árvores vizinhas à edificação.

Em todas as coletas houve redução das concentrações de sólidos totais, dissolvidos e suspensos dos 0,62 mm em relação aos 1,25 mm, deste em relação aos 2,5 mm, e deste em relação à precipitação coletada no meio do reservatório de armazenamento, indicando redução na concentração de sólidos e melhora da qualidade da água que passa pelo telhamento, ao longo da precipitação. É interessante ressaltar que esse foi um dos únicos parâmetros onde foi possível observar com maior nitidez a influência da sedimentação na qualidade da água armazenada logo após a precipitação. De acordo com as Figuras 79, 80 e 81 observa-se que a precipitação coletada no meio do reservatório de armazenamento possui concentrações menores de sólidos do que aquela coletada no fundo desse reservatório, indicando melhora da qualidade da água provavelmente devido à sedimentação de poluentes. Assim, confirma-se a importância do descarte dos primeiros milímetros de chuva antes de sua utilização e a importância da localização do ponto de coleta o mais próximo possível da superfície do reservatório de armazenamento.

Em relação aos padrões de qualidade da água para sólidos dissolvidos, todas as coletas permaneceram dentro dos parâmetros encontrados em Sautchuck *et al* (2005) que sugere concentrações menores ou iguais a 500 mg/L para usos em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais. Além disso, as concentrações de sólidos dissolvidos também atenderam aos parâmetros fixados pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, que estabelece concentrações menores ou iguais a 1000 mg/L, para fins potáveis. Quanto às concentrações de sólidos totais e suspensos, não foram encontradas indicações para esses parâmetros. Em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de sólidos.

4.2.3.12 OXIGÊNIO DISSOLVIDO – OD

De acordo com a Figura 82, verifica-se que a segunda coleta apresentou as maiores concentrações de oxigênio dissolvido, variando entre 9,8 mg/L e 15,1 mg/L de O₂. A partir da terceira coleta observa-se redução gradativa desses valores que variaram entre 6,6 mg/L e 10,4 mg/L de O₂, muito provavelmente devido ao aumento de temperatura das precipitações verificado ao longo do período das coletas.

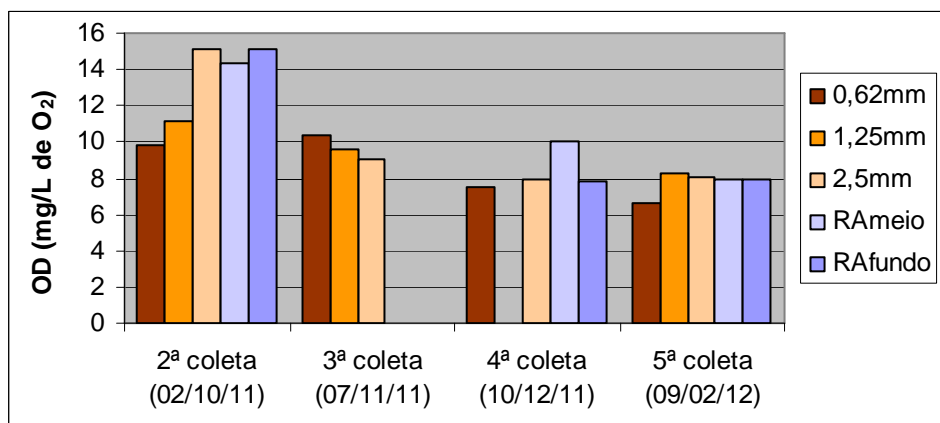


Figura 82: Oxigênio Dissolvido da água de chuva após o contato com o telhamento
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Em relação à variação de OD individualmente em cada coleta, o comportamento não monotônico dos valores encontrados prejudica uma análise mais aprofundada. Quanto aos padrões de qualidade da água, não foram encontradas indicações para valores de oxigênio dissolvido.

4.2.3.13 DQO / DBO

Durante a pesquisa, o comportamento da DBO foi semelhante ao da DQO. Conforme ilustra a Figura 83, a segunda e terceira coletas apresentaram as maiores concentrações de DQO, ficando entre 29,1 mg/L e 83 mg/L de O₂ na segunda coleta, e entre 64,4 mg/L e 84,4 mg/L de O₂ na terceira. Conforme ilustra a Figura 84, a segunda e terceira coletas também apresentaram as maiores concentrações de DBO, variando entre 17,2 mg/L e 40,0 mg/L de O₂ na segunda coleta e entre 7,7 mg/L e 29,5 mg/L de O₂ na terceira. Da terceira à quinta coleta, os valores de DQO e DBO reduziram significativamente, variando entre 12,2 mg/L e 30,0 mg/L de O₂ para DQO e entre 3,0 mg/L e 7,6 mg/L de O₂ para DBO. Observa-se que a relação DQO/DBO foi de aproximadamente 1,96 e 4,08, respectivamente, para a 2ª e 3ª coleta. Pode-se dizer que esse acréscimo é devido à redução gradual da fração

biodegradável, visto que a porção inerte permanece aproximadamente inalterada.

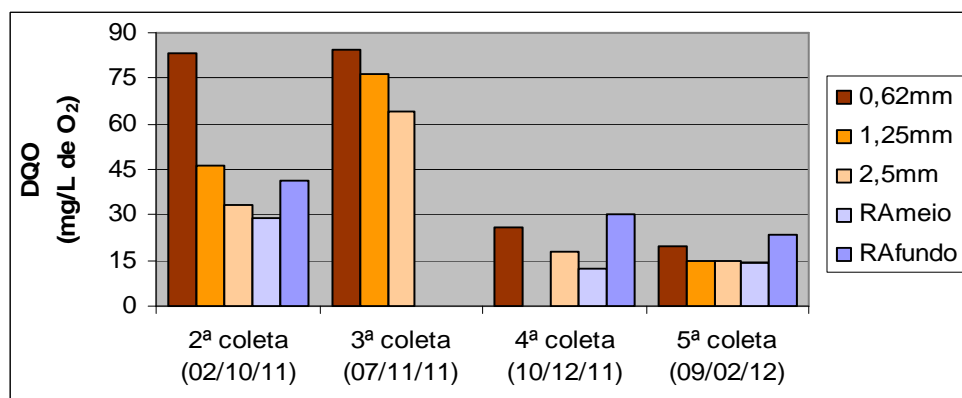


Figura 83: DQO da água de chuva após o contato com o telhamento
Fonte: Arquivo pessoal do autor

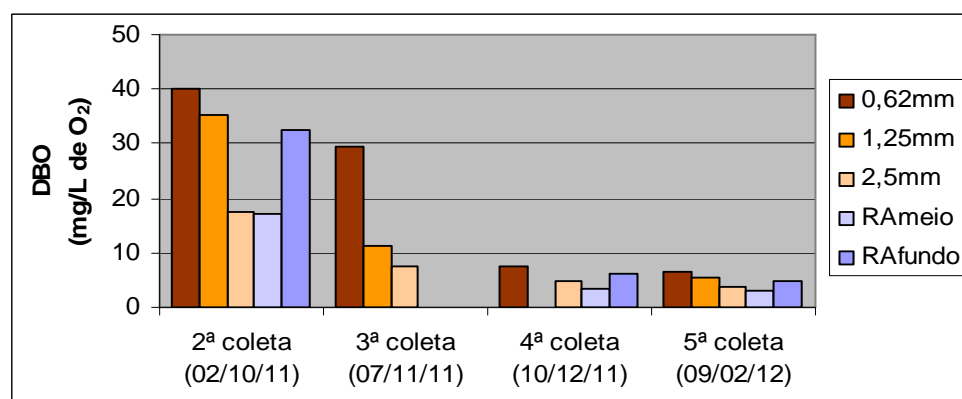


Figura 84: DBO da água de chuva após o contato com o telhamento
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Em todas as coletas, houve redução dos valores de DQO e DBO da precipitação referente aos 0,62 mm em relação aos 1,25 mm, deste em relação aos 2,5 mm, e deste em relação à precipitação coletada no meio do reservatório de armazenamento, indicando redução na concentração de matéria orgânica e melhora da qualidade da água que passa pelo telhamento, ao longo da precipitação. Além disso, observa-se também que a precipitação coletada no fundo do reservatório de armazenamento possui valores de DQO e DBO maiores do que aquela coletada no meio desse reservatório, provavelmente devido à adsorção de matéria orgânica junto aos sólidos suspensos. Pode-se dizer que esses parâmetros também confirmaram a importância do descarte dos primeiros milímetros de chuva antes de sua utilização e a importância da localização do ponto de coleta o mais próximo possível da superfície do reservatório de armazenamento.

Quanto aos padrões de qualidade da água para DBO, observa-se que 50% das

coletas permaneceu dentro dos parâmetros encontrados em Sautchuck *et al* (2005) e em USEPA (2004) que sugerem concentrações de DBO menores ou iguais a 10 mg/L para usos em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais. Quanto às concentrações de DQO, não foram encontradas indicações para esse parâmetro. Em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de DQO e DBO.

4.2.3.14 COLIFORMES FECAIS / *ESCHERICHIA COLI*

Em nenhuma das precipitações coletadas após o contato com telhamento foi detectada a presença de Coliformes Fecais e *Escherichia Coli*, indicando provável ausência de contaminação microbiológica por origem fecal.

Quanto aos padrões de qualidade da água, pode-se afirmar que todas as coletas permaneceram dentro dos parâmetros fixados pela ABNT NBR 15527:2007, que estabelece ausência de Coliformes Termotolerantes em 100 mL de amostra, para aproveitamento de água de chuva com fins não potáveis. Todas as amostras também atenderam aos parâmetros encontrados em Sautchuck *et al* (2005), que recomenda concentrações não detectáveis de Coliformes Fecais para usos em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais.

4.2.4 COMPARAÇÃO DA QUALIDADE DA CHUVA COLETADA DIRETAMENTE DA ATMOSFERA E APÓS O CONTATO COM O TELHAMENTO

Nessa etapa da pesquisa, os primeiros 1 mm, 2 mm e 3 mm de precipitação coletados diretamente da atmosfera (deposição úmida) foram comparados com os primeiros 0,62 mm, 1,25 mm e 2,5 mm de precipitação coletados após o contato com o telhamento (deposição seca). O objetivo de se comparar os primeiros milímetros de precipitação coletados diretamente da atmosfera e após o contato com o telhamento foi verificar de que modo os poluentes acumulados no telhamento ao longo do tempo influenciam na qualidade da água a ser aproveitada.

Durante a comparação serão analisados os seguintes parâmetros: temperatura, condutividade, acidez, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, sulfatos e cloretos. Como já mencionado anteriormente, a quantidade limitada de água de chuva coletada diretamente da atmosfera inviabilizou a análise de outros parâmetros.

4.2.4.1 TEMPERATURA

Conforme ilustra Figura 85, verifica-se que o valor deste parâmetro após o contato com o telhamento teve um comportamento semelhante ao das chuvas coletadas diretamente da atmosfera, apresentando pequeno aumento ao longo do período das coletas, provavelmente influenciado pelas estações do ano.

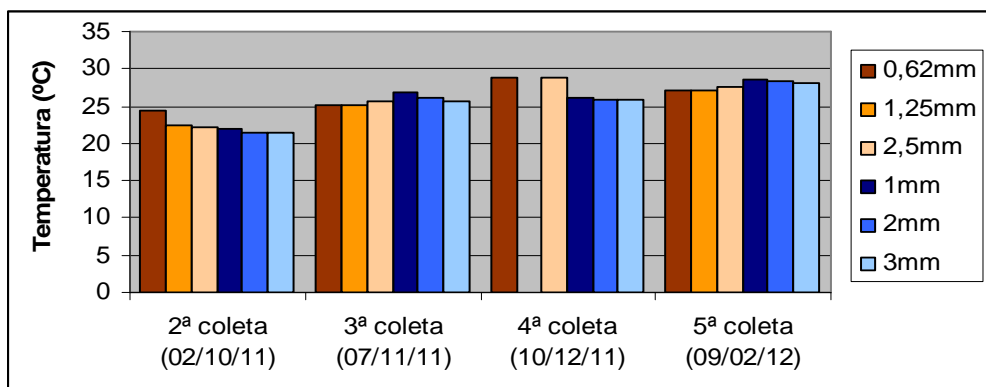


Figura 85: Temperatura da chuva coletada direto atmosfera e após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

4.2.4.2 CONDUTIVIDADE

Nota-se que os valores de condutividade da precipitação coletada diretamente da atmosfera e após o contato com o telhamento variaram ao longo do período das coletas de maneira proporcional, conforme ilustra a Figura 86.

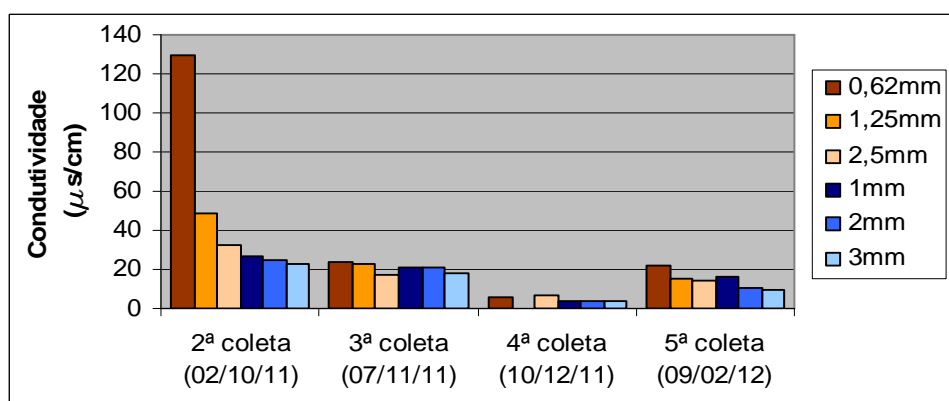


Figura 86: Condutividade da chuva coletada direto da atmosfera e após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

Na segunda coleta, verifica-se que principalmente a precipitação referente aos 0,62 mm após o contato com o telhamento apresentou valores de condutividade bem maiores que a precipitação coletada diretamente da atmosfera. Entretanto, é interessante observar que essa diferença diminui significativamente nas demais coletas, indicando que somente após longo período de estiagem, a deposição seca

reduz a qualidade da precipitação de maneira significativa.

4.2.4.3 ACIDEZ / NITROGÊNIO AMONIACAL / NITRITO / NITRATO / SULFATO

Semelhante ao que ocorreu para os valores de condutividade, nota-se que os resultados de acidez, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e sulfato da precipitação coletada diretamente da atmosfera e após o contato com o telhamento variaram ao longo do período das coletas de maneira proporcional, conforme ilustram as Figuras 87, 88, 89, 90 e 91. Na segunda coleta, observa-se que a precipitação após o contato com o telhamento apresenta valores de acidez, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato e sulfato muito maiores que a precipitação coletada diretamente da atmosfera. Entretanto, é interessante observar que essa diferença diminui significativamente nas demais coletas, indicando que somente após longo período de estiagem, a deposição seca reduz a qualidade da precipitação de maneira significativa.

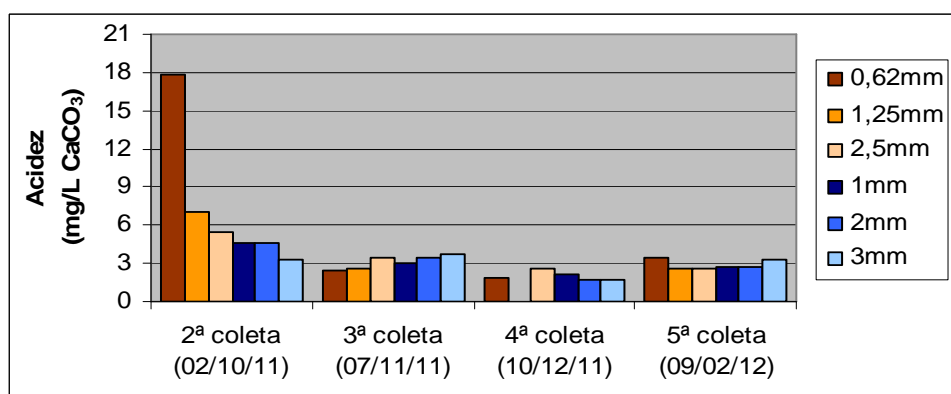


Figura 87: Acidez da chuva coletada direto atmosfera e após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

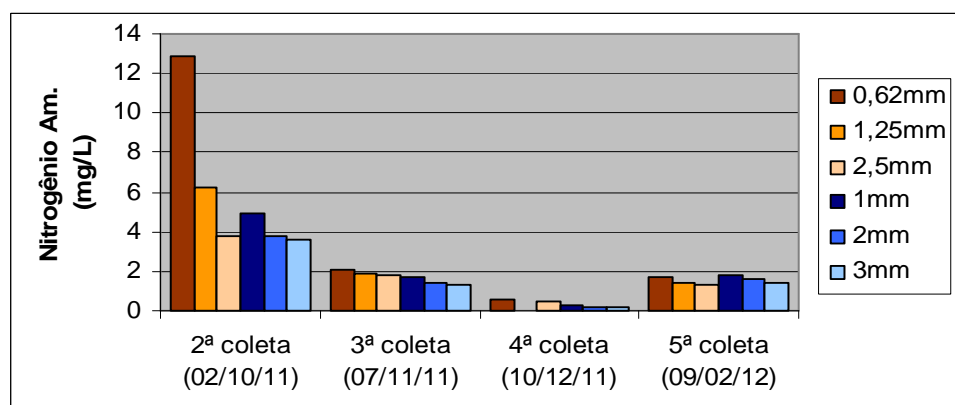


Figura 88: Nitrogênio Amoniacal da chuva coletada direto da atmosfera e após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

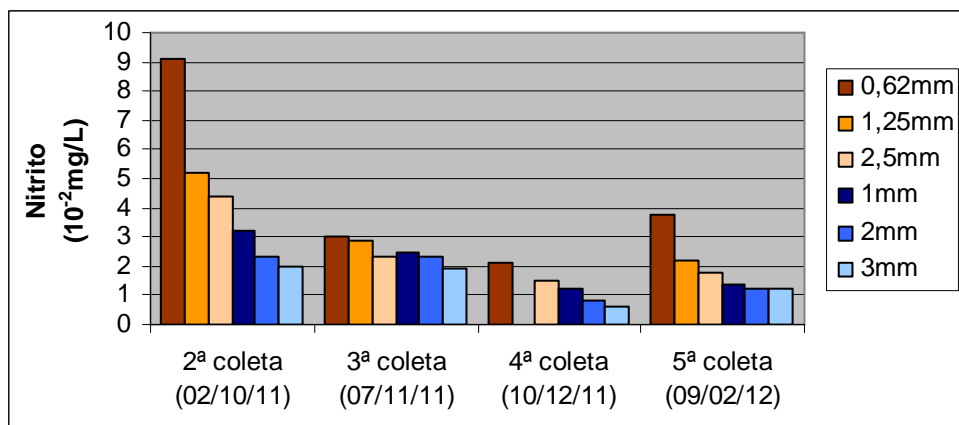


Figura 89: Nitrito da chuva coletada direto da atmosfera e após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

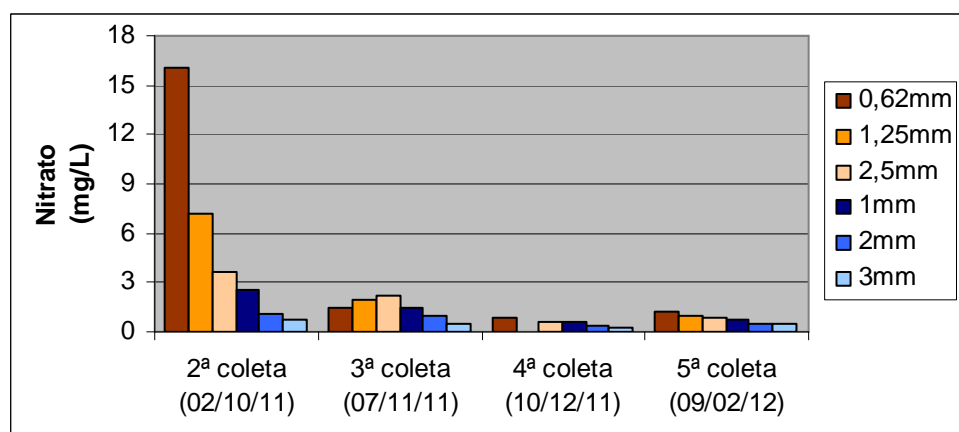


Figura 90: Nitrato da chuva coletada direto da atmosfera e após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

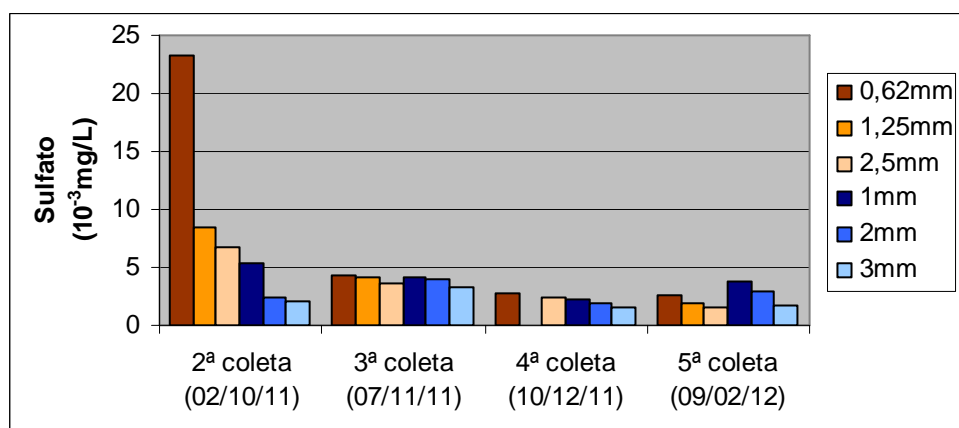


Figura 91: Sulfato da chuva coletada direto da atmosfera e após o contato com o telhamento
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

4.2.4.4 CLORETO

Através da Figura 92, verifica-se que as concentrações de cloreto das amostras coletadas diretamente da atmosfera e após o contato com o telhamento variaram de maneira proporcional ao longo do período das coletas. Observa-se que na maioria

das vezes, as amostras dos primeiros milímetros após contato com o telhamento apresentaram concentrações de cloreto levemente superiores às amostras coletadas diretamente da atmosfera, indicando que a deposição seca não interfere de maneira muito significativa nas concentrações de cloreto da precipitação coletada na cidade em estudo.

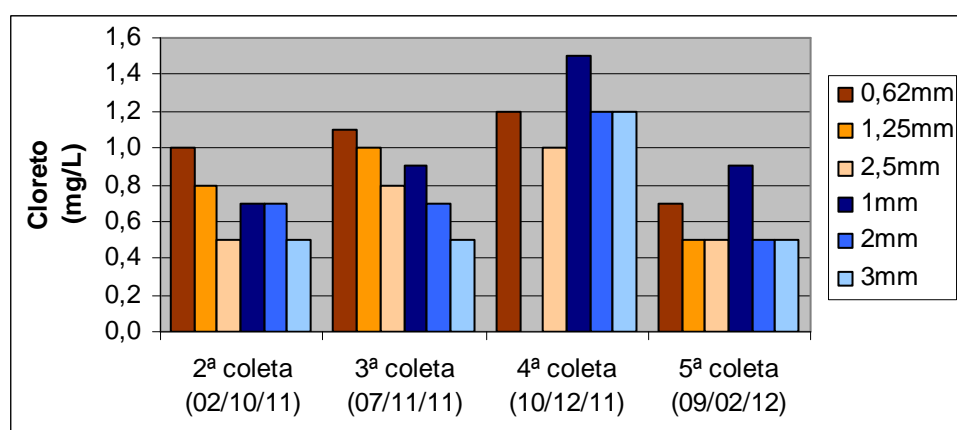


Figura 92: Cloreto da chuva coletada direto da atmosfera e após o contato com o telhamento
Fonte: Arquivo pessoal do autor

4.2.5 CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA DO RESERVATÓRIO DE ARMAZENAMENTO AO LONGO DO TEMPO

Nessa etapa da pesquisa foram coletadas amostras de água de chuva encontradas no meio e no fundo do reservatório de armazenamento durante o dia da precipitação e após alguns dias de retenção. Como mencionado anteriormente, o objetivo de se realizar a coleta no meio e fundo do reservatório de armazenamento foi avaliar a influência da sedimentação natural de poluentes na qualidade da água armazenada, definindo o melhor ponto de coleta. Já o objetivo das coletas realizadas ao longo do tempo foi avaliar a influência do tempo de retenção na qualidade da água de chuva e verificar possível proliferação de microorganismos presentes nessa água após passar pelo telhamento.

Na primeira coleta, não foi possível retirar amostras do reservatório de armazenamento, visto que o aparato experimental para caracterização da água de chuva após o contato com o telhamento ainda não tinha sido montado. Durante a segunda coleta, foram retiradas amostras do meio e do fundo reservatório de armazenamento no dia da precipitação e após 10 e 20 dias de armazenamento. Na terceira coleta, novamente não foi possível coletar amostras do reservatório de

armazenamento, visto que houve rompimento na tubulação que conduzia a água de chuva à esse reservatório. Durante a quarta e quinta coletas, foram coletadas amostras no meio e no fundo do reservatório de armazenamento, no dia da precipitação e após 10 dias de armazenamento, normalmente conforme o previsto.

Durante a caracterização da água de chuva ao longo do tempo de retenção serão analisados os seguintes parâmetros: temperatura, pH, condutividade, turbidez, cor verdadeira, acidez, alcalinidade, dureza, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, sulfato, cloretos, fósforo total, ST, SDT, SST, oxigênio dissolvido (OD), DBO, DQO, Coliformes totais e *Escherichia Coli*. Todos os resultados referentes a este item estão descritos integralmente no Anexo F.

4.2.5.1 TEMPERATURA

De acordo com a Figura 93, verifica-se que a temperatura da água coletada no meio e no fundo do reservatório de armazenamento variou entre 20°C e 30°C durante o período das coletas. Durante a segunda coleta, a temperatura da água ficou entre 21,8°C e 21,9°C; teve um aumento após 10 dias de armazenamento chegando a 30,2°C; e reduziu após 20 dias de armazenamento ficando entre 24,4°C e 24,7 °C. Durante a terceira coleta, a temperatura ficou em torno de 28,6°C e teve uma pequena redução após 10 dias de armazenamento, variando entre 27,4°C e 27,6°C. Durante a quinta coleta, a temperatura da precipitação ficou em torno de 27,4°C e também teve uma pequena redução após 10 dias de armazenamento, ficando entre 25,0°C e 25,8°C.

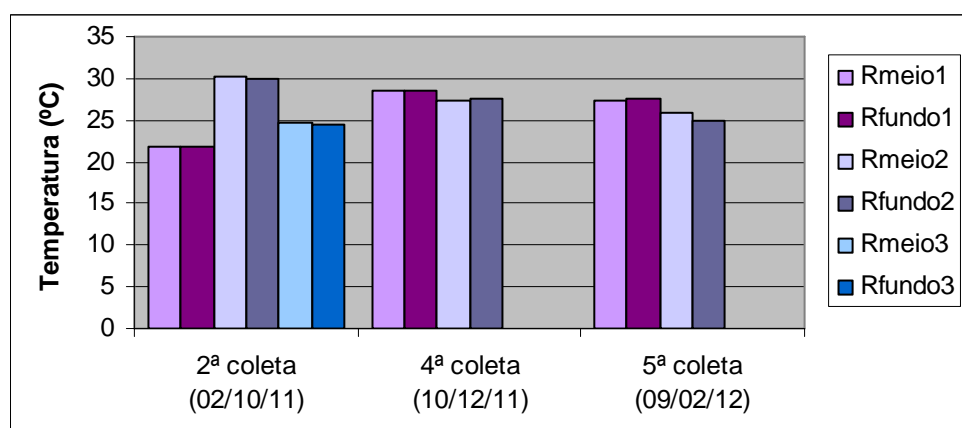


Figura 93: Temperatura da água de chuva armazenada ao longo do tempo
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Ainda de acordo com Figura 93, verifica-se que a temperatura da água de chuva

coletada no reservatório de armazenamento no dia da precipitação (Rmeio1 e Rfundo1) aumentou ao longo do período as coletas. Já a temperatura da água durante o período de retenção (Rmeio2, Rfundo2, Rmeio3 e Rfundo3), não apresentou uma tendência única de variação, o que provavelmente ocorreu devido às variações atmosféricas diárias de temperatura, visto que o reservatório de armazenamento foi instalado em área externa ao bloco 5O (ver Figura 49).

4.2.5.2 POTENCIAL HIDROGENIÔNICO - PH

Conforme ilustra a Figura 94, verifica-se que em geral, o pH da água coletada no reservatório de armazenamento no dia da precipitação (Rmeio1 e Rfundo1), teve pequena variação em relação aos 10 dias de armazenamento (Rmeio2 e Rfundo2). A única exceção foi a segunda coleta, visto que o pH da água no dia da precipitação estava em torno de 5,5; após 10 dias de armazenamento aumentou para 6,8 e 7,1; e após 20 dias de armazenamento estabilizou entre 6,5 e 6,6. Nas demais coletas, o pH da água no dia da precipitação e após 10 dias de armazenamento ficou entre 6,1 e 6,8.

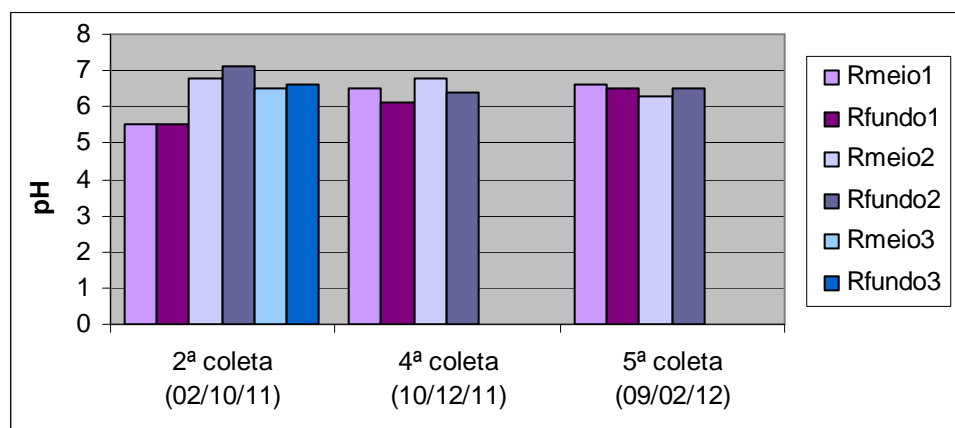


Figura 94: pH da água de chuva armazenada ao longo do tempo
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Em relação aos padrões de qualidade da água, observa-se que durante a segunda coleta, o pH da água no dia da precipitação não atendeu a nenhuma das normas, entretanto após 10 e 20 dias de armazenamento o pH estabilizou dentro da faixa fixada pela ABNT NBR 15527:2007, que indica valores entre 6,0 e 8,0 para o aproveitamento de água de chuva com finalidade não potável. Além disso, esses resultados também ficaram dentro dos parâmetros do CONAMA nº 274/00 referente à balneabilidade; e dentro dos parâmetros da Portaria nº2914/11 do Ministério da

Saúde, que estabelece valores entre 6,0 e 9,5 para fins potáveis. Quanto às demais coletas, todas se mantiveram dentro desses parâmetros.

4.2.5.3 CONDUTIVIDADE

Durante a pesquisa, a condutividade da segunda coleta apresentou os maiores valores, variando entre 24,0 $\mu\text{s/cm}$ e 26,1 $\mu\text{s/cm}$, conforme ilustra a Figura 95. A partir da segunda coleta esses valores reduziram significativamente ficando entre 3,9 $\mu\text{s/cm}$ e 5,6 $\mu\text{s/cm}$ na quarta coleta, e entre 13,2 $\mu\text{s/cm}$ e 14,8 $\mu\text{s/cm}$ na quinta coleta. Embora os resultados de condutividade tenham apresentado variações durante o período das coletas, verifica-se que não houveram variações significativas ao longo do período de retenção.

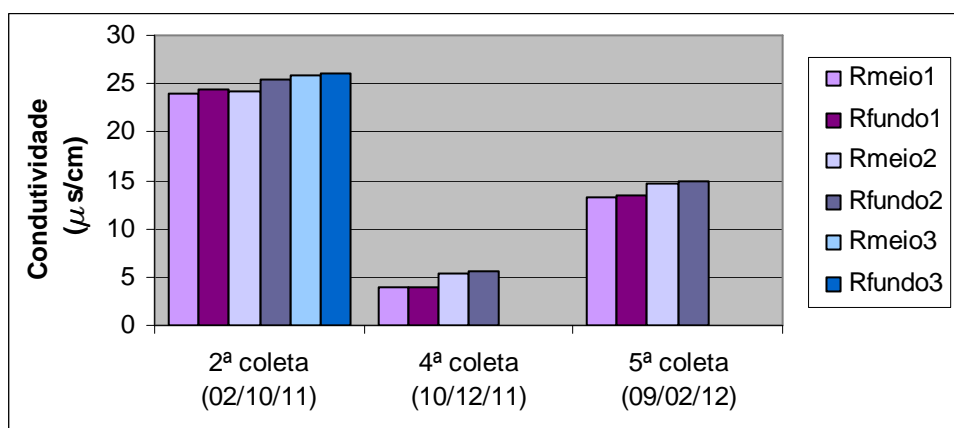


Figura 95: Condutividade da água de chuva armazenada ao longo do tempo
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Em relação aos padrões de qualidade da água, não foram encontradas indicações para valores de condutividade.

4.2.5.4 TURBIDEZ / COR VERDADEIRA

Pode-se dizer que os valores de turbidez e cor das precipitações coletadas no reservatório de armazenamento, apresentaram comportamentos semelhantes. Conforme ilustra as Figuras 96 e 97, verifica-se que os valores de turbidez e cor da segunda coleta apresentaram as maiores variações, visto que no dia da precipitação, os resultados das amostras ficaram entre 56,7 UNT e 49,1 UNT para turbidez e entre 94,5 UH e 69,5 UH para cor; entretanto após 10 e 20 dias de armazenamento os valores reduziram significativamente, ficando entre 0,9 UNT e 1,9 UNT para turbidez e entre 1,3 UH e 4,7 UH para cor. Nas demais coletas, os valores permaneceram baixos, variando entre 0,9 UNT e 1,9 UNT para turbidez e

entre 1,3 UH e 4,7 UH para cor, provavelmente pelo aumento na frequência de chuvas e limpeza da superfície do telhamento.

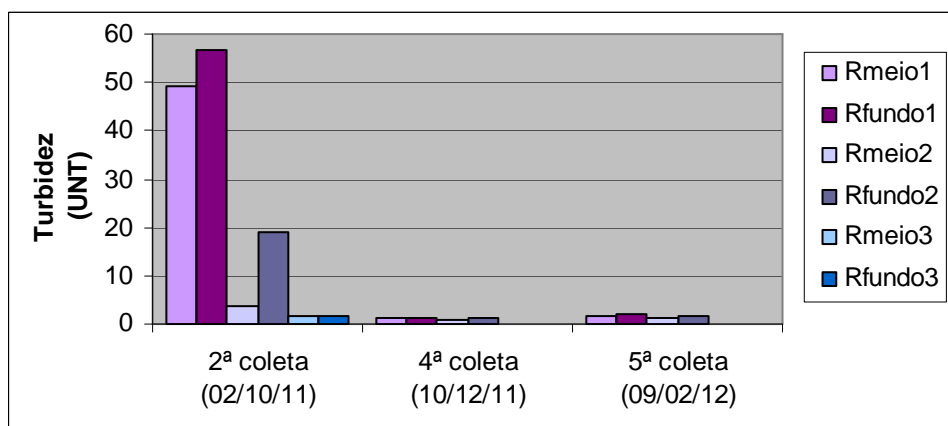


Figura 96: Turbidez da água de chuva armazenada ao longo do tempo
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

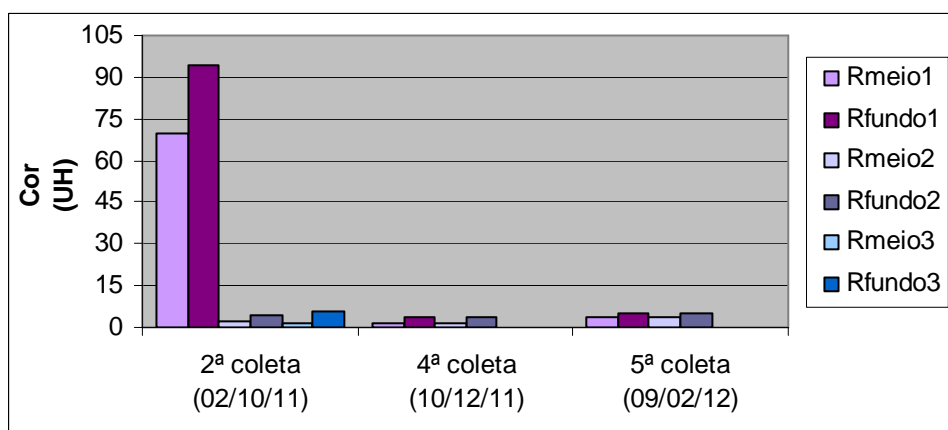


Figura 97: Cor verdadeira da água de chuva armazenada ao longo do tempo
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

Em todas as coletas verificou-se que a água coletada no meio do reservatório de armazenamento no dia da precipitação apresentou turbidez e cor menor do que aquela coletada após 10 dias de armazenamento, indicando melhora da qualidade da água ao longo do tempo, no que diz respeito a esses parâmetros.

Em relação aos padrões de qualidade da água verificou-se que, durante a segunda coleta, os valores de turbidez e cor das amostras coletadas no meio do reservatório de armazenamento no dia da precipitação, não atendeu a nenhuma das normas. Entretanto após 10 e 20 dias de retenção, esses resultados estabilizaram dentro da faixa fixada pela ABNT NBR 15527:2007 para o aproveitamento de água de chuva, e pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde para fins potáveis, que estabelecem valores menores que 5 UNT para turbidez e valores menores ou iguais a 10 UH para

cor. Em todas as demais coletas, os valores permaneceram dentro dos parâmetros estabelecidos por essas normas. Esses resultados provavelmente ocorreram devido ao tempo de sedimentação das partículas sólidas presentes na água, o que fica bem evidente na 2ª coleta realizada.

4.2.5.5 ACIDEZ / ALCALINIDADE

No que se refere aos valores de acidez e alcalinidade, observa-se que a segunda coleta registrou os maiores valores, variando entre 2,4 mg/L e 5,3 mg/L de CaCO₃ para acidez e entre 5,2 mg/L e 10,8 mg/L de CaCO₃ para alcalinidade, conforme ilustram as Figuras 98 e 99. Na quarta e quinta coletas, os valores tiveram ligeira redução, variando entre 2,7 mg/L e 2,8 mg/L de CaCO₃ para acidez, e entre 2,7 mg/L e 6,4 mg/L de CaCO₃ para alcalinidade.

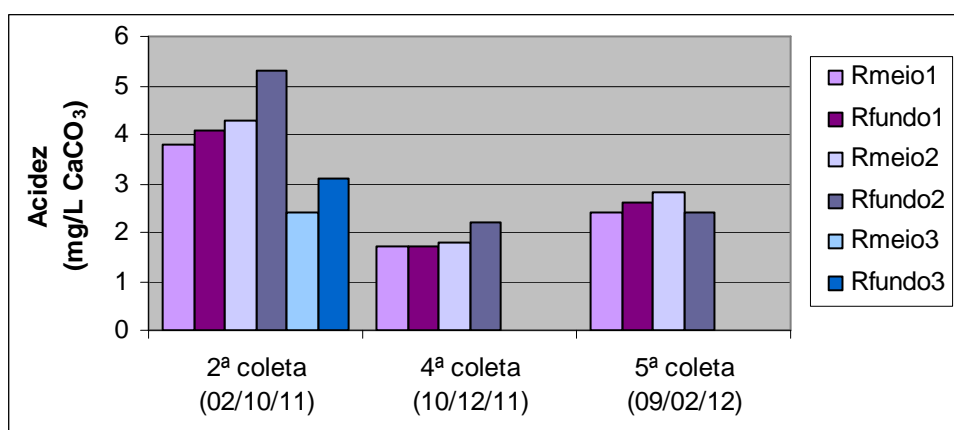


Figura 98: Acidez da água de chuva armazenada ao longo do tempo
Fonte: Arquivo pessoal do autor

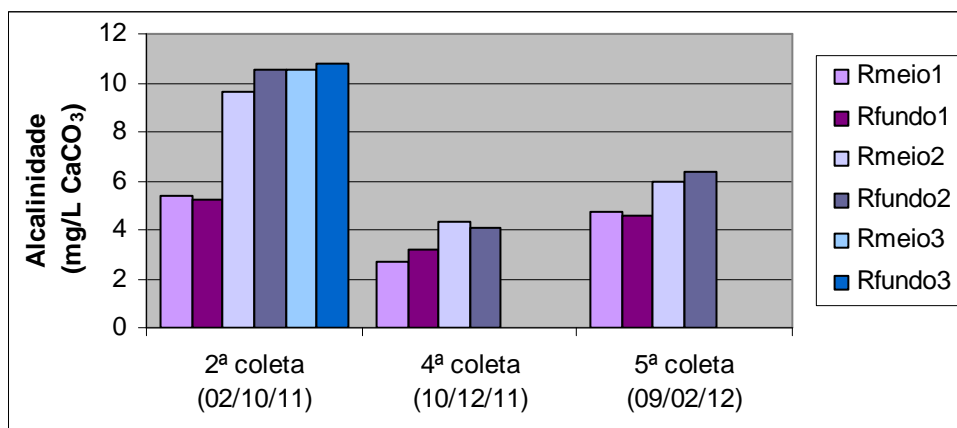


Figura 99: Alcalinidade da água de chuva armazenada ao longo do tempo
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Na maioria das vezes, verificou-se pequeno aumento nos valores de acidez e alcalinidade das amostras coletadas a partir do dia das precipitações (Rmeio1 e

Rfundo1), em relação aos 10 dias de armazenamento (Rmeio2 e Rfundo2), e no caso da segunda coleta, em relação aos 20 dias de armazenamento (Rmeio3 e Rfundo3). Pode-se afirmar que as variações nos valores de alcalinidade ficaram coerentes com aquelas encontradas em De Paula (2005), onde foram encontrados acréscimos de até 6,9 mg/L de CaCO_3 e reduções de até 5,3 mg/L de CaCO_3 nos valores de alcalinidade da precipitação armazenada ao longo de 37 semanas num reservatório de PVC.

A variação do pH em todas as coletas entre 5,5 e 7,1 indica que a alcalinidade é identificada sob a forma de bicarbonatos, formados em quantidade considerável pela ação do dióxido de carbono (CO_2). O dióxido de carbono (CO_2) existe na atmosfera principalmente pela ação da queima de combustíveis fósseis dos veículos.

Quanto aos padrões de qualidade da água, todas as coletas ficaram dentro dos parâmetros encontrados em Sautchuck *et al* (2005), que recomenda alcalinidade menor que 500 mg/L de CaCO_3 para usos em equipamentos de ar condicionado e torres de resfriamento. Quanto aos valores de acidez, não foram encontradas indicações para esse parâmetro. Em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de acidez e alcalinidade.

4.2.5.6 DUREZA

Comparando os valores de dureza da água coleta no meio e no fundo do reservatório de armazenamento, observa-se que os resultados da segunda coleta apresentaram os maiores valores, variando entre 9,1 mg/L e 10,5 mg/L de CaCO_3 , conforme ilustra a Figura 100. Na quarta e quinta coleta, esses valores reduziram significativamente, variando entre 2,1 mg/L e 3,2 mg/L de CaCO_3 . Desse modo, todas as amostras coletadas no reservatório de armazenamento podem ser consideradas águas moles, visto que possuem dureza menor que 50 mg/L de CaCO_3 .

Observa-se que na maioria das vezes não houve variações significativas nos valores de dureza da água coletada a partir do dia das precipitações (Rmeio1 e Rfundo1), em relação aos 10 dias de armazenamento (Rmeio2 e Rfundo2), e no caso da segunda coleta, em relação aos 20 dias de armazenamento (Rmeio3 e Rfundo3),

indicando que esse parâmetro provavelmente é pouco afetado pelo tempo de retenção. Entretanto, nota-se que na maioria das coletas, a água encontrada no meio do reservatório de armazenamento possui dureza menor que aquela encontrada no fundo desse reservatório, indicando redução na concentração de sais e melhora da qualidade da água de acordo com o ponto de coleta.

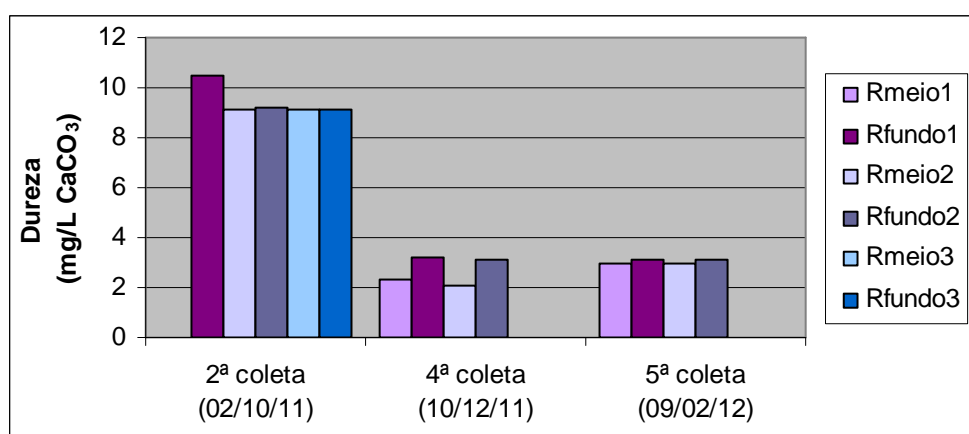


Figura 100: Dureza da água de chuva armazenada ao longo do tempo
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Quanto aos padrões de qualidade da água para dureza, mais uma vez todas as coletas ficaram dentro dos parâmetros encontrados em Sautchuck *et al* (2005), que recomenda dureza menor que 850 mg/L de CaCO₃ para usos em equipamentos de ar condicionado e torres de resfriamento. Além disso, todas as coletas também atenderam aos parâmetros fixados pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, que estabelece valores menores ou iguais a 500 mg/L de CaCO₃ para fins potáveis. Em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para este parâmetro.

4.2.5.7 NITROGÊNIO AMONIACAL / NITRITO / NITRATO

Durante a pesquisa, as concentrações de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato das precipitações coletadas no reservatório de armazenamento seguiram comportamento semelhante à dureza. Conforme ilustram as Figuras 101, 102 e 103, a segunda coleta apresentou as maiores concentrações, variando entre 2,3 mg/L e 1,0 mg/L para nitrogênio amoniacal; entre $1,8 \times 10^{-2}$ mg/L e $5,8 \times 10^{-2}$ mg/L para nitrito e entre 1,2 mg/L e 2,3 mg/L para nitrato. Da terceira à quinta coleta, as concentrações reduziram significativamente, ficando entre 0,3 mg/L e 1,2 mg/L para

nitrogênio amoniacal; entre $0,9 \times 10^{-2}$ mg/L e $2,0 \times 10^{-2}$ mg/L para nitrito e entre 0,2 mg/L e 1,7 mg/L para nitrato, possivelmente devido ao aumento na frequência de chuvas.

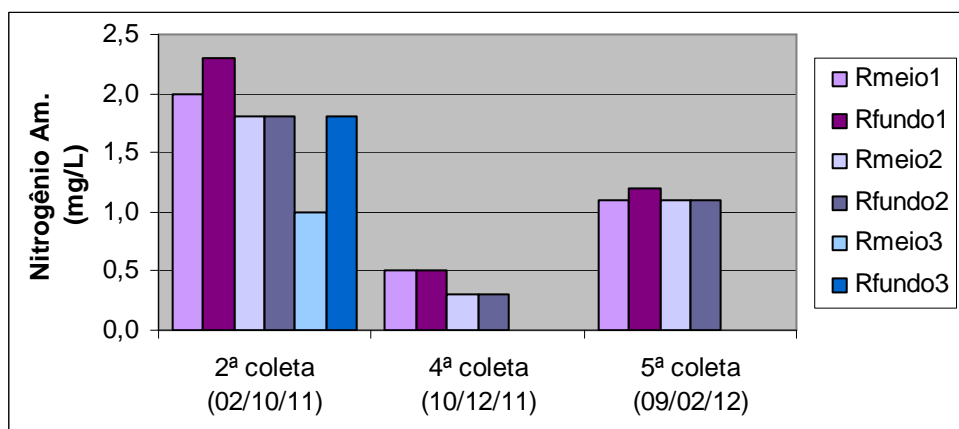


Figura 101: Concentração de nitrogênio amoniacal da água de chuva armazenada ao longo do tempo
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

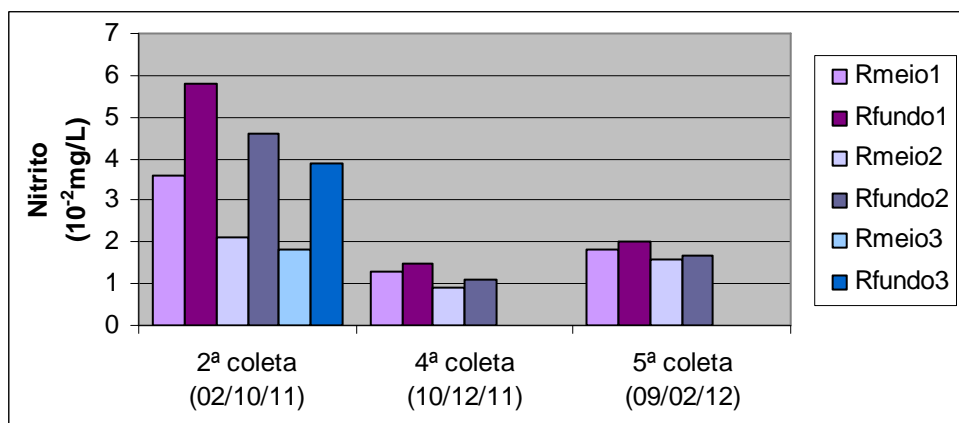


Figura 102: Concentração de nitrito da água de chuva armazenada ao longo do tempo
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

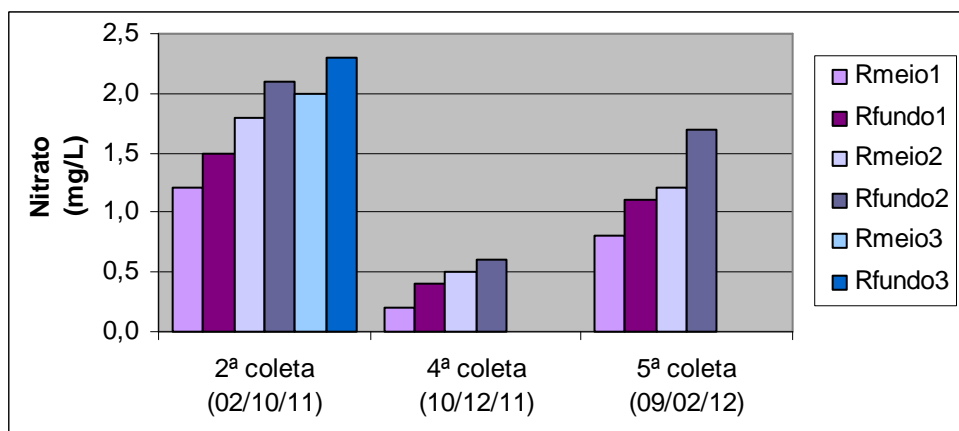


Figura 103: Concentração de nitrato da água de chuva armazenada ao longo do tempo
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

É interessante observar que na maioria das coletas houve redução das

concentrações de nitrogênio amoniacal e nitrito das amostras coletadas a partir do dia das precipitações (Rmeio1 e Rfundo1), em relação aos 10 dias de armazenamento (Rmeio2 e Rfundo2), e no caso da segunda coleta, em relação aos 20 dias de armazenamento (Rmeio3 e Rfundo3), provavelmente devido à oxidação do nitrogênio amoniacal em nitrito e nitrato. Em contrapartida, verifica-se um aumento gradativo nas concentrações de nitrato das amostras coletadas no dia das precipitações (Rmeio1 e Rfundo1), em relação aos 10 dias de armazenamento (Rmeio2 e Rfundo2), e no caso da segunda coleta, após 20 dias de armazenamento (Rmeio3 e Rfundo3), provavelmente por esse mesmo motivo. Além disso, nota-se que na maioria das coletas, a água encontrada no meio do reservatório de armazenamento possui concentrações de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato menores que àquela encontrada no fundo desse reservatório, indicando a influência direta da sedimentação na concentração de poluentes orgânicos.

No que se refere aos padrões de qualidade da água, todas as amostras coletas no reservatório de armazenamento se mantiveram dentro dos parâmetros estabelecidos por Sautchuck *et al* (2005), que sugere concentrações de nitrogênio amoniacal menores ou iguais à 20mg/L, concentrações de nitrito menores ou iguais a 1,0 mg/L e concentrações de nitrato menores que 10 mg/L, para usos em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais. Além disso, com exceção das concentrações de nitrogênio amoniacal da segunda coleta, todas as outras também permaneceram dentro dos parâmetros fixados pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, que estabelece concentrações de nitrogênio amoniacal menores ou iguais à 1,5 mg/L, concentrações de nitrito menores ou iguais à 1mg/L, e concentrações de nitrato menores ou iguais à 10 mg/L para fins potáveis. Em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de nitrogênio amoniacal, nitrito e nitrato.

4.2.5.8 SULFATO

Apesar das concentrações de sulfato da água coletada no reservatório de armazenamento terem sido muito baixas (inferiores a $6,0 \times 10^{-3}$ mg/L), nota-se que o comportamento dos resultados ao longo do período das coletas foi semelhante ao da turbidez e cor. Conforme ilustra a Figura 104, verifica-se que as concentrações

de sulfato da segunda coleta apresentaram as maiores variações, ficando entre $5,0 \times 10^{-3}$ mg/L e $5,8 \times 10^{-3}$ mg/L no dia da precipitação; entre $1,6 \times 10^{-3}$ e $2,6 \times 10^{-3}$ após 10 dias de armazenamento; e entre $1,2 \times 10^{-3}$ mg/L e $2,4 \times 10^{-3}$ mg/L após 20 dias de armazenamento. Nas demais coletas, os resultados permaneceram nesse patamar, provavelmente pelo aumento na frequência de chuvas.

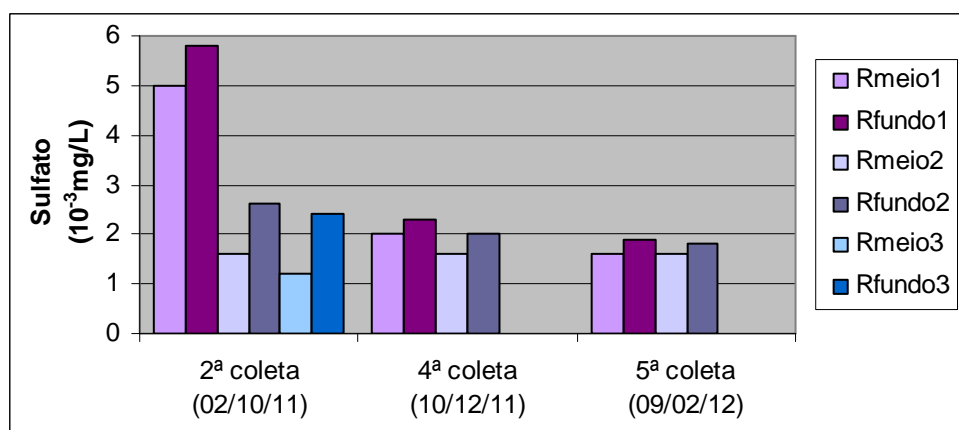


Figura 104: Concentração de sulfato da água de chuva armazenada ao longo do tempo
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Com exceção da segunda coleta, nota-se que na maioria das vezes não houve variações significativas nas concentrações de sulfato da água coletada a partir do dia das precipitações (Rmeio1 e Rfundo1), em relação aos 10 dias de armazenamento (Rmeio2 e Rfundo2), e no caso da segunda coleta, após 20 dias de armazenamento (Rmeio3 e Rfundo3), indicando que esse parâmetro provavelmente também é pouco afetado pelo tempo de retenção. Entretanto, nota-se que em todas as coletas, a água encontrada no meio do reservatório de armazenamento possui concentrações de sulfato menores que aquela encontrada no fundo desse reservatório, indicando redução na concentração de compostos sulfatados e melhora na qualidade da água de acordo com o ponto de coleta.

Quanto aos padrões de qualidade da água, é possível afirmar que se até mesmo os primeiros milímetros de precipitação ficaram dentro dos valores de referência, os resultados das amostras coletadas no reservatório de armazenamento foram quase insignificantes, permanecendo bem abaixo dos valores máximos fixados pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, que estabelece concentrações menores que 250 mg/L para fins potáveis; e bem abaixo dos parâmetros encontrados em Sautchuck *et al* (2005), que recomenda concentrações de sulfato menores que 680 mg/L de CaCO_3 para usos em equipamentos de ar condicionado e torres de

resfriamento. Em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de sulfato.

4.2.5.9 CLORETO

Com base na Figura 105, verifica-se que da segunda à quarta coleta houve pequeno aumento nas concentrações de cloreto, que variou entre 0,2 mg/L e 0,3 mg/L na segunda coleta, chegando à 1,0 mg/L e 1,1 mg/L na quarta coleta. Na quinta coleta, observa-se que os valores voltaram ao seu valor inicial, ficando em torno de 0,3 mg/L.

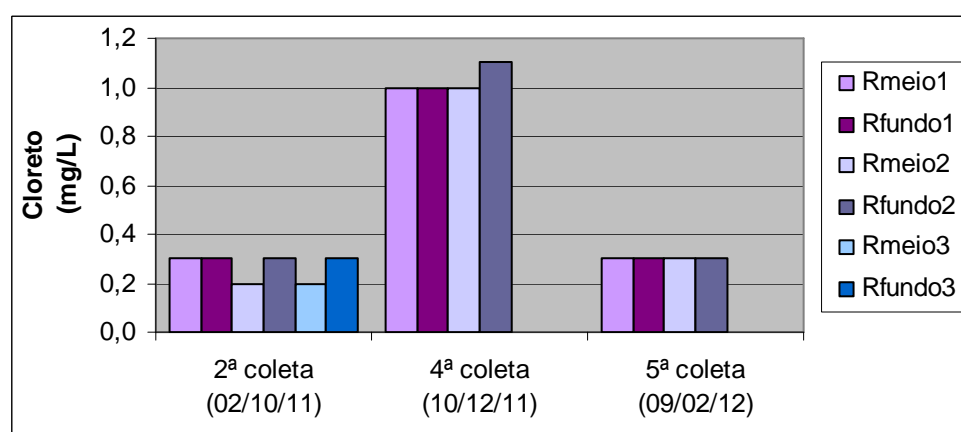


Figura 105: Concentração de cloreto da água de chuva armazenada ao longo do tempo
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Quanto às coletas realizadas ao longo do tempo, não foram encontradas variações significativas nas concentrações de cloreto da água coletada a partir do dia das precipitações (Rmeio1 e Rfundo1), em relação aos 10 dias de armazenamento (Rmeio2 e Rfundo2), e no caso da segunda coleta, em relação aos 20 dias de armazenamento (Rmeio3 e Rfundo3), indicando que esse parâmetro provavelmente também é pouco afetado pelo tempo de retenção. Todavia, nota-se que em todas as coletas, a água encontrada no meio do reservatório de armazenamento possui concentrações de cloreto menores ou iguais que aquela encontrada no fundo desse reservatório, indicando redução na concentração de sais e melhora na qualidade da água de acordo com o ponto de coleta.

Quanto aos padrões de qualidade da água, pode-se afirmar que as concentrações de cloreto de todas as amostras coletadas no reservatório de armazenamento permaneceram bem abaixo dos valores máximos fixados pela Portaria nº2914/11 do

Ministério da Saúde, que estabelece concentrações menores que 250 mg/L para fins potáveis. Em relação à ABNT NBR15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de cloreto.

4.2.5.10 FÓSFORO

Durante a pesquisa, as concentrações de fósforo da segunda coleta apresentaram os maiores valores. Nessa coleta, os resultados variaram entre $8,5 \times 10^{-2}$ mg/L e $8,9 \times 10^{-2}$ mg/L no dia da precipitação (Rmeio1 e Rfundo1); reduziram para $5,9 \times 10^{-2}$ mg/L e $6,6 \times 10^{-2}$ mg/L após 10 dias de armazenamento (Rmeio2 e Rfundo2); e reduziram ainda mais para $2,8 \times 10^{-2}$ mg/L e $4,5 \times 10^{-2}$ mg/L após 20 dias de armazenamento (Rmeio3 e Rfundo3), conforme ilustra a Figura 106. Na quarta e quinta coletas os valores reduziram ainda mais, ficando entre $0,6 \times 10^{-2}$ mg/L e $2,7 \times 10^{-2}$ mg/L.

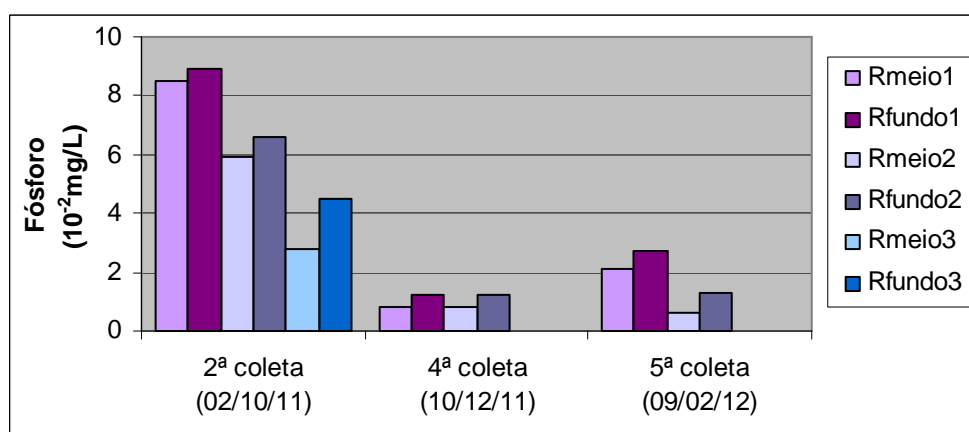


Figura 106: Concentração de fósforo da água de chuva armazenada ao longo do tempo
Fonte: Arquivo pessoal do autor

Semelhante ao que ocorreu nos parâmetros anteriormente analisados, não foram observadas variações significativas nas concentrações de fósforo da água coletada a partir do dia da precipitação (Rmeio1 e Rfundo1), em relação aos 10 dias de armazenamento (Rmeio2 e Rfundo2), e no caso da segunda coleta, em relação aos 20 dias de armazenamento (Rmeio3 e Rfundo3), indicando que esse parâmetro provavelmente também é pouco afetado pelo tempo de retenção. Entretanto, em todas as coletas, a água encontrada no meio do reservatório de armazenamento possui concentrações de fósforo menores que aquela encontrada no fundo desse reservatório, indicando também redução na concentração de poluentes e melhora na

qualidade da água de acordo com o ponto de coleta.

Quanto aos padrões de qualidade da água, pode-se afirmar que todas as amostras coletadas no reservatório de armazenamento permaneceram dentro dos parâmetros encontrados em Sautchuck *et al* (2005), que recomenda concentrações menores ou iguais a 0,1mg/L de fósforo para usos em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais. Em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de fósforo.

4.2.5.11 SÓLIDOS TOTAIS / SÓLIDOS DISSOLVIDOS / SÓLIDOS SUSPENSOS

Quanto aos resultados da série de sólidos, observa-se que as concentrações de sólidos totais das amostras coletadas no reservatório de armazenamento se comportaram de maneira semelhante às concentrações de sólidos suspensos. Conforme ilustram as Figuras 107 e 109, nota-se que as concentrações de sólidos totais e de sólidos suspensos reduziram gradativamente da segunda coleta até a quinta coleta, variando entre 108 mg/L e 478mg/L para sólidos totais, e entre 4 mg/L e 361mg/L para sólidos suspensos. Já as concentrações de sólidos dissolvidos, aumentaram da segunda à quarta coleta e reduziram da quarta à quinta coleta, variando entre 45 mg/L e 274mg/L, conforme ilustra a Figura 108.

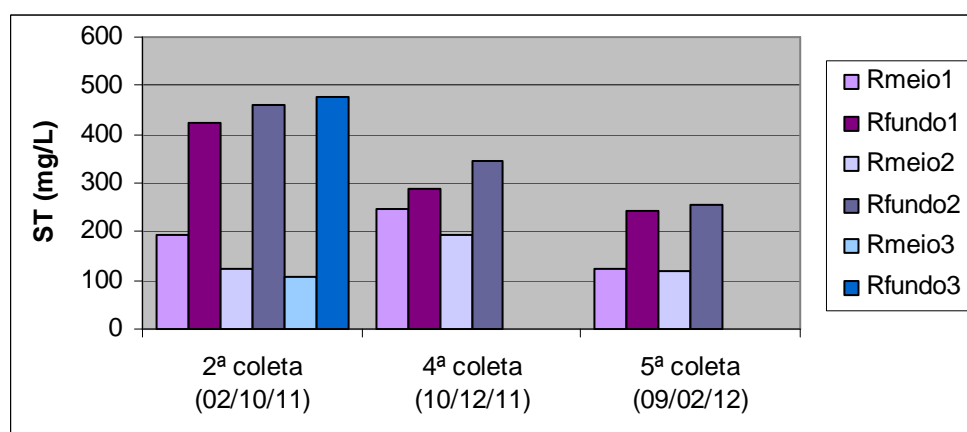


Figura 107: Sólidos Totais da água de chuva armazenada ao longo do tempo
Fonte: Arquivo pessoal do autor

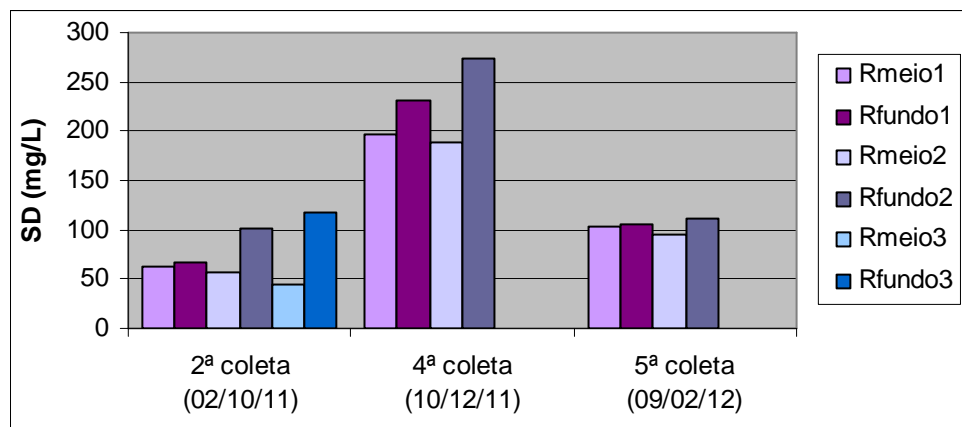


Figura 108: Sólidos Dissolvidos da água de chuva armazenada ao longo do tempo
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

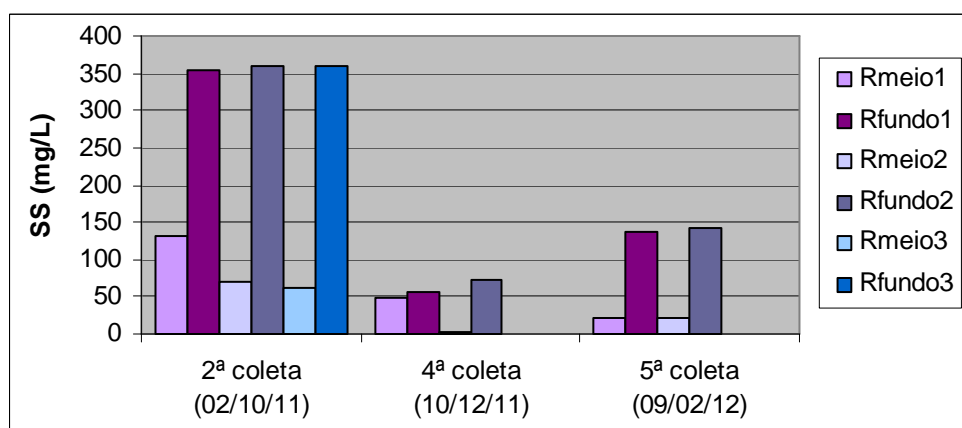


Figura 109: Sólidos Suspensos da água de chuva armazenada ao longo do tempo
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

É interessante ressaltar que durante o período em que água ficou armazenada, esse foi um dos poucos ensaios em que, na maioria das vezes, ocorreu redução das concentrações de sólidos nas amostras coletadas no meio do reservatório de armazenamento, ao mesmo tempo em que houve aumento dessas concentrações nas amostras coletadas no fundo desse reservatório, indicando a sedimentação de sólidos e conseqüente melhora da qualidade da água nas proximidades do nível líquido. Essa mesma constatação foi feita no trabalho de Anecchini (2005), onde concluiu-se que

[..] o armazenamento proporciona a sedimentação dos sólidos presentes na água da chuva, melhorando a qualidade da mesma em termos físicos [...]. Entretanto, em termos químicos e microbiológicos, não foi observada grande alteração na qualidade da água da chuva com o armazenamento. (ANNECCHINI, 2005)

Em relação aos padrões de qualidade da água para sólidos dissolvidos, todas as coletas permaneceram dentro dos parâmetros encontrados em Sautchuck *et al*

(2005), que sugere concentrações menores ou iguais a 500 mg/L para usos em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais. Além disso, esses resultados também atenderam aos parâmetros fixados pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, que estabelece concentrações de sólidos dissolvidos menores ou iguais a 1000 mg/L para fins potáveis. Não foram encontradas normas que especificassem valores de referência para sólidos totais e suspensos. Em relação à ABNT NBR15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de sólidos.

4.2.5.12 OXIGÊNIO DISSOLVIDO – OD

Semelhante ao que ocorreu em muitos parâmetros anteriormente analisados, as concentrações de OD da segunda coleta apresentaram as maiores variações. Nessa coleta, os resultados das amostras no dia da precipitação (Rmeio1 e Rfundo1) ficaram entre 14,4 mg/L e 15,1 mg/L; após 10 dias de armazenamento (Rmeio2 e Rfundo2) reduziram significativamente ficando entre 5,7 mg/L e 6,0 mg/L; e após 20 dias de armazenamento (Rmeio3 e Rfundo3) reduziram ainda mais chegando a 4,5 mg/L e 4,7 mg/L, conforme ilustrado na Figura 110. Na quarta coleta, as concentrações de oxigênio dissolvido no dia da precipitação estavam entre 10,0 mg/L e 7,8 mg/L, e após 10 dias de armazenamento tiveram pequena redução ficando entre 7,0 mg/L e 7,4 mg/L. Na quinta coleta, a variação foi um pouco maior, visto que no dia da precipitação os valores estavam entre 8,0 mg/L e 7,9mg/L, e após 10 dias de armazenamento os valores reduziram para 2,9 mg/L e 3,0 mg/L.

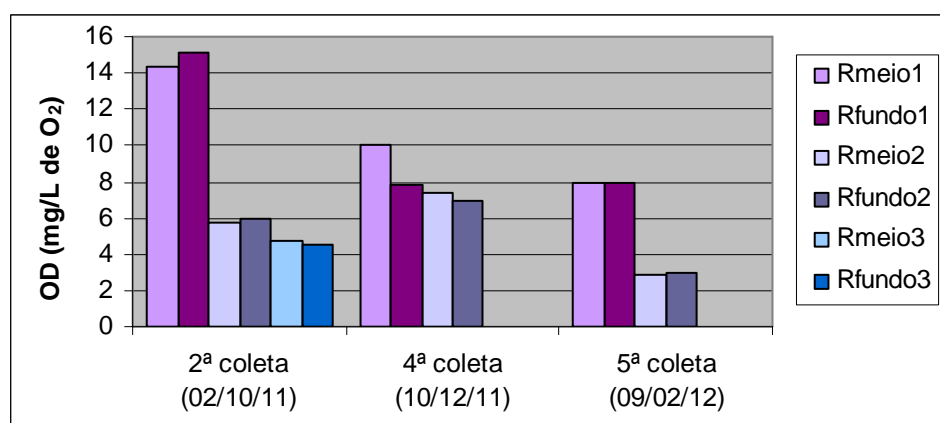


Figura 110: Oxigênio Dissolvido da água de chuva armazenada ao longo do tempo
Fonte: Arquivo pessoal do autor

É interessante observar que houve redução das concentrações de OD de todas as

amostras coletadas a partir do dia da precipitação (Rmeio1 e Rfundo1), em relação aos 10 dias de armazenamento (Rmeio2 e Rfundo2), e no caso da segunda coleta, em relação aos 20 dias de armazenamento (Rmeio3 e Rfundo3), indicando provável degradação de matéria orgânica e consumo de OD pela ação de bactérias.

Apesar dessa redução, todos os resultados ficaram acima dos padrões recomendados pela ABNT NBR13.969:1997, referente à qualidade para o reuso não potável do esgoto doméstico tratado, que estabelece concentrações de oxigênio dissolvido acima de 2,0mg/L para irrigação de pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através de escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual. Em relação à ABNT NBR 15527:2007, referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para esse parâmetro.

4.2.5.13 DQO / DBO

Durante a pesquisa, a suspeita da presença de matéria orgânica foi confirmada pelos resultados dos ensaios de DQO e DBO. Conforme ilustrado nas Figuras 111 e 112, a segunda coleta apresentou os maiores valores, variando entre 19,1 mg/L e 68,0 mg/L de O₂ para DQO; e entre 5,0 mg/L e 45,3 mg/L de O₂ para DBO. Na quarta e quinta coletas, esses valores reduziram significativamente, variando entre 11,1 mg/L e 30,0 mg/L de O₂ para DQO, e entre 2,7 mg/L e 6,0 mg/L de O₂ para DBO.

Em todas as coletas, verifica-se que houve redução dos valores de DQO e DBO das amostras coletadas no meio do reservatório de armazenamento, a partir do dia das precipitações (Rmeio1 e Rfundo1), em relação aos 10 dias de armazenamento (Rmeio2 e Rfundo2), e no caso da segunda coleta, após 20 dias de armazenamento (Rmeio3 e Rfundo3), indicando provável degradação de matéria orgânica e consumo de OD pela ação de bactérias. Além disso, nota-se que a água encontrada no meio do reservatório de armazenamento em todas as coletas, possui valores de DQO e DBO menores que aquela encontrada no fundo desse reservatório, indicando redução na concentração de matéria orgânica e melhora na qualidade da água de acordo com o ponto de coleta.

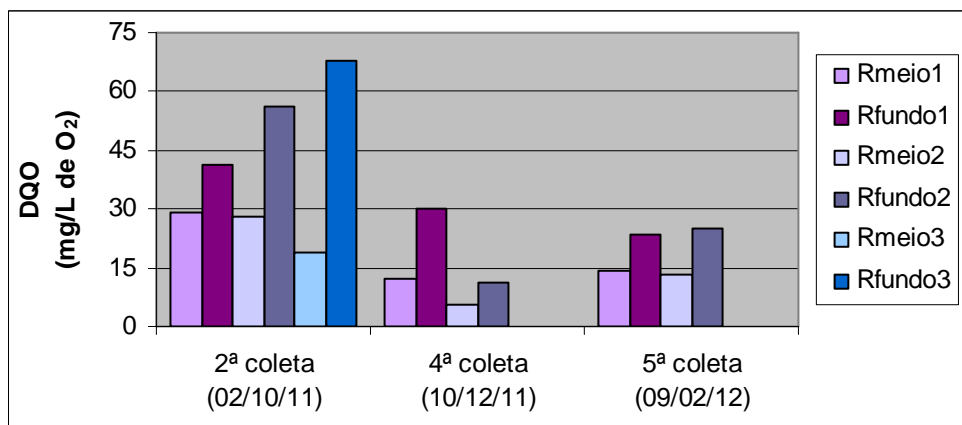


Figura 111: DQO da água de chuva armazenada ao longo do tempo
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

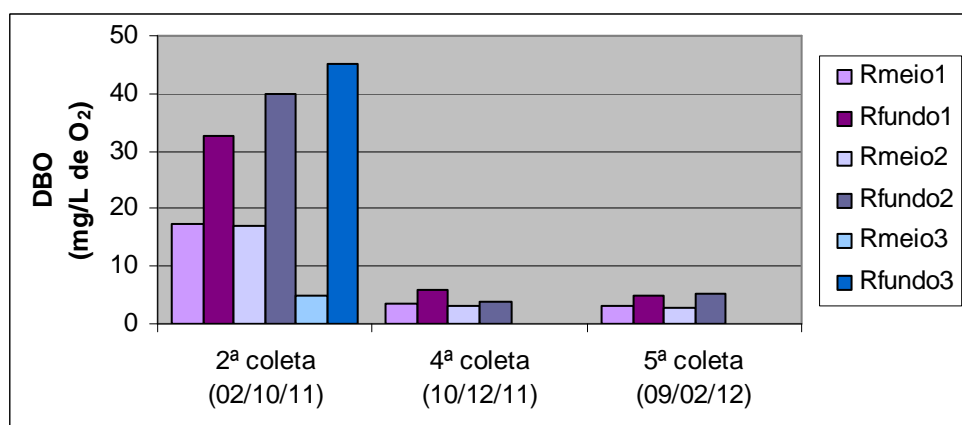


Figura 112: DBO da água de chuva armazenada ao longo do tempo
 Fonte: Arquivo pessoal do autor

Quanto aos padrões de qualidade da água para DBO, verificou-se que exceto a segunda coleta, todas as outras ficaram dentro dos parâmetros encontrados em Sautchuck *et al* (2005) e em USEPA (2004), que sugerem concentrações de DBO menores ou iguais a 10mg/L para usos em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais. Não foram encontradas normas que especificassem valores de referência para DQO, e em relação à ABNT NBR15527:2007 referente ao aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis, não foram encontradas indicações para valores de DQO e DBO.

4.2.5.14 COLIFORMES FECAIS / *ESCHERICHIA COLI*

Quanto à contaminação microbiológica, pode-se afirmar que não foi detectada proliferação de Coliformes Fecais e *Escherichia Coli* durante o período em que a água de chuva ficou armazenada, indicando provável ausência de contaminação microbiológica por origem fecal.

Desse modo, todas as amostras coletadas no meio e no fundo do reservatório de armazenamento durante o período de retenção permaneceram dentro dos parâmetros fixados pela ABNT NBR 15527:2007, que estabelece ausência de Coliformes Termotolerantes em 100 mL de amostra, para aproveitamento de água de chuva com finalidade não potável. Todas as amostras também atenderam aos parâmetros encontrados em Sautchuck *et al* (2005), que recomenda concentrações não detectáveis de Coliformes Fecais para usos em descargas de bacias sanitárias, lavagem de pisos e fins ornamentais.

4.2.6 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DESTA PESQUISA COM OUTROS AUTORES

No que se refere à precipitação coletada diretamente da atmosfera, a comparação dos resultados obtidos nesta pesquisa com os valores encontrados por outros autores são apresentados na Tabela 18. Nessa tabela os valores de referência estão representados pela cor roxa, sendo que os limites mínimos estão em tons claros e os limites máximos em tons escuros.

De acordo com a Tabela 18, observa-se que o valor médio de pH obtido nesta pesquisa permaneceu dentro da faixa de 5,5 à 6,8 encontrada pelos demais autores, indicando água com caráter levemente ácido.

Tabela 18 – Comparação da precipitação coletada diretamente atmosfera

Trabalhos	Cidade	pH	Cond. µs/cm	Nitrito mg/L	Nitrato mg/L	Cloreto mg/L	Acidez mg/L	Sulfato mg/L	Nit. Am. mg/L	
Anecchini (2005)	Vitória ES	6,0	32,7	0,009	0,2	4,1	3,7	3,9	0,5	
Jaques (2005)	Florianópolis SC	5,5	16,6	0,31	0,5	9,1	–	–	1,1	
Peters (2006)	Florianópolis SC	5,9	–	Não Detect.	0,1	–	–	1,0	0,7	
Faresin (2008)	Erechim RS	6,8	–	–	Não Detect.	–	–	–	–	
Lima <i>et al</i> (2011)	Campo Mourão PR	5,5	16,3	–	–	–	–	–	–	
Brown <i>et al</i> (2012)	Curitiba PR	6,2	–	–	1,6	1,0	–	–	–	
Esta Pesquisa	Uberlândia MG	6,0	20,5	0,032	1,4	2,0	3,2	0,003	2,6	
Comparação		Dentro					Próx.	Abaixo	Acima	
	Valor máximo									
	Valor mínimo									

Ainda de acordo com a Tabela 18, observa-se que os valores de condutividade, nitrito, nitrato e cloreto também ficaram dentro da faixa encontrada pelos demais autores. Verifica-se ainda que o valor médio de acidez ficou próximo ao valor médio obtido no estudo de Anecchini (2005), que encontrou acidez de 3,7 mg/L de CaCO_3 , na cidade de Vitória (ES).

Constatou-se também que a concentração média de sulfato ficou bem abaixo do valor mínimo de 1,0 mg/L, encontrado por Peters (2006) na cidade de Curitiba (PR). Já a concentração média de nitrogênio amoniacal ficou acima do valor máximo de 1,1mg/L, encontrado por Jaques (2005) na cidade de Florianópolis (SC).

Em relação à precipitação após o contato com o telhamento, buscou-se comparar amostras coletadas diretamente do telhado e amostras coletadas no reservatório de armazenamento após o descarte da precipitação inicial, conforme ilustrado na Tabela 19. Nessa tabela, os valores de referência das amostras coletadas diretamente do telhado estão representados pela cor laranja e valores de referência das amostras coletadas no reservatório de armazenamento estão representados pela cor roxa, sendo que os limites mínimos estão em tons claros e os limites máximos em tons escuros.

Tabela 19 – Comparação da precipitação coletada após contato com telhamento

Trabalhos	Cidade	Coleta	Turb. UNT	Cor UH	Nitrito mg/L	Nitrato mg/L	Cloreto mg/L	Fosf. 10 ⁻² mg/L	OD mg/L	pH	Alcal. mg/L	Dureza mg/L	Acid. mg/L	Cond. µs/cm	Sulf. mg/L	DQO mg/L	DBO mg/L	Nit. Am. mg/L	ST mg/L	SD mg/L	SS mg/L
May (2004)	São Paulo SP	T	1,6	52,5	0,8	4,5	8,8	—	20,3	7,0	30,6	39,4	—	63,4	8,3	—	2,5	—	87,9	57,5	30,4
		R	0,8	23,0	0,1	3,1	12,2	—	17,6	6,7	18,8	19,6	—	25,7	5,1	—	1,5	—	25,0	23,5	1,5
Anecchini (2005)	Vitória ES	T	24,8	5,2	0,015	0,4	5,5	8,0	7,7	6,4	10,2	16,5	4,4	42,3	8,9	31,7	4,6	0,3	243,9	90,9	130
		R	0,4	1,8	0,005	0,1	1,7	1,8	8,4	6,4	3,9	4,4	3,2	15,8	1,6	9,9	1,5	0,2	32,4	26,1	6,2
Jaques (2005)	Florian. SC	T	8,7	30	0,4	0,5	11,9	150	—	7,4	18,9	38,4	—	41,7	—	35,9	2,5	0,8	—	—	23,1
		R	4,7	5,0	0,2	0,5	14,0	69	—	5,1	3,6	11,8	—	32,3	—	12,4	1,0	0,7	—	—	—
De Paula (2005)	Goiânia GO	T	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		R	4,2	1,4	—	—	0,3	4,7	8,9	7,2	31,2	26,8	—	84,8	4,7	13,7	2,8	0,02	—	—	—
Peters (2006)	Florian. SC	T	4,6	24,9	0,2	0,4	5,3	—	—	7,5	31,2	41,5	—	—	5,0	9,8	—	0,6	96,9	88,4	2,9
		R	2,5	13,6	0	0,6	0,5	—	—	7,6	23,1	28,6	—	—	3,0	4,8	—	0,3	68,7	66,7	1,7
Faresin (2008)	Erechim RS	T	—	—	—	0,2	—	—	—	7,0	—	—	—	—	—	76	32	—	142	—	—
		R	—	—	—	0	—	—	—	7,2	—	—	—	—	—	12,4	4,1	—	22	—	—
Lima <i>et al</i> (2011)	Campo Mourão PR	T	25,8	—	—	—	—	—	—	7,2	9,5	—	—	45,7	—	13,4	—	—	107,1	—	9,5
		R	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Suerzut <i>et al</i> (2011)	Ribeirão Preto SP	T	2,6	17,0	0,009	0,4	0,3	0,04	—	6,4	33,4	29,4	—	68,1	—	—	15	0,3	—	—	—
		R	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Campos <i>et al</i> (2012)	Formiga MG	T	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
		R	0,7	12	—	—	—	—	—	—	7,6	56,6	—	3,3	—	—	—	—	—	—	—
Silva <i>et al</i> (2012)	Itabira MG	T	9,9	76	—	—	—	—	—	7,3	8,4	—	—	95,7	—	—	—	—	—	—	—
		R	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
Esta pesquisa	Uberlândia MG	T	5,2	6,8	0,035	3,4	0,8	7,0	9,4	6,2	7,0	11,4	4,7	30,6	0,006	43,7	15,4	3,1	373	163	210
		R	1,4	3,3	0,027	0,9	0,5	4,0	10,5	6,2	4,3	4,4	2,7	13,8	0,003	25,1	11,2	1,3	252	128	125
Comparação		T	Dentro							Abaixo			Próx.	Abaixo		Dentro		Acima			
		R	Dentro							Dentro			Próx.	Abaixo		Acima		Acima			

	Valor máximo		Valor mínimo	T: Precipitação coletada diretamente do telhado
	Valor máximo		Valor mínimo	R: Precipitação coletada no reservatório de armazenamento após passar por descarte da precipitação inicial

De acordo com a Tabela 19, observa-se que a maioria dos parâmetros ficou dentro da faixa encontrada pelos demais autores, o que foi o caso dos valores de turbidez, cor, nitrito, nitrato, cloreto fósforo e oxigênio dissolvido. Em relação aos resultados de pH, alcalinidade e dureza, observa-se que os valores médios obtidos nesta pesquisa ficaram abaixo dos respectivos valores mínimos de 6,4 (pH), 8,4 mg/L (alcalinidade) e 16,5 mg/L (dureza) para precipitações coletadas diretamente do telhado e dentro da faixa encontrada pelos demais autores para precipitações coletadas no reservatório de armazenamento.

Quanto aos resultados de acidez, verifica-se que os valores médios desta pesquisa ficaram próximos aos valores encontrados no estudo de Anecchini (2005) para a cidade de Vitória (ES), permanecendo pouco acima do máximo de 4,4 mg/L de CaCO_3 para precipitações coletadas diretamente do telhado, e pouco abaixo do mínimo de 3,2 mg/L de CaCO_3 para precipitações coletadas no reservatório de armazenamento.

Verifica-se também que os valores médios de condutividade e sulfato obtidos nesta pesquisa foram baixos, ficando abaixo dos respectivos valores mínimos de 41,7 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (condutividade) e 5,0 mg/L (sulfato) para precipitações coletadas diretamente do telhado, e abaixo dos respectivos valores mínimos de 15,8 $\mu\text{s}/\text{cm}$ (condutividade) e 1,6 mg/L (sulfato) para precipitações coletadas no reservatório de armazenamento. Isso provavelmente pode ter ocorrido devido à baixas concentrações de sais e de compostos sulfatados na atmosfera.

Observa-se também que as concentrações médias de DQO ficaram dentro da faixa encontrada pelos demais autores para precipitações coletadas diretamente do telhado e acima do valor máximo de 13,7 mg/L de O_2 encontrado na cidade de Goiânia (GO), para precipitações coletadas no reservatório de armazenamento. As concentrações médias de DBO também tiveram esse mesmo comportamento, ficando dentro da faixa encontrada pelos demais autores para precipitações coletadas diretamente do telhado e acima do valor máximo de 4,1 mg/L de O_2 encontrado na cidade de Erechim (RS), para precipitações coletadas no reservatório de armazenamento.

Dos parâmetros químicos, a concentração média de nitrogênio amoniacal foi a única

que ficou totalmente acima da faixa encontrada pelos demais autores, permanecendo acima do máximo de 0,8 mg/L encontrado na cidade de Florianópolis (SC), para precipitações coletadas diretamente do telhado e acima do máximo de 0,7 mg/L encontrado na mesma cidade, para precipitações coletadas no reservatório de armazenamento.

Os resultados de sólidos também seguiram essa mesma tendência, visto que a concentração média de sólidos totais ficou acima do máximo de 243,9 mg/L para precipitações coletadas diretamente do telhado e acima do máximo de 68,7 mg/L para precipitações coletadas no reservatório de armazenamento; a concentração média de sólidos dissolvidos ficou acima do máximo de 90,9 mg/L para precipitações coletadas diretamente do telhado e acima do máximo de 66,7 mg/L para precipitações coletadas no reservatório de armazenamento; e a concentração média de sólidos suspensos ficou acima do máximo 130 mg/L para precipitações coletadas diretamente do telhado e acima do máximo de 6,2 mg/L para precipitações coletadas no reservatório de armazenamento. Isso provavelmente pode ter ocorrido devido à existência de edificações em obras próximo do bloco em estudo.

CAPÍTULO 5

CONCLUSÕES

Durante a análise qualitativa, verificou-se que os primeiros milímetros de precipitação exercem importante função de limpeza da atmosfera, visto que na maioria das vezes foram observadas reduções significativas nos parâmetros do primeiro milímetro em relação ao terceiro milímetro de precipitação, indicando melhora da qualidade da água e conseqüente limpeza da atmosfera ao longo do evento chuvoso.

Constatou-se também que o descarte dos primeiros milímetros de precipitação após contato com o telhamento possui um importante papel na melhora da qualidade da água a ser aproveitada, visto que na maioria das vezes foram observadas reduções significativas nos parâmetros dos primeiros milímetros de precipitação em relação à água coletada no reservatório de armazenamento.

Durante a pesquisa, foi verificado ainda que na maioria das vezes, a água encontrada no meio do reservatório de armazenamento apresentou melhor qualidade do que aquela encontrada no fundo desse reservatório, indicando a importância da localização do ponto de coleta o mais próximo possível da superfície líquida.

Além dessas características, foi observado que o tempo de estiagem pode exercer uma influência tão importante quanto o descarte dos primeiros milímetros e a localização do ponto de coleta, na qualidade da água de chuva armazenada. Esse fato foi constatado em dois momentos durante a pesquisa: na comparação da precipitação coletada diretamente da atmosfera com a precipitação coletada após o contato com o telhamento (deposições úmida e seca), e na comparação dos resultados das coletas com os padrões de qualidade da água.

Comparando as precipitações coletadas diretamente da atmosfera e após o contato com o telhamento (deposições úmida e seca), observa-se que durante a segunda

coleta (quando houve maior período de estiagem), a qualidade da água após contato com o telhamento apresentou piora significativa em relação à qualidade da água coletada diretamente da atmosfera, principalmente no que se refere às amostras relativas aos 0,62mm de precipitação, que apresentaram os maiores valores em diversos parâmetros. Entretanto, nas demais coletas (quando houve aumento na frequência de chuvas), não foram observadas variações muito significativas na qualidade dessas amostras, indicando que variação na qualidade da água de chuva de alguma forma pode estar ligada ao período de estiagem.

É interessante observar que essa constatação fica ainda mais nítida na comparação entre os resultados das coletas e os padrões de qualidade da água. No que se refere a esses padrões, o Anexo G aponta quais amostras de água de chuva atenderam e quais não atenderam as normas utilizadas como referência nesse trabalho. De acordo com Anexo G, observa-se que na maioria das vezes os resultados ficaram dentro da faixa de referência estabelecida pelas normas. Entretanto, das poucas vezes em que isso não aconteceu, praticamente todas as amostras da segunda e terceira coletas foram afetadas, além da precipitação referente aos 0,62mm de algumas coletas. O fato desses resultados não atenderem às normas, revela que essa circunstância está ligada não somente à altura pluviométrica, como também à data em que a coleta ocorreu.

Desse modo, observa-se que descartando os valores referentes aos 0,62mm, além dos valores referentes à segunda e terceira coletas após o período de estiagem, todas as amostras ficariam dentro dos padrões da ABNT NBR 15527:2007, relativo ao aproveitamento de chuva para fins não potáveis; dentro dos parâmetros sugeridos por Sautchuck *et al* (2005) e até mesmo dentro dos valores fixados pela Portaria nº2914/11 do Ministério da Saúde, para fins potáveis. Assim, uma sugestão para se obter uma água de melhor qualidade dentro das condições analisadas durante a pesquisa, seria descartar a precipitação referente aos 0,62mm e as primeiras chuvas após o período de estiagem do inverno. Obviamente a determinação do período de estiagem ideal para descarte das primeiras chuvas após o inverno, abre oportunidade de estudo para anos de pesquisa. Entretanto, mesmo com uma quantidade limitada de coletas foi possível observar que as primeiras chuvas após a estiagem do inverno tendem a ser de pior qualidade.

Como a cobertura do bloco em estudo possui 1049m^2 , estima-se que o volume do reservatório de descarte dos primeiros $0,62\text{mm}$ de precipitação para as condições encontradas durante a pesquisa, poderia ser de $0,65\text{ m}^3$ ou 650 L . E para o descarte das primeiras chuvas após a estiagem do inverno uma opção seria a instalação do registro esfera de 100mm utilizado no aparato experimental do bloco em estudo (ver componente B da Figura 49). Desse modo, ao manter o registro aberto, as primeiras chuvas após o inverno seriam descartadas, e ao manter o registro fechado, as demais chuvas seriam desviadas para o sistema para serem aproveitadas. Em casos onde fosse desejado aproveitar o máximo da chuva, outra opção seria utilizar o próprio reservatório de armazenamento como decantador, pois os resultados indicaram que pode ocorrer melhora da qualidade da água após 10 e 20 dias de retenção.

De acordo com o Anexo G, dos parâmetros em que a água coletada no meio do reservatório de armazenamento durante o dia da precipitação (R_{meio1}) não atendeu às normas, verificou-se que após 10 dias (R_{meio2}) ou 20 dias (R_{meio3}) de retenção, os resultados já haviam estabilizado dentro dos padrões de qualidade, indicando que o tempo de retenção pode funcionar positivamente na melhora da qualidade da água quanto a esses parâmetros. Entretanto, no caso do nitrato, apesar dos resultados terem ficado dentro dos padrões estabelecidos, observou-se que esse parâmetro tende a aumentar de acordo com o tempo de retenção, o que a longo prazo pode impossibilitar a utilização da água até mesmo para fins não potáveis. Desse modo, constatou-se que para um período de retenção igual a 20 dias, o armazenamento foi benéfico para a qualidade da água de chuva nas condições analisadas. Entretanto, para períodos maiores do que esse, seria necessário mais tempo de pesquisa objetivando encontrar o equilíbrio entre a máxima redução da maioria dos parâmetros, sem que outros parâmetros, tais como o nitrato, aumentassem a ponto de não atender às normas.

Apesar dos resultados terem indicado melhora da qualidade da água de chuva após 20 dias de armazenamento, verificou-se que a maioria dos parâmetros apresentou pouca variação durante esse tempo de retenção. Alguns parâmetros como turbidez, cor verdadeira, oxigênio dissolvido, DQO e DBO apresentaram redução significativa durante a retenção apenas na segunda coleta (quando houve maior período de estiagem), e somente a série de sólidos apresentou redução expressiva em todas as

coletas.

Ainda de acordo com o Anexo G, observa-se que das poucas vezes em que os resultados não atenderam às normas para utilização não potável, os parâmetros envolvidos foram: pH, turbidez, cor verdadeira, fósforo, nitrato e DBO. E das vezes em que os resultados não atenderam às normas para uso potável, os parâmetros envolvidos foram: pH, nitrogênio amoniacal e nitrato.

Em relação à dispersão de poluentes, não foi possível fazer nenhuma associação entre a qualidade da água de chuva analisada e o carreamento de poluentes do distrito industrial em direção ao local de estudo por influência dos ventos predominantes (rosa dos ventos), visto que o Campus Santa Mônica localiza-se na região leste da cidade, o distrito industrial concentra-se na região noroeste e os ventos predominantes sopram principalmente na direção nordeste e leste, segundo Da Silva (2007). Desse modo, o Campus Santa Mônica encontra-se fora da área afetada.

Comparando os parâmetros físico-químicos dessa pesquisa com os resultados obtidos por outros autores, observou-se que a maioria dos valores médios encontrados nesse trabalho ficou dentro da faixa encontrada pelos demais autores ou um pouco abaixo do valor mínimo. No que se refere às amostras coletadas diretamente da atmosfera, o único parâmetro que ficou acima do valor máximo foi o nitrogênio amoniacal. Quanto as amostras coletadas diretamente do telhado, os únicos parâmetros que ficaram acima do valor máximo foram sólidos e nitrogênio amoniacal. E em relação às amostras coletadas no reservatório de armazenamento, os únicos parâmetros que ficaram acima do valor máximo foram DQO, DBO, sólidos e nitrogênio amoniacal.

Quanto à contaminação microbiológica, não foi detectada a presença de Coliformes Fecais e *Escherichia Coli* em nenhuma das precipitações coletadas após o contato com telhamento, indicando provável ausência de contaminação microbiológica por origem fecal. Além disso, também não foi detectada proliferação de Coliformes Fecais e *Escherichia Coli* durante o período em que a água de chuva ficou armazenada, indicando provável a ausência de contaminação por esse motivo. Contudo, seria necessário mais tempo de pesquisa objetivando resultados mais

detalhados quanto a esses parâmetros, visto que a existência de fezes de pássaros é algo comum em coberturas.

No que se refere à análise quantitativa, foi observado que historicamente o mês de julho é o mais seco, registrando média mínima de 9,2 mm de precipitação, e em contrapartida, o mês de dezembro é o mais chuvoso registrando média máxima de 322,0 mm de precipitação. Além disso, constatou-se que 86,5% da precipitação média anual da cidade de Uberlândia (MG) ocorre entre os meses de outubro à março e somente 13,5% entre os meses de abril à setembro. Desse modo, concluiu-se que Uberlândia (MG) possui um regime de chuvas contrastante, com períodos de chuva e de seca bastante delineados.

Quanto à demanda por água não potável, constatou-se que o volume médio de água consumido nas bacias sanitárias e mictórios do bloco 5OA durante o período analisado foi de 91,15 m³ por mês, com mínima de 59,6 m³ durante o período de férias e máxima de 116,5 m³ durante o período letivo analisado.

Em relação ao dimensionamento do reservatório de armazenamento, constatou-se que apesar do Método de Rippl ser o modelo de cálculo mais amplamente utilizado para dimensionamento de reservatórios, o mesmo simplesmente faz uma verificação do período em que o sistema provavelmente não atenderá a demanda, e retorna como resultado, o volume de desabastecimento correspondente a esse período, sem analisar se o sistema é capaz de captar chuva para suprir a demanda por água não potável da edificação. Ao mesmo tempo, o Método da Simulação revelou-se como um método bastante realista, dando informações detalhadas do funcionamento do reservatório ao longo do tempo. Além disso, demonstrou que com um volume de reservatório razoável é possível obter uma alta eficiência no atendimento à demanda. Portanto, o modelo que apresentou melhores resultados para os dados obtidos durante o período analisado, foi o Método da Simulação, sugerindo um volume de 344 m³ e uma eficiência de 95% para o reservatório do bloco em estudo.

Diante das condições analisadas, os resultados indicaram que a implantação do sistema de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis nos blocos da UFU com tipologia semelhante ao Bloco 5O, provavelmente seria viável do ponto de

vista quantitativo, pois durante a simulação, a quantidade de chuva coletada supriu satisfatoriamente a demanda por água não potável neste bloco. Além disso, os resultados também indicaram que a implantação desse sistema provavelmente seria viável do ponto de vista qualitativo, visto que descartando os valores encontrados para os primeiros 0,62mm de precipitação e para as primeiras chuvas após a estiagem do inverno, ou mesmo com um tratamento simplificado de decantação, todos os parâmetros analisados durante a pesquisa atenderam às normas de qualidade da água para fins não potáveis. Todavia esses resultados são apenas uma contribuição que precisaria se unir a outros trabalhos de pesquisa realizados nesse mesmo sentido, visando-se chegar a um resultado mais detalhado à respeito da viabilidade técnica de implantação de um sistema de aproveitamento na universidade.

Assim, espera-se que esse trabalho não só contribua na elaboração de diretrizes para a implantação deste sistema na universidade, como também alimente o conjunto de informações necessárias a futuros projetos semelhantes em outras instituições, incentivando a redução da demanda de água potável através do consumo compatível com sua utilização.

CAPÍTULO 6

RECOMENDAÇÕES

Tendo em vista a importância da utilização racional da água através de sistemas como o aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis; e o fato de que as pesquisas sobre esse assunto avançaram à relativamente pouco tempo dentro da história, verifica-se que existem diversas lacunas a serem exploradas que contribuiriam muito para o desenvolvimento de sistemas de aproveitamento cada vez mais seguros e eficientes. Sendo assim, para trabalhos futuros recomenda-se:

- A realização de estudos qualitativos que visem estabelecer normas mais específicas para a utilização não potável da água de chuva, já que a ABNT NBR15527:2007 é bastante vaga no que se refere aos parâmetros qualitativos;
- Desenvolvimento de estudos que visem identificar o período de estiagem ideal para descarte das primeiras chuvas após o inverno;
- Desenvolvimento de estudos objetivando avaliar a melhoria da qualidade da água de chuva de acordo com o tempo de retenção, encontrando o equilíbrio entre a máxima redução da maioria dos parâmetros, sem que outros parâmetros aumentassem a ponto de não atender às normas;
- A realização de estudos quantitativos que visem não só avaliar o grau de eficiência dos métodos de dimensionamento de reservatórios propostos pela ABNT NBR15527:2007, como também estabelecer relação entre esses métodos e as características pluviométricas do local de implantação do projeto, visto que não existe nenhum tipo de definição específica para a utilização desses métodos na referida norma;
- Desenvolvimento de estudos em diversas tipologias de edificações, de modo que seja possível estabelecer diretrizes para que o projetista saiba à primeira vista se um empreendimento possui ou não condições para a implantação de um sistema de aproveitamento de água de chuva com finalidade não potável, visto que a viabilidade

técnica de um sistema como esse está ligado tanto à demanda quanto à área de captação da edificação;

– E finalmente o desenvolvimento de estudos com enfoque econômico, visando avaliar os custos de implantação, a economia de água e de recursos financeiros, além do tempo de retorno de capital gerado com a implantação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis em diversos tipos de edificações.

REFERÊNCIAS

ACQUALIMP. Residencial. Linha Cisternas. **Cisterna água de chuva**. Disponível em: <http://www.acqualimp.com/index.php>. Acesso em: 20 mai. 2011.

ACQUA SAVE. Kit Residencial. **Cisterna**. Disponível em: http://www.quiminutri.com.br/conteudo/equipamento/acquasave_resind.html. Acesso em: 20 mai. 2011.

ADAM, R. S. **Princípios do Ecoedifício**: Interação entre ecologia, consciência e edifício. São Paulo: Aquariana, 2001.

ALVES, W. C.; ZANELLA, L.; SANTOS, M.F.L.. Como construir. Sistema de aproveitamento de águas pluviais para usos não potáveis. **Revista Técnica**. São Paulo, ed.133, abr. 2008. Disponível em: <http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/133/imprime77982.asp>. Acesso em: 7 jun. 2011.

AMORIM, S.V.; PEREIRA, D.J.A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. **Revista Ambiente Construído**. Porto Alegre, v.8, n.2, p. 56-66, abr./jun. 2008. Disponível em: <http://seer.ufrgs.br/ambienteconstruido/article/view/5359>. Acesso em: 01 ago. 2011.

ANNECCHINI, K.P.V. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005. . Disponível em: http://www.ct.ufes.br/ppgea/files/VERS%C3%83O%20final%20-%20Karla%20Ponzo.PRN_.pdf. Acesso em: 11 jun. 2011.

APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. American Public Health Association. Washington, 19.ed, 1995.

AQUASTOCK. Tecnologia para o aproveitamento de água de chuva. **Catálogo de produtos**. Disponível em: <http://www.aquastock.com.br/equipamentos.htm>. Acesso em: 18 jun. 2011.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 05.626**: Instalação predial de água fria. Rio de Janeiro, 1998. CD-ROM.

_____. **NBR 10.844**: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989. CD-ROM.

_____. **NBR 12.214**: Projeto de sistema de bombeamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992. CD-ROM.

_____. **NBR 15.527**: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis - Requisitos. Rio de Janeiro, 2007. CD-ROM.

FEITOSA, F.A.C.; MANUEL FILHO, J.; FEITOSA, E.C; DEMETRIO, J.G.A. (Org.). **Hidrogeologia: Conceitos e Aplicações**. Fortaleza: CPRM, 1996.

BRAGA, Isabelle Y. L. G. **Aproveitamento da água de chuva para consumo não potável em condomínios horizontais da cidade de João Pessoa – PB**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2008.

BROWN, E. P. S.; MÜLLER, J.; BEZERRA, S. M. C.; FARAHBAKHS, K. **Qualidade da água da chuva em Curitiba - Paraná - para ser utilizada na construção de edificações**. In: XV Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2012, Belo Horizonte, MG. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2012. CD-ROM.

CAMPOS, L. A. S. V.; ROCHA, C. P. **Estudo qualitativo e quantitativo da captação de águas pluviais para sustentabilidade dos recursos hídricos**. In: XV Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2012, Belo Horizonte, MG. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2012. CD-ROM.

CONAMA – CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. Ministério do Meio Ambiente. Resolução nº 274, de 29 de Novembro de 2000. Define os critérios de balneabilidade em águas brasileiras. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 25 jan. 2001. Seção 1, p.70-71. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=272>. Acesso em: 5 set. 2011.

CUNLIFFE, David A. **Guidance on the use of rainwater tanks**. Water Series nº 3. Austrália: National Environmental Health Forum Monographs, 1998. Disponível em: <http://www.eng.warwick.ac.uk/ircsa/factsheets/Cunliffe.pdf>. Acesso em: 20 abr. 2011.

DACACH, N.G. **Saneamento Básico**. 2ed. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.

DA SILVA, M.G. **Análise da Qualidade do Ar com base no fluxo de Veículos e variáveis climáticas: o caso da cidade de Uberlândia – MG**. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal da Uberlândia, Uberlândia, 2007. Disponível em: <http://www.ppgec.feciv.ufu.br/node/233>. Acesso em: 30 jun. 2012.

DECORLIT. Caixas d'água. **Crisotila 250L**. Disponível em: http://www.decorlit.com.br/portugues/fibro_caixadagua.htm. Acesso em: 20 mai. 2011.

DE PAULA, Heber Martins. **Sistema de aproveitamento de água de chuva na cidade de Goiânia: avaliação da qualidade da água em função do tempo de detenção no reservatório**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2005.

DIAS, Isabelly Cícera Souza. **Estudo da viabilidade técnica, econômica e social do aproveitamento de água de chuva em residências na cidade de João Pessoa**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2007.

DIAS, Tiago. A eficiência dos filtros de cartucho. **Revista Meio Filtrante**. Santo André, ed. 23, nov./dez. 2006. Disponível em: http://www.meiofiltrante.com.br/materias_ver.asp?action=detalhe&id=262&revista=n39. Acesso em: 7 jun. 2011.

DORNELLES, F.; TASSI, R.; GOLDENFUM, J.A. Avaliação das Técnicas de Dimensionamento de Reservatórios para aproveitamento de água de chuva. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. Porto Alegre, v.15, n.2, p.59-68, abr./jun. 2010. Disponível em: <http://www.abrh.org.br/novo/detalha.php?id=575&t=Avalia%E7%E3o+das+T%E9cnicas+de+Dimensionamento+de+Reservat%F3rios+para+Aproveitamento+de+%C1gua+de+Chuva>. Acesso em: 08 ago. 2011.

DUDZEVICH, Airton. Como construir. Sistema de Aproveitamento de água de chuva. **Revista Técnica**. São Paulo, ed.148, jul. 2009. Disponível em: <http://www.revista.technet.com.br/engenharia-civil/148/imprime144176.asp>. Acesso em: 11 mai. 2011.

FARESIN, A. E. **Conservação de água em escolas com ênfase em aproveitamento de água de chuva: estudo de caso nas escolas da rede municipal de Erechim – RS**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil). Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, RS, 2008. Disponível em: <http://www.upf.br/ppgeng/images/stories/2006andreiafaresin.pdf>. Acesso em: 8 set. 2011.

FEDRIZZI, M.C. **Fornecimento de água com sistemas de bombeamento fotovoltaico**. Dissertação (Mestrado em Energia). Universidade de São Paulo, São Paulo, 1997. Disponível em: http://lsf.iee.usp.br/lsf/pdf/mestrado/Mestrado_Cristina_Fedrizzi.pdf. Acesso em: 20 jun. 2011.

FENDRICH, R. **Coleta, armazenamento, utilização e infiltração das águas pluviais na drenagem urbana**. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2002.

GOOGLE. **Mapas**. Disponível em: <http://maps.google.com.br/maps?hl=pt-BR&tab=wl>. Acesso em: 01 jul. 2012.

GHISI, E.; CORDOVA, M.M.; ROCHA, V. L. **Netuno 3.0**. Programa computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/>. Acesso em: 31 jul. 2011.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **IBGE Cidades**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>. Acesso em: 18 set. 2011.

JACUZZI. Filtros Jacuzzi. **Manual de instruções**. Disponível em: www.jacuzzi.com.br/. Acesso em: 01 jul. 2011.

JQUES, R. C. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2005. Disponível em: <http://www.tede.ufsc.br/teses/PGEA0224.pdf>. Acesso em: 10 set. 2011.

LCRH – LABORATÓRIO DE CLIMATOLOGIA E RECURSOS HÍDRICOS. Instituto de Geografia. Universidade Federal de Uberlândia. **Alturas Pluviométricas Diárias (mm) – Uberlândia (MG) – 1981/2010**. Uberlândia, 2011. CD-ROM.

_____. **Dados climatológicos diários – 2011/2012**. Uberlândia, 2012. CD-ROM.

LIMA, A. N.; KREUTZ, C.; ARANTES, E.J.; PASSIG, F.H.; CARVALHO, K. Q. **Avaliação da qualidade de água da chuva para aplicação em usos não potáveis**. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011, Porto Alegre, RS. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2011. CD-ROM.

MAGOSSI, L.R.; BONACELLA, P.H. **Poluição das águas**. São Paulo: Moderna, 1990.

MASCARÓ, J. L. **Infra-estrutura Habitacional Alternativa**. Porto Alegre: Sagra, 1991.

MAY, Simone. **Estudo da viabilidade do aproveitamento e água de chuva para consumo não potável em edificações**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: http://www.avaad.ufsc.br/moodle/file.php/32/hiperlivro_ciclo_da_agua_e_3_rs/ciclo_da_agua/dissertacao_agua_de_chuva.pdf. Acesso em: 23 ago. 2011.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria nº 2914, 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. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF, 26 mar. 2004. Disponível em: www.saude.gov.br. Acesso em: 31 mai. 2012.

MOREIRA NETO, R. F.; CARVALHO, I. C.; CALIJURI, M.L; SANTIAGO, A. F.; ROCHA, E. O. **Avaliação do aproveitamento de água pluvial em aeroportos**. In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011, Porto Alegre, RS. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2011. CD-ROM.

NAUTILUS. Filtros e Bombas para piscinas. **Manual de instalação Operação e Manutenção**. Disponível em: <http://www.nutilus.ind.br/>. Acesso em: 01 jul. 2011.

OLIVEIRA, S.M. **Aproveitamento da água da chuva e reúso de água em residências unifamiliares: estudo de caso em Palhoça – SC**. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil). Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina, 2005. Disponível em: <http://www.labee.ufsc.br/node/65>. Acesso em: 07 ago. 2011.

3P TECHNIK. Linha de produtos da 3P. **Kit chuva**. Disponível em: <http://www.agua-de-chuva.com/brazil/index.php?content=kitchuva>. Acesso em: 28 mar. 2011.

PENTAIR. Produtos. Linha Residencial. **Linha Hidrofilter**. Disponível em: <http://www.pentairhidrofiltros.com.br/produtosDetalhes.aspx?area=1&segmento=7&produto=43>. Acesso em: 7 jun. 2011.

PETERS, M. R. **Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

PRADO, G. S.; MULLER, M. S. K. Sistema de aproveitamento de água para edifícios. **Revista Técnica**. São Paulo, ed. 128, nov. 2007. Disponível em: http://www.revista_techne.com.br/engenharia-civil/128/imprime66612.asp. Acesso em: 27 mai. 2011.

PROSSAB – PROGRAMA DE PESQUISA EM SANEAMENTO BÁSICO. **Conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de**

abastecimento de água. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Disponível em: <http://www.finep.gov.br/prosab/produtos.htm>. Acesso em: 8 jun. 2011.

RESS, Dai. **Partially Below Ground (PBG) tank for rainwater storage.** Development Technology Unit School of Engineering. The University of Warwick. Warwick, 2000. Disponível em: <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/civil/crg/dtu/rwh/pubs/>. Acesso em: 20 mai. 2011.

ROCATHERM. **Reaproveitamento de água de chuva.** Disponível em: <http://www.rocatherm.com.br/aguachuva.asp>. Acesso em: 15 set. 2011.

SAUTCHUCK, Carla *et al.* **Conservação e Reuso da Água em Edificações.** São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005. Disponível em: http://www.sindusconsp.com.br/downloads/prodserv/publicacoes/manual_agua_em_edificacoes.pdf. Acesso em: 20 fev. 2011.

SCHNEIDER. **Motobombas, motores e bombeadores submersos.** Catálogo Geral. Disponível em: <http://www.schneider.ind.br>. Acesso em: 23 jun. 2011.

SICKERMANN, Jack. Como Construir. Sistema de aproveitamento de águas pluviais em edificações. **Revista Técnica.** São Paulo, n. 59, fev. 2002. Disponível em: http://www.dptoce.ufba.br/construcao2_arquivos/techne69-71.pdf. Acesso em: 6 jul. 2010.

SILVA, E. M. Estudo da arborização do bairro Mansour em Uberlândia. **Revista Caminho da Geografia.** Uberlândia, n.5, fev. 2002. Disponível em: <http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia/article/view/10105/5974>. Acesso em: 19 jul. 2011.

SILVA, L. C.; VIEIRA, P. C.; FREITAS, R.B. **Avaliação da qualidade da água de chuva para fins não potáveis na cidade de Itabira/MG.** In: XV Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2012, Belo Horizonte, MG. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2012. CD-ROM.

SOCIEDADE DO SOL.. **Água, captação, uso e reúso.** Disponível em: http://www.sociedadedosol.org.br/agua/blts_h2o/h2o0087.htm. Acesso em: 25 ago. 2011.

SODRAMAR. Filtros e Bombas para piscinas. **Manual de instrução.** Disponível em: <http://www.sodramar.com.br>. Acesso em: 01 jul. 2011.

SUERZUT, L. J.; MASSAROTTO, W. L.; SOUZA, T.O.; PASCHOALATO, C. F. P. R.; NOVAES, L. F. **Avaliação do potencial de reuso de águas pluviais na**

universidade de ribeirão preto (UNAERP). In: 26º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2011, Porto Alegre, RS. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2011. CD-ROM.

THOMAS, T. H.; MARTINSON, D.B. **Roofwater Harvesting: A Handbook for Practitioners.** Delft, Holanda: International Water and Sanitation Centre, 2007. Disponível em: <http://www.irc.nl/page/37471>. Acesso em: 25 abr. 2011

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis.** São Paulo: Navegar, 2003. 180p.

USEPA – UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. **Guidelines for Water Reuse.** Washington, DC, 2004. Disponível em: <http://www.epa.gov/nrmrl/wswrd/dw/smallsystems/pubs/625r04108.pdf>. Acesso em: 17 jun. 2012.

VITTORI, Gail (Org.). **Texas Guide Rainwater Harvesting.** 2ed. Austin, Texas: Center for Maximum Potential Building Systems, 1997. Disponível em: <http://www.mtaefficiency.com/pdf/RainHarv.pdf>. Acesso em: 28 mar. 2011

VOGT, Carlos (Org.). Água: abundância e escassez. Com Ciência. **Revista Eletrônica de Jornalismo Científico.** n. 13, set. 2000. Disponível em: <http://www.comciencia.br/reportagens/framereport.htm>. Acesso em: 28 jun. 2010.

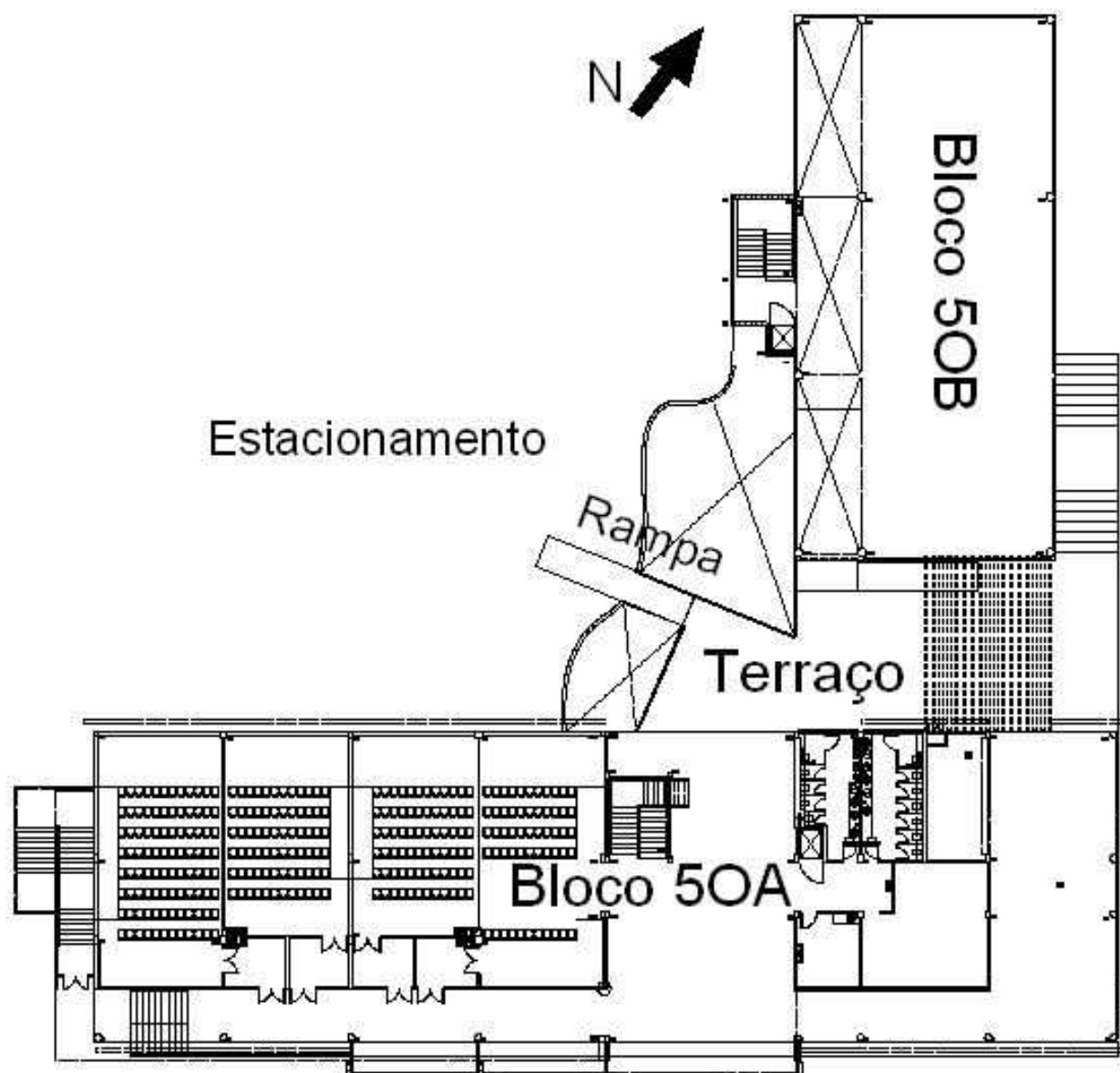
WARWICK – The University of Warwick. **Recommendations for designing rainwater harvesting system tanks.** Domestic Roofwater Harvesting. Research Programme. Warwick, 2001. Disponível em: <http://www2.warwick.ac.uk/fac/sci/eng/research/civil/crg/dtu/rwh/pubs/>. Acesso em: 25 abr. 2001.

WATERFALL, P.H. **Harvesting rainwater for landscape use.** University of Arizona Cooperative. Arizona, 2006. Disponível em: <http://ag.arizona.edu/pubs/water/az1052/harvest.html>. Acesso em: 15 out. 2010.

WERNECK, G.A.M. **Sistemas de utilização da água da chuva nas edificações: O estudo de caso da aplicação em escola de Barra do Piraí, RJ.** Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2006. Disponível em: http://teses.ufrj.br/FAU_M/GuilhermeAugustoMiguelWerneck.pdf. Acesso em: 5 jul. 2011.

ANEXO A

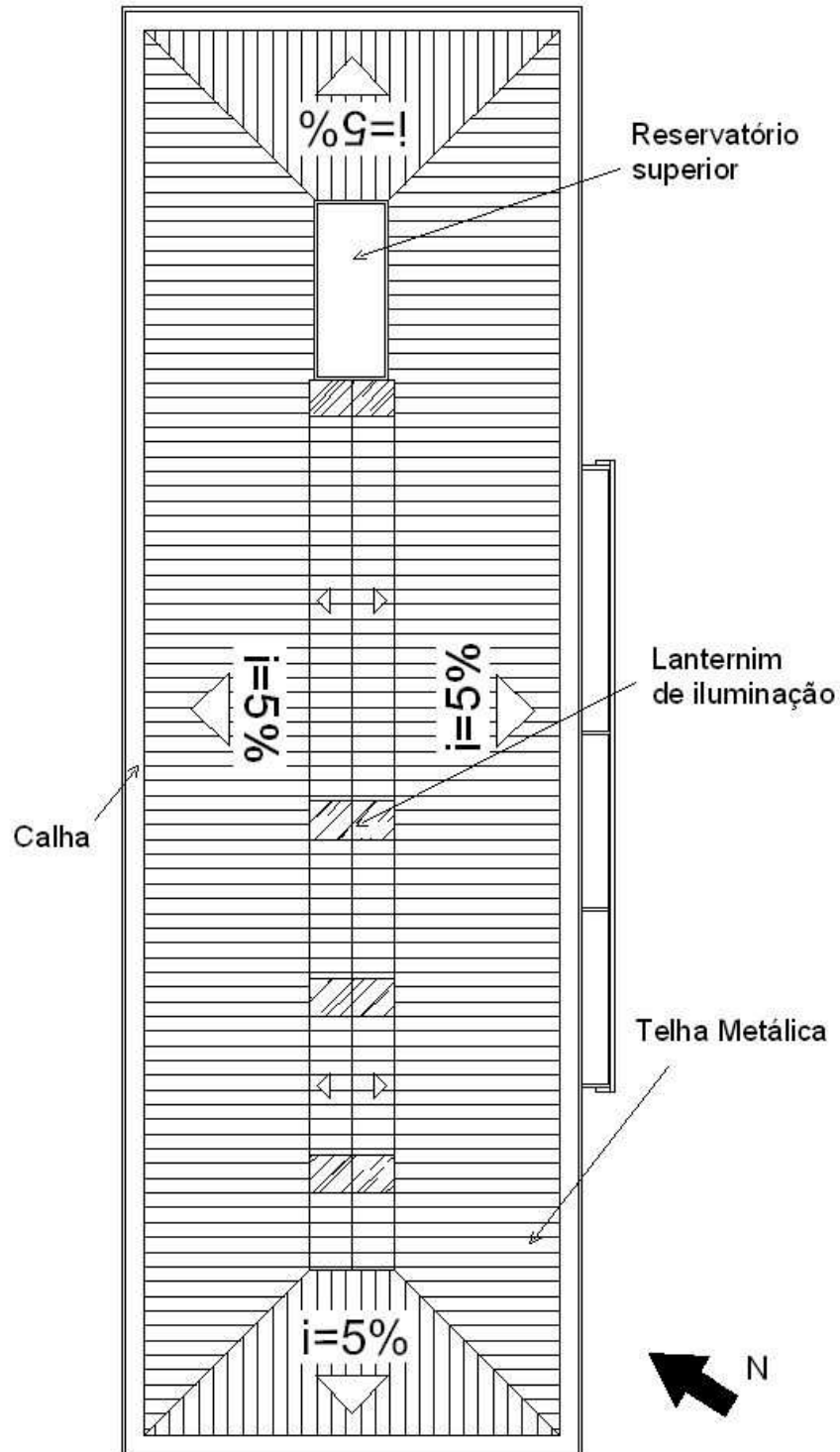
PLANTA BAIXA DO PAVIMENTO TÉRREO DO BLOCO 50



Fonte: Diretoria de Infra-estrutura da Universidade Federal de Uberlândia (2011)

ANEXO B

PLANTA DE COBERTURA DO BLOCO 50A



ANEXO C

SÉRIE HISTÓRICA MENSAL DE CHUVAS DA CIDADE DE UBERLÂNDIA DE 1981 À 2010

Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez	Total
1981	256,2	99,1	169,2	41,1	17,0	59,9	0,0	0,1	0,9	155,7	273,0	431,6	1503,8
1982	660,4	124,3	328,6	105,7	68,2	40,0	19,0	42,6	23,7	188,1	218,8	402,3	2221,7
1983	400,4	231,6	226,9	89,1	38,7	2,8	50,6	1,2	119,9	240,8	234,3	323,0	1959,3
1984	177,1	82,2	233,1	87,6	43,6	0,0	0,0	33,1	36,0	76,4	189,1	286,3	1244,5
1985	572,8	111,3	364,2	75,4	20,2	0,0	0,0	0,0	23,6	21,0	140,8	292,6	1621,9
1986	215,3	176,4	163,2	99,8	27,6	0,0	1,6	50,0	42,0	125,0	107,6	545,0	1553,5
1987	231,6	201,2	169,3	102,4	28,0	10,0	0,0	0,0	37,8	59,2	282,5	348,0	1470,0
1988	174,8	285,5	256,4	150,1	43,0	5,4	0,0	0,0	42,3	124,2	116,6	316,5	1514,8
1989	223,1	248,4	127,5	44,6	3,5	0,0	55,2	22,2	70,1	34,5	312,3	265,1	1406,5
1990	110,9	150,1	94,9	25,3	68,9	0,0	43,3	37,8	51,5	103,3	168,4	155,7	1010,1
1991	383,5	255,2	469,4	178,7	4,7	0,0	0,0	0,0	39,3	79,3	113,4	258,7	1782,2
1992	398,8	383,6	112,8	119,5	46,2	0,0	0,0	4,8	80,9	148,5	172,8	317,6	1785,5
1993	180,9	285,0	137,8	107,2	23,0	72,2	0,0	18,8	78,0	199,8	98,6	433,5	1634,8
1994	385,3	142,6	285,2	26,6	35,9	9,4	9,4	0,0	7,4	47,9	177,3	351,9	1478,9
1995	288,2	422,2	239,1	57,1	121,6	3,4	1,6	0,0	4,2	73,3	133,5	308,2	1652,4
1996	279,8	137,6	176,6	39,8	56,1	8,4	6,8	9,0	106,1	61,3	271,8	291,0	1444,3
1997	268,9	111,6	335,8	107,1	23,4	105,8	0,0	0,0	28,2	90,5	304,7	270,7	1646,7
1998	120,8	160,0	99,6	68,5	58,8	33,3	0,0	63,7	4,2	165,0	155,1	295,1	1224,1
1999	287,2	185,1	162,0	57,4	9,2	8,8	0,0	0,0	69,7	45,8	258,8	226,5	1310,5
2000	339,4	288,0	532,6	72,8	0,0	0,0	14,0	7,6	153,6	16,7	183,7	329,7	1938,1
2001	256,6	112,3	198,6	15,7	67,8	1,3	0,0	27,5	73,3	99,5	164,1	319,1	1335,8
2002	325,9	319,0	105,9	53,0	19,4	0,0	1,3	0,1	57,5	45,1	216,4	347,3	1490,9
2003	556,1	97,0	310,2	97,8	62,1	0,0	1,2	2,7	38,4	67,1	234,2	168,8	1635,6
2004	290,7	265,9	165,6	161,6	9,8	14,1	23,9	0,0	2,9	136,5	138,7	345,4	1555,1
2005	434,2	63,8	273,6	22,1	47,1	44,1	0,0	16,9	33,7	55,2	244,6	239,0	1474,3
2006	208,3	189,5	258,1	96,5	6,4	1,5	0,0	15,5	104,1	266,0	253,3	460,4	1859,6
2007	415,2	229,6	54,6	32,8	11,7	25,7	37,5	0,0	25,2	113,1	244,6	341,6	1531,6
2008	252,5	264,8	244,6	262,2	80,8	9,0	0,0	0,5	17,5	148,2	59,9	363,3	1703,3
2009	260,0	202,4	103,1	70,2	58,8	8,5	8,5	19,8	101,3	87,5	169,6	346,6	1436,3
2010	169,5	150,2	89,0	89,5	10,4	12,1	1,6	0,0	47,8	140,2	267,7	280,2	1258,2
Média	304,1	199,2	216,3	85,2	37,1	15,9	9,2	12,5	50,7	107,2	196,9	322,0	1556,1

Fonte: LCRH (2011)

ANEXO D

MÉTODO DE MONTE CARLO APLICADO NA SÉRIE HISTÓRICA DE CHUVAS DE UBERLÂNDIA

Probabilidade	Meses												Soma anual
	Jan.	Fev.	Mar.	Abr.	Mai.	Jun.	Jul.	Ago.	Set.	Out.	Nov.	Dez.	
95%	142,7	88,9	91,7	23,5	4,0	0,0	0,0	0,0	3,5	27,1	102,7	194,8	678,8
90%	174,3	98,9	99,1	26,5	6,2	0,0	0,0	0,0	4,2	44,0	112,8	237,8	803,8
85%	178,4	111,4	104,1	35,3	9,4	0,0	0,0	0,0	10,9	46,5	122,5	260,9	879,5
80%	202,8	112,2	111,4	40,8	10,3	0,0	0,0	0,0	22,4	53,7	137,7	269,6	960,9
75%	217,3	127,6	130,1	46,7	13,0	0,0	0,0	0,0	24,1	59,7	144,4	281,7	1044,6
70%	229,1	141,1	154,7	55,9	18,7	0,0	0,0	0,0	27,3	65,4	161,4	289,6	1143,1
65%	253,1	150,1	163,6	59,1	20,6	1,3	0,0	0,0	34,0	73,8	168,6	293,0	1217,1
60%	256,4	156,1	167,8	69,5	23,2	2,3	0,0	0,1	37,1	78,1	171,5	303,0	1265,1
55%	260,4	176,8	169,7	72,9	27,6	3,5	0,0	0,5	38,4	87,7	177,6	316,6	1331,8
50%	274,4	187,3	187,6	81,5	32,0	6,9	0,6	2,0	40,7	95,0	186,4	318,4	1412,6
45%	286,8	200,6	225,5	89,0	38,6	8,5	1,3	4,7	42,3	103,1	215,0	322,8	1538,2
40%	289,2	213,3	235,5	92,3	43,2	8,9	1,6	8,2	49,3	117,5	225,0	334,5	1618,4
35%	320,6	231,3	243,8	97,6	45,8	9,3	1,6	14,5	56,6	124,9	234,3	344,8	1725,2
30%	352,6	250,4	256,9	100,6	49,8	10,6	7,3	17,5	69,8	137,6	244,6	346,8	1844,6
25%	384,9	262,4	269,7	104,9	58,1	13,6	9,2	19,6	72,5	146,2	251,1	347,8	1940,0
20%	399,1	269,7	290,2	107,1	59,5	27,2	15,0	23,3	78,6	149,9	260,6	354,2	2034,4
15%	410,0	285,3	322,2	115,2	65,8	37,7	22,2	31,1	94,2	161,7	270,4	388,7	2204,4
10%	446,4	291,1	338,6	151,3	68,3	45,7	38,1	38,3	104,3	189,3	274,0	431,8	2417,0
5%	565,3	354,5	422,1	171,0	75,4	66,7	47,3	46,7	113,7	222,4	294,7	448,3	2828,0
Chuva média	304,1	199,2	216,3	85,2	37,1	15,9	9,2	12,5	50,7	107,2	196,9	322,0	1556,1
Chuva mínima	110,9	63,8	54,6	15,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,9	16,7	59,9	155,7	478,2
Chuva máxima	660,4	422,2	532,6	262,2	121,6	105,8	55,2	63,7	153,6	266,0	312,3	545,0	3500,6

ANEXO E

MÉTODOS DE DIMENSIONAMENTO

Método de Rippl

Os cálculos de dimensionamento pelo Método Rippl utilizaram a planilha ilustrada na Tabela 20, a qual foi desenvolvida com base nas equações 1 e 2 apresentadas no item 2.2.

Tabela 20 – Planilha de cálculo do Método de Rippl

Dados de Entrada		Dados de Saída				
Área de captação	Célula A	Eficiência anual do sistema (%)			Célula C	
Coeficiente de aproveit.	Célula B	Volume do reservatório de armazenamento (m ³)			Célula D	
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
Meses	Precipitação mensal (mm)	Demanda mensal constante (m ³)	Volume de chuva captada (m ³)	Volume de excesso ou falta de chuva (m ³)	Volume acumulado de falta de chuva (m ³)	Eficiência mensal do sistema (%)
Janeiro						
Fevereiro						
Março						
Abril						
Maio						
Junho						
Julho						
Agosto						
Setembro						
Outubro						
Novembro						
Dezembro						
Demanda anual total (m ³)					Célula E	
Demanda anual suprida com água potável (m ³)					Célula F	
Demanda anual suprida com água de chuva (m ³)					Célula G	

Fonte: Arquivo pessoal do autor

Os dados da planilha ilustrada na Tabela 20 foram dispostos de acordo com as informações a seguir:

Dados de entrada

Célula A – Área de captação do sistema (m²);

Célula B – Coeficiente de aproveitamento.

Planilha

Coluna 1 – Período de tempo em meses;

Coluna 2 – Precipitação mensal (mm);

Coluna 3 – Demanda mensal constante de água não potável (m³);

Coluna 4 – Volume mensal de chuva captada (m³), correspondente ao volume de chuva coletado pelo sistema em cada mês. Este valor é calculado por meio da equação 1 apresentada no item 2.2, e pode ser obtido pela multiplicação da Coluna 2 pelas células A e B. Para obter o volume de chuva captado em metros cúbicos é necessário ainda corrigir as unidades dividindo os resultados encontrados por 1.000;

Coluna 5 – Volume mensal de excesso ou falta de chuva (m³), correspondente à diferença entre captação de chuva e a demanda em cada mês. Este valor pode ser obtido pela subtração da coluna 4 pela coluna 3, onde os resultados positivos indicam excesso de chuva (volume captado maior que o volume demandado), e os resultados negativos indicam falta de chuva (volume demandado maior que o volume captado);

Coluna 6 – Volume acumulado de falta de chuva (m³), correspondente ao volume não captado nos meses em que a demanda superou a captação de chuva. Este valor é calculado por meio da equação 2 apresentada no item 2.2, e pode ser obtido pelo somatório acumulado dos valores positivos da coluna 5. Nesta coluna, não são computados os valores negativos, visto que indicam excesso de chuva;

Coluna 7 – Eficiência mensal do sistema (%), correspondente à porcentagem de demanda atendida com água de chuva durante o mês. Este valor é calculado utilizando a função SE do programa computacional Excel, que verificará se a demanda foi ou não totalmente atendida. Desse modo, se a demanda for totalmente atendida, isto é, se o volume de chuva captada (Coluna 4) for maior que a demanda

(Coluna 3), então o resultado da Coluna 7 será 100. Caso contrário a função retorna como resultado a divisão da Coluna 4 pela Coluna 3 multiplicada por 100, indicando a porcentagem de atendimento;

Célula E – Demanda anual total (m^3), correspondente ao volume total de água não potável utilizado pela demanda durante o ano. Este resultado pode ser obtido pelo somatório dos valores encontrados na Coluna 3;

Célula F – Demanda anual suprida com água da rede pública (m^3), correspondente ao volume total de chuva que faltou durante o ano. Este resultado é valor máximo encontrado na Coluna 6;

Célula G – Demanda anual suprida com água de chuva (m^3), correspondente ao volume total de chuva que efetivamente foi utilizado pela demanda durante o ano. Este valor pode ser obtido pela subtração da Célula E pela Célula F.

Dados de saída

Célula C – Eficiência anual do sistema (%), correspondente à porcentagem de demanda atendida com água de chuva durante o ano. Este valor é calculado por meio da equação 15 apresentada no item 2.2, podendo ser obtido dividindo-se a Célula G pela Célula E, e multiplicando-se o resultado por 100;

Célula D – Volume final do reservatório (m^3), que corresponde ao valor máximo encontrado na Coluna 6.

Método Interativo

Os cálculos de dimensionamento pelo Método Interativo utilizaram a planilha ilustrada na Tabela 21, a qual também foi desenvolvida com base na equação 1 e 2 apresentadas no item 2.2.

Tabela 21 – Planilha de cálculo do Método Interativo

Dados de Entrada			Dados de Saída			
Área de captação	Célula A		Eficiência anual do sistema (%)			Célula C
Coeficiente de aproveit.	Célula B		Volume do reservatório de armazenamento (m ³)			Célula D
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7
Meses	Precipitação média mensal (mm)	Demanda mensal constante (m ³)	Volume de chuva captada (m ³)	Volume de chuva presente no reservatório (m ³)	Volume de excesso ou falta de chuva (m ³)	Eficiência mensal do sistema (%)
Janeiro						
Fevereiro						
Março						
Abril						
Mai						
Junho						
Julho						
Agosto						
Setembro						
Outubro						
Novembro						
Dezembro						
					Demanda anual total (m ³)	Célula E
					Demanda anual suprida com água potável(m ³)	Célula F
					Demanda anual suprida com água de chuva (m ³)	Célula G
					Volume máximo adotado para o reservatório (m ³)	Célula H

Fonte: Arquivo pessoal do autor

Os dados da planilha ilustrada na Tabela 21 foram dispostos de acordo com as informações a seguir:

Dados de entrada

Célula A – Área de captação do sistema (m²);

Célula B – Coeficiente de aproveitamento.

Planilha

Coluna 1 – Período de tempo em meses;

Coluna 2 – Precipitação média mensal (mm);

Coluna 3 – Demanda mensal constante de água não potável (m³);

Coluna 4 – Volume mensal de chuva captada (m³), correspondente ao volume de chuva coletado pelo sistema em cada mês. Este valor é calculado por meio da equação 1 apresentada no item 2.2, e pode ser obtido pela multiplicação da Coluna 2 pelas células A e B. Para obter o volume de chuva captado em metros cúbicos é necessário ainda corrigir as unidades dividindo os resultados encontrados por 1.000;

Coluna 5 – Volume de chuva presente no reservatório em cada mês (m³). Este valor é determinado utilizando a função SE do programa computacional Excel, que verificará a relação existente entre o volume de chuva captada e o volume adotado para o reservatório. Desse modo, se não houver excesso de chuva, isto é, se o volume de chuva captada (Coluna 4) for menor que o volume adotado para o reservatório (Célula D), o resultado da Coluna 5 será o volume de chuva captada (Coluna 4). Caso contrário, a função retorna como resultado o volume adotado para o reservatório (Célula D), indicando que ele está cheio para a quantidade de chuva captada;

Coluna 6 – Volume mensal de excesso ou falta de chuva (m³), correspondente à diferença entre a captação e a demanda de chuva em cada mês. Este valor pode ser obtido pela subtração da Coluna 5 pela Coluna 3, onde os resultados positivos indicam excesso de chuva (volume captado maior que o volume demandado), e os resultados negativos indicam falta de chuva (volume demandado maior que o volume captado);

Coluna 7 – Eficiência mensal do sistema (%), correspondente à porcentagem de demanda atendida com água de chuva durante o mês. Este valor é calculado utilizando a função SE do programa computacional Excel, que verificará se a demanda foi ou não totalmente atendida. Desse modo, se a demanda for totalmente atendida, isto é, se o volume de chuva presente no reservatório (Coluna 5) for maior que a demanda (Coluna 3), então o resultado da Coluna 7 será 100. Caso contrário

a função retorna como resultado a divisão da Coluna 5 pela Coluna 3 multiplicada por 100, indicando a porcentagem de atendimento;

Célula E – Demanda anual total (m^3), correspondente ao volume total de água não potável utilizado pela demanda durante o ano. Este resultado pode ser obtido pelo somatório dos valores encontrados na Coluna 3;

Célula F – Demanda anual suprida com água da rede pública (m^3), correspondente ao volume total de chuva que faltou durante o ano. Este resultado pode ser obtido pelo somatório dos valores negativos encontrados na Coluna 6. Para que o valor fique positivo deve-se ainda multiplicar o resultado por (-1);

Célula G – Demanda anual suprida com água de chuva (m^3), correspondente ao volume total de chuva que efetivamente foi utilizado pela demanda durante o ano. Este valor pode ser obtido pela subtração da Célula E pela Célula F;

Célula H – Volume máximo adotado para o reservatório (m^3), que corresponde ao valor máximo obtido na Coluna 4. Este valor é colocado como referencial e limite para o dimensionamento.

Dados de saída

Célula C – Eficiência anual do sistema (%), que corresponde à porcentagem de demanda atendida com água de chuva durante o ano. Este valor é calculado por meio da equação 15 apresentada no item 2.2, e pode ser obtido dividindo-se a Célula G pela Célula E, e multiplicando-se o resultado por 100;

Célula D – Volume adotado para o reservatório (m^3). Esta célula é preenchida com um valor fixado para o reservatório e pode ser alterada de acordo com a necessidade do sistema ao longo da simulação.

Método da Simulação

Os cálculos de dimensionamento pelo Método da Simulação utilizaram a planilha ilustrada na Tabela 22, a qual foi desenvolvida com base nas equações 3 e 4 apresentadas no item 2.2.

Tabela 22 – Planilha de cálculo do Método da Simulação

Dados de Entrada				Dados de Saída				
Área de captação		Célula A		Eficiência anual do sistema (%)				Célula C
Coeficiente de aproveitamento		Célula B		Volume do reservatório de armazenamento (m ³)				Célula D
Coluna 1	Coluna 2	Coluna 3	Coluna 4	Coluna 5	Coluna 6	Coluna 7	Coluna 8	Coluna 9
Meses	Precipitação média mensal (mm)	Demanda mensal constante (m ³)	Volume de chuva captada (m ³)	Volume inicial no reservatório (m ³)	Volume final no reservatório (m ³)	Volume de excesso de chuva (m ³)	Volume de falta de chuva (m ³)	Eficiência mensal do sistema (%)
Janeiro								
Fevereiro								
Março								
Abril								
Maio								
Junho								
Julho								
Agosto								
Setembro								
Outubro								
Novembro								
Dezembro								
						Demanda anual total (m ³)		Célula E
						Demanda anual suprida com água potável (m ³)		Célula F
						Demanda anual suprida com água de chuva (m ³)		Célula G

Fonte: Arquivo pessoal do autor

Os dados da planilha ilustrada na Tabela 22 foram dispostos de acordo com as informações a seguir:

Dados de entrada

Célula A – Área de captação do sistema (m²);

Célula B – Coeficiente de aproveitamento.

Planilha

Coluna 1 – Período de tempo em meses;

Coluna 2 – Precipitação média mensal (mm);

Coluna 3 – Demanda mensal constante de água não potável (m³);

Coluna 4 – Volume mensal de chuva captada (m³), correspondente ao volume de chuva coletado pelo sistema em cada mês. Este valor é calculado por meio da equação 3 apresentada no item 2.2, e pode ser obtido pela multiplicação da Coluna 2 pelas células A e B. Para obter o volume de chuva captado em metros cúbicos é necessário ainda corrigir as unidades dividindo os resultados encontrados por 1.000;

Coluna 5 – Volume de chuva presente no reservatório no início do mês (m³). Normalmente a primeira linha dessa coluna, referente ao mês de janeiro, é preenchida com o valor zero, pois considera-se que o reservatório no início do ano esteja vazio. Para as demais linhas utiliza-se a função SE do programa computacional Excel, que verificará se o reservatório está ou não vazio no início de cada mês. Desse modo, se houver falta de chuva, isto é, o volume de chuva presente no final do mês anterior (Coluna 6) for menor que zero, então o resultado da Coluna 5 será zero. Caso contrário, a função retorna como resultado o volume de chuva presente no final do mês anterior (Coluna 6);

Coluna 6 – Volume de chuva presente no reservatório no final do mês (m³). Este valor é calculado por meio da equação 4 apresentada no item 2.2 e pode ser obtido utilizando a função SE do programa computacional Excel que verificará a relação existente entre o volume de chuva captada e o volume adotado para o reservatório. Desse modo, se houver excesso de chuva, isto é, o resultado do volume de chuva captada (Coluna 4) mais o volume de chuva presente no início do mês (Coluna 5) menos a demanda de água não potável (Coluna 3) for maior que o volume adotado para o reservatório (Célula D), então o resultado da Coluna 6 será o volume adotado para o reservatório (Célula D). Caso contrário, a função retorna o valor correspondente a esse cálculo;

Coluna 7 – Volume mensal de excesso de chuva (m³), correspondente ao volume de excedente nos meses em que a captação superou a demanda de chuva. Este valor

pode ser obtido utilizando a função SE do programa computacional Excel, que verificará o volume de chuva excedente em cada mês. Desse modo, se houver excesso de chuva, isto é, o resultado do volume de chuva captada (Coluna 4) mais o volume de chuva presente no início do mês (Coluna 5) menos a demanda de água não potável (Coluna 3) for maior que o volume adotado para o reservatório (Célula D), então o resultado da Coluna 7 será a subtração desse cálculo pelo o volume adotado para o reservatório (Célula D). Caso contrário, a função retorna como resultado o valor zero;

Coluna 8 – Volume mensal de falta de chuva (m^3), correspondente ao volume não captado nos meses em que a demanda superou a captação de chuva. Este valor pode ser obtido utilizando a função SE do programa computacional Excel, que verificará o volume de chuva não captado em cada mês. Desse modo, se houver falta de chuva, isto é, o resultado do volume de chuva captada (Coluna 4) mais o volume de chuva presente no início do mês (Coluna 5) menos a demanda de água não potável (Coluna 3) for menor que zero, o valor da Coluna 8 será o resultado desse cálculo. Caso contrário, a função retorna como resultado o valor zero;

Coluna 9 – Eficiência mensal do sistema (%), correspondente à porcentagem de demanda atendida com água de chuva durante o mês. Este valor é calculado utilizando a função SE do programa computacional Excel, que verificará se a demanda foi ou não totalmente atendida. Desse modo, se a demanda for totalmente atendida, isto é, se o volume de chuva captada (Coluna 4) mais o volume de chuva presente no início do mês (Coluna 5) for maior que a demanda (Coluna 3), então o resultado da Coluna 9 será 100. Caso contrário a função retorna o resultado dessa soma dividida pela Coluna 3 e multiplicada por 100, indicando a porcentagem de atendimento;

Célula E – Demanda anual total (m^3), correspondente ao volume total de água não potável utilizado pela demanda durante o ano. Este resultado pode ser obtido pelo somatório dos valores encontrados na Coluna 3;

Célula F – Demanda anual suprida com água da rede pública (m^3), correspondente ao volume total de chuva que faltou durante o ano. Este resultado pode ser obtido pelo somatório dos valores negativos encontrados na Coluna 8. Para que o valor

fique positivo deve-se ainda multiplicar o resultado por (-1);

Célula G – Demanda anual suprida com água de chuva (m^3), correspondente ao volume total de chuva que efetivamente foi utilizado pela demanda durante o ano. Este valor pode ser obtido pela subtração da Célula E pela Célula F.

Dados de saída

Célula C – Eficiência anual do sistema (%), que corresponde à porcentagem de demanda atendida com água de chuva durante o ano. Este valor é calculado por meio da equação 15 apresentada no item 2.2, e pode ser obtido dividindo-se a Célula G pela Célula E, e multiplicando-se o resultado por 100;

Célula D – Volume adotado para o reservatório (m^3). Esta célula é preenchida com um valor fixado para o reservatório e pode ser alterada de acordo com a necessidade do sistema ao longo da simulação.

ANEXO F

RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA

Parâmetros	Coletas	Precipitação da atmosfera			Precipitação após o contato com telhamento								
		1mm	2mm	3mm	0,62mm	1,25mm	2,5mm	Rmeio1	Rfundo1	Rmeio2	Rfundo2	Rmeio3	Rfundo3
Temperatura (°C)	1ª	7,5	8,0	9,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2ª	21,9	21,5	21,4	24,3	22,4	22,3	21,8	21,9	30,2	29,9	24,7	24,4
	3ª	26,8	26,2	25,7	25,2	25,2	25,7	—	—	—	—	—	—
	4ª	26,2	25,8	25,9	28,8	—	28,8	28,6	28,6	27,4	27,6	—	—
	5ª	28,6	28,3	28,1	27,1	27,1	27,6	27,3	27,6	25,8	25,0	—	—
pH	1ª	6,4	6,3	6,3	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2ª	4,0	4,2	4,3	5,8	5,8	5,4	5,5	5,5	6,8	7,1	6,5	6,6
	3ª	6,2	6,2	6,6	6,4	6,5	6,6	—	—	—	—	—	—
	4ª	6,1	6,2	6,4	6,3	—	6,5	6,5	6,1	6,8	6,4	—	—
	5ª	6,4	6,5	6,5	6,2	6,4	6,5	6,6	6,5	6,3	6,5	—	—
Condutividade (µs/cm)	1ª	37,5	34,1	33,6	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2ª	26,5	24,7	23,1	129,1	48,5	32,0	24,0	24,5	24,3	25,5	25,9	26,1
	3ª	21,3	21,2	18,4	23,6	23,0	17,6	—	—	—	—	—	—
	4ª	3,6	3,5	3,5	5,5	—	6,2	3,9	4,0	5,3	5,6	—	—
	5ª	16,5	10,5	9,5	21,8	15,4	13,9	13,2	13,4	14,6	14,8	—	—
Acidez (mg/L CaCO ₃)	1ª	4,0	3,9	3,0	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2ª	4,6	4,6	3,3	17,8	7,0	5,4	3,8	4,1	4,3	5,3	2,4	3,1
	3ª	3,0	3,4	3,7	2,4	2,6	3,4	—	—	—	—	—	—
	4ª	2,2	1,7	1,7	1,9	—	2,6	1,7	1,7	1,8	2,2	—	—
	5ª	2,7	2,8	3,3	3,4	2,6	2,6	2,4	2,6	2,8	2,4	—	—
Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	1ª	3,1	3,0	1,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2ª	4,9	3,8	3,6	12,9	6,2	3,8	2,0	2,3	1,8	1,8	1,0	1,8
	3ª	1,7	1,4	1,3	2,1	1,9	1,8	—	—	—	—	—	—
	4ª	0,3	0,2	0,2	0,6	—	0,5	0,5	0,5	0,3	0,3	—	—
	5ª	1,8	1,6	1,4	1,7	1,4	1,3	1,1	1,2	1,1	1,1	—	—

RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA (CONTINUAÇÃO)

Parâmetros	Coletas	Precipitação da atmosfera			Precipitação após o contato com telhamento								
		1mm	2mm	3mm	0,62mm	1,25mm	2,5mm	Rmeio1	Rfundo1	Rmeio2	Rfundo2	Rmeio3	Rfundo3
Nitrito (10 ⁻² mg/L)	1 ^a	5,8	5,6	4,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	3,2	2,3	2,0	9,1	5,2	4,4	3,6	5,8	2,1	4,6	1,8	3,9
	3 ^a	2,5	2,3	1,9	3,0	2,9	2,3	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	1,2	0,8	0,6	2,1	—	1,5	1,3	1,5	0,9	1,1	—	—
	5 ^a	1,4	1,2	1,2	3,8	2,2	1,8	1,8	2,0	1,6	1,7	—	—
Nitrito (mg/L)	1 ^a	0,7	0,1	0,1	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	2,6	1,1	0,7	16,1	7,2	3,6	1,2	1,5	1,8	2,1	2,0	2,3
	3 ^a	1,4	1,0	0,5	1,5	2,0	2,2	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	0,6	0,4	0,2	0,9	—	0,6	0,2	0,4	0,5	0,6	—	—
	5 ^a	0,7	0,5	0,5	1,2	1,0	0,8	0,8	1,1	1,2	1,7	—	—
Sulfato (10 ⁻³ mg/L)	1 ^a	4,6	2,7	1,9	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	5,3	2,5	2,1	23,3	8,4	6,8	5,0	5,8	1,6	2,6	1,2	2,4
	3 ^a	4,1	3,9	3,3	4,3	4,1	3,7	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	2,2	1,9	1,5	2,8	—	2,5	2,0	2,3	1,6	2,0	—	—
	5 ^a	3,8	2,9	1,8	2,6	1,9	1,6	1,6	1,9	1,6	1,8	—	—
Cloroeto (mg/L)	1 ^a	3,5	3,5	2,5	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	0,7	0,7	0,5	1,0	0,8	0,5	0,3	0,3	0,2	0,3	0,2	0,3
	3 ^a	0,9	0,7	0,5	1,1	1,0	0,8	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	1,5	1,2	1,2	1,2	—	1,0	1,0	1,0	1,0	1,1	—	—
	5 ^a	0,9	0,5	0,5	0,7	0,5	0,5	0,3	0,3	0,3	0,3	—	—
Turbidez (UNT)	1 ^a	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	—	—	—	245,3	226,0	136,3	49,1	56,7	3,7	19,1	1,5	1,8
	3 ^a	—	—	—	12,3	10,7	9,6	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	—	—	—	1,8	—	1,4	1,1	1,2	0,9	1,1	—	—
	5 ^a	—	—	—	2,4	1,9	1,7	1,5	1,9	1,4	1,5	—	—

RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA (CONTINUAÇÃO)

Parâmetros	Coletas	Precipitação após o contato com telhamento								
		0,62mm	1,25mm	2,5mm	Rmeio1	Rfundo1	Rmeio2	Rfundo2	Rmeio3	Rfundo3
Cor verdadeira (UH)	1 ^a	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	129,0	125,0	112,5	69,5	94,5	2,0	4,0	1,7	5,7
	3 ^a	14,7	10,7	8,7	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	3,7	—	2,3	1,7	3,3	1,3	3,3	—	—
	5 ^a	6,0	4,3	4,0	3,3	4,7	3,3	4,7	—	—
Alcalinidade (mg/L CaCO ₃)	1 ^a	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	17,5	9,1	6,8	5,4	5,2	9,6	10,5	10,5	10,8
	3 ^a	8,0	7,4	3,7	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	3,7	—	3,1	2,7	3,2	4,3	4,1	—	—
	5 ^a	6,7	5,9	5,4	4,7	4,6	6,0	6,4	—	—
Dureza (mg/L CaCO ₃)	1 ^a	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	52,3	20,6	13,6	—	10,5	9,1	9,2	9,1	9,1
	3 ^a	6,3	6,0	2,9	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	4,1	—	2,5	2,3	3,2	2,1	3,1	—	—
	5 ^a	7,0	5,1	5,0	3,0	3,1	3,0	3,1	—	—
Fósforo (10 ⁻² mg/L)	1 ^a	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	7,1	4,6	2,6	8,5	8,9	5,9	6,6	2,8	4,5
	3 ^a	46,3	8,9	2,0	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	1,4	—	1,1	0,8	1,2	0,8	1,2	—	—
	5 ^a	2,9	2,1	2,1	2,1	2,7	0,6	1,3	—	—
Sólidos Totais (mg/L)	1 ^a	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	590	399	268	193	422	125	462	108	478
	3 ^a	246	170	152	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	563	—	300	245	287	192	346	—	—
	5 ^a	804	463	151	125	242	118	254	—	—

RESULTADOS DA CARACTERIZAÇÃO DA ÁGUA DE CHUVA (CONTINUAÇÃO)

Parâmetros	Coletas	Precipitação após o contato com telhamento								
		0,62mm	1,25mm	2,5mm	Rmeio1	Rfundo1	Rmeio2	Rfundo2	Rmeio3	Rfundo3
Sólidos Dissolvidos (mg/L)	1 ^a	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	202	85	78	62	67	56	102	45	117
	3 ^a	219	159	143	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	345	—	221	196	231	188	274	—	—
	5 ^a	118	114	109	103	106	96	112	—	—
Sólidos Suspensos (mg/L)	1 ^a	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	388	314	190	131	355	69	360	63	361
	3 ^a	27	11	9	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	218	—	79	49	56	4	72	—	—
	5 ^a	686	349	42	22	136	22	142	—	—
Oxigênio Dissolvido (mg/L)	1 ^a	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	9,8	11,2	15,1	14,4	15,1	5,7	6,0	4,7	4,5
	3 ^a	10,4	9,6	9,1	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	7,5	—	7,9	10,0	7,8	7,4	7,0	—	—
	5 ^a	6,6	8,3	8,1	8,0	7,9	2,9	3,0	—	—
DQO (mg/L)	1 ^a	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	83,0	46,3	33,0	29,1	41,3	28,0	56,3	19,1	68,0
	3 ^a	84,4	76,7	64,4	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	25,6	—	17,8	12,2	30,0	5,6	11,1	—	—
	5 ^a	20,0	15,0	15,0	14,4	23,3	13,3	25,0	—	—
DBO (mg/L)	1 ^a	—	—	—	—	—	—	—	—	—
	2 ^a	40,0	35,4	17,6	17,2	32,6	17,0	40,0	5,0	45,3
	3 ^a	29,5	11,4	7,7	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	7,6	—	4,7	3,5	6,0	3,0	3,7	—	—
	5 ^a	6,5	5,5	3,8	3,0	4,8	2,7	5,3	—	—

ANEXO G

COMPARAÇÃO ENTRE OS RESULTADOS DAS AMOSTRAS E OS PADRÕES DE QUALIDADE DA ÁGUA

Comparação com a ABNT NBR15527:2007

Parâmetro	Coletas	Precipitação após o contato com telhamento								
		0,62mm	1,25mm	2,5mm	Rmeio1	Rfundo1	Rmeio2	Rfundo2	Rmeio3	Rfundo3
pH (6,0 à 8,0)	2ª	NA	NA	NA	NA	NA	A	A	A	A
	3ª	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—
Turbidez (< 5 UNT)	2ª	NA	NA	NA	NA	NA	A	NA	A	A
	3ª	NA	NA	NA	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—
Coliformes Termotoler. (Ausência)	2ª	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	3ª	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—

A: Atendeu
NA: Não Atendeu

Comparação com a ABNT NBR13.969:1997 (Classe 3)

Parâmetro	Coletas	Precipitação após o contato com telhamento								
		0,62mm	1,25mm	2,5mm	Rmeio1	Rfundo1	Rmeio2	Rfundo2	Rmeio3	Rfundo3
pH (6,0 à 8,0)	2ª	NA	NA	NA	NA	NA	A	A	A	A
	3ª	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—
Turbidez (< 10 UNT)	2ª	NA	NA	NA	NA	NA	A	NA	A	A
	3ª	NA	NA	A	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—
Coliformes Fecais (< 500 NMP/100mL)	2ª	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	3ª	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—

A: Atendeu
NA: Não Atendeu

Comparação com a Portaria nº2914/11 do MS

Parâmetro	Coletas	Precipitação após o contato com telhamento								
		0,62mm	1,25mm	2,5mm	Rmeio1	Rfundo1	Rmeio2	Rfundo2	Rmeio3	Rfundo3
pH (6,0 à 9,0)	2ª	NA	NA	NA	NA	NA	A	A	A	A
	3ª	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—
	2ª	NA	NA	NA	NA	NA	A	NA	A	A
Turbidez (≤ 5 UNT)	3ª	NA	NA	NA	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—
	2ª	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Dureza (≤ 500 mg/L)	3ª	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—
	2ª	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Sulfato (≤ 250 mg/L)	3ª	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—
	2ª	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Cloreto (≤ 250 mg/L)	3ª	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—
	2ª	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	A	NA
Amônia (≤ 1,5 mg/L)	3ª	NA	NA	NA	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	NA	A	A	A	A	A	A	—	—
	2ª	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Nitrito (≤ 1,0 mg/L)	3ª	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—
	2ª	NA	A	A	A	A	A	A	A	A
Nitrato (≤ 10 mg/L)	3ª	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—
	2ª	A	A	A	A	A	A	A	A	A
SD (≤ 1000 mg/L)	3ª	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—
	2ª	A	A	A	A	A	A	A	A	A
Coliformes Termotoler. (Ausente)	3ª	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4ª	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5ª	A	A	A	A	A	A	A	—	—
	2ª	A	A	A	A	A	A	A	A	A

A: Atendeu

NA: Não Atendeu

Comparação com Sautchuck *et al* (2005) (Classe 1)

Parâmetro	Coletas	Precipitação após o contato com telhamento								
		0,62mm	1,25mm	2,5mm	Rmeio1	Rfundo1	Rmeio2	Rfundo2	Rmeio3	Rfundo3
pH (6,0 à 9,0)	2 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	A	A	A	A
	3 ^a	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5 ^a	A	A	A	A	A	A	A	—	—
	2 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	A	A
Turbidez (≤ 2 UNT)	3 ^a	NA	NA	NA	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5 ^a	NA	A	A	A	A	A	A	—	—
	2 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	A	A	A	A
Cor (≤ 10 UH)	3 ^a	NA	NA	A	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5 ^a	A	A	A	A	A	A	A	—	—
Fósforo (≤ 0,1 mg/L)	2 ^a	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	3 ^a	NA	A	A	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5 ^a	A	A	A	A	A	A	A	—	—
Nitrogênio Amoniacal (≤ 20 mg/L)	2 ^a	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	3 ^a	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5 ^a	A	A	A	A	A	A	A	—	—
Nitrito (≤ 1,0 mg/L)	2 ^a	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	3 ^a	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5 ^a	A	A	A	A	A	A	A	—	—
Nitrato (< 10 mg/L)	2 ^a	NA	A	A	A	A	A	A	A	A
	3 ^a	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5 ^a	A	A	A	A	A	A	A	—	—
SD (≤ 500 mg/L)	2 ^a	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	3 ^a	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5 ^a	A	A	A	A	A	A	A	—	—
DBO (≤ 10 mg/L)	2 ^a	NA	NA	NA	NA	NA	NA	NA	A	NA
	3 ^a	NA	NA	A	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5 ^a	A	A	A	A	A	A	A	—	—
Coliformes Fecais (Ausente)	2 ^a	A	A	A	A	A	A	A	A	A
	3 ^a	A	A	A	—	—	—	—	—	—
	4 ^a	A	—	A	A	A	A	A	—	—
	5 ^a	A	A	A	A	A	A	A	—	—

A: Atendeu

NA: Não Atendeu