

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
UNIDADE DE PÓS-GRADUAÇÃO, EXTENSÃO E PESQUISA
MESTRADO PROFISSIONAL EM GESTÃO E TECNOLOGIA
EM SISTEMAS PRODUTIVOS

ÁLVARO DIOGO SOBRAL TEIXEIRA

DESENVOLVIMENTO DE COLETOR DE ÁGUA DE CHUVA EM AMBIENTE
URBANO E CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DA ÁGUA DO ESCOAMENTO
INICIAL (*FIRST FLUSH*)

São Paulo

Julho/2017

ÁLVARO DIOGO SOBRAL TEIXEIRA

DESENVOLVIMENTO DE COLETOR DE ÁGUA DE CHUVA EM AMBIENTE
URBANO E CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DA ÁGUA DO ESCOAMENTO
INICIAL (*FIRST FLUSH*)

Dissertação apresentada como exigência parcial para a obtenção do título de Mestre em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, no Programa de Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos, sob a orientação da Profa. Dra. Elisabeth Pelosi Teixeira.

São Paulo
Julho/2017

T266d Teixeira, Álvaro Diogo Sobral
Desenvolvimento de coletor de água de chuva em ambiente urbano e caracterização preliminar da água do escoamento inicial (first flush) / Álvaro Diogo Sobral Teixeira. – São Paulo : CPS, 2017.
136 f. : il.

Orientadora: Profa. Dra. Elisabeth Pelosi Teixeira.
Dissertação (Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos) – Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, 2017.

1. Desenvolvimento tecnológico - sistemas produtivos. 2. Coletor de água de chuva. 3. Caracterização de água de chuva. 4. First flush. 5. Ecotoxicologia. I. Teixeira, Elisabeth Pelosi. II. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza. III. Título.

ÁLVARO DIOGO SOBRAL TEIXEIRA

DESENVOLVIMENTO DE COLETOR DE ÁGUA DE CHUVA EM AMBIENTE
URBANO E CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DA ÁGUA DO ESCOAMENTO
INICIAL (*FIRST FLUSH*)

Profa. Dra. Elisabeth Pelosi Teixeira

Prof. Dr. Dirceu D'Alkmin Telles

Profa. Dra. Silvia Pierre Irazusta

São Paulo, 13 de julho de 2017

Ao meu avô, Takeji Kanamaru, eterno bambuzal que enverga, mas não quebra.

AGRADECIMENTOS

À Profa. Dra. Elisabeth Pelosi Teixeira, pela orientação, inspiração, dedicação e por lapidar o trabalho desenvolvido, pois sem seu esforço não seria possível concretizar esta pesquisa.

Ao Prof. Plínio Tomaz, pela sugestão do tema e pelo suporte técnico fornecido durante todo o transcorrer da pesquisa.

À Profa. Dra. Silvia Pierre Irazusta, pelo empréstimo do Laboratório de Ecotoxicologia e pela realização, junto com seus orientados da graduação, das análises ecotoxicológicas.

À auxiliar docente Patrícia Hassato, pela realização das análises físico-químicas e apoio nas interpretações dos achados experimentais.

Ao auxiliar docente Paulo Bálsamo, pelo auxílio na realização da análise microbiológica da primavera.

À auxiliar docente Renata Nascimento, à estagiária Bruna Carolina Rodrigues Silva e aos discentes Cresley Martins e Rosangela Cattani, pela realização das análises ecotoxicológicas.

Ao Prof. Dr. Dirceu D'Alkmin Telles, pelos conselhos acadêmicos.

Aos professores de Hidráulica e Saneamento Ambiental da FATEC-SP: Luiz Antônio de Almeida, Luiz Eduardo Mendes, Silvio Luís Giudice, Edmundo Pulz, Wladimir Firsoff e Regina Pacca que contribuíram de forma significativa para que eu chegasse até aqui.

Aos professores do Programa de Mestrado em Sistemas Produtivos do Centro Paula Souza: Francisco Tadeu Degasperri, Carlos Vital Giordano e Celi Langhi pelas dicas técnicas e acadêmicas que contribuíram ao desenvolvimento do trabalho.

A todos os funcionários do Programa de Mestrado do Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, pela atenção, conhecimentos e aprendizados compartilhados.

À Virgínia Dias de Azevedo Sodré pelo incentivo e compreensão e a todos os colegas de trabalho que também estiveram incentivando durante o período: Leonardo Varallo, Gustavo Bueno de Freitas, Carla Isabel Alzamora Bordini, Débora Siqueira, Bruno Nogueira Fukasawa, Beatriz Garcia Lontra, Marina Roque Oliveira, Alexandre Barreira Alves e Juan Souza Dias.

Aos amigos Flávio Soares e Murilo Carbone pelo auxílio na montagem do coletor de água de chuva e empréstimo das ferramentas necessárias.

À amiga Rafaela Ferreira Iassia por auxiliar na tradução e formatação das imagens do trabalho e também por auxiliar nas análises laboratoriais.

Ao amigo Jonathan Adam pelo auxílio na montagem do coletor de água de chuva e pelo auxílio nas análises laboratoriais.

Aos amigos Felipe Manoel, Silmara Silva e Íris Souza pelo auxílio nas análises laboratoriais.

Aos discentes Domenica Garcia, Gustavo Angeli, Jennifer Morais, Nathalia Kusaba, Tainá Yumi e William Raniele, que mesmo não podendo ajudar diretamente na pesquisa se prontificaram em colaborar quando apoio foi solicitado.

Ao amigo Leonardo Costa Fernandes pelo auxílio nas traduções.

Aos amigos Ana Paula Silveira e Douglas Gomes do Nascimento pelo incentivo.

À Priscila da Silva Oliveira, minha parceira e companheira de todas as horas por todo apoio e compreensão e auxílio nas análises laboratoriais.

À minha mãe, Izaura Masako Kanamaru pela confiança e por sempre acreditar em mim.

“Eu sempre adorei o som da chuva
Batendo leve em minha janela
E então o aroma do orvalho do amanhecer
Em meu gramado molhado vem me saudar
...O lar

Eu nunca valorizei isso
Eu nunca dei valor às gotas que derramei
Eu não consegui ver a relação
Entre mim e a fome mundial

A água é para os escolhidos
Mas como podemos esperar que sejamos nós...
Eu e você?”

GILDENLÖW, Daniel. **Water**. In.: One Hour
By The Concrete Lake. 1998.

RESUMO

TEIXEIRA, Á. D. S. **Desenvolvimento de coletor de água de chuva em ambiente urbano e caracterização preliminar da água do escoamento inicial (*first flush*)**. 136f. Dissertação Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2017.

A disponibilidade hídrica da Região Metropolitana da cidade de São Paulo é muito crítica, semelhante às regiões semiáridas do Nordeste brasileiro. O aproveitamento da água da chuva é uma das mais básicas formas de coleta e armazenamento de água. Este sistema possui diversas vantagens, mas também possui inconvenientes. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um coletor de água de chuva para uso urbano e realizar uma caracterização preliminar da qualidade físico-química, microbiológica e ecotoxicológica do escoamento inicial a ser descartado em sistemas de aproveitamento de água de chuva, para fins não potáveis em regiões densamente urbanizadas. A metodologia é de caráter experimental, quantitativa, por meio de estudo de caso utilizando um coletor desenvolvido durante a pesquisa, que capta a água de chuva da cobertura de um prédio localizado em região densamente urbanizada do centro de São Paulo - SP. Os principais resultados indicam que parâmetros exigidos na ABNT NBR 15.527:2007 como cor, turbidez e ausência de coliformes só são atingidos com tratamento posterior à coleta e não apenas com descarte do escoamento inicial, porém este melhora a qualidade da água armazenada em relação aos parâmetros estudados e apresenta redução significativa de condutividade, alcalinidade e dureza. O pH não variou nas análises efetuadas. A água coletada apresentou boa qualidade ecotoxicológica e baixa qualidade microbiológica. A pesquisa confirma a importância do descarte do escoamento inicial para melhoria da qualidade da água de chuva a ser armazenada e utilizada em sistemas produtivos e/ou domésticos, além de apresentar uma opção de sistema coletor de água de chuva de pequeno porte e fácil acesso para estudo em ambientes urbanos, discutindo suas vantagens e possíveis oportunidades de melhoria.

Palavras-chave: Desenvolvimento tecnológico em Sistemas Produtivos; Coletor de água de chuva; Caracterização de água de chuva; *First flush*; Ecotoxicologia.

ABSTRACT

TEIXEIRA, Á. D. S. **Development of rainwater collector in urban environment and preliminary characterization of the first flush.** 136f. Dissertação Mestrado Profissional em Gestão e Tecnologia em Sistemas Produtivos. Centro Estadual de Educação Tecnológica Paula Souza, São Paulo, 2017.

The water availability in the São Paulo city Metropolitan Area is very critical, similar to the Brazilian Northeast semi-arid regions. The rainwater harvesting is one of the most basic forms of collecting and storing water. This system has several advantages, but it also has its drawbacks. The objective of this work was to develop a rainwater collector for urban use and to perform a preliminary characterization of the physical-chemical, microbiological and ecotoxicological quality of the initial runoff to be discarded in rainwater harvesting systems to non-potable uses in densely urbanized areas. The methodology is experimental, quantitative, by means of a case study using a collector developed in this research, which catches the rainwater from a roof of a building located in a densely urbanized area of the São Paulo city center. The main results indicate that parameters required by ABNT NBR 15.527:2007, such as color, turbidity and coliforms absence, are only reached by post-collection treatment and not only by discarding the first flush, but it improves the stored quality and also presents significant reduction of conductivity, alkalinity and hardness. The pH did not change in the analyzed tests. The collected water showed a good ecotoxicological quality and low microbiological quality. The research confirms the importance of discarding the first flush to improve the quality of rainwater to be stored and used in productive and/or domestic systems, in addition to presenting a small and easily accessible rainwater collection system option for studying in urban environments, by discussing their advantages and possible opportunities for improvement.

Keywords: Technological development in Productive Systems; Rainwater collector; Rainwater characterization; First flush; Ecotoxicology.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	Disponibilidade hídrica por região do Brasil	22
Tabela 2	Características físicas, químicas e bacteriológicas da água de chuva em São Paulo	36
Tabela 3	Características físicas, químicas e bacteriológicas da água de chuva no interior de reservatório em São Paulo	38
Tabela 4	Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis	39
Tabela 5	Classificação da dureza da água	45
Tabela 6	Descarte do escoamento inicial recomendado (mm) baseado na turbidez (NTU)	52
Tabela 7	Tabela com as informações a serem anotadas no ato da coleta da água de chuva	74
Tabela 8	Marca e modelo dos equipamentos utilizados para determinação dos Sólidos Suspensos Totais (SST)	76
Tabela 9	Caracterização físico-química do escoamento inicial realizada na coleta teste de 28/04/2016	93
Tabela 10	Informações sobre a coleta de água de chuva – 19/05/2016	95
Tabela 11	Informações sobre a coleta de água de chuva – 10/11/2016	95
Tabela 12	Tabela com os resultados da técnica dos tubos múltiplos para Dados consolidados das análises físico-químicas realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada	98
Tabela 13	Tabela com os resultados da técnica dos tubos múltiplos para Dados consolidados das análises físico-químicas realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada	100
Tabela 14	Tabela com os resultados da técnica dos tubos múltiplos para Determinação do Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes em 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta de 19/05/2016	114
Tabela 15	Determinação do Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes em 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta de 10/11/2016	115

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Distribuição de água doce e salgada no globo	26
Figura 2	Capacidade de armazenamento <i>per capita</i> no mundo [m ³ /habitante]	26
Figura 3	Distribuição de água doce e população no Brasil	27
Figura 4	Situação dos usos da água em relação à vazão mínima natural	28
Figura 5	Esquema de sistema de aproveitamento de água de chuva com reservatório <i>first flush</i>	30
Figura 6	Representação esquemática de um sistema de aproveitamento de água de chuva	32
Figura 7	Exemplo do cálculo para determinação do volume de <i>first flush</i> a ser descartado	51
Figura 8	Amostrador <i>first flush</i> por Tomaz (2009)	51
Figura 9	Média de remoção dos parâmetros cor e turbidez	53
Figura 10	Distribuição espacial da precipitação média mensal no País - médias do período de 1961 a 2007	54
Figura 11	Chuvas médias mensais em postos pluviométricos - dados de 1961-1990	55
Figura 12	Dispositivos usados para coleta do escoamento inicial, segundo Martinson e Thomas (2005)	56
Figura 13	Dispositivo para coletar separadamente os 10 primeiros minutos da chuva, segundo Melo e Andrade Neto (2007)	56
Figura 14	Amostrador de água de chuva de telhado, segundo concepção de Vasconcelos (2008)	57
Figura 15	Amostrador que coleta água de chuva diretamente da atmosfera, segundo Hagemann (2009)	58
Figura 16	Amostrador que coleta água da chuva do telhado, segundo Hagemann (2009)	58
Figura 17	Dispositivos para coletar água de chuva com zero, 2mm e 5mm de descarte do escoamento inicial, de acordo com Santos (2010)	59
Figura 18	Sistema de coleta, descarte e armazenamento de água de chuva, de acordo com Rocha, Reis e Araújo (2011)	60

Figura 19	Dispositivo para descarte manual do first flush, segundo Lee e Visscher (1992)	61
Figura 20	Descarte dependente da intensidade, segundo Church (2001) <i>apud</i> Doyle (2008)	62
Figura 21	Descarte do escoamento inicial com orifício de fundo, segundo Thomas e Martinsson (2007)	63
Figura 22	Sistema de descarte "tubo com bola", segundo Doyle (2008)	63
Figura 23	Reservatório de descarte com boia automática de nível	64
Figura 24	DesviUFPE	65
Figura 25	Pré-filtro vortex da Wisy®	66
Figura 26	Pré-filtro cascata da W3PTechnik®	66
Figura 27	Pré-filtro caseiro (à esquerda) desenvolvido por Kawashima e Sant'Ana (2015) e sua representação esquemática em corte (à direita).	67
Figura 28	Separador de folhas Fortlev®	68
Figura 29	Separador de folhas caseiro	68
Figura 30	Imagem de satélite da área em estudo, dando destaque (em vermelho) para a cobertura utilizada para a captação da água de chuva utilizada neste estudo.	85
Figura 31	Planta da área do telhado utilizado para captação da água de chuva	86
Figura 32	Localização do espaço para instalação do protótipo no <i>hall</i> entre a cozinha e a sala de estudos do prédio da pós-graduação. Sem escala.	86
Figura 33	Corte A – Vista lateral do coletor de água de chuva	87
Figura 34	Corte B – Vista frontal do coletor de água de chuva	87
Figura 35	Coletor do escoamento inicial de água de chuva instalado	88
Figura 36	Reservatórios e acessórios do coletor	89
Figura 37	Peças utilizadas para adaptação para interligação da válvula de PVC marrom com o tê de derivação de PVC branco	89
Figura 38	Montagem do banco suporte para os reservatórios do coletor de água de chuva	90
Figura 39	Banco suporte envergando com o peso da água nos reservatórios	90
Figura 40	Peças do coletor que se desmontam para limpeza e manutenção. Em A: tê de redução 100x50mm; em B: válvula de retenção em PVC	91

marrom; em C: cap inferior; em D: flange e plug.

Figura 41	Métodos de fechamento da entrada do reservatório. Em A: “tubo com bola”, utilizando-se de 2 reduções excêntricas, luva simples e em seu interior grelha e bola de tênis; em B: válvula de retenção em PVC	92
Figura 42	Histórico de chuva um mês antes da coleta do dia 19/05/2016	96
Figura 43	Histórico de chuva um mês antes da coleta do dia 10/11/2016	96
Figura 44	Aspecto visual da água no ato da coleta das amostras para análise	102
Figura 45	Análises do parâmetro COR realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 19/05/2016	103
Figura 46	Análises do parâmetro COR realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 10/11/2016	103
Figura 47	Presença de sólidos particulados na tubulação horizontal do coletor de água de chuva	104
Figura 48	Análises do parâmetro TURBIDEZ realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 19/05/2016	105
Figura 49	Análises do parâmetro TURBIDEZ realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 10/11/2016	106
Figura 50	Análises do parâmetro SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 10/11/2016	107
Figura 51	Sólidos decantados no fundo de garrafas de coleta da água de chuva	108
Figura 52	Análises do parâmetro pH realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 19/05/2016	108
Figura 53	Análises do parâmetro pH realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 10/11/2016	109
Figura 54	Análises do parâmetro CONDUTIVIDADE realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 19/05/2016	110
Figura 55	Análises do parâmetro CONDUTIVIDADE realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 10/11/2016	110
Figura 56	Análises do parâmetro ALCALINIDADE realizadas com 3 mm de	111

	água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 19/05/2016	
	Análises do parâmetro ALCALINIDADE realizadas com 3 mm de	
Figura 57	água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 10/11/2016	112
	Análises do parâmetro DUREZA realizadas com 3 mm de água de	
Figura 58	chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 19/05/2016	113
	Análises do parâmetro DUREZA realizadas com 3 mm de água de	
Figura 59	chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 10/11/2016	113
	Taxa de germinação da semente <i>Allium cepa</i> nas amostras de água	
Figura 60	de chuva coletadas para ensaio de fitotoxicidade em <i>Allium cepa</i> – Índice de Germinação.	116
	Índices de Aberração Cromossômica (IAC), apresentados na figura	
Figura 61	A para ensaio de genotoxicidade e Índices de Micronúcleo (IMN), apresentado na Figura B para ensaio de mutagenicidade em <i>Allium cepa</i> realizados nas amostras de água de chuva do first flush.	117
	Análise citológica das células meristemáticas e F1 das raízes de	
Figura 62	cebola expostas às amostras de água de chuva. Em A, a área dentro do círculo destaca grande vacuolização dos citoplasmas das células meristemáticas; em B, perda cromossômica em destaque; em C, observa-se micronúcleo nas células da porção F1, do controle positivo; em D, observa-se figura de mitose normal.	118
Figura 63	Algas observadas no microscópio óptico comum, aumento de 400X	119
Figura 64	Inibição do crescimento algal pela água da chuva.	119
Figura 65	Ensaio sem inibição do crescimento algal pela água da chuva.	120

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1	Volume descartado de <i>first flush</i>	50
Equação 2	Resíduo sólido suspenso total	76
Equação 3	mg/L de dureza em CaCO ₃	78
Equação 4	Média das porcentagens de inibição	81
Equação 5	Média aritmética	81
Equação 6	Cálculo do pH	81
Equação 7	pH convertido em mol	82
Equação 8	Variância	82
Equação 9	Desvio padrão	82
Equação 10	Coeficiente de variação	82

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
a.C.	Antes de Cristo
ANA	Agência Nacional de Águas
ASA	Articulação no Semiárido Brasileiro
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
CAT	Atividade da Catalase
CBH-AT	Comitê de Bacia Hidrográfica – Alto Tietê
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
CN	Controle negativo
CP	Controle positivo
CPTM	Companhia Paulista de Trens Metropolitanos
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNA	<i>Deoxyribonucleic acid</i> (ácido desoxirribonucleico – ADN)
DQO	Demanda Química de Oxigênio
EC50	Concentração efetiva de 50%
EC	<i>Escherichia coli</i>
EDTA	<i>Ethylenediamine tetraacetic acid</i> (ácido etilenodiamino tetra-acético)
EUA	Estados Unidos da América
FATEC	Faculdade de Tecnologia
FIESP	Federação das Indústrias do Estado de São Paulo
GSH	Glutathiona reduzida
IAC	Índice de Aberração Cromossômica
IG	Índice de Germinação
IM	Índice mitótico
IMN	Índice de Micronúcleo
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPT	Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo
MS	Ministério da Saúde
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NMP	Número Mais Provável

NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit</i> (Unidade Nefelométrica de Turbidez – UNT)
OD	Oxigênio Dissolvido
ONU	Organização das Nações Unidas
P1MC	Programa Um Milhão de Cisternas
pH	Potencial Hidrogeniônico
PP	Polipropileno
PVC	Policloreto de Vinila
RMSP	Região Metropolitana de São Paulo
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SINDUSCON-SP	Sindicado da Indústria da Construção Civil do Estado de São Paulo
SST	Sólidos Suspensos Totais
SOD	Superóxido dismutase
UFC	Unidade Formadora de Colônia
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco
UFSM	Universidade Federal de Santa Maria
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i> (Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente – PNUMA)
UNESCO	Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura
USP	Universidade de São Paulo
VB	Verde de bromocresol
VM	Vermelho de metila

LISTA DE SÍMBOLOS

$\mu\text{S/cm}$	Micro Siemens por centímetro
$^{\circ}\text{C}$	Graus Celsius
A	Área
cm	Centímetro
CV	Coefficiente de variação
dp	Desvio padrão
g	Grama
h	Hora
H	Altura
km	Quilômetro
km²	Quilômetro quadrado
km³	Quilômetro cúbico
L	Litro
m	Metro
m²	Metro quadrado
m³	Metro cúbico
mg	Miligrama
mg/L	Miligrama por litro
mol	Concentração molar
min	Minuto
mL	Mililitro
mm	Milímetro
ppm	Parte por milhão
uH	Unidade de <i>Hazen</i>
V	Volume

SUMÁRIO

I INTRODUÇÃO	22
1 Crise hídrica e água de chuva	22
2 Objetivos	24
2.1. Objetivo geral	24
2.2. Objetivos específicos	24
II FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	25
1 A Água no globo	25
2 Aproveitamento de água de chuva	28
2.1 Conceituação	28
2.2 Histórico	32
3 Qualidade da água de chuva	34
3.1 Antes de atingir a área de captação	34
3.2 Após o escoamento pela área de captação	35
3.3 No interior do reservatório	37
3.4 Nos pontos de utilização	39
4 Parâmetros físico-químicos	40
4.1 Cor	40
4.2 Turbidez	41
4.3 Sólidos Suspensos Totais (SST)	42
4.4 pH	43
4.5 Condutividade	43
4.6 Alcalinidade total	44
4.7 Dureza total	45
5 Análises microbiológicas	46
5.1 Coliformes termotolerantes	46
5.2 Coliformes totais	47
6 Análises ecotoxicológicas	48
7 Descarte do escoamento inicial (<i>first flush</i>)	50
7.1 Definição e métodos de determinação	50
7.2 Estudos sobre o descarte do escoamento inicial	55
7.3 Tecnologias para descarte do escoamento inicial	60

III METODOLOGIA	70
1 Área de estudo	70
2 Desenvolvimento do coletor de água de chuva	71
2.1 Projeto do coletor de escoamento inicial da água de chuva.....	71
2.2 Construção e avaliação um coletor do escoamento inicial da água de chuva	71
3 Coleta da água de chuva	72
3.1 Higienização e montagem do amostrador	72
3.2 Estabelecimento das condições de coleta	72
3.3 Coleta das amostras	73
4 Análises da qualidade da água da chuva.....	74
4.1 Parâmetros físico-químicos	75
4.2 Ensaio microbiológicos	78
4.3 Ensaio ecotoxicológicos	79
4.4 Análises estatísticas	81
IV RESULTADOS E DISCUSSÃO	84
PARTE 1 - Desenvolvimento do coletor de água de chuva do telhado.....	85
1.1 Desenvolvimento dos cálculos e desenhos.....	85
1.2 Desenvolvimento do protótipo	87
PARTE 2 - Caracterização preliminar da qualidade da água de descarte do escoamento inicial (<i>first flush</i>).....	92
2.1 Coleta teste	92
2.2 Informações gerais sobre as coletas do <i>first flush</i>	94
2.3 Avaliação geral dos parâmetros físico-químicos.....	97
2.4 Apresentação detalhada dos parâmetros analisados nas amostras do <i>first flush</i>	102
2.5 Avaliação geral dos ensaios microbiológicos.....	114
PARTE 3 - Caracterização dos aspectos ecotoxicológicos da água de descarte do escoamento inicial (<i>first flush</i>)	115
3.1 Ensaio de fitotoxicidade, genotoxicidade e mutagenicidade em semente de <i>Allium cepa</i>	115
3.2 Ensaio de ecotoxicologia aquática com <i>Radophicelis subcapitata</i>	118
V CONCLUSÕES	123
REFERÊNCIAS	125
ANEXO I	135

I. INTRODUÇÃO

1. Crise hídrica e água de chuva

A água reservada na Terra consiste em 97,5% do seu volume em oceanos e mares, sendo que apenas 2,5% é de água doce. Dentro destes 2,5%, há apenas 0,3% disponíveis em rios e lagos, e o restante se apresenta em forma de calotas polares, geleiras, aquíferos e outros reservatórios de difícil acesso, o que representa 0,0075% de toda água do globo (SHIKLOMANOV, 1998).

O Brasil ainda figura em um bom lugar no *ranking* das maiores reservas de água doce do mundo, possuindo 12% da reserva mundial e 53% da reserva latino-americana, mas a situação aparentemente confortável não evita escassez em algumas regiões, já que 70% do volume total das águas encontra-se na Região Amazônica – a menos habitada do país – enquanto que os 30% restantes estão distribuídos para 93% da população. A Região Metropolitana de São Paulo, por exemplo, possui crítica disponibilidade hídrica por habitante, como ilustra a Tabela 1, comparável às áreas mais secas do Nordeste brasileiro. Isto ocorre por estar localizada numa região de cabeceira e por ser o maior aglomerado urbano do país (LOMBA, 2010).

Tabela 1. Disponibilidade hídrica por região do Brasil

Classificação da ONU	Disponibilidade Hídrica (m³/habitante/ano)	Região (m³/habitante/ano)
Abundante	Maior que 20.000	Brasil (35.000)
Correta	Entre 2.500 e 20.000	Paraná (12.600)
Pobre	Entre 1.500 e 2.500	Estado de São Paulo (2.209) Estado de Pernambuco (1.270)
Crítica	Menor que 1.500	Bacia do Piracicaba (408) Bacia do Alto Tietê (200)

Fonte: SABESP (2016)

Considerando o exposto na Tabela 1 faz-se necessário intervir de diversas formas para

amenizar esta situação e a criação de uma nova cultura sobre a água da chuva é uma delas.

A economia possível de ser obtida por meio dos sistemas de aproveitamento de água de chuva varia de acordo com a área de captação, pluviometria local, consumo e capacidade de reservação. Marinoski e Ghisi (2008) obtiveram economia de 45,8% em estudo realizado em uma instituição de ensino localizada em Florianópolis-SC. Souza e Ghisi (2012) obtiveram variações de 20% a 60% de economia para usos não-potáveis em residências. Dentro da situação crítica de uma metrópole como a de São Paulo, quaisquer porcentagens de economia são bem-vindas como as sugeridas pelos autores.

São conhecidos mais de 250 patógenos ou contaminantes de veiculação hídrica que podem causar doenças, tais como febre tifoide, cólera e disenteria (EDUARDO et al., 2005). Garantir a segurança sanitária dos sistemas de aproveitamento de água de chuva são indispensáveis para evitar contaminação por estes microrganismos. Fazer o descarte do escoamento inicial, o *first flush*, é uma maneira simples e efetiva de garantir uma qualidade melhor para a água de chuva que será destinada para armazenamento (DOYLE, 2008).

Dos organismos possíveis de estarem presentes na água coletada, o *Cryptosporidium parvum*, é um protozoário coccídeo, parasita intestinal que infecta diversas espécies animais, incluindo aves, e conhecido por infectar seres humanos. Pode causar diarreia, acompanhada de cólicas abdominais, anorexia, vômito, desidratação, náusea e febre (EDUARDO et al., 2005).

Heyworth, Glonek, Maynard et al. (2006) realizaram estudos no sul da Austrália e mostraram que 42% das crianças com idade entre 4 e 6 anos que beberam água de chuva como fonte de abastecimento potável tiveram doenças gastrintestinais.

Pesquisadores ao redor do globo como Pacey e Cullis (1996, p. 63) e Doyle (2008) têm demonstrado a necessidade de aproveitamento de água de chuva para suprir a demanda, bem como do estudo da teoria do *first flush*, para determiná-lo da maneira mais adequada. O volume de água que deve ser rejeitado no *first flush* depende do tipo de material do telhado e da quantidade de contaminação. Doyle (2008) estudou e quantificou o quanto deve ser o descarte do escoamento inicial na região de Ruanda e apresenta uma maneira de determinar o volume a ser descartado que pode variar de 0,6mm a 2mm. Já Pacey e Cullis (1996, p. 64) utilizam os primeiros 15 a 20 minutos de precipitação.

Este estudo ainda não foi realizado no Brasil (TOMAZ, 2010), porém a ABNT NBR 15.527:2007 recomenda descartar 2 mm da precipitação inicial.

Para melhor aproveitamento, com eficiência e sem riscos sanitários, determinar este

valor é essencial. Este valor variará conforme as condições do entorno do local onde será instalado o sistema de aproveitamento de água de chuva.

Assim, o que motiva a realização desta pesquisa é o desenvolvimento de um coletor de água de chuva que possibilite a caracterização da água do escoamento inicial (*first flush*) em sistema de aproveitamento de água de chuva captada na cobertura de uma edificação localizada no bairro do Bom Retiro, município de São Paulo – SP (estudo de caso).

2. Objetivos

2.1. Objetivo Geral

Desenvolver um coletor de água de chuva que possibilite uma caracterização preliminar da qualidade físico-química, microbiológica e ecotoxicológica do escoamento inicial a ser descartado em sistemas de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis de sistemas produtivos e/ou domésticos situados em regiões densamente urbanizadas.

2.2. Objetivos Específicos

- Projetar um arranjo experimental para coleta do escoamento inicial da água de chuva de 0,5 em 0,5 milímetro após início da precipitação;
- Construir e avaliar um protótipo de coletor do escoamento inicial da água de chuva;
- Realizar uma caracterização preliminar da qualidade da água de chuva de cada instante coletado nos seus aspectos físico-químicos, microbiológicos e ecotoxicológicos;
- Analisar criticamente as variáveis, limitações e condicionantes para sucesso da coleta de água de chuva e sua posterior análise qualitativa e quantitativa;
- Analisar criticamente o potencial de uso da água de chuva em sistemas produtivos e/ou domésticos, considerando a qualidade encontrada em cada instante analisado.

II. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta os fundamentos teóricos que serviram de base para o desenvolvimento do trabalho. Inicialmente é realizada uma breve apresentação do cenário de disponibilidade hídrica no Brasil e no mundo e, em seguida, os conceitos de aproveitamento de água de chuva, histórico de utilização e qualidade da água de chuva em seus diferentes instantes. Para caracterização da qualidade da água da chuva são apresentados os parâmetros físico-químicos, microbiológicos e ecotoxicológicos. Tratamos em seguida do descarte do escoamento inicial (*first flush*) e das tecnologias utilizadas para este fim.

Com a problemática exposta foi desenvolvido um coletor de água de chuva para possibilitar estudos de caracterização qualitativa e quantitativa do escoamento inicial em sistemas de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis de sistemas produtivos e/ou domésticos situados em regiões densamente urbanizadas.

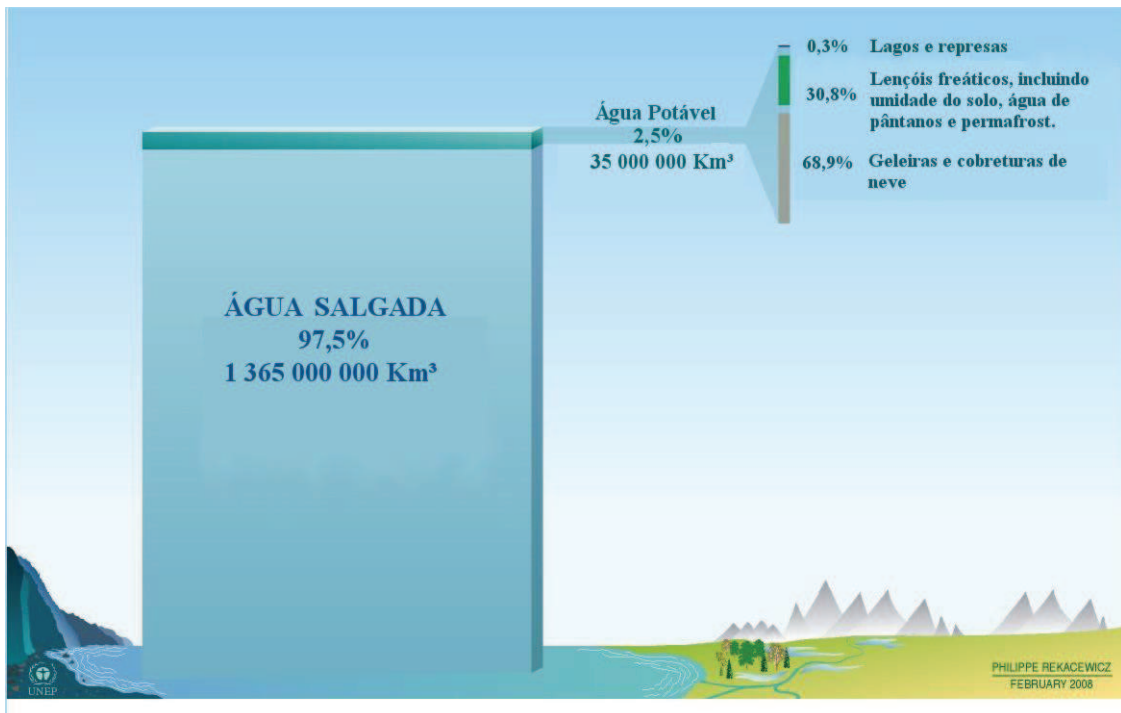
1. A água no globo

O planeta Terra possui área superficial de 510 milhões de km², mais de 361 milhões de km² ou 71% de sua superfície é coberta por água. Elemento essencial à vida é a substância mais abundante na natureza com ocorrência em rios, lagos, oceanos, mares e calotas polares (SHKLOMANOV e RODDA, 2003).

Esse volume abundante representa aproximadamente 1,3 bilhões de km³ e deste volume, 97,5% é água salgada e 2,5% é água doce. Analisando esta pequena parcela de água doce observa-se que apenas 0,3% estão disponíveis em mananciais superficiais como rios e lagos, o restante encontra-se em fontes de difícil acesso como geleiras, calotas polares e mananciais subterrâneos incluindo regiões pantanosas (SHKLOMANOV e RODDA, 2003).

A Figura 1 ilustra a distribuição de água no globo.

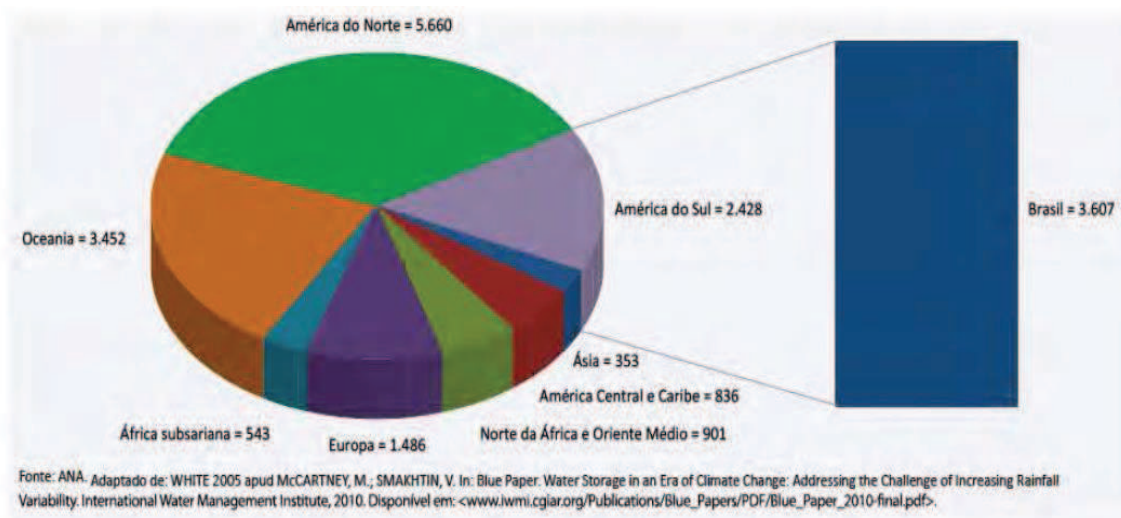
Figura 1. Distribuição de água doce e salgada no globo



Fonte: UNEP, 2008

O volume de água armazenado em reservatórios artificiais *per capita* tem sido utilizado para avaliar a capacidade de água reservada em determinada região. Este indicador é utilizado pelo Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente (PNUMA) para identificar o grau de vulnerabilidade hídrica para atender aos usos da água (ANA, 2013).

Figura 2. Capacidade de armazenamento *per capita* no mundo [m³/habitante]



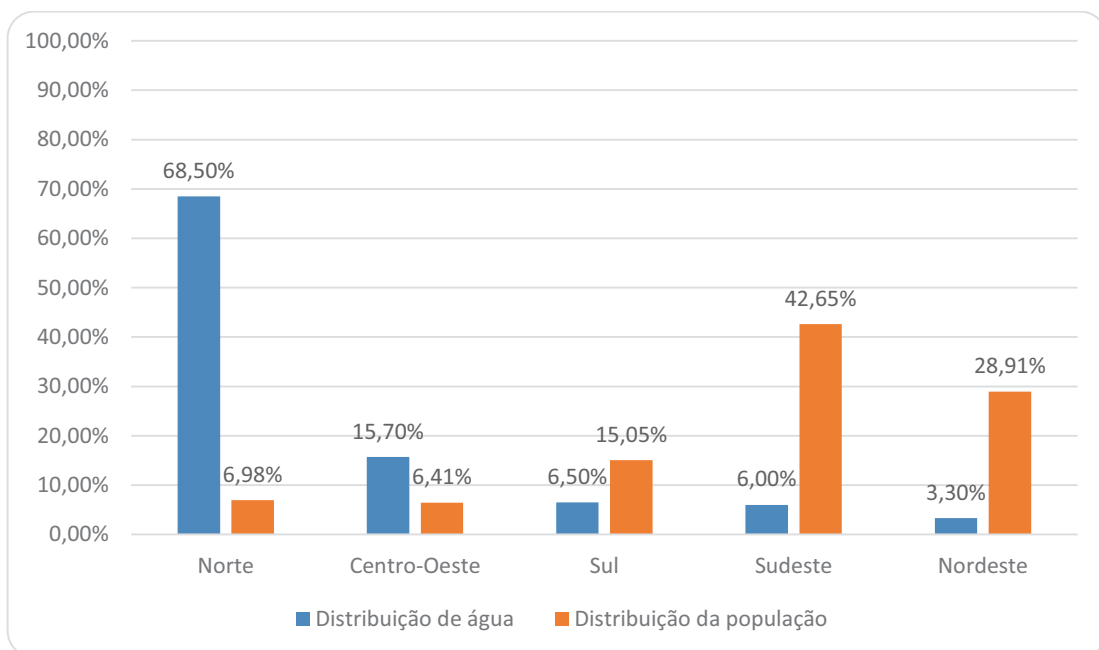
Fonte: ANA. Adaptado de: WHITE 2005 apud McCARTNEY, M.; SMAKHTIN, V. In: Blue Paper. Water Storage in an Era of Climate Change: Addressing the Challenge of Increasing Rainfall Variability. International Water Management Institute, 2010. Disponível em: <www.iwmi.cgiar.org/Publications/Blue_Papers/PDF/Blue_Paper_2010-final.pdf>.

Fonte: ANA, 2013

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA) (2013), o Brasil figura em bom lugar no *ranking* das maiores reservas de água doce do mundo, possuindo 13,70% da reserva mundial e 56,90% da reserva sul-americana, conforme ilustra a Figura 2.

Mas a situação aparentemente confortável não evita escassez em algumas regiões, já que 70% do volume total das águas encontram-se na Região Amazônica – a menos habitada do país – enquanto que os 30% restantes estão distribuídos para 93% da população (ANA, 2013). A Figura 3 demonstra essa disparidade.

Figura 3. Distribuição de água doce e população no Brasil

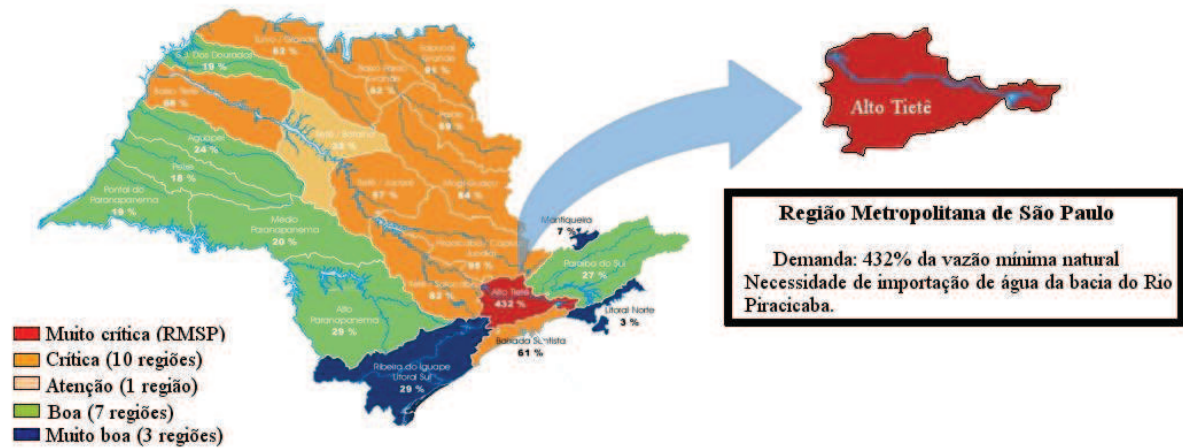


Fonte: ANA, 2013

O problema da escassez de água não é exclusividade das regiões áridas e semiáridas. Mesmo em regiões onde há abundância de recursos hídricos, o consumo excessivo e mau uso do recurso faz com que seja necessário racionalizar o consumo. Isso afeta diretamente o desenvolvimento econômico e a qualidade de vida da população desta região.

Afunilando ainda mais o estudo da disponibilidade hídrica direcionando a atenção para o estado de São Paulo, segundo o Comitê de Bacia Hidrográfica do Alto Tietê (CBH-AT) a Região Metropolitana de São Paulo apresenta disponibilidade hídrica muito crítica, semelhante às regiões semiáridas do nordeste brasileiro.

Figura 4. Situação dos usos da água em relação à vazão mínima natural



Fonte: Brasil, 2014

Considerando o exposto faz-se necessário intervir de diversas formas para amenizar o estresse hídrico e o desenvolvimento de uma nova cultura sobre o uso da água de chuva é uma delas.

2 Aproveitamento de água de chuva

O aproveitamento da água da chuva é uma das mais básicas formas de coleta e armazenamento de água. Este sistema possui diversas vantagens, mas também possui alguns inconvenientes. Ao contrário da água fornecida pelas concessionárias de saneamento, a água de chuva nem sempre está disponível e pronta para o uso. Logística e materiais de construção são de menor necessidade do que em sistemas de captação subterrânea ou de redes de distribuição, embora a capacidade do sistema seja limitada pela precipitação local e seus custos de instalação sejam mais baratos (DOYLE, 2008).

2.1 Conceituação

O conceito de conservação da água foi definido pela *American Water Works Association – AWWA*, em 1993, como “prática, tecnologias e incentivos que aperfeiçoam a eficiência do uso da água” e vem sendo praticado em diversos países da América do Norte, Europa e no Japão (TOMAZ, 2003, p.17).

Gonçalves (2009) formulou as seguintes terminologias:

- Uso racional da água: objetiva o controle da demanda, através da redução do consumo, preservando a quantidade e a qualidade da água para as diferentes atividades consumidoras.
- Conservação de água: prevê o controle da demanda juntamente com a ampliação da oferta, por meio do uso de fontes alternativas de água, tais como o aproveitamento da água de chuva e o reúso de águas cinzas e negras.

No cenário atual de baixa disponibilidade hídrica e alta contaminação dos mananciais urbanos, as edificações nas cidades utilizam água potável indiscriminadamente para todos os usos. Utilizar água menos nobre para fins menos nobres é uma alternativa para reduzir o consumo de água potável. Buscar por fontes alternativas (água de chuva, reúso, dessalinização, etc.) é gerir a oferta que, associada à gestão da demanda (redução do consumo), contempla o uso racional para a conservação da água (OLIVEIRA et al., 2007).

Um sistema de aproveitamento da água da chuva possui características próprias e individualizadas e atende ao princípio do saneamento ecológico, sendo, portanto, independente de um sistema centralizado. Quando se utiliza deste, está se promovendo autossuficiência e ainda se contribui para a conservação da água (GONÇALVES, 2009).

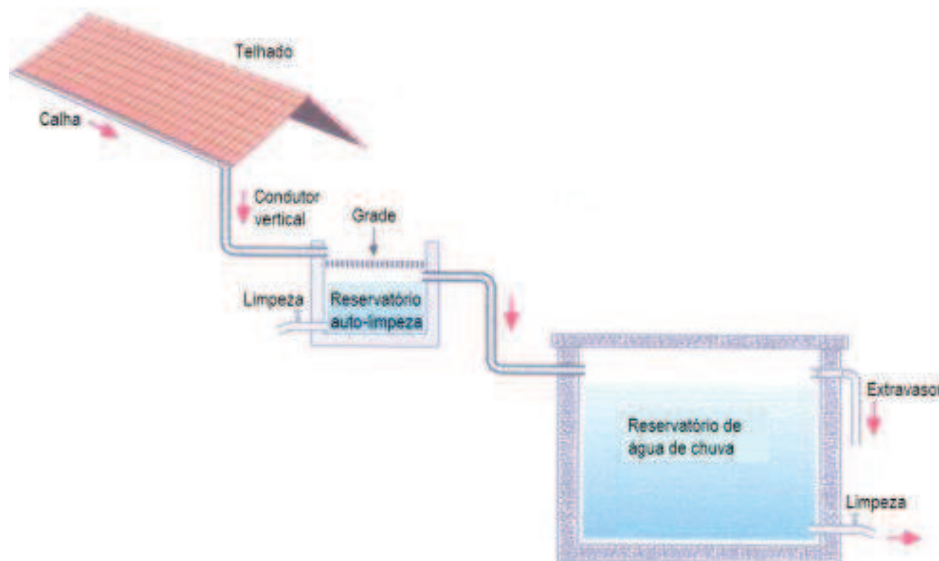
Conforme a ABNT NBR 15.527:2007, os sistemas de aproveitamento de água de chuva são compostos de cobertura, calhas e tubulações de descida, descarte do escoamento inicial (*first flush*), armazenamento, tratamento e distribuição para utilização em fins não potáveis.

A Figura 5 ilustra uma captação padrão de água de chuva para aproveitamento, onde a água precipitada no telhado é coletada por uma calha e conduzida por condutos verticais e horizontais para um dispositivo de descarte do escoamento inicial (*first flush*) e posterior reservação para aproveitamento. O reservatório deve constar sempre de extravasor e orifício de fundo para limpeza.

Antes do uso a água deverá ser tratada conforme a qualidade requerida para seu uso.

Atualmente diversos países vêm investindo na multiplicação de sistemas de aproveitamento de água de chuva, encontrando-se principalmente na Alemanha, Japão, Hong Kong, Malásia, Índia, Austrália, nos Estados Unidos da América (principalmente nos estados do Texas, Havaí e nas Ilhas Virgens) e ainda no semiárido do nordeste brasileiro (BERTOLO, 2006).

Figura 5. Esquema de sistema de aproveitamento de água de chuva com reservatório *first flush*



Fonte: Tomaz (1998)

Entre os benefícios de se utilizar a água da chuva pode se destacar: i) a redução do consumo de água da rede pública e do custo de fornecimento desta; ii) redução da utilização de água potável em situação onde não é necessária, tais como, descarga em bacias sanitárias, irrigação de jardins, lavagem de pavimentos, entre outros usos; iii) o retorno de investimento positivo com período de retorno (*payback*) curto, podendo se pagar entre 6 meses e 2 anos; iv) auxílio no controle de inundações, retendo parte da água que seria lançada nas galerias de água pluvial ou em cursos d'água; v) incentivo a conservação de água, o uso sustentável deste recurso e uma postura ativa perante os problemas ambientais (VERDADE, 2008).

Segundo Tony Wong, diretor executivo do Centro de Pesquisa Cooperativa para Cidades Sensíveis à Água, uma das lições aprendidas com a seca é a necessidade de diversificar o portfólio de fontes de água e o investimento em infraestrutura para aproveitar de água de chuva ajuda a solucionar também o problema de enchentes (TOLEDO, 2015).

O aumento de edifícios com essa tecnologia reflete diretamente no melhor gerenciamento dos sistemas de drenagem urbana e na redução das demandas das estações de tratamento de água e de esgotos em operação, resultando também em menor consumo de energia e de insumos como: cal, sulfato de alumínio, cloro, flúor, que para serem produzidos geram resíduos sólidos, líquidos e gasosos e, conseqüentemente, degradação ambiental (CHENG, 2000).

Vale ressaltar também as desvantagens de um sistema de aproveitamento de água de chuva como custos de instalação e manutenção e diminuição do volume de água captada nos períodos de estiagem (BERTOLO, 2006; VERDADE, 2008).

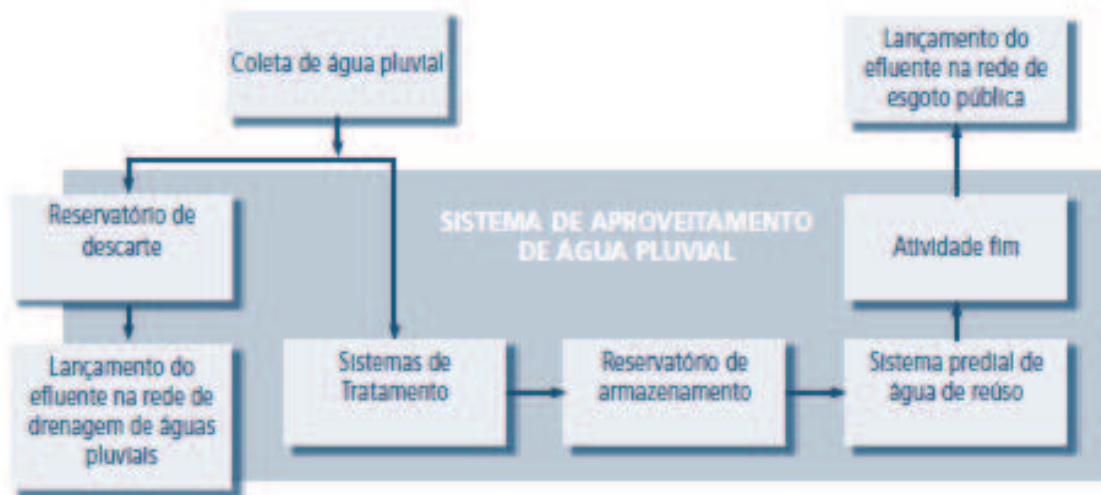
Algumas regiões no mundo já tentaram proibir o uso da água de chuva, como é o caso do estado de Colorado nos Estados Unidos, onde uma lei de 2015 punia em até 500 dólares por dia caso a água da chuva de um telhado fosse desviada para um reservatório. O argumento utilizado pelo senador ruralista Jerry Sonnenberg era de que as pessoas da cidade estariam “roubando” a água da chuva que iria escoar até atingir as planícies à jusante onde encontra-se a área rural do estado e seria usada para auxiliar na irrigação (HAYLE, 2015).

Em agosto de 2016 essa lei foi revogada e o aproveitamento de água de chuva foi tornado legal novamente no estado do Colorado. A representante democrata Jessie Danielson afirmou que diante de mudanças climáticas, escassez e um sistema de abastecimento de água tributado, o aproveitamento de água de chuva doméstico é uma importante ferramenta de conservação (HOOD, 2016).

De acordo com o manual da ANA, FIESP e SindusCon-SP (2005), a metodologia básica para projeto de sistemas de coleta, tratamento e uso de água de chuva envolvem as seguintes etapas, também representadas na Figura 6: i) determinação da precipitação média local (mm/mês); ii) determinação da área de coleta; iii) determinação do coeficiente de escoamento superficial; iv) caracterização da qualidade da água de chuva; v) projeto do reservatório de descarte do escoamento inicial (*first flush*); vi) projeto do reservatório de armazenamento; vii) identificação dos usos da água (demanda e qualidade); viii) estabelecimento do sistema de tratamento necessário e ix) projeto dos sistemas complementares (grades, filtros, tubulações etc.).

O aproveitamento de água de chuva não deve ser confundido com reúso ou reaproveitamento. Os termos reúso e reaproveitamento são usados para a água que já foi utilizada pelo homem para algum fim, como a lavagem de roupas, lavagem de mãos, bacias sanitárias, etc. A água da chuva ainda não foi utilizada tornando incorreto usar reúso ou reaproveitamento (TOMAZ, 2013, p. 445).

Figura 6. Representação esquemática de um sistema de aproveitamento de água de chuva



Fonte: ANA, FIESP e SindusCon-SP (2005)

2.2 Histórico

O manejo e o aproveitamento da água de chuva tem sido uma prática exercida por diferentes civilizações e culturas ao longo do tempo, passando pelo Oriente, Oriente Médio, Europa, e pelos Incas, Maias e Astecas na América Latina, havendo relatos de dispositivos de coleta e armazenamento de água de chuva que remontam a sistemas construídos e operados há milhares de anos. No deserto de Negev, por exemplo, o sistema existe há mais de 4.000 anos (GONÇALVES, 2009; SOARES; GONÇALVES, 2001).

A coleta de água de chuva é uma técnica popular em muitas partes do mundo, especialmente em regiões áridas e semiáridas, onde as chuvas ocorrem somente em poucos meses do ano e com bastante variabilidade interanual. O senso comum preconiza armazenar água das estações chuvosas para ser usada nas estações de seca (GNADLINGER, 2006).

Na história, há relatos de aproveitamento da água da chuva antes de Cristo. Na Pedra Moabita, encontrada no Oriente Médio, datada de 850 a.C., o rei Mesha dos Moabitas sugere a construção de um reservatório em cada casa para aproveitamento de água de chuva e há 2.750 a.C., na Mesopotâmia, já se utilizava de água de chuva (TOMAZ, 2003).

Os romanos eram famosos por terem levado água para as cidades por meio de aquedutos, mas usavam também a captação de água de chuva em larga escala. Deles, os árabes herdaram as tecnologias, as quais novamente serviram de exemplo para os espanhóis e portugueses (GNADLINGER, 2006).

Os portugueses implantaram a captação de água de chuva em vários lugares do mundo. Cita-se como exemplo, as Ilhas Madeira e Porto Santo, porém não no Brasil, visto que para os portugueses se tratava de um país rico em água, sendo o sertão utilizado para criação de animais e não para a agricultura (GNADLINGER, 2006).

No México, as inscrições mais antigas e tradicionais de coleta de água de chuva são datadas na época dos Astecas e dos Maias. No século X, ao sul da cidade de Oxkutzcab, situada ao pé do monte Puuc, a agricultura era baseada na coleta de água de chuva. As pessoas viviam nas encostas e a água da chuva era armazenada em cisternas com capacidade de 20.000 a 45.000 litros, chamadas de Chultuns (GNADLINGER, 2000). Na Península de Iucatã, também no México, existem reservatórios que datam de antes da chegada de Cristóvão Colombo à América e que ainda estão em uso (TOMAZ, 2003, p. 25).

No palácio de Knossos na ilha de Creta, aproximadamente 2000 a.C., a água de chuva era aproveitada para descarga em bacias sanitárias (KÖNIG, 2001, p. 100). Nesta mesma região, relata Tomaz (2003, p. 25) são inúmeros os reservatórios escavados em rochas, anteriores a 3000 a.C., que aproveitavam a água da chuva para consumo humano.

Em Istambul, na Turquia, durante o governo de César Justinian (527-565 a.C), foi construído um dos maiores reservatórios do mundo denominado de Yerebatan Sarayı, cujas dimensões totalizavam um volume de 80.000m³ com objetivo de armazenar água da chuva (UNEP, 2016).

König (2001, p. 100) relembra que, apesar do longo histórico de aproveitamento de água de chuva, na Alemanha começou-se a investir em tecnologias para esta finalidade com o surgimento do movimento ambientalista na década de 70. Desde então, a legislação sobre o uso da água, regulamentos para construção de edifícios e ordenamentos municipais têm sofrido diversas alterações visando a conservação sustentável dos recursos hídricos.

No Brasil os sistemas de aproveitamento de água de chuva sempre fizeram parte da realidade nas regiões semiáridas do Nordeste. Em outras regiões do país o interesse por estes sistemas está crescendo, mas na maioria dos casos são implantados por iniciativa própria e ainda sem a verificação de muitos requisitos de desempenho e, em especial, dos critérios de segurança sanitária (OLIVEIRA et al., 2007).

O sistema de água de chuva mais antigo registrado no Brasil localiza-se no Forte de São Marcelo em Salvador, Bahia desde 1664 (TOMAZ, 2010).

Desde os anos 2000 a Articulação Semiárido Brasileiro (ASA) trabalha implementando o Programa Um Milhão de Cisternas (P1MC), que visa atender a necessidade

básica de acessar água para beber. A proposta ainda visa a descentralização e democratização do acesso, instalando cisternas com volumes para uso de cada família ao invés de grandes açudes, que muitas vezes se localizam em terras particulares (ASA, 2016).

Entre os anos 2000 e 2003, na França, o interesse pelo aproveitamento da água da chuva foi crescente, aumentando em 475% a elaboração de projetos e execução destes sistemas (GOUVELLO et al., 2004).

Na capital japonesa, Tóquio, a coleta de água de chuva é bem difundida por dois motivos: os reservatórios de água que abastecem a cidade ficam distantes e a cidade possui alta taxa de impermeabilização que impede a infiltração da água no solo. Há dois tipos de sistemas que são utilizados no Japão, um de armazenamento e aproveitamento e outro para infiltração da água de chuva (KITA et al., 1999).

Em áreas rurais no interior do Brasil é comum a utilização do aproveitamento de água de chuva para suprimento das demandas potáveis das residências. A bacia Amazônia apesar de ser o maior reservatório de água doce do mundo não possui água potável disponível para a maioria da população rural. Tradicionalmente, a gestão da água ocorre em nível domiciliar e a população utiliza-se de diferentes fontes: rio, poço e chuva (GOMES et al., 2014).

3 Qualidade da água de chuva

Os contaminantes da água de chuva podem aparecer com o arraste de partículas suspensas na atmosfera, como também das contribuições das superfícies de captação, detritos acumulados e lixiviados provenientes de sistemas de armazenamento, tubos e torneiras (GOULD, 1999; FLINT, 2004).

De acordo com Tomaz (2009) a qualidade da água de chuva varia de acordo com a posição que esta se encontra no sistema. A água da chuva pode, portanto, se encontrar em quatro posições distintas: i) Antes de atingir a área de captação; ii) Após o escoamento pela área de captação; iii) No interior do reservatório e iv) Nos pontos de utilização.

3.1 Antes de atingir a área de captação

Luca e Vásquez (2000) ao analisarem os padrões de água de chuva na região metropolitana de Porto Alegre depararam-se com elevados teores de amônia, fosfato, cromo e mercúrio, que transformam a água de chuva em uma fonte de contaminação natural.

As fontes ou emissores de poluentes podem ser tanto naturais, quanto devidas à ação

humana. Estas podem ser classificadas como estacionárias (indústrias em geral, postos de gasolina, vulcões, etc.) e móveis (veículos, aviões, etc.). Dessa forma, na atmosfera podem estar presentes uma grande variedade de poluentes, classificados como poluentes primários, que são aqueles emitidos diretamente pelas fontes (SO₂, NO, NH₃, hidrocarbonetos, materiais particulados, etc.) e poluentes secundários, que são aqueles formados na atmosfera por meio de reação química entre poluentes primários e constituintes naturais da atmosfera (O₃, H₂O₂, ácidos sulfúrico e nítrico, etc.) (FORNARO, 2006).

As principais fontes de poluição atmosférica são: i) a combustão (carvão, gás natural, gasolina, óleos combustíveis, etc.); ii) processos industriais (fundições, refinarias, fabricação de fertilizantes ou papel, etc.); iii) queimadas (florestas e plantações); iv) dejetos estocados a céu aberto; v) sal marinho; vi) erupção vulcânica (suspensão de material particulado do solo); vii) reações químicas na atmosfera (FORNARO, 2006).

Dentre os principais poluentes originados desses emissores merecem destaque o material particulado – de tamanho, massa e composição química variável – os CO e CO₂, NO_x, SO_x, hidrocarbonetos, ácidos orgânicos, além de íons em geral (Cl⁻, NO₃⁻, SO₄²⁻, Na⁺, K⁺, NH₄⁺, Mg²⁺, Ca²⁺), metais (Fe, Cu, Pb, Ni, Cd, etc.) e ozônio (O₃) (FORNARO, 2006).

Os principais mecanismos de remoção destes poluentes são a *deposição seca*, que corresponde à sedimentação gravitacional e à interceptação do material particulado ou absorção de gases por superfície como solo, vegetação e edificações; e a *deposição úmida*, que corresponde à absorção de poluentes gasosos (como SO_x ou NH₃) e partículas por gotas de nuvem (remoção dentro da nuvem) e por arraste durante a queda das gotas (remoção abaixo da nuvem) na forma de neblina, chuva ou neve (FORNARO, 2006).

Quanto maior o tempo sem chuva maior será o índice de turbidez, variando de 12,4 NTU, em uma coleta após meio dia sem chuva, à 110 NTU quando a coleta é realizada após 4,5 dias sem chuva (DOYLE, 2008).

3.2 Após o escoamento pela área de captação

Alguns exemplos de contaminantes encontrados no telhado são: fezes de passarinhos, pombas, fezes de ratos e outros animais, bem como poeiras, folhas de árvores, revestimentos do telhado, fibrocimento, tintas, etc. (TOMAZ, 2003).

May (2004) apresenta na Tabela 2 as características físicas, químicas e bacteriológicas da água de chuva coletada em São Paulo:

Tabela 2. Características físicas, químicas e bacteriológicas da água de chuva em São Paulo

Parâmetros	Água de chuva coletada na tubulação		
	Mínimo	Médio	Máximo
Cor [uH]	20,0	52,5	218,0
Turbidez [UNT]	0,6	1,6	7,1
Alcalinidade [mg/L]	4,0	30,6	60,0
pH	5,8	7,0	7,6
Condutividade [$\mu\text{s}/\text{cm}$]	7,0	63,4	126,2
Dureza [mg/L]	4,0	39,4	68,0
Cálcio [mg/L]	1,1	15,0	24,3
Magnésio [mg/L]	ND	1,1	2,2
Ferro [mg/L]	0,01	0,14	1,65
Cloretos [mg/L]	2,0	8,8	14,0
Sulfatos [mg/L]	2,0	8,3	21,0
Sólidos totais [mg/L]	10,0	88,0	320,0
Sólidos suspensos totais [mg/L]	2,0	30,0	183,0
Sólidos suspensos voláteis [mg/L]	0,0	15,0	72,0
Sólidos dissolvidos totais [mg/L]	2,0	58,0	177,0
Sólidos dissolvidos voláteis	0,0	39,0	128,0
OD [mg/L]	1,6	20,0	42,0
DBO [mg/L]	0,4	2,5	5,2
Nitrato [mg/L]	0,5	4,7	20,0
Nitrito [mg/L]	0,1	0,8	3,8
Coliformes totais [100 mL^{-1}]	< 1	> 70	> 80

Fonte: May (2004)

3.3 No interior do reservatório

Em pesquisa realizada na Universidade de São Paulo, foram constatadas as seguintes características da água de chuva coletada e armazenada em reservatório: propriedades de água mole; pH entre 5,8 e 7,6; DBO_{5,20} menor que 10; presença de coliformes fecais em mais de 98% das amostras realizadas; presença de bactérias que podem causar intoxicação alimentar, diarreia e infecções urinárias (ANA, FIESP e SINDUSCON-SP, 2005).

As bactérias encontradas nas amostras são: clostrídio sulfito redutor (91% das amostras) que pode causar intoxicação alimentar, entre outras doenças; enterococos (98% das amostras) que podem causar diarreia aguda; e pseudomonas (em 17% das amostras) que podem ocasionar infecções urinárias (ANA, FIESP e SINDUSCON-SP, 2005).

O tempo de armazenamento e a temperatura afetam diretamente a qualidade da água dentro do reservatório. Quando o tempo de armazenamento é prolongado, como ocorre frequentemente em grandes reservatórios, é possível que haja uma deterioração da água, principalmente por ação microbiológica.

Silva e Pádua (2007) e Brito et al. (2005) encontraram 70% das amostras de cisternas em áreas rurais com presença de coliformes totais e *E. coli* em desconformidade com os padrões de potabilidade vigentes à época – Portaria nº 518:2004 (BRASIL, 2004). Em relação às bactérias heterotróficas, Silva (2013) encontrou presença em todas as análises de cisternas rurais realizadas, indicando que as bactérias que vivem livres no ambiente também se fazem presentes nos sistemas de aproveitamento de água de chuva.

Na Tabela 3 seguem as características gerais, segundo May (2004), da água de chuva coletada e armazenada em reservatório no *campus* da Universidade de São Paulo:

Tabela 3. Características físicas, químicas e bacteriológicas da água de chuva no interior de reservatório em São Paulo

Parâmetros	Água de chuva no interior do reservatório
	Média
Cor [uH]	23,0
Turbidez [UNT]	0,8
Alcalinidade [mg/L]	18,8
pH	6,7
Condutividade [$\mu\text{s}/\text{cm}$]	25,7
Dureza [mg/L]	19,6
Cálcio [mg/L]	4,7
Magnésio [mg/L]	0,5
Ferro [mg/L]	0,06
Cloretos [mg/L]	12,2
Sulfatos [mg/L]	5,1
Sólidos totais [mg/L]	25,0
Sólidos suspensos totais [mg/L]	2,0
Sólidos suspensos voláteis [mg/L]	2,0
Sólidos dissolvidos totais [mg/L]	24,0
Sólidos dissolvidos voláteis	24,0
OD [mg/L]	17,6
DBO [mg/L]	1,5
Nitrato [mg/L]	3,1
Nitrito [mg/L]	0,1
Coliformes totais [100 mL^{-1}]	> 65

Fonte: May (2004)

3.4 Nos pontos de utilização

É importante manter o controle da qualidade da água da chuva a ser utilizada e verificar a necessidade de tratamento específico, de forma que não comprometa a saúde de seus usuários, nem a vida útil dos sistemas envolvidos (ANA, FIESP e SINDUSCON-SP, 2005). Segundo a norma ABNT NBR 15.527:2007 a qualidade requerida para a água de chuva para usos não potáveis deve seguir os parâmetros apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre ^a	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 µT ^b , para usos menos restritivos < 5,0 µT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da utilização)	Mensal	< 15 µH ^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 ou aplicação de ozônio.

^aNo caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.

^bµT é a unidade de turbidez.

^cµH é a unidade Hazen.

Fonte: ABNT (2007)

Estes parâmetros são os requisitos prévios para utilização e possuem ainda margem de atendimento para o item turbidez, sendo mais restritivo ao ser utilizada em bacias sanitárias e menos restritivo para utilização em irrigação. O mesmo ocorre, inversamente, ao item cloro, que poderá possuir residual menor ao ser utilizada para irrigação e residual maior ao atendimento de bacias sanitárias.

O pH deverá ser regulado apenas quando necessário, o que deve ocorrer em locais de alta concentração industrial e precipitação de chuva ácida. A norma ainda prevê ausência de coliforme totais e termotolerantes, que mesmo presentes no ambiente da coleta deverão ser eliminados por desinfecção antes do uso e no caso de utilização para fins potáveis deverá ser atendida a Portaria 2.914, de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, MS, 2011).

É importante avaliar quinzenalmente os padrões de qualidade ao iniciar a operação do sistema de aproveitamento de água de chuva, até que os parâmetros avaliados se apresentem constantes após três ou mais leituras. Em regiões com longo período de estiagem recomenda-se a avaliação quinzenal, também no início do período chuvoso, pois este é o período em que as águas carregam maior quantidade de carga poluidora proveniente da lavagem das superfícies de captação (OLIVEIRA et al., 2007).

Estudo realizado em um sistema residencial na cidade de Votorantim-SP por Franceschini (2009) obteve características da turbidez e coliformes acima do permitido pela norma, mesmo com um sistema de descarte do escoamento inicial realizado, o que sugere que após o descarte inicial e armazenamento a água ainda deve passar por um sistema de filtração e cloração para atender aos parâmetros da norma.

A presença dos mais variados patógenos na coleta da água da chuva já foi indicada por autores como Lye (1992) e Crabtree et al. (1996) no Estados Unidos, Fujioka et al. (1991) no Havaí e Wirojanagud et al. (1989) na Tailândia, sendo os principais microrganismos identificados: *Salmonella*, *Legionella-like spp*, *Clostridium perfringens*, *Aeromonas*, *Vibrio parahaemolyticus*, *Cryptosporidium* e *Giardia*.

Como a maior parte das famílias que utilizam água da chuva para consumo potável são de poucas pessoas e o fato de casos de surgimento de doenças muitas vezes não serem apresentados ou não serem conduzidos à investigação posterior, os estudos que citam relações provadas entre surto de doenças e o abastecimento de água de chuva são baixos (SIMMONS e HEYWORTH, 1999; GOULD, 1999; BERTOLO, 2006).

4 Parâmetros físico-químicos

4.1 Cor

A cor está associada à redução de intensidade que a luz sofre ao atravessá-la, devido à presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico, presença de metais, húmus, plâncton ou outras substâncias dissolvidas na água. Pode ser classificada em cor aparente, quando a cor conferida à amostra é afetada também pelas substâncias em suspensão e não só pelas substâncias dissolvidas, e cor real, quando na ausência de turbidez a cor da amostra é alterada pelas substâncias dissolvidas (ABNT, 1997; MAY, 2004; PEREIRA; SILVEIRA, 2013; PEREIRA, 2014).

A determinação da cor é comumente feita pela comparação visual com soluções de cloroplatinato de cobalto ou com discos de cor semelhantes à coloração das soluções de cloroplatinato de cobalto. É recomendável que seja feita no momento da coleta, evitando a estocagem que poderia ocasionar variação de pH. Sua unidade de medida é expressa em mg/L Pt-Co ou uH (ABNT, 1997; MAY, 2004; PEREIRA e SILVEIRA, 2013; PEREIRA, 2014).

Hagemann (2009) em estudo sobre a qualidade da água da chuva na cidade de Santa Maria – RS, que possui baixa densidade de ocupação, encontrou valores abaixo do limite de detecção do ensaio (5 mg/L Pt-Co) em praticamente todas as amostras coletadas diretamente da atmosfera e os valores médios captados do telhado da UFSM variaram entre 5 e 31 mg/L Pt-Co, deixando clara a influência do escoamento sobre o telhado na coloração da água de chuva captada.

Valores para áreas urbanas costumam ser superiores aos encontrados em áreas rurais. Valores coletados na cidade de São Paulo variam entre 20,0 e 218,00 mg/L Pt-Co (MAY, 2004) e podem ser ainda maiores se a água de chuva for captada de uma cobertura verde. Vasconcelos (2008) encontrou valores constantes de 250 mg/L Pt-Co em seus amostradores de água de chuva, indicando que o substrato do telhado verde confere elevada coloração a água e que o descarte dos primeiros milímetros não é suficiente para provocar redução. Os maiores valores para cor foram encontrados em coletas efetuadas em dias de chuva precedidas por um período de estiagem prolongado, sendo menores em coberturas metálicas e maiores em coberturas de amianto (ROCHA, REIS; ARAÚJO, 2011).

4.2 Turbidez

Turbidez é a quantificação da interferência de absorção de luz incidente em uma amostra caracterizada pela presença de partículas suspensas não solúveis em água, como partículas inorgânicas (areia, silte e argila), algas e outros microrganismos. A presença dessas partículas provoca a dispersão e a absorção da luz, dando à água uma aparência nebulosa, esteticamente indesejável e potencialmente perigosa, do ponto de vista sanitário (SABESP, 1999a; MAY, 2004; FARIAS, 2012; PEREIRA, 2014).

Este parâmetro fornece, de forma indireta, informações acerca da concentração de partículas coloidais e em suspensão presentes na fase líquida. Sua unidade de medida é a NTU (*Nephelometric Turbidity Unit*) ou UNT (unidades nefelométricas de turbidez) (SABESP, 1999a; MAY, 2004; FARIAS, 2012; PEREIRA, 2014), usando-se como padrão para calibração do turbidímetro uma suspensão de formazin (sulfato de hidrazina + hexametileno

tetramina) ou uma suspensão de látex, ou então microesferas de estireno-divinilbenzeno, conforme o fabricante do aparelho.

Hagemann (2009) encontrou valores médios de 4 a 13 NTU para coleta diretamente da atmosfera e de 8 a 35 NTU para coleta de telhados. Andrade Neto (2013) também encontrou variação semelhante entre coleta antes e depois do escoamento que variou de 0,9 para 10,4 NTU.

Vasconcelos (2008) não encontrou variação significativa entre os amostradores para turbidez e não estabeleceu relação com a intensidade de chuva para coleta em telhados impermeáveis. Porém estes valores apresentaram-se superiores quando coletados de cobertura verde, sendo maiores conforme a intensidade de chuva elevada e períodos de estiagem longos.

Assim como ocorre com a cor, os maiores valores para turbidez foram encontrados em coletas efetuadas em dias de chuva precedidas por um período de estiagem prolongado, porém, diferente do parâmetro cor, são menores em coberturas de amianto e barro e maiores em coberturas metálicas (ROCHA, REIS; ARAÚJO, 2011).

Em pesquisa realizada na área rural de Bisate Village, noroeste de Ruanda, foram encontrados valores para turbidez entre 1,01 e 33,80 NTU em sistemas de aproveitamento de água de chuva que não faziam descarte do escoamento inicial, filtração ou desinfecção. Apresentando ainda, forte correlação com valores altos para coliformes totais de até 800 UFC/100mL (DOYLE, 2008).

Teixeira et al. (2015) verificaram em pesquisa realizada em São Paulo, que um sistema de filtração eficaz pode reduzir consideravelmente a turbidez, ocasionando em redução da presença de coliformes, mesmo quando o sistema não está passando por processo de desinfecção.

4.3 Sólidos Suspensos Totais (SST)

Sólidos suspensos totais constituem toda matéria que permanece como resíduo após evaporação, secagem ou calcinação de um determinado volume de amostra. Seu valor é expresso em mg/L (SABESP, 1999b; PEREIRA; SILVEIRA, 2013).

O parâmetro SST é frequentemente substituído por turbidez devido à sua forte correlação com este parâmetro (DAVIES-COLLEY; SMITH, 2001).

Valores entre 93,0 e 232,0 mg/L com valor médio de 138,5 mg/L foram encontrados em coleta de água de chuva realizada na cidade de Santa Maria – RS, valores estes, maiores que os encontrados em área urbana, os quais variaram de 2,0 a 183,0 mg/L, com valor médio

de 30,0 mg/L. Os valores maiores na área menos urbanizada de Santa Maria podem ser decorrentes de maior área de solo exposta no entorno do local de captação (HAGEMANN, 2009; MAY, 2004).

4.4 pH

O pH (potencial hidrogeniônico) é utilizado universalmente para expressar o caráter ácido ou alcalino de uma solução. O parâmetro pH mede a concentração do íon hidrogênio, podendo ser analisado por colorimetria ou eletrometria. Com a análise do potencial hidrogeniônico da água é possível verificar a ocorrência de corrosividade quando o pH é baixo ou incrustação nas tubulações do sistema de distribuição com o pH alto (MAY, 2004).

O CO₂ é um gás presente na atmosfera, que se dissolve na água de chuva formando ácido carbônico, esse processo indica que o teor levemente ácido da água da chuva é uma característica natural. A chuva ácida é caracterizada por valores de pH menores que 5,6 (JAQUES, 2005; TOMAZ, 2003).

May (2004) encontrou valores na cidade de São Paulo que variam de 5,8 a 7,6 para água de chuva que já escoou pela cobertura. Hagemann (2009) encontrou valores médios de 5,8 a 6,0 para água de chuva coletada diretamente do céu e valores entre 6,5 a 7,9 para coleta realizada após escoamento no telhado.

Esse comportamento do pH aumentar após escoamento pela cobertura se dá pela influência dos materiais que compõem os telhados (cerâmica, amianto e concreto, por exemplo) e das impurezas neles contidas (JAQUES, 2005; HAGEMANN, 2009).

O pH é um parâmetro que sofre pouca interferência ao longo do ano e da variação de intensidade de chuva (VASCONCELOS, 2008), e não costuma ser uma preocupação para utilização da água de chuva, estando dentro da faixa indicada para aproveitamento em praticamente todas as situações (DOYLE, 2008).

4.5 Condutividade

É a medida da habilidade de soluções aquosas em conduzir corrente elétrica. Os íons que são, geralmente, responsáveis pelos valores de condutividade elétrica em águas são Ca²⁺, Mg²⁺, Na⁺, K⁺; HCO₃⁻, SO₄²⁻, Cl⁻, entre outros. Também pode ser definida como condutância específica, que é a unidade que define a capacidade de uma solução conduzir corrente elétrica, portanto, considera-se o inverso da resistência elétrica (MACEDO, 2001; FARIAS, 2012; PEREIRA, 2014).

A habilidade de conduzir corrente elétrica depende da presença de íons, de suas concentrações, valências e da temperatura da medida. O parâmetro de condutividade fornece informações sobre disponibilidade de nutrientes (valores altos indicam grau de decomposição elevada e valores reduzidos indicam acentuada produção primária) e possibilidade de contaminação por fontes poluidoras. A unidade de medida utilizada para condutividade é expressa em $\mu\text{S}/\text{cm}$ (MACEDO, 2001; FARIAS, 2012; PEREIRA, 2014).

Os valores médios/máximos de condutividade encontrados em Ruanda variam de 14/40 a 39/110 $\mu\text{S}/\text{cm}$, para telhados de barro/metal, respectivamente. Na cidade de São Paulo foi encontrado valor médio de 63,4 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e máximo de 126,2 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo, os valores de condutividade são, portanto, ligeiramente superiores em áreas urbanas do que em áreas rurais (DOYLE, 2008; MAY, 2004).

Os valores mais elevados de condutividade para água de chuva ocorrem após escoamento pelo telhado. Para a água de chuva coletada diretamente da atmosfera obteve-se valores médios de 6 a 41 $\mu\text{S}/\text{cm}$, sendo que no primeiro coletor os valores variaram de 16 a 194 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o que demonstra a “lavagem” que ocorre na atmosfera decorrente do evento chuvoso. Já a água de chuva coletada do telhado possui valores médios entre 54 e 115 $\mu\text{S}/\text{cm}$ (HAGEMANN, 2009).

A ABNT NBR 15.527:2007 não estabelece limites de valor para este parâmetro, porém é um parâmetro importante de medida da poluição para determinar a quantidade de sais dissolvidos na água (ROCHA, REIS E ARAÚJO, 2011).

4.6 Alcalinidade total

A alcalinidade representa a capacidade que um sistema aquoso tem de neutralizar ácidos a ele adicionados. Esta capacidade é devida principalmente à presença de bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos provenientes da dissolução de rochas, da reação de CO_2 com a água (CO_2 que pode ser oriundo da atmosfera ou da decomposição de matéria orgânica) e ainda, de despejo de efluentes industriais (MAY, 2004; FARIAS, 2012; PEREIRA, 2014).

O conhecimento da alcalinidade é importante no controle dos processos de corrosão, coagulação química em estações de tratamento de água e ainda pode alterar o sabor da água. A unidade de leitura é expressa em $\text{mg}/\text{L CaCO}_3$ (MAY, 2004; FARIAS, 2012; PEREIRA, 2014).

A alcalinidade apresenta valores médios entre 1,7 e 7,0 $\text{mg}/\text{L CaCO}_3$ quando coletada água da chuva diretamente da atmosfera e valores médios na faixa de 31,5 a 40,3 mg/L

CaCO₃ quando coletadas do telhado, conforme estudo realizado em Santa Maria – RS (HAGEMANN, 2009).

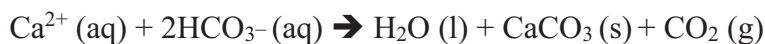
Valores similares foram encontrados na cidade de São Paulo – SP que variaram entre 4,0 e 60,0 mg/L CaCO₃ com valor médio de 30,6 mg/L CaCO₃ (MAY, 2004).

A alcalinidade é um parâmetro que apresenta diferença significativa de um tipo de cobertura para outro. Os telhados de amianto costumam apresentar valores elevados de alcalinidade, estando entre 7 e 46 mg/L CaCO₃ – sendo que 8% de todos os resultados obtidos ficaram abaixo de 10 mg/L CaCO₃, se comparados com telhas metálicas (de 5 a 20 mg/L CaCO₃) e telhas de barro (de 4 a 11 mg/L CaCO₃) (ROCHA, REIS; ARAUJO, 2011).

4.7 Dureza total

Característica conferida à água pela presença de alguns íons metálicos, principalmente cálcio (Ca⁺⁺) e magnésio (Mg⁺⁺) e, em menor grau por íons ferrosos (Fe⁺⁺) e estrôncio (Sr⁺⁺). A dureza é reconhecida pela sua propriedade de impedir a formação de espuma no uso do sabão. Isto significa que águas com alta dureza consomem muito sabão nas limpezas em geral, além de deixarem resíduos insolúveis e causarem corrosão e incrustação em tubulações e instalações.

A dureza total é expressa como a concentração de íons Mg⁺⁺ na água. Dureza temporária refere-se à quantidade de íons Mg⁺⁺ que podem ser precipitados como CaCO₃ e MgCO₃ após fervura da água, sendo estes compostos insolúveis (PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA, 2008).



Dureza permanente refere-se à quantidade de Mg e Ca que permanecem na solução após a remoção da dureza temporária e está associada a ânions sulfato, cloreto e nitrato.

Tabela 5. Classificação da dureza da água

Classificação	Valores
Água mole	Até 50 mg/L
Água moderadamente mole	De 50 a 150 mg/L
Água dura	De 150 a 300 mg/L
Água muito dura	Acima de 300 mg/L

Fonte: Adaptado de Richter e Neto, 1991

De acordo com os teores de sais de cálcio e magnésio, expressos em mg/L de CaCO₃, a água pode ser classificada conforme mostrado na Tabela 5.

A água da chuva que percorre o solo enriquece-se de CO₂ produzido por bactérias, ocorrendo queda do seu pH, então os carbonatos solúveis são atacados e convertidos a bicarbonatos solúveis. A água de chuva costuma ser “mole”, sendo ótima para ser utilizada em processos industriais. Seus valores são expressos em mg/L CaCO₃ (OLIVEIRA, 1976; CETESB, 1978; MAY, 2004; PEREIRA, 2014).

Assim como a alcalinidade, a dureza é um parâmetro que apresenta diferença significativa de um tipo de cobertura para outro. Os telhados de amianto costumam apresentar valores maiores de dureza (de 10 a 37 mg/L CaCO₃) do que em telhas metálicas (2 a 14 mg/L CaCO₃) e em telha de barro (2 a 13 mg/L CaCO₃) (ROCHA, REIS; ARAUJO, 2011).

A dureza apresenta valores médios entre 0,8 e 5,6 mg/L CaCO₃ quando coletada água da chuva diretamente da atmosfera e valores médios na faixa de 33,5 a 52,1 mg/L CaCO₃ quando coletadas do telhado em estudo realizado em Santa Maria – RS (HAGEMANN, 2009).

Valores similares foram encontrados na cidade de São Paulo – SP que variaram entre 4,0 e 68,0 mg/L CaCO₃ com valor médio de 39,4 mg/L CaCO₃ (MAY, 2004).

5 Análises microbiológicas

5.1 Coliformes termotolerantes

As bactérias do grupo coliforme termotolerante ocorrem no trato intestinal de animais endotérmicos e são indicadores de poluição por esgotos domésticos. Elas não são patogênicas, mas sua presença em grande número indica a possibilidade da existência de microrganismos patogênicos que são responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica (PEREIRA; SILVEIRA, 2014).

Alves et al. (2012) monitoraram a qualidade da água de sete cisternas localizadas no semiárido brasileiro durante quatro anos. Em uma delas foi instalado dispositivo de descarte do escoamento inicial. Os principais resultados mostraram que houve presença de coliformes totais em todas as amostras e *E. coli* em 73,8% do total, porém, a cisterna na qual foi instalado o dispositivo de descarte do escoamento inicial apresentou os menores teores de contaminantes.

Coliformes termotolerantes foram encontrados em todas as amostras coletadas por Rocha, Reis; Araújo (2011), Jaques (2005), Coombes et al. (2000) e Yaziz et al. (1989).

Brito et al. (2005) encontraram valores menores que 3 UFC/100mL até 93 UFC/100mL nas análises de água de chuva na comunidade de Atalho, município de Petrolina – PE. Estudo realizado em 8 cisternas no semiárido do Estado da Bahia indicou presença de coliformes termotolerantes em todas as coletas, sendo que 85% dos resultados estavam entre <1 e 50 UFC/100mL, o que pode indicar que, com concentrações relativamente baixas, tratamentos simplificados de desinfecção podem eliminar esses microrganismos (SILVA, 2013).

Em estudo de avaliação da qualidade da água de chuva no município de Florianópolis, todas as amostras coletadas apresentaram presença de coliformes termotolerantes, com valores de 705 NMP/100mL no início da chuva, ao passar pelo telhado. Com 10 minutos de chuva este valor atingiu 716 NMP/100mL, indo sequencialmente para os valores de 262 NMP/100mL e 102 NMP/100mL após 30 e 60 minutos de chuva, respectivamente, indicando dessa forma, a contaminação por fezes de animais de sangue quente nestas amostras, observando-se a redução da concentração de coliformes termotolerantes com o passar do tempo (JAQUES, 2005). Não foi observada uma relação entre o período de estiagem e os valores encontrados para nenhum tipo de cobertura (ROCHA, REIS; ARAUJO, 2011).

5.2 Coliformes totais

O grupo dos coliformes totais inclui todas as bactérias na forma de bastonetes gram-negativos, não esporogênicos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, capazes de fermentar a lactose com produção de gás, em 24 a 48 horas, à 35°C (MAY, 2004).

A determinação da concentração de coliformes assume importância como parâmetro indicador da possibilidade da existência de microrganismos patogênicos ao homem, em especial às crianças, por serem responsáveis pela transmissão de doenças de veiculação hídrica, tais como verminoses, febre tifoide, disenteria bacilar e cólera, entre outras (BRITO et al., 2005)

O mesmo estudo realizado por Alves et al. (2012) no semiárido brasileiro demonstrou que em sistemas com descarte do escoamento inicial os valores eram mais baixos (2,5 vezes menor) e mais estáveis (menor desvio padrão) para coliformes totais, quando comparada à cisternas sem este dispositivo.

Coliformes totais foram encontrados em todas as amostras coletadas por Rocha, Reis; Araújo (2011), Jaques (2005), May (2004), Combees et al. (2000) e Yaziz et al. (1989).

Brito et al. (2005) encontraram valores menores que 3 UFC/100mL até 460 UFC/100mL na comunidade de Atalho, município de Petrolina – PE.

Não foi observada uma relação entre o período de estiagem e os valores encontrados para nenhum tipo de cobertura (ROCHA, REIS e ARAUJO, 2011).

6 Análises ecotoxicológicas

Toxicologia refere-se aos efeitos prejudiciais das substâncias nos organismos. As substâncias com tais efeitos são chamadas de substâncias tóxicas, toxinas ou venenos. Para caracterizar uma substância como tóxica, depende da quantidade da substância a que um organismo está exposto e da intensidade da exposição, pois algumas substâncias inofensivas ou mesmo benéficas em baixos níveis são tóxicas em níveis de exposição mais elevados. Substâncias tóxicas têm forte influência sobre os ecossistemas e os organismos neles presentes, de modo que as interações entre ecologia e toxicologia são muito importantes. Essas interações podem ser complexas e envolver uma série de organismos. A combinação da ecologia e toxicologia – o estudo dos efeitos das substâncias tóxicas sobre os ecossistemas – passou a ser conhecida como ecotoxicologia, que se transformou em uma importante disciplina das ciências ambientais (MANAHAN, 2010, p. 9).

A ecotoxicologia é uma área especializada da toxicologia ambiental que centra seus estudos nos efeitos ocasionados por agentes químicos e físicos sobre a dinâmica de populações e comunidades integrantes de ecossistemas definidos. Uma vez no ambiente, os contaminantes podem estar sujeitos a uma combinação de processos que podem afetar o seu destino e comportamento. As substâncias potencialmente tóxicas podem ser degradadas por processos abióticos e bióticos que ocorrem na natureza. No entanto, algumas delas resistem aos processos de degradação e por isso são capazes de persistirem no ambiente por longos períodos de tempo. O descarte contínuo no ambiente, de uma substância persistente, pode levar à sua acumulação em níveis ambientais suficientes para resultar em toxicidade (COSTA et al., 2008).

Genotoxicidade é definida como o potencial que uma substância tem de reagir com o DNA da célula. Isso pode ocasionar quebras de fita simples e/ou dupla do DNA, que, caso sejam reparadas por enzimas endógenas de reparo do DNA, diz-se que a substância que gerou

tais alterações no DNA tem efeito genotóxico. Caso as alterações no DNA de uma célula não sejam passíveis de reparação, elas são transmitidas de modo estável às células filhas no processo de divisão celular, assim, a substância que causou esse efeito é chamada mutagênica (GONTIJO; TICE, 2003).

Os testes de toxicidade constituem uma forma de biomonitoramento ativo, pois neles são utilizados organismos-teste, definidos como indivíduos padronizados e cultivados em laboratório, que podem fornecer indicações sobre as condições de um ecossistema frente à presença de um impacto ambiental. É necessário utilizar testes controle para que se possa estimar as variações naturais encontradas nos organismos testes e também as respostas que estes organismos possam apresentar frente às situações experimentais. O controle positivo deve ser utilizado para garantir a resposta adequada do sistema (RODRIGUEZ, 2000).

O *Allium cepa* (cebola) foi o bioindicador selecionado como um dos organismos teste porque apresenta vantagens se comparado com outros testes. A espécie *Allium cepa* contém células meristemáticas homogêneas com grandes e poucos cromossomos ($2n = 16$), bem visíveis e facilmente corados, o que permite uma melhor avaliação dos danos cromossômicos e/ou distúrbios na divisão celular. Esta espécie, que é frequentemente utilizada na avaliação de citotoxicidade, genotoxicidade e mutagenicidade de várias substâncias, também apresenta uma alta correlação com os outros sistemas biológicos usados em ensaio para o mesmo fim, como, por exemplo, os testes com mamíferos, por apresentarem sistema enzimáticos de biotransformação semelhantes e bem conservados evolutivamente (FISKESJÖ, 1985; MATSUMOTO e MARIN-MORALES, 2004; KURAS et al., 2006).

Testes em *Allium cepa* (cebola) são recomendados pois permite avaliar diversos parâmetros fitotóxicos, tais como bioacúmulo de contaminantes em diferentes tecidos (raízes, folhas e bulbos), inibição de crescimento de raízes, perda de biomassa, além de biomarcadores de estresse oxidativo como peroxidação lipídica, carbonilação de proteínas, glutathione reduzida (GSH), atividade da catalase (CAT) e superóxido dismutase (SOD), além de a cebola ter um preço baixo e ser fácil de se manipular (FATIMA; AHMAD, 2005; FISKESJÖ, 2006; MACAN et al., 2012).

Dentre os organismos mais recomendados para ensaios de avaliação da toxicidade aquática estão as algas, pois são produtores primários dominantes na cadeia alimentar no ambiente aquático (PFLEEGER et al., 1991). Estudos com fitoplâncton, indicam que as algas apresentam uma rápida resposta fisiológica e, assim, efeitos deletérios provocados por compostos tóxicos podem ser detectados em um curto período de tempo. As algas podem ser

utilizadas como monitores biológicos de qualidade de água e como espécies indicadoras na avaliação de impacto ambiental de poluentes (SICKO-GOAD; STOERMER, 1988; HELLAWELL, 1986).

As microalgas *Raphidocelis subcapitata* são organismos unicelulares capazes de realizar fotossíntese mais rápida e eficientemente do que as plantas terrestres. A espécie é, provavelmente, cosmopolita e comum de ocorrer em ambientes mesotróficos a eutróficos. É uma alga unicelular recomendada para uso em ensaios de toxicidade. Sua utilização fundamenta-se na exposição dos organismos-teste a várias concentrações de uma ou mais substâncias e aos fatores ambientais, durante um determinado período de tempo, avaliando-se após este período de tempo, a inibição do crescimento da biomassa algal (TAVARES; PERERIA, 1981; TORGAN, 2002; BERTOLETTI, 2008).

7 Descarte do escoamento inicial (*first flush*)

7.1 Definição e métodos de determinação

O escoamento inicial ou *first flush* refere-se à água mais suja que escoar pelo telhado no início de uma precipitação. Durante o tempo seco, poeira, folhas, excrementos de animais, insetos mortos e outras partículas se acumulam no telhado. Quando começa a chover, partículas suspensas são removidas do ar e o material particulado no telhado é lavado. Em geral, quanto mais chove, mais limpo o telhado fica. O principal conceito por trás do descarte do escoamento inicial é que a maior quantidade de sólidos pode ser impedida de entrar no reservatório de armazenamento e apenas a água mais limpa irá enchê-lo (DOYLE, 2008).

A ABNT NBR 15.527:2007 define escoamento inicial como a água proveniente da área de captação suficiente para carregar a poeira, fuligem, folhas, galhos e detritos. E ainda recomenda, na falta de dados, adotar o descarte de 2mm da precipitação inicial.

O cálculo apresentado na Equação 1 e a Figura 7 exemplificam a determinação do descarte de 2mm de uma área de 20 m²:

$$V_{descartado} = A \times H \quad \text{Equação 1}$$

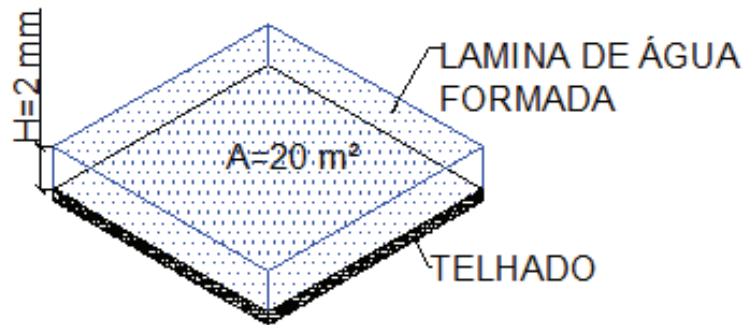
$$V_{descartado} = 20 \text{ m}^2 \times 2 \text{ mm}$$

$$\therefore V_{descartado} = 20 \text{ m}^2 \times 0,002 \text{ m}$$

$$\therefore V_{descartado} = 0,04 \text{ m}^3$$

$$\therefore V_{descartado} = 40 \text{ l}$$

Figura 7. Exemplo do cálculo para determinação do volume de *first flush* a ser descartado



Fonte: Kawashima e Sant'Ana (2015)

A Figura 8 ilustra o potencial de remoção, sendo que cada garrafa representa um instante da precipitação recolhida após o escoamento no chão e pode-se observar a tendência de “escurecimento” nos primeiros instantes e depois de “clareamento” até ficar translúcida no instante final.

Figura 8. Amostrador *first flush* por Tomaz (2009)



Fonte: Tomaz (2009)

Embora o conceito do descarte do escoamento inicial tenha se originado da literatura de manejo de águas pluviais e de esgoto, tem também sido amplamente aplicado no aproveitamento de água de chuva de coberturas. Não há um consenso entre pesquisadores sobre o quanto deve ser descartado, a razão mais óbvia é que a qualidade da água a ser descartada varia muito conforme as condições do entorno da cobertura a ser utilizada (DOYLE, 2008).

O volume de água a ser descartada depende do risco aceitável associado ao uso final

que se pretende fazer e das características específicas do local. Uma variedade de fatores específicos do local deve ser levada em consideração quando se calcula o tamanho apropriado para uma primeira câmara de desvio do escoamento inicial, incluindo a proximidade com estradas, zonas industriais, distância de árvores, a qualidade do material de cobertura e abundância de aves, pequenos animais e insetos (DOYLE, 2008; LIMA et al., 2013).

Thomas e Martinson (2007) definem o volume do descarte do escoamento inicial baseado na turbidez inicial da água e a turbidez desejada para armazenamento. Doyle (2008) cita que há muitas suposições a serem feitas sobre essa recomendação, mas a tabela criada pelos autores fornece referência concisa para facilitar o dimensionamento do descarte. A Tabela 6 demonstra como calcular o descarte em função da turbidez.

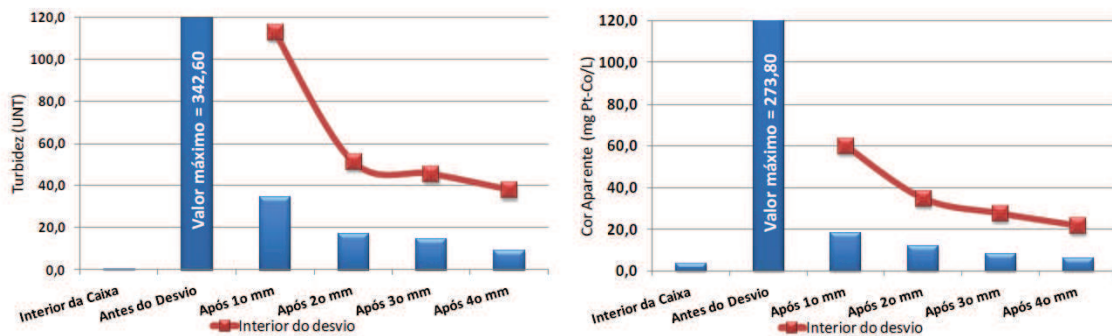
Tabela 6. Descarte do escoamento inicial recomendado (mm) baseado na turbidez (NTU)

Turbidez no escoamento inicial [NTU]	Turbidez desejada [NTU]			
	50	20	10	5
50	0,0	1,5	2,5	3,5
100	1,0	2,5	3,5	4,5
200	2,0	3,5	4,5	5,5
500	3,5	4,5	5,5	6,5
1.000	4,5	5,5	6,5	7,5
2.000	5,5	6,5	7,5	8,5

Fonte: Thomas e Martinson (2007)

Lima et al. (2013) em experimento realizado no semiárido do Nordeste constatou a eficiência da remoção da turbidez e cor com o descarte do primeiro milímetro de precipitação, sendo o incremento proveniente dos milímetros seguintes (2º, 3º e 4º) pouco representativo em relação ao primeiro, conforme ilustra a Figura 9.

Figura 9. Média de remoção dos parâmetros cor e turbidez



Fonte: Lima et al. (2013)

É comum o descarte de 1 mm, principalmente no Nordeste brasileiro, porém, em grandes cidades como São Paulo, a quantidade de poluentes e poeira no ar é maior, aumentando também o volume de água a ser descartado. Zanella (2015) em seu “manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva” publicado pelo Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) recomenda o descarte de 2 mm, assim como a ABNT NBR 15.527:2007.

Costa (2011) observa que a intensidade de chuva influencia diretamente na concentração de alguns parâmetros, principalmente turbidez, sólidos suspensos e DBO. Quanto ao volume de descarte, dependendo das características do local e da precipitação o primeiro milímetro não é suficiente e melhorias significativas da água da chuva ocorrem geralmente a partir do terceiro milímetro.

O descarte do escoamento inicial é importante para diminuição significativa dos coliformes termotolerantes. Em estudo realizado na zona rural de Inhambupe, município localizado na região Agreste de Alagoinhas, litoral norte do estado da Bahia, os maiores índices de coliformes termotolerantes, chegando à 330 UFC/100mL foram encontrados nos sistemas sem a prática de descartar o primeiro escoamento da água de chuva (SILVA, 2013).

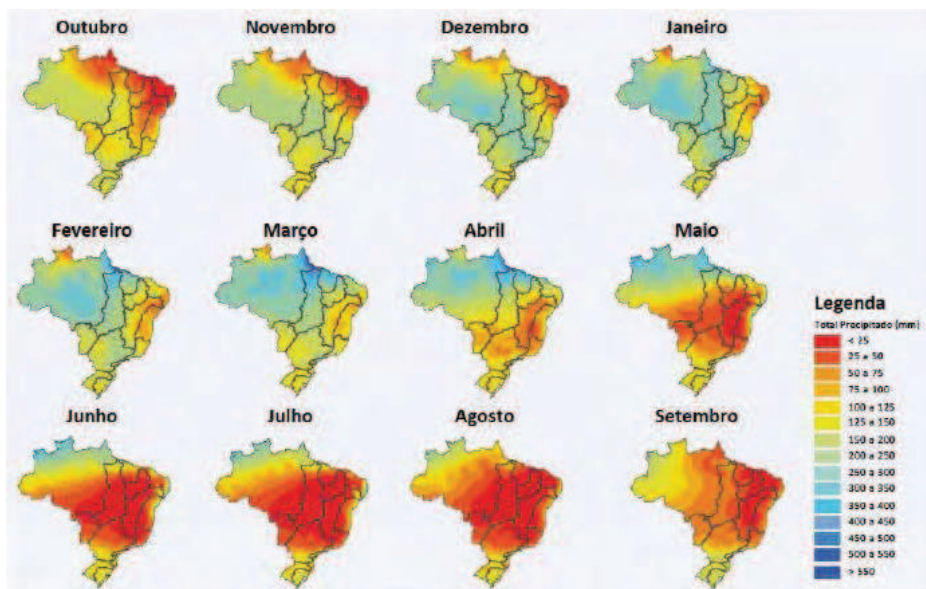
Os principais parâmetros que sofreram influência dos dispositivos de desvio com fecho hídrico estudados foram turbidez, coliformes totais e bactérias heterotróficas totais, com redução de 79%, 95,5% e 94,39%, respectivamente. Para o desvio com princípio de vasos comunicantes foram observadas reduções de 23% e 44% para turbidez e coliformes, respectivamente, não tendo resultados conclusivos para bactérias heterotróficas totais. A redução destes parâmetros é importante, pois tende a reduzir também o consumo de produtos químicos com a desinfecção por cloração. Esses resultados comprovam a eficácia dos

dispositivos de desvios, confirmando os benefícios de seu uso (SOUZA et al., 2011).

Cisternas com incorporação do desvio do escoamento inicial apresentam melhoria da qualidade, com destaque para diminuição da alcalinidade, dureza, turbidez, sólidos dissolvidos totais, condutividade, salinidade e cloretos (XAVIER, 2010). É importante destacar também a importância da sazonalidade da precipitação que influencia diretamente na qualidade da água precipitada. Quanto maior o período de estiagem maior será a poluição atmosférica e a quantidade de sólidos depositados no telhado. A Figura 10 apresenta a distribuição espacial da precipitação ao longo dos meses e a Figura 11 mostra os hietogramas de algumas estações pluviométricas nas regiões hidrográficas (ANA, 2013).

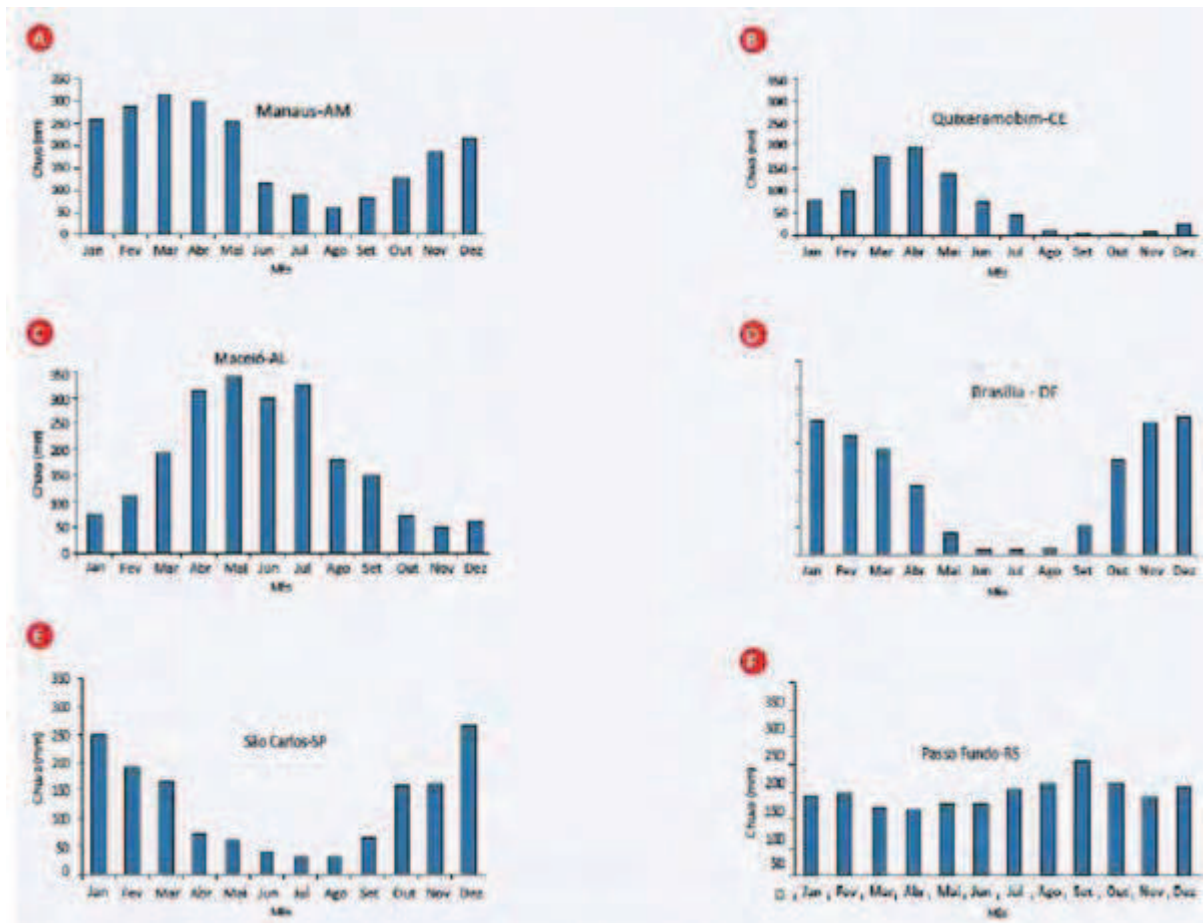
A análise das Figuras 10 e 11 (ANA, 2013) permite afirmar que o inverno seco atinge principalmente as bacias localizadas na região Centro-Oeste, em um período que se estende aproximadamente de junho a agosto. Nas regiões Atlântico Sudeste e Atlântico Leste ocorre uma diminuição das chuvas durante o mês de maio e o aumento a partir de novembro. Nas regiões Atlântico Sul e Uruguai as chuvas são bem distribuídas durante o ano. Por outro lado, nota-se que na região Atlântico Nordeste Oriental as chuvas estão concentradas nos meses de março e abril, sendo que nos demais meses é identificada baixa ocorrência de precipitação.

Figura 10. Distribuição espacial da precipitação média mensal no País - médias do período de 1961 a 2007



Fonte: ANA (2013)

Figura 11. Chuvas médias mensais em postos pluviométricos - dados de 1961-1990



Fonte: ANA (2013)

Quanto mais tempo sem chuva, mais sujo será o primeiro volume de água. Depois de três dias de estiagem, sua qualidade já fica muito ruim, prejudicando toda a água armazenada. Portanto é muito importante descartar o escoamento inicial da água da chuva (ZANELLA, 2015).

7.2 Estudos sobre o descarte do escoamento inicial

A seguir serão apresentados alguns estudos realizados para determinação do volume de descarte do escoamento inicial, visto ser este o foco que norteia esta pesquisa.

Martinson e Thomas (2005) estudaram como mensurar o *first flush* em condições específicas, como ilustra a Figura 12, onde compararam um telhado corrugado de ferro galvanizado com um telhado ondulado de amianto, ambos de 1 m², localizado próximo à uma estrada de terra e utilizando garrafas de plástico para captação de 500 mL.

Figura 12. Dispositivos usados para coleta do escoamento inicial, segundo Martinson e Thomas (2005)



Fonte: Martinson e Thomas (2005)

Melo e Andrade Neto (2007) avaliaram a variação da qualidade da água de chuva coletando amostras distintas sequenciais dos 10 primeiros milímetros de chuva diretamente, com coletor semelhante a um pluviômetro (Figura 13), sem passar por superfície de captação, em três pontos com características distintas na cidade de Natal-RN.

Os autores concluíram que, exceto para a área de menor poluição atmosférica, onde desde o início a água da chuva já continha poucos contaminantes e partículas, os valores de turbidez e condutividade elétrica sofreram redução brusca no primeiro milímetro de cada chuva. Essa conclusão apoia estudos anteriores que demonstraram ser o primeiro milímetro da chuva geralmente suficiente para carrear partículas e micróbios e “lavar” gases do ar das camadas baixas da atmosfera. Se não bastar um milímetro, geralmente, 1,5 mm ou 2 mm são suficientes, mas se houver forte poluição e grande risco são necessários 3 mm ou mais (ANDRADE NETO, 2013).

Figura 13. Dispositivo para coletar separadamente os 10 primeiros minutos da chuva, segundo Melo e Andrade Neto (2007)



Fonte: Melo e Andrade Neto (2007)

O arranjo da Figura 14 é apresentado por Vasconcelos (2008) para caracterizar a água no decorrer de uma precipitação. A instalação consiste em tubulações utilizadas como reservatórios que se enchem conforme chove, de forma que o primeiro reservatório se enche com a água proveniente dos primeiros instantes de chuva, o segundo, com a água dos instantes seguintes e assim sucessivamente, até o quinto reservatório.

Cada reservatório possui 2,5 L de capacidade de armazenamento. Considera-se que ocorrerá mistura das amostras coletadas, porém é a forma mais viável defendida pelo autor.

Figura 14. Amostrador de água de chuva de telhado, segundo concepção de Vasconcelos (2008)



Fonte: Vasconcelos (2008)

Hagemann (2009) utiliza modelo do amostrador de *first flush* (Figuras 15 e 16) similar ao do Melo e Andrade Neto (2007) e o seu funcionamento consiste em coletar e armazenar separadamente os cinco primeiros milímetros de chuva.

A Figura 15 ilustra um amostrador que capta água direto da atmosfera. Como área de captação foi utilizado um reservatório de fibra de vidro. No fundo do reservatório deste amostrador há uma abertura para onde escoar a água interceptada ligando a cinco pequenos recipientes dispostos em série. A tubulação horizontal possui leve inclinação para evitar que a água passe diretamente para um dos recipientes sem antes ter enchido completamente o recipiente anterior.

A Figura 16 ilustra o segundo amostrador instalado de forma a captar a água após escoamento no telhado. O local foi escolhido para fins de comparação entre a água coletada diretamente da chuva e do telhado, visto que os dois amostradores localizam-se na mesma área. Este amostrador é constituído de 5 (cinco) caixas de concreto dispostas em série. Cada caixa coleta um milímetro de chuva que escoar pelo telhado, o que resultou em um volume de 80 litros em cada uma (HAGEMANN, 2009).

Figura 15. Amostrador que coleta água de chuva diretamente da atmosfera, segundo Hagemann (2009)



Fonte: Hagemann (2009)

Figura 16. Amostrador que coleta água da chuva do telhado, segundo Hagemann (2009)



Fonte: Hagemann (2009)

Em outro estudo foram previstos três equipamentos para coleta da água de chuva e descarte do escoamento inicial. Cada equipamento foi projetado para descartar uma quantidade diferente da primeira precipitação, os valores definidos para esse descarte são: zero, 2mm e 5mm, conforme mostrado na Figura 17 (SANTOS, 2010).

Figura 17. Dispositivos para coletar água de chuva com zero, 2mm e 5mm de descarte do escoamento inicial, de acordo com Santos (2010)



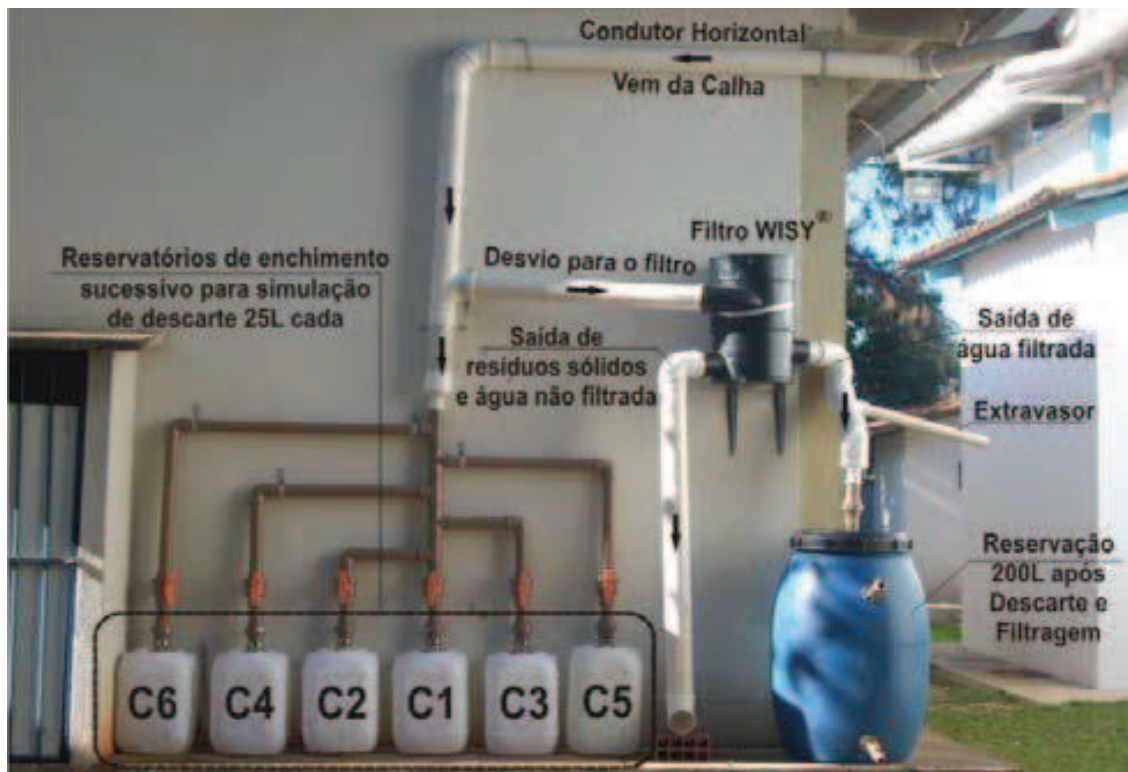
Fonte: Santos (2010)

Conforme Rocha, Reis e Araújo (2011), o objetivo deste arranjo era avaliar a qualidade da água após 2 mm de precipitação acumulada e considerou-se avaliar os 150 L de água descartada, correspondentes aos 2 mm de chuva, sobre a área de captação do experimento em cada cobertura. Este volume foi então dividido em seis galões provisórios de 25 L cada, conforme identificados na Figura 18.

A água captada pelas calhas de zinco, em cada tipo de cobertura, escoava pelos condutores verticais e era armazenada temporariamente nestes recipientes que foram numerados de 1 a 6. O preenchimento ocorria na ordem sequencial da numeração passando automaticamente para o próximo após cada um dos galões serem totalmente preenchidos.

Após o preenchimento dos seis galões de armazenamento provisório, a água de chuva era direcionada ao filtro de sólidos grosseiros da Wisy® WWF 150, para posterior armazenamento nas bombonas de 200 L apoiadas sobre o solo. A água não filtrada é direcionada automaticamente ao descarte.

Figura 18. Sistema de coleta, descarte e armazenamento de água de chuva, de acordo com Rocha, Reis e Araújo (2011)



Fonte: Rocha, Reis e Araújo (2011)

7.3 Tecnologias para descarte do escoamento inicial

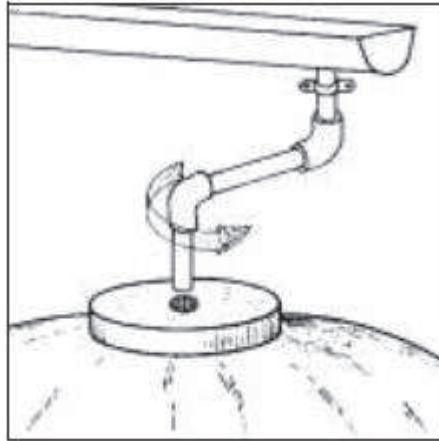
Como o aproveitamento da água de chuva vem se tornando popular, sistemas de descarte do escoamento inicial tem se tornado mais abundantes e comuns. Há muitas opções disponíveis no mercado e também há opções que podem ser construídas em casa, utilizando materiais de fácil aquisição, como tubos de PVC (DOYLE, 2008).

É importante notar que existem vários tipos de sistemas de descarte do escoamento inicial: automático, manual, de volume constante e dependente da intensidade da chuva. Dispositivos automáticos não exigem presença do usuário durante o evento chuvoso, embora a manutenção regular seja indispensável. Já os dispositivos manuais devem ser operados pelo usuário durante a chuva. Entre os dispositivos automáticos os que operam dependentes da intensidade não descartam o fluxo no início do evento chuvoso, mas sim após a intensidade aumentar para lavar suficientemente o telhado para remover os contaminantes. Os sistemas de descarte com volume constante armazenarão determinado volume independente da intensidade da chuva ou da contaminação do telhado (DOYLE, 2008).

7.3.1 Descarte manual

O descarte manual é a opção mais barata para se fazer o descarte do escoamento inicial, mas a que requer maior atenção. A tubulação que interliga a calha, com o reservatório, conforme mostrado na Figura 19, pode ser manuseada para que os primeiros instantes da chuva sejam descartados conforme o usuário ache necessário (DOYLE, 2008).

Figura 19. Dispositivo para descarte manual do *first flush*, segundo Lee e Visscher (1992)



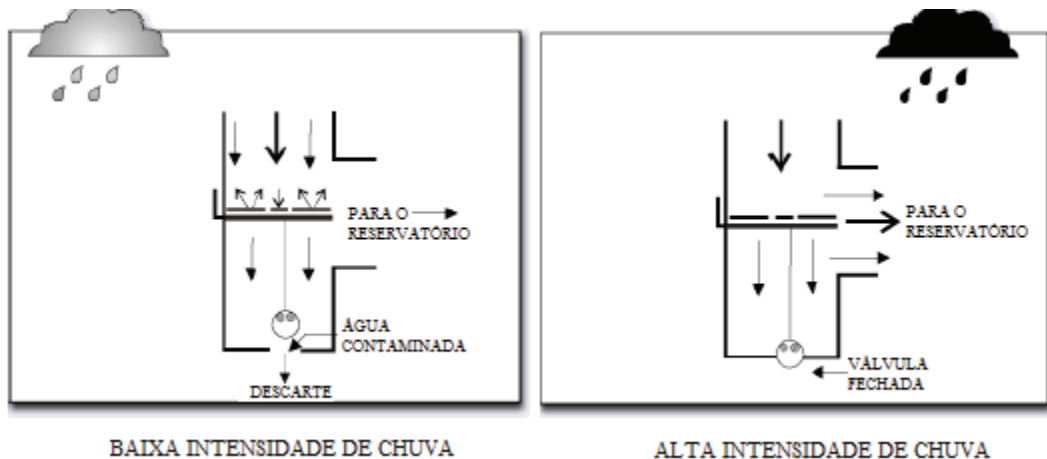
Fonte: Lee e Visscher (1992)

A principal desvantagem desse sistema é a inconveniência de que uma pessoa deve estar presente no início de cada evento chuvoso para operá-lo e interligar a tubulação ao reservatório após alguns instantes, reduzindo muito a sua utilidade. Caso não haja ninguém por perto existe o risco de ter toda a água da chuva desperdiçada ou de armazenar água contaminada sem descarte algum. A vantagem de se utilizar um dispositivo de descarte manual é a simplicidade do sistema. Não há arranjos complexos nem acessórios adicionais para fazê-lo funcionar (DOYLE, 2008; MARTINSON, 2007).

7.3.2 Descarte dependente da intensidade

O princípio por trás do descarte *first flush* dependente da intensidade é que baixas precipitações não possuem vazão suficiente para arrastar os contaminantes do telhado, conforme ilustra a Figura 20. Quando a intensidade da chuva aumenta é mais provável que as partículas maiores aderidas ao telhado sejam carreadas (DOYLE, 2008).

Figura 20. Descarte dependente da intensidade, segundo Church (2001) *apud* Doyle (2008)



Fonte: Church (2001) *apud* Doyle (2008)

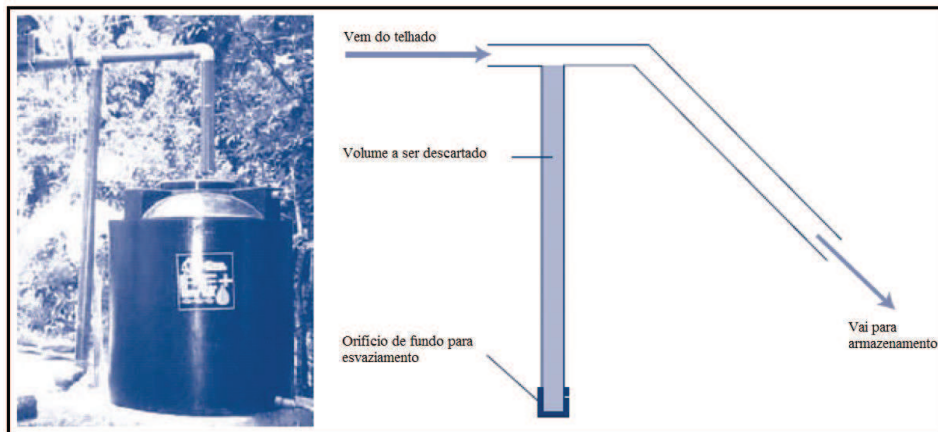
7.3.3 Descarte com volume fixo

O método de descarte com volume fixo, que se baseia na água enchendo uma câmara de tamanho determinado até que transborde é o método "automático" geralmente mais recomendado. Este volume pode estar em um reservatório enterrado para grandes áreas, e para pequenas áreas pode ser utilizado um reservatório construído com tubos. O método pode ser usado com ou sem o fechamento da alimentação que pode ser feito com uma válvula automática ou com uma bola flutuante, que ajuda a reduzir a mistura entre a água suja, armazenada no primeiro dispositivo de descarga, com a água mais limpa que está entrando no sistema (ENHEALTH, 2004; KRISHNA et al., 2005; MARTINSON, 2007).

A água mais contaminada oriunda do primeiro escoamento flui para a câmara de descarte e a água mais limpa é encaminhada para o reservatório de armazenamento. Este processo é ilustrado na Figura 21.

Após o evento chuvoso a câmara deve ser esvaziada antes da próxima chuva. Este procedimento pode ser realizado instalando um cap ou plug removível na extremidade do tubo ou pode-se prever um pequeno orifício que esvazie lentamente a câmara (DOYLE, 2008).

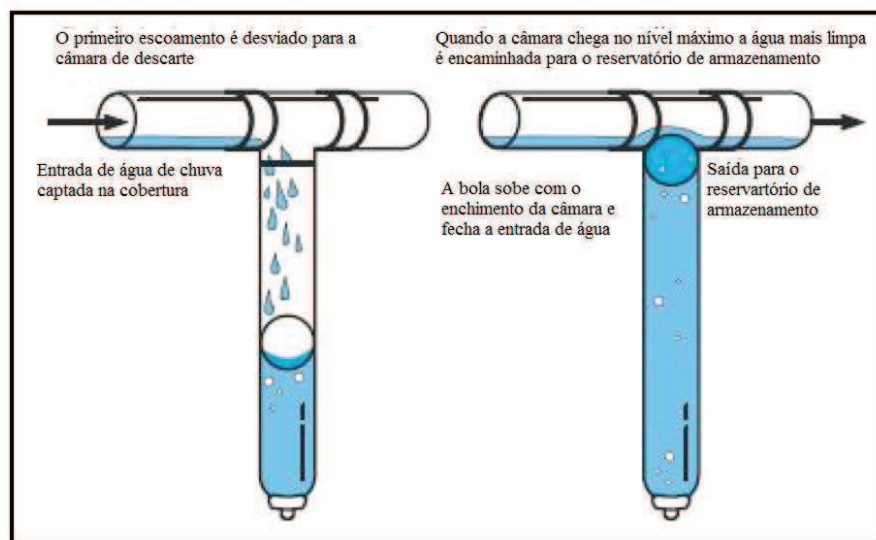
Figura 21. Descarte do escoamento inicial com orifício de fundo, segundo Thomas e Martinsson (2007)



Fonte: Thomas; Martinsson (2007)

Há uma preocupação entre os estudiosos em relação à mistura da água desviada e da água limpa que será armazenada. Há diversas maneiras de impedir que a água limpa arraste a água suja encaminhada para descarte. Uma forma simples de impedir essa mistura é por meio de uma bola flutuante na câmara de descarte, conforme ilustra a Figura 22 (DOYLE, 2008).

Figura 22. Sistema de descarte "tubo com bola", segundo Doyle (2008)



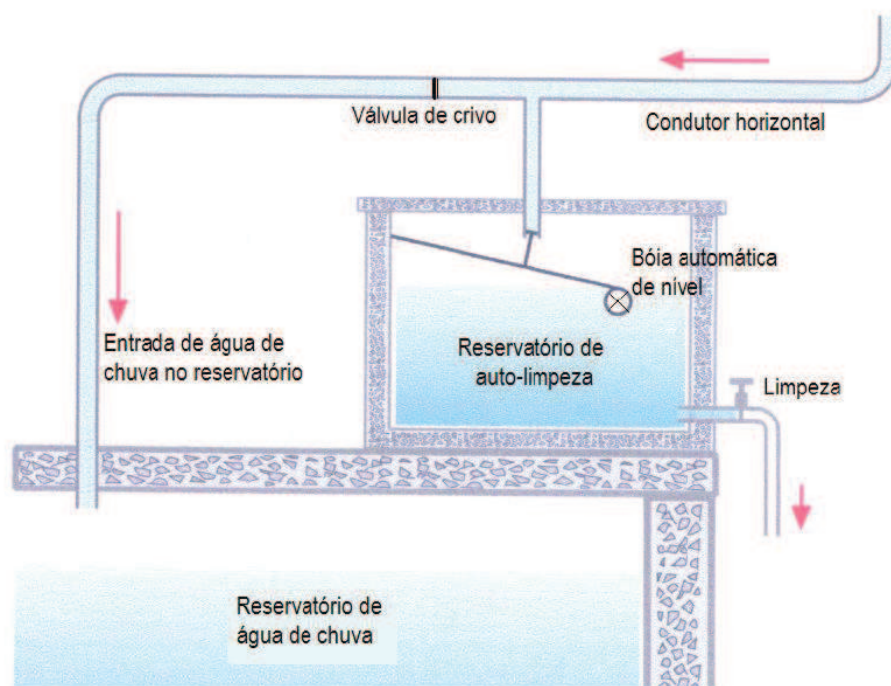
Fonte: Doyle (2008)

Para o descarte da água do escoamento inicial, pode-se fazer uso de um reservatório de autolimpeza munido de uma boia de nível. O volume deste reservatório deverá ser calculado em função da área de captação (MAY, 2004).

O funcionamento do sistema ocorre da seguinte maneira: a água de chuva captada no telhado conduzida pela calha e pela tubulação vertical será encaminhada ao reservatório de descarte situado à jusante do reservatório de armazenamento de água de chuva. A tubulação

de entrada de água no reservatório de descarte pode ser provida de uma chave de boia ou um sensor de nível para fechamento automático. Ao iniciar a chuva, o reservatório de descarte que está vazio recebe a água de chuva e o nível d'água sobe até atingir a posição limite, implicando no fechamento automático da torneira de boia. Só então, a água começa a escoar para o reservatório de água de chuva. Cessada a chuva, o registro de descarte da água deve ser aberto para esvaziá-lo. A Figura 23 ilustra o esquema do reservatório de descarte com torneira de boia (MAY, 2004).

Figura 23: Reservatório de descarte com boia automática de nível



Fonte: Dacach (1990)

7.3.4 DesviUFPE

A Universidade Federal de Pernambuco desenvolveu outra forma para o descarte inicial em estudos realizados no nordeste brasileiro. Este sistema, conhecido como DESVIUFPE, consiste em um jogo de conexões e tubos dimensionados para que cada metro quadrado de área coletada seja descartado um litro de água de chuva, assim essa água fica armazenada nas tubulações e a água que inicialmente iria direto para a cisterna é desviada até a tubulação que terá função de armazenar o *first flush*, como demonstrado na Figura 24. Conforme a precipitação ocorre, a tubulação é preenchida de forma que não haja mais espaço para a entrada de água; quando não houver mais esse espaço a água será bloqueada de entrar

nessas tubulações e prosseguirá para a cisterna, o descarte da água que se encontra nas tubulações é feito após o término da chuva pela abertura de uma válvula (NINNI, 2014).

Figura 24: DesviUFPE



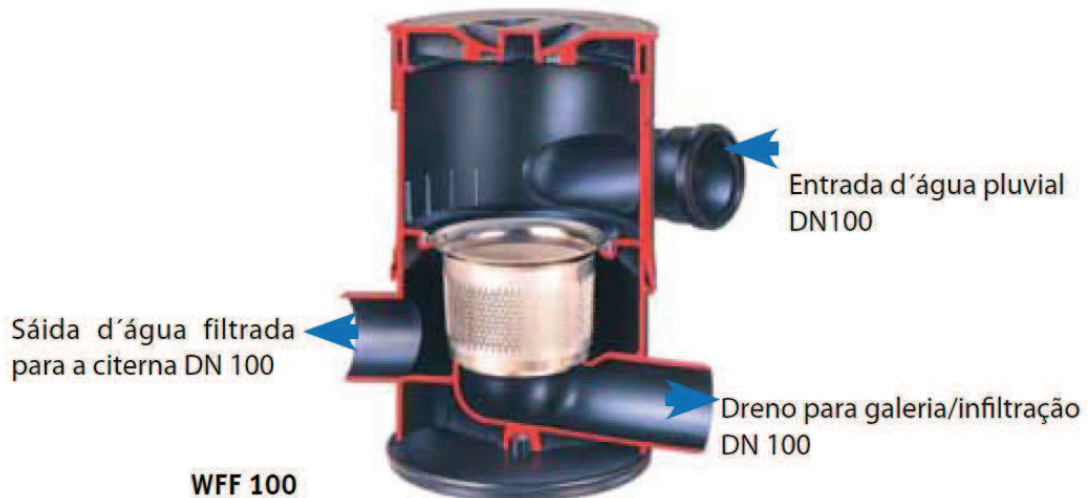
Fonte: UFPE (2014)

7.3.5 Pré-filtros comerciais

Algumas tecnologias foram desenvolvidas para facilitar o descarte do escoamento inicial, em especial na Alemanha, onde os fabricantes Wisy® e 3PTechnik® oferecem produtos que auxiliam na remoção dos sólidos grosseiros arrastados no primeiro escoamento.

O pré-filtro vortex (Wisy, 2014) é feito de polipropileno (PP) com elemento filtrante de aço inoxidável e malha filtrante de 0,28 mm podendo ser instalado em tubos horizontais enterrados ou não. Há três modelos disponíveis: o WFF 100, o WFF 150 e o WFF 300 respectivamente, para atendimento das áreas de até 200 m², 500 m² e 3.000 m². A Figura 25 ilustra seu funcionamento.

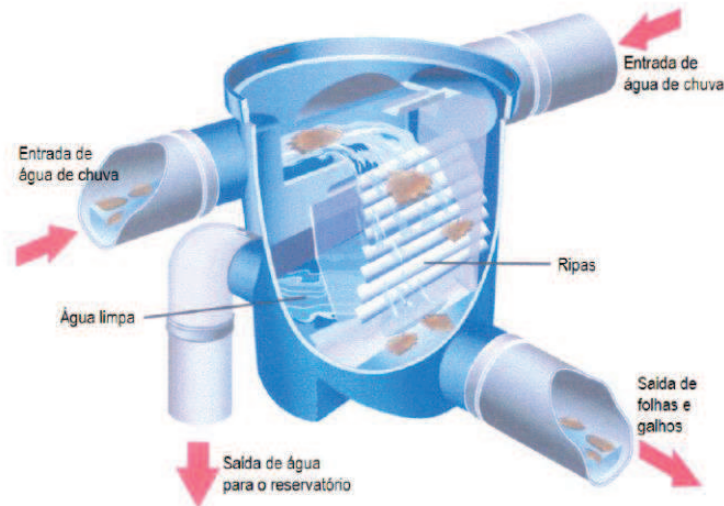
Figura 25: Pré-filtro vortex da Wisy®



Fonte: Wisy (2014)

O pré-filtro cascata da empresa 3P Technik, apresentado na Figura 26, possui cascata que remove os sólidos grosseiros, que são descartados, e tela filtrante de 0,26 mm para remoção da sujeira mais fina, para só então ser armazenada no reservatório de aproveitamento de água de chuva.

Figura 26: Pré-filtro cascata da 3P Technik®



Fonte: 3P Technik (2015)

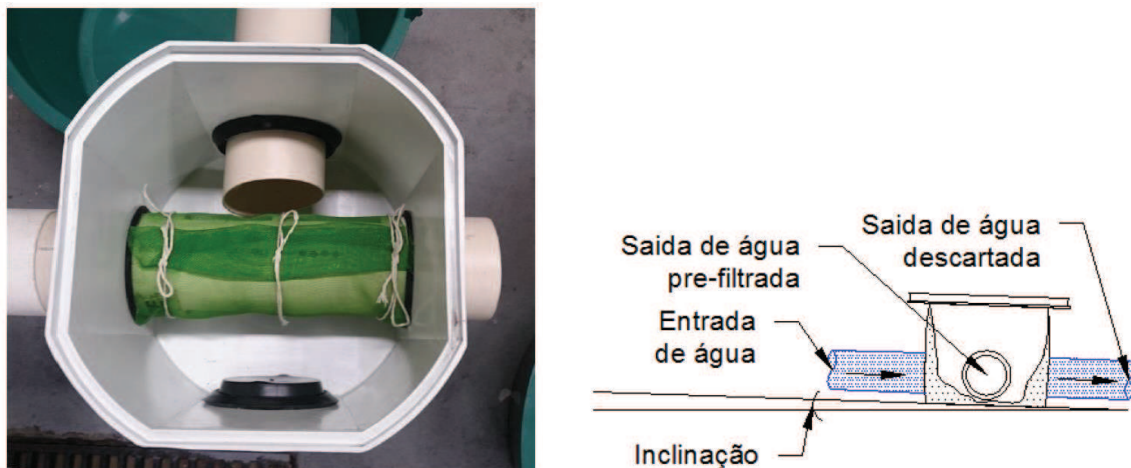
Esta tecnologia está disponível para modelos residenciais e industriais. Ambos consistem na separação de sólidos grosseiros provenientes do arraste da água da chuva na cobertura como folhas, galhos, insetos, poeiras e faz com que sejam retidos e a água que é direcionada para o reservatório, possua qualidade superior. Porém estes sistemas possuem

perda constante da água de chuva que passa pelo dispositivo e não removem 100% do escoamento inicial.

7.3.6 Pré-filtro caseiro

Com a popularização do aproveitamento de água de chuva muitas soluções caseiras começaram a surgir. No Brasil, uma adaptação dos pré-filtros comerciais foi desenvolvida e vendida na internet por diversas pessoas. Um exemplo desta solução está ilustrado na Figura 27, onde utilizando-se de uma caixa de passagem, um tubo cortado e revestido com tela mosquiteiro de 1mm, adaptou-se um pré-filtro com baixo custo. Entretanto, este sistema funciona com alto índice de perdas, chegando a 40% contra 10% de perdas fornecido no catálogo dos pré-filtros comerciais (KAWASHIMA; SANT'ANA, 2015).

Figura 27: Pré-filtro caseiro (à esquerda) desenvolvido por Kawashima e Sant'Ana (2015) e sua representação esquemática em corte (à direita).



Fonte: Kawashima; Sant'Ana (2015)

7.3.7 Acessórios – Separador de folhas

Dispositivos como um separador de folhas podem ser inseridos no sistema para remoção dos sólidos grosseiros contribuindo para a melhoria da qualidade da água de chuva que será armazenada. Pode ser encontrado comercializado pela Fortlev®, conforme apresentado na Figura 28, ou pode ser confeccionado em casa, conforme ensina Urbano (2017) do portal Sempre Sustentável (Figura 29).

Figura 28: Separador de folhas Fortlev®



Fonte: Fortlev (2017)

Figura 29: Separador de folhas caseiro



Fonte: Urbano (2017)

A rigor, um separador de folhas não pode ser definido como filtro, sua área de atuação seria mais como um pré-filtro para remoção de sujeiras como folhas de árvores. Independente da tecnologia escolhida, todas elas necessitam de manutenção regular e operação assistida para garantir boa qualidade na água de chuva que será aproveitada (LEE; VISSCHER, 1992).

III METODOLOGIA

A pesquisa realizada é de caráter experimental, qualitativa e quantitativa, por meio do método de estudo de caso. Foi desenvolvido um coletor que capta a água de chuva da cobertura do prédio da Unidade de Pós-Graduação, Extensão e Pesquisa, do Centro Paula Souza para posterior utilização da água coletada para avaliações preliminares de parâmetros físico-químicos, microbiológicos e ecotoxicológicos de sua qualidade.

1 Área de estudo

A área de estudo escolhida visou analisar qualitativamente a água de chuva em centros urbanos adensados, como o centro da cidade de São Paulo e quantificar o volume de descarte do escoamento inicial para estas condições. Há muitos estudos realizados em áreas rurais ou pouco urbanizadas, como visto no capítulo 5.2., mas poucos estudos voltados para áreas densamente urbanizadas.

A localização do arranjo experimental foi escolhida pela possibilidade de coletar a água de sua cobertura, mantendo o arranjo experimental restrito às dependências do prédio da pós-graduação e também por possuir área de cobertura interessante para o propósito do projeto: não tão grande impactando no tamanho do coletor e nem tão pequeno que não gerasse volumes necessários para realizar as análises propostas.

O telhado possui também características comumente encontradas em outras edificações: é de amianto, ondulado e tem declividade moderada (19,5%), o que facilita possível extrapolação dos resultados para outros locais.

Foi necessário estar atento para as condições do entorno do local onde foi feita a captação para estudo, a fim de se identificar todas as possíveis variáveis que poderiam interferir nos resultados do trabalho: presença de animais como pássaros, árvores, rotas de avião, estradas de terra, fluxo elevado de veículos, acesso à cobertura de pessoas não autorizadas, entre outras.

2 Desenvolvimento do coletor de água de chuva

2.1 Projeto do coletor de escoamento inicial da água de chuva

O arranjo experimental para coleta do *first flush* foi idealizado para caracterizar a qualidade dos primeiros instantes de chuva (de 0,5 em 0,5 milímetro após precipitação) e auxiliar na determinação do volume necessário para descarte em ambiente densamente urbanizado. Para esta idealização foram utilizadas as experiências dos trabalhos apresentados na revisão de literatura realizada, seguida de adaptações personalizadas de acordo com as condições do local da coleta, como área de cobertura e espaço para implantação dos reservatórios.

Após o dimensionamento dos coletores em função da área de telhado, foi elaborado o desenho do projeto em AutoCad® com auxílio da ferramenta TigreCAD® para que o volume fosse distribuído da melhor forma possível no local escolhido para instalação. O coletor foi projetado para que pudesse ser desmontado e limpo após cada coleta. Após o desenvolvimento conceitual do coletor foram compradas as peças necessárias e dado início à montagem *in loco*.

2.2 Construção e avaliação de um coletor do escoamento inicial da água de chuva

A construção do coletor necessitou dos seguintes componentes: i) tubulação de coleta vertical: foi utilizada a tubulação existente (PVC, 100mm), que coletava a água da calha e a despejava no chão, desviada com dois tês de 45° para alimentar o coletor; ii) tê de derivação: na entrada de cada reservatório há um tê de redução de 100mmx50mm para derivação e alimentação dos reservatórios; iii) tubulação de coleta horizontal: a tubulação horizontal que interliga os tês de derivação possui declividade de 0,5% para melhor escoamento; iv) reservatórios: os reservatórios foram montados com tubos de PVC de 150mm de diâmetro com altura total de 70cm e altura útil aproximada de 61cm; v) caps: os reservatórios possuem capeamento na parte inferior e superior. Na parte inferior foi feito um furo para encaixe de flange e plug para esvaziamento. A parte superior também foi perfurada para encaixe da válvula de retenção. O cap inferior foi executado com anel de vedação e cola e o cap superior só encaixado para desmontagem e limpeza futura; vi) válvula de retenção: para fechamento do reservatório após seu preenchimento total foi utilizada válvula de retenção de 50mm de PVC marrom; vii) extravasor: após enchimento dos 6 reservatórios foi instalado um tubo extravasor do mesmo diâmetro da tubulação horizontal, 100mm, que deságua no chão; viii) suporte: sua

instalação foi realizada apoiada em um banco de madeira para que fosse facilitado o esvaziamento e coleta para análises.

Todos os materiais utilizados são facilmente encontrados e foram comprados em lojas de material de construção. As ferramentas para execução foram emprestadas de um profissional que atua na área de instalação de sistemas de aproveitamento de água de chuva.

3 Coleta da água de chuva

3.1 Higienização e montagem do amostrador

O amostrador foi desmontado e os tubos de PVC de nº6 ao nº1 foram manipulados conforme descrito abaixo e, em seguida, foram novamente montados na bancada do nº1 ao nº6.

Os reservatórios de PVC foram lavados sob água corrente, sendo que cada um deles foi esfregado com uma escova sanitária redonda de cerdas limpa. A válvula foi desmontada e seu interior limpo com água corrente. O tê de interligação foi esfregado em sua parte interna e enxaguado em água corrente.

Todas as peças foram secas, passado veda-rosca no plug e encaixado no flange da parte inferior do reservatório de PVC. Foi aplicado silicone ao redor do plug, do flange e do cap da parte inferior do reservatório de PVC. O cap foi encaixado na parte superior do reservatório de PVC. Foi aplicado silicone ao redor do cap da parte superior do reservatório de PVC. O reservatório foi levado até o banco de suporte e encaixado na tubulação de captação da água de chuva. Este procedimento deve ser repetido com todos os reservatórios. Para finalizar, foi realizado o encaixe do tubo extravasor.

3.2 Estabelecimento das condições de coleta

Para a realização da coleta foi necessário um conjunto de fatores determinantes para o sucesso da mesma.

O primeiro consistiu no acompanhamento da previsão do tempo para verificar o dia em que a previsão fosse de precipitação superior a 5mm. Este valor foi adotado em função da necessidade de se preencher os 6 reservatórios que totalizam 3mm de precipitação e ainda 2mm de segurança – segundo Tomaz (2006, p 3-7) precipitações só geram escoamento após

os primeiros 2 mm – para que não houvesse a possibilidade de chover e não encher todos os reservatórios. Para acompanhamento da previsão do tempo foi utilizado o Portal Clima Tempo (PORTAL CLIMA TEMPO, 2017).

Sabendo-se o dia de precipitação desejada foram verificados: i) a disponibilidade de recursos humanos para a realização das análises nos laboratórios; ii) os recursos físicos, vidrarias e reagentes para a pesquisa; iii) laboratórios e logística para o transporte das amostras até a FATEC Sorocaba.

As garrafas e as vidrarias utilizadas foram esterilizadas para a coleta e para as análises laboratoriais, em autoclave vertical, a 121°C, por 15 min.

Estando todos os itens conferidos, um dia antes da coleta, foi realizado o procedimento de higienização/desinfecção e montagem do coletor, descritos no item 3.1. da Metodologia. Esse preparo foi realizado na noite anterior ao dia da coleta.

Durante o evento chuvoso a água captada na calha existente foi direcionada pela tubulação vertical para o coletor instalado para o estudo. A água da chuva encheu o primeiro reservatório até o nível acionar a válvula de retenção que impediu que a água da chuva continuasse entrando. Após esse acionamento a água da chuva passa a encher o reservatório nº 2 e o procedimento se repetiu até o 6º reservatório ficar completamente cheio e, após a entrada ser fechada pela válvula de retenção, a água seguiu para o extravasor que a despejou no piso.

A tubulação horizontal que alimenta os reservatórios deve ter declividade de 0,5% para que a água não fique parada na tubulação prejudicando a estrutura do coletor, podendo envergar no centro com o peso da água e também forçar a válvula de retenção que fecha a entrada de água nos reservatórios. O banco de madeira deve ser escorado no meio para auxiliar no suporte dos pesos, em especial após os reservatórios estarem cheios.

Se a vedação com silicone nos encaixes dos caps e plugs não estiver bem executada é possível que o sistema apresente vazamentos.

3.3 Coleta das amostras

Para a coleta das amostras após enchimento dos reservatórios com água da chuva foi necessário lavar o balde de 15 litros com água corrente, enxaguar e secar, colocá-lo abaixo do reservatório de PVC, abrir o plug do reservatório com auxílio de alicate e deixar esvaziar completamente no balde. Para esvaziamento completo o volume morto é despejado do reservatório dentro do balde e homogeneizado com auxílio de uma vareta.

Após homogeneização as garrafas de vidro de 1 litro foram preenchidas e encaminhadas para os laboratórios. A água coletada no balde foi homogeneizada antes de preencher a garrafa. Repetiu-se este procedimento até preencher cinco garrafas.

Tomou-se também os devidos cuidados na coleta e processamento das análises para não haver contaminação da mesma. Foram utilizadas luvas, água destilada, álcool 70% bem como frascos esterilizados para a coleta.

Foram coletados 3 litros de cada reservatório para as análises físico-químicas que foram armazenadas sob refrigeração no laboratório da FATEC-SP durante os dias de processamento das análises. Foram coletados 2 litros de cada reservatório para as análises microbiológicas e ecotoxicológicas, sendo os frascos transportados sob refrigeração até o Laboratório da FATEC-Sorocaba e mantidas refrigeradas até o momento de seu processamento, em período menor que 24h, no caso das análises microbiológicas e ecotoxicológicas.

As informações mostradas na Tabela 7 são registradas no ato da coleta.

Tabela 7. Tabela com as informações a serem anotadas no ato da coleta da água de chuva

DADOS DO DIA DA COLETA	
Nº da coleta	
Data da coleta	
Horário de início da coleta	
Horário de término da coleta	
Temperatura (°C)	
Nº de dias sem chuva	
Precipitação no dia (mm)	
Precipitação acumulada no último mês (mm)	

Fonte: Do autor. Adaptado de May (2004) e Rocha, Reis; Araújo (2011)

4 Análises da qualidade da água da chuva

A água contém diversos componentes, os quais provém do próprio ambiente natural ou de ações antrópicas. Para caracterizar uma água, são determinados diversos parâmetros, os quais representam suas características físicas, químicas e biológicas (TEIXEIRA, 2013). Para este estudo os parâmetros analisados foram: coliformes totais, coliformes termotolerantes, cor,

turbidez e pH, constantes na ABNT NBR 15.527:2007, que dispõe sobre os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis (ABNT, 2007). O cloro não foi analisado em função da pesquisa estar analisando a água do descarte do escoamento inicial que antecede o tratamento e desinfecção.

Além das análises previstas na norma de água de chuva foram analisados também a condutividade, sólidos suspensos totais (SST), alcalinidade, dureza e parâmetros ecotoxicológicos.

As análises físico-químicas foram realizadas no Laboratório de Saneamento e Química “Prof. José Tarcísio Ribeiro” da Faculdade de Tecnologia de São Paulo. As análises microbiológicas e ecotoxicológicas foram realizadas nos laboratórios de Ecotoxicologia e Microbiologia da Faculdade de Tecnologia de Sorocaba “José Crespo Gonzales”.

4.1. Parâmetros físico-químicos

4.1.1. Cor

A cor foi medida por meio de um espectrofotômetro *Lovibond*, modelo *Spectro Direct*.

Para cada análise realizada as amostras foram homogeneizadas e 50 mL foram transferidos para um béquer para processamento da análise.

Após calibração do equipamento, a amostra de água de chuva foi transferida para uma cubeta de quartzo, preparada com auxílio de pisseta e papel macio para limpeza e realizada leitura no espectrofotômetro com comprimento de onda de 400 nm. Foram realizados testes em triplicata de cada amostra (APHA, 1999; PEREIRA, 2014).

4.1.2. Turbidez

A turbidez foi medida por meio de um turbidímetro *Thermo Scientific*, modelo *Orion AQUAfast AQ010*, utilizando-se do método nefelométrico.

Inicialmente, o aparelho foi calibrado com o auxílio de padrões comerciais, os quais eram pertencentes ao “*kit*” do aparelho. Primeiramente, a amostra foi agitada a fim de obter uma maior dispersão dos sólidos e homogeneização. Após o desaparecimento das bolhas de ar provenientes da agitação, a amostra foi colocada na cubeta, preparada com auxílio de pisseta e papel macio para limpeza, e realizada leitura da turbidez na escala do instrumento. Foram

realizadas leituras triplicatas de cada amostra (APHA, 1999; PEREIRA, 2014; SABESP, 1999a).

4.1.3. Sólidos Suspensos Totais - SST

As amostras de água de chuva foram processadas em duplicata, por meio do método de secagem, para isto foram utilizadas mufla, estufa, bomba à vácuo e balança de precisão detalhados na Tabela 8. Os acessórios necessários para realização da análise são: cadinho de porcelana, filtro de celulose, dessecador, sílica gel, prato de porcelana, pinça anatômica, pinça tenaz e luva de couro.

Tabela 8. Marca e modelo dos equipamentos utilizados para determinação dos Sólidos Suspensos Totais (SST)

EQUIPAMENTO	MARCA	MODELO
Mufla	EDG Equipamentos	FDG3P-S
Estufa	Quimis	Q-317B42
Bomba à vácuo	Quimis	Q955B
Balança	Shimadzu	AUX 220

Fonte: Do autor.

As amostras foram inseridas nos cadinhos e secadas na mufla por 8 horas à 600°C, após esfriamento foram pesadas. O procedimento de secagem e pesagem também foi realizado com a membrana filtrante, que foi submetido a secagem por 10 horas à 120°C. Foram adicionados 10 mL de água de chuva e iniciado o processo de filtração, após concluído, a membrana filtrante com amostra foi colocada, com auxílio de uma pinça, no mesmo cadinho onde foi medida sua massa.

Então, o conjunto (cápsula + membrana filtrante) foi secado em estufa por 6h, no mínimo ou até secagem completa. Após esfriar em temperatura ambiente foi pesado em balança de precisão (APHA, 1999; PEREIRA, 2014; SABESP, 1999b).

O resultado dos sólidos suspensos totais é obtido por meio da seguinte equação:

$$RSST = \frac{(P_f - P_i) \times 10^6}{V} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

RSST = resíduo sólido suspenso total

P_f = massa + membrana filtrante com resíduo em mg

P_i = massa da cápsula + filtro em mg

V = volume em mL

4.1.4. pH

O pH foi medido por meio de um pHômetro *Analyser*, modelo *pH300M*. Foram realizadas triplicatas de cada amostra homogeneizada e coletada dos seis reservatórios. Para cada amostra analisada foram utilizados 50 mL de água de chuva, colocados em béqueres de 50mL, preparados com auxílio de pisseta e papel macio para limpeza, e realizada leitura no pHômetro previamente calibrado com as soluções padrão (APHA, 1999; PEREIRA, 2014).

4.1.5. Condutividade

A condutividade foi medida por meio de um condutivímetro *Analyser*, modelo *650*. Foram realizadas triplicatas de cada amostra homogeneizada coletada dos seis reservatórios. Para cada amostra analisada foram utilizados 50 mL de água de chuva, colocados em béqueres de 50 mL com auxílio de pisseta e papel macio para limpeza (APHA, 1999; PEREIRA, 2014).

O aparelho foi ligado e deixado por 10 minutos a fim de estabilizá-lo. O equipamento havia sido calibrado previamente. O eletrodo foi imergido na amostra colocada no béquer e o valor fornecido pelo equipamento foi anotado. O eletrodo foi lavado com água destilada e seco com papel macio antes da próxima leitura (APHA, 1999; PEREIRA, 2014).

4.1.6. Alcalinidade total

A alcalinidade foi medida por meio do método titulométrico contra ácido sulfúrico 0,02N em duplicata. Após preparação do erlenmeyer com a prova em branco (água destilada) foram utilizados 100 mL de cada amostra coletada analisada em uma proveta e transferida para outro erlenmeyer, então foram adicionadas 3 (três) gotas do indicador fenolftaleína nos dois erlenmeyers.

Caso haja alcalinidade indica pela fenolftaleína, adicionar antes da mistura indicadora de VB/VM (mistura indicadora de verde de bromocresol/vermelho de metila), 3 gotas de fenolftaleína e titular com H_2SO_4 0,02N até desaparecer a cor rósea formada. Em seguida, fazer a titulação conforme a técnica. A alcalinidade indicada pela fenolftaleína só poderá ocorrer se o pH da amostra for maior do que 8,2.

Foram adicionadas nos dois erlenmeyers 3 (três) gotas de metilorange e na prova em branco foi adicionada 1(uma) gota de H_2SO_4 0,02N para padrão da cor vermelho-alaranjado a ser comparada. Então, com auxílio de uma bureta com a solução de H_2SO_4 0,02N a amostra

foi titulada até a cor se igualar à da prova em branco. Com o valor do volume gasto na titulação multiplicado por 10 obteve-se o valor da alcalinidade total (APHA, 1999; PEREIRA, 2014).

4.1.7. Dureza

A dureza foi medida por meio do método titulométrico em duplicata. Após preparação do erlenmeyer com 100 mL da amostra foram adicionadas 2 (duas) gotas de solução tampão pH 10 e duas pitadas do indicador negro de eriocromo T. Na titulação, a força da ligação do Mg com o EDTA (ácido etileno diamino tetracético) é muito mais forte do que com o indicador Negro de Eriocromo T. Quando, na titulação, todas as ligações do Mg com o Negro de Eriocromo T forem desfeitas, este tomará a cor azul e este é o ponto final da titulação.

Após isto, a amostra foi homogeneizada com movimentos circulares. Com auxílio de uma bureta foi titulada lentamente com solução EDTA 0,01M até que a cor vermelha desaparecesse e a azul predominasse (APHA, 1999; PEREIRA, 2014). Com o volume gasto na titulação foi realizado o cálculo do valor da dureza pela seguinte fórmula:

$$\text{ppm de dureza em CaCO}_3 = \frac{0,01 \times V(\text{mL}) \times 100 \times 1000}{V(\text{amostra})} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

0,01 = Concentração do EDTA

V = volume titulado de EDTA

V_{amostra} em mL

4.2. Ensaio microbiológicos

4.2.1. Análise de coliformes – técnica dos tubos múltiplos

A quantificação do Número Mais Provável (NMP) de microrganismos (coliformes totais e termotolerantes) foi realizada por meio da técnica dos tubos múltiplos. A metodologia seguida foi baseada no manual de métodos de análise microbiológica da água, do ITAL/Campinas (SILVA et al., 2000).

Na fase presuntiva as amostras foram homogeneizadas, diluídas e distribuídas nos tubos de ensaio com tubo de Durhan invertido e acrescidas do meio de cultura caldo lauril triptose. Foram utilizados 15 tubos para cada amostra, sendo divididos entre as amostras sem diluição, com diluição 1:10 e 1:100. Os tubos foram incubados a 35°C e após 24 h foram

identificados os tubos que apresentaram crescimento (positivo) de coliformes totais, indicado pela reação ácida (coloração amarelada) ou produção de gás (retida no tubo de Durham).

Na fase confirmativa as amostras foram transferidas dos tubos presuntivos para tubos preparados da mesma forma que o anterior, porém com meio de cultura caldo verde brilhante. Então foram incubados à 35°C e após 24 h foram identificados os que apresentaram crescimento (positivo) de coliformes totais, identificado pela ocorrência de produção de gás nos tubos de Durham.

Na fase complementar os tubos presuntivos são transferidos para outros tubos de ensaio contendo meio de cultura EC (*Escherichia coli*). As amostras então foram incubadas à 44,5°C e após 24 h foram identificados os tubos que apresentaram crescimento (positivo) e presença de gás nos tubos de Durham.

Com o total dos números dos tubos de ensaio que deram positivos em cada uma das diluições e das fases utilizadas determinou-se o Número Mais Provável (NMP) por meio da tabela apresentada no Anexo 1.

4.3. Ensaio ecotoxicológicas

4.3.1. Ensaio de fitotoxicidade, genotoxicidade e mutagenicidade em semente de *Allium cepa*

Os ensaios de fitotoxicidade, genotoxicidade e mutagenicidade foram realizados segundo Leme e Marin-Morales (2008) e Leme, Angelis e Marin-Morales (2008), utilizando sementes de *Allium cepa* não tratadas com pesticidas.

Para cada uma das seis amostras coletadas foram realizados os testes com diluições da amostra pura (100%) e 50 e 25% em água destilada, preparadas em triplicata. O controle negativo (CN) foi conduzido com água destilada e o controle positivo (CP) com formol a 3%.

A primeira fase do ensaio de toxicidade com o organismo teste em questão é a germinação. Foram utilizadas três placas de Petri por estudo forradas com papel filtro embebidos com água. Em cada placa foram dispostas 100 sementes de *Allium cepa*. O mesmo procedimento foi realizado para o controle negativo (água destilada) e o positivo (formol a 3%).

Ao passar o período de germinação, que consiste de três a seis dias, faz-se a determinação do índice de germinação (IG), quantificando-se as raízes com comprimento maior ou igual a 2cm. Após esta etapa inicia-se a coleta das raízes, etapa na qual separe-se as

raízes das sementes quando atingem cerca de 2 cm de comprimento e armazenam-se no fixador Carnoy (ácido acético 3: álcool 1) e guardadas em geladeira até a confecção das lâminas.

A citotoxicidade avaliada pela genotoxicidade que corresponde ao índice de aberrações cromossômicas (IAC) e a mutagenicidade determinada pelo índice de micronúcleo (IMN) foram conduzidas pela contagem de quinhentas células por lâmina, cinco lâminas por amostra (total de 2.500 células).

Com o auxílio de uma pinça, as raízes foram retiradas dos frascos com fixador e para a retirada do excesso do mesmo as raízes passaram por 3 (três) banhos, de 5 minutos cada, em água destilada. Seguiu-se a hidrólise das raízes foi feita em frasco contendo HCl 1N à 60°C, aquecidos em banho Maria, por 10 minutos.

Depois da hidrólise, as raízes passaram, novamente, por 3 (três) banhos em água destilada, para interromper o processo de hidrólise e retirar o excesso do ácido das raízes. Posteriormente foram colocadas em frascos de vidro âmbar, contendo o Reativo Schiff, onde permaneceram por 2 horas, no escuro. Ao final desse tempo, as raízes foram lavadas em água destilada, até que todo o excesso de corante fosse retirado.

Sobre uma lâmina limpa e identificada, colocou-se uma raiz com seu meristema intacto. Após a acomodação da raiz corada sobre a lâmina, o meristema foi cortado (1mm a partir da coifa) com auxílio de um bisturi. Adicionou-se uma gota de carmin acético 2% sobre o meristema e cobriu-se com uma lamínula. O restante da raiz é desprezado. Pressionou-se, cuidadosamente o material, até que o meristema se transformou em uma pequena mancha de células espalhadas.

Para fixar o material na lâmina a mesma foi flambada na chama do bico de Bunsen. Este processo intensifica o contraste entre o citoplasma e o núcleo pela desnaturação das proteínas citoplasmáticas. Foi retirado o excesso de Carmin acético da lâmina, pressionando, de forma suave, a lâmina e a lamínula envolvidas por um papel filtro. Esse conjunto foi gentilmente macerado com o auxílio de um lápis que possui borracha na extremidade.

As diferenças entre o controle e cada ponto de coleta foram determinados estatisticamente pelo teste de ANOVA one way, seguido pelo pós teste Bonferroni, com intervalo de confiança de 95%.

4.3.1. Ensaio de ecotoxicologia aquática com *Raphidocelis subcapitata*

Três tubos com 3,5 mL de cada amostra e suas diluições (triplicata) e cinco tubos dos controles com água tamponada foram incubados com inóculo preparado a partir de uma cultura de algas de 7 dias com número conhecido de células de $2,6 \times 10^5$ célula/mL.

Após 72 horas de incubação sob iluminação “luz do dia” a 25°C realizou-se as contagens de célula em câmara de Neubauer determinando-se a porcentagem de crescimento algal segundo a Equação 5.

$$\% \text{ inibição} = \frac{100 - \text{número de células}}{\text{média } (T1+T2+T3+T4+T5)} \times 100 \quad \text{Equação 4}$$

Para determinação da EC50 (concentração efetiva 50%) para as algas foi utilizado o programa Oringe.

4.4. Análises estatísticas

Para os resultados obtidos das análises físico-químicas, realizadas em duplicata e triplicata, foram calculados média, desvio padrão e coeficiente de variação. Permitindo facilidade na comparação dos dados e estimando a precisão dos resultados obtidos.

4.4.1. Média aritmética

A média aritmética é o quociente da divisão da soma dos valores da variável pelo número deles. A média (aritmética) é, de modo geral, a mais importante de todas as medidas descritivas (CORREA, 2003).

O cálculo se dá pela fórmula expressa na Equação 6:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

\bar{x} = média aritmética

x_i = valor observado

n = número total de observações

Para o cálculo da média do parâmetro pH (Equação 7) é necessário converter os valores medidos para mol (Equação 8), para então efetuar o cálculo da média, sendo que:

$$pH = -\log[H^+] \quad \text{Equação 6}$$

$$[H^+] = 10^{-pH}, \text{ em mol} \quad \text{Equação 7}$$

4.4.2. Desvio padrão

O desvio padrão é a medida mais usada na comparação de diferenças entre conjuntos de dados, por ter grande precisão. O desvio padrão determina a dispersão dos valores em relação à média e é calculado por meio da raiz quadrada da variância, sendo que a variância leva em consideração os valores extremos e os valores intermediários, isto é, expressa melhor os resultados obtidos. A variância relaciona os desvios em torno da média, ou, mais especificamente, é a média aritmética dos quadrados dos desvios (CORREA, 2003).

O cálculo da variância está expresso na Equação 9 e o do desvio padrão na Equação 10:

$$var = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}{n-1} \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

var = variância

x_i = valor da variável

n = número total de observações

\bar{x} = média aritmética

$$dp = \sqrt{var} \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

dp = desvio padrão

var = variância

4.4.3. Coeficiente de variação

Trata-se de uma medida relativa de dispersão útil para a comparação em termos relativos do grau de concentração. O coeficiente de variação é a relação entre o desvio padrão (dp) e a média \bar{x} (CORREA, 2003).

O cálculo se dá pela fórmula expressa na Equação 11:

$$CV = \frac{dp}{\bar{x}} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

CV = coeficiente de variação

dp = desvio padrão

\bar{x} = média aritmética

Segundo Correa (2003) diz-se que uma distribuição tem:

- Baixa dispersão: $CV \leq 15\%$;
- Média dispersão: $15\% < CV < 30\%$;
- Alta dispersão: $CV \geq 30\%$.

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados estão apresentados em três partes. A primeira apresenta o desenvolvimento do protótipo coletor de água de chuva e discute as vantagens, dificuldades e limitações do arranjo. A segunda parte apresenta os resultados obtidos por meio das análises físico-químicas e microbiológicas realizadas nos laboratórios e compara os resultados com as recomendações da ABNT NBR 15.527:2007 e com outros autores. A terceira parte aborda a caracterização ecotoxicológica, que mesmo não prevista pela ABNT, pode contribuir com informações adicionais sobre a qualidade da água para uso em conglomerados densamente urbanizados.

Cenário do ponto de coleta

O ponto de coleta proposto para captação da água de chuva fica no *campus* da Faculdade de Tecnologia de São Paulo (23°31'43,18"S e 46°37'58,70"O, altitude de 747,67m), localizado na região central da cidade de São Paulo (a 2,3 km de distância da Praça da Sé), com precipitação anual média de 1.454,8 mm.

A área de captação é um telhado de amianto de 21,6 m², com três anos de uso – do *hall* entre a sala de estudos e a copa do prédio da pós-graduação. Possui entorno fortemente urbanizado, estando próximo à Marginal Tietê e de grandes avenidas como a Av. Tiradentes, Av. do Estado e Av. Cruzeiro do Sul. O bairro é cortado pela via férrea da Companhia Paulista de Trens Metropolitanos – CPTM e também é rota de tráfego aéreo para o Aeroporto Internacional de Guarulhos, localizando-se próximo ao Campo de Marte. A região possui poucas áreas verdes com destaque para o Jardim da Luz, e sua ocupação é essencialmente comercial com presença de áreas industriais e residenciais.

Na Figura 30 está apresentada a localização da cobertura em questão.

Figura 30. Imagem de satélite da área em estudo, dando destaque (em vermelho) para a cobertura utilizada para a captação da água de chuva utilizada neste estudo.



Fonte: Google Earth (2015)

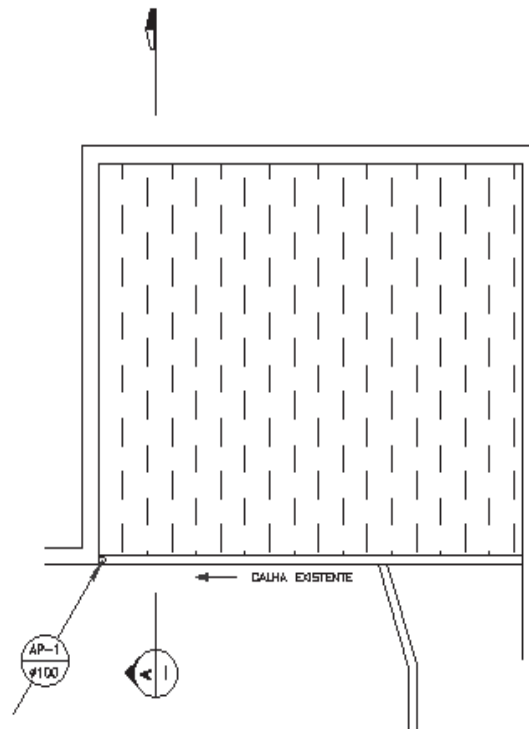
PARTE 1 - DESENVOLVIMENTO DO COLETOR DE ÁGUA DE CHUVA DO TELHADO

1.1 Desenvolvimento dos cálculos e desenhos

Para a construção do coletor de água de chuva, inicialmente foi calculada a área de contribuição efetiva do telhado em $21,6\text{m}^2$. Como a proposta era que cada coletor armazenasse $0,5\text{mm}$ de precipitação até o instante de 3mm precipitados, foram dimensionados 6 reservatórios com capacidade útil aproximada de $10,8$ litros cada.

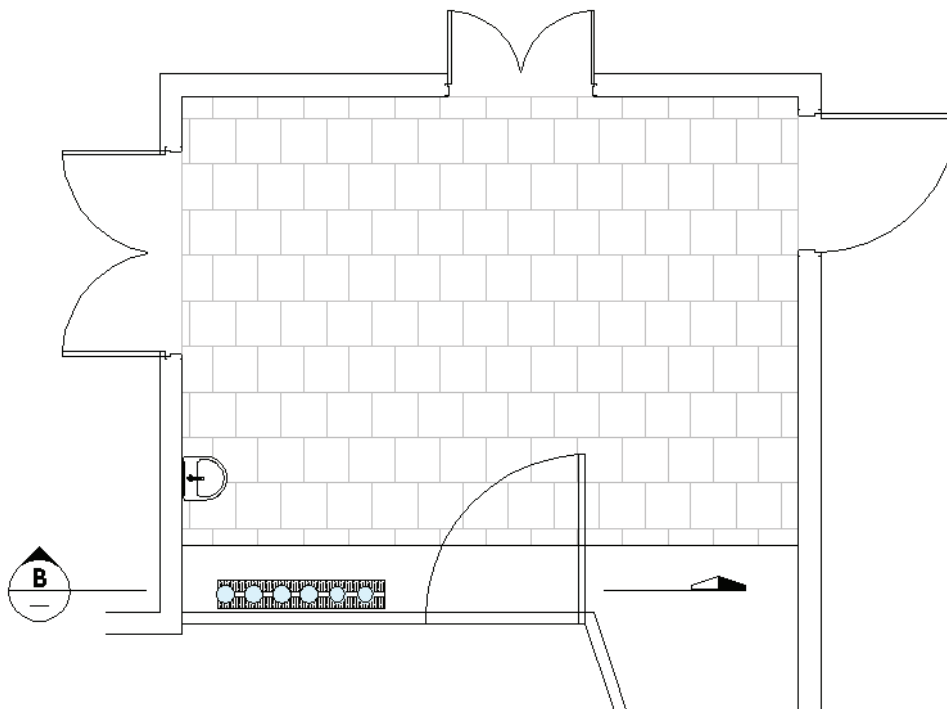
A Figura 31 mostra o desenho em planta da cobertura e na Figura 32 a planta da instalação do protótipo.

Figura 31. Planta da área do telhado utilizado para captação da água de chuva



Fonte: Do autor.

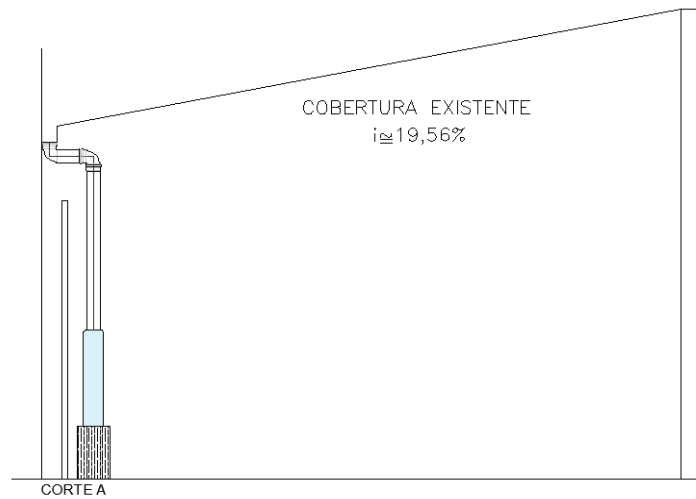
Figura 32. Localização do espaço para instalação do protótipo no *hall* entre a cozinha e a sala de estudos do prédio da pós-graduação. Sem escala.



Fonte: Do autor.

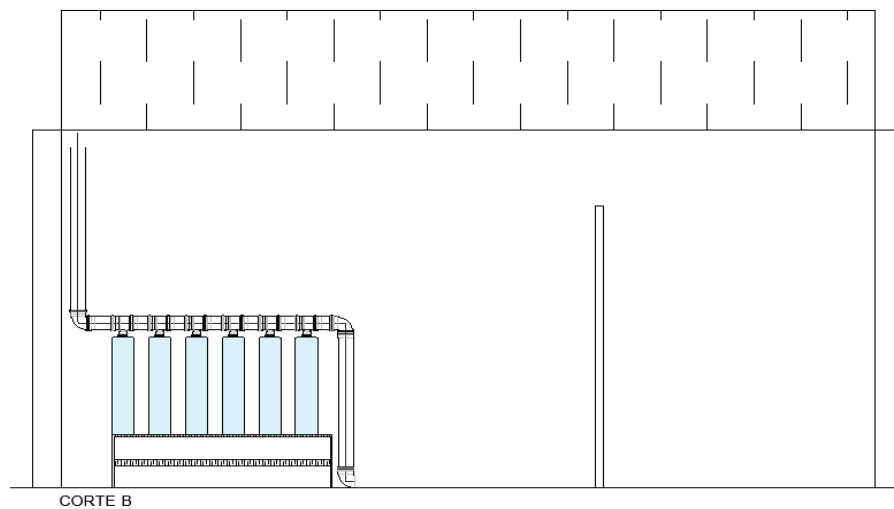
Nas Figuras 33 e 34 estão apresentados os cortes A e B indicados em planta.

Figura 33. Corte A – Vista lateral do coletor de água de chuva



Fonte: Do autor.

Figura 34. Corte B – Vista frontal do coletor de água de chuva



Fonte: Do autor.

1.2 Desenvolvimento do protótipo

O coletor de água de chuva foi concebido para que pudesse ser desmontado com facilidade para limpeza e preparo das coletas. Ele possui basicamente condutos verticais, horizontais e reservatório com acessórios. Foi instalado dentro das instalações do prédio da

pós-graduação para evitar o manuseio de pessoas não autorizadas, conforme ilustra a Figura 35.

Figura 35. Coletor do escoamento inicial de água de chuva instalado



Fonte: Do autor.

Para a coleta vertical foi aproveitada a tubulação existente (PVC, 100mm) que coletava a água da calha e despejava no chão e desviada com dois tês de 45° para alimentar os reservatórios.

A tubulação de coleta horizontal abastece os reservatórios por meio de tês de redução de 100mmx50mm os reservatórios. Esta tubulação horizontal possui declividade de 0,5% para proporcionar melhor escoamento. Os reservatórios foram montados com tubos de PVC de 150mm com altura total de 70 cm e altura útil aproximada de 61cm. Eles possuem caps para fechamento inferior e superior, sendo que na parte inferior foi feito um furo para encaixe de flange e plug para esvaziamento e na parte superior foi perfurado para encaixe da válvula de retenção. O cap inferior foi executado com anel de vedação e cola e o cap superior só encaixado para desmontagem e limpeza futura.

Conforme descrito no item método observa-se a montagem do coletor que coleta água de chuva por meio de tubulações verticais a partir do telhado e horizontais compondo o conjunto de reservatórios (Figura 35).

Na Figura 36 é possível observar o tê de redução utilizado para encaminhar a água para os reservatórios construídos com tubo de 150mm e a flange com plug na parte inferior.

A válvula de retenção de PVC marrom 50mm possui função estratégica sendo o elemento mais importante do sistema, esta válvula deve bloquear a entrada de água no reservatório após seu preenchimento total.

O PVC marrom por padrão não possui conexões compatíveis com o PVC branco utilizado nas tubulações de coleta, então foi necessário fazer uma adaptação utilizando um pedaço de tubo de 50mm que foi colado à válvula e uma luva simples de 50mm prevista para o encaixe da tubulação que deriva do tê de redução. A Figura 37 ilustra as peças utilizadas para essa adaptação.

Figura 36. Reservatórios e acessórios do coletor



Fonte: Do autor.

Figura 37. Peças utilizadas para adaptação para interligação da válvula de PVC marrom com o tê de derivação de PVC branco



Fonte: Do autor.

Para extravasamento após o enchimento dos 6 reservatórios foi instalado um tubo extravasador do mesmo diâmetro da tubulação horizontal, de 100mm, que deságua no chão.

Todos os reservatórios foram instalados apoiados em um banco de madeira para que fosse facilitado o esvaziamento e coleta para análises. A Figura 38 mostra o momento em que o suporte estava sendo finalizado.

Figura 38. Montagem do banco suporte para os reservatórios do coletor de água de chuva



Fonte: Do autor.

Após o teste realizado com água da mangueira para enchimento dos reservatórios observou-se que ele necessitaria de um escoramento no centro para suportar o peso dos reservatórios cheios. A Figura 39 ilustra o envergamento do banco suporte e consequentemente da tubulação horizontal que alimenta os reservatórios.

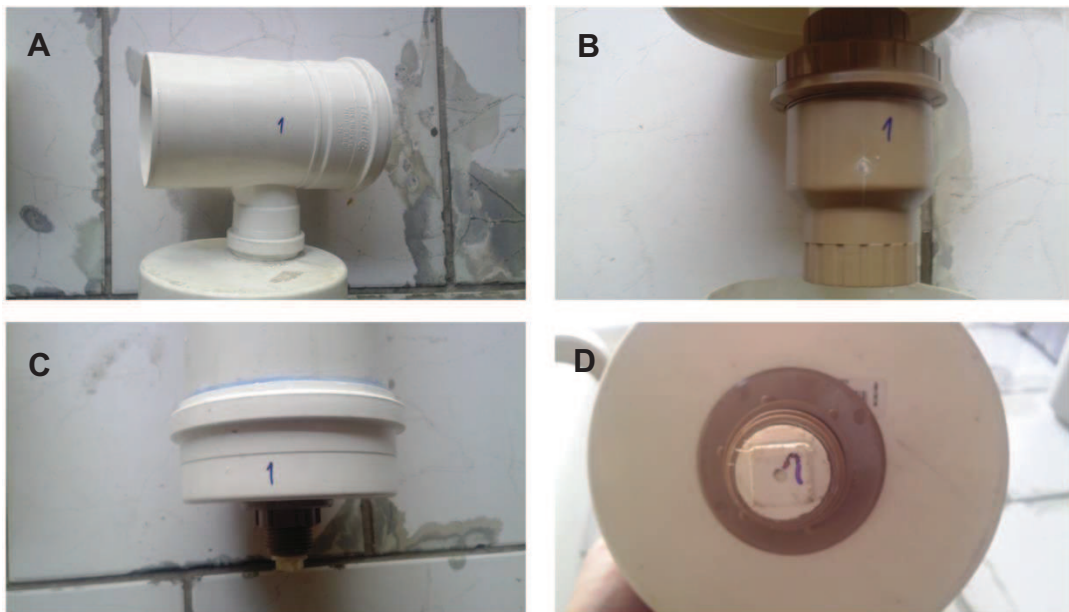
Figura 39. Banco suporte envergando com o peso da água nos reservatórios



Fonte: Do autor.

O coletor pode ser desmontado e separado em seus seguintes componentes: tê de derivação, válvula de retenção, reservatório e plug. Todas as peças foram numeradas para sempre serem montadas novamente na mesma condição original, conforme ilustra Figura 40.

Figura 40. Peças do coletor que se desmontam para limpeza e manutenção. Em A: tê de redução 100x50mm; em B: válvula de retenção em PVC marrom; em C: cap inferior; em D: flange e plug.



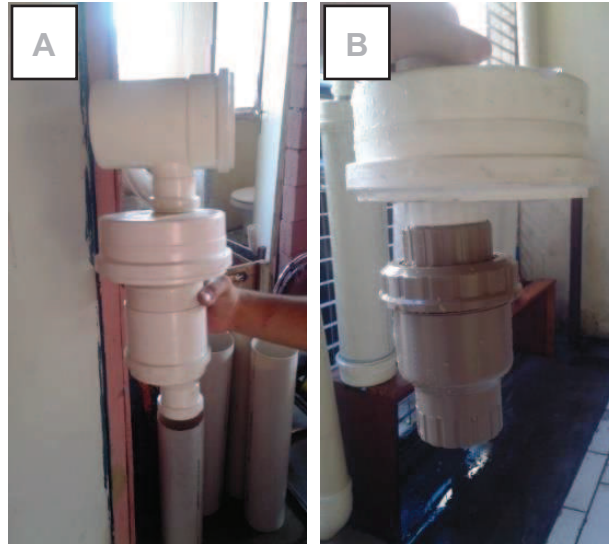
Fonte: Do autor.

Durante a montagem do coletor foram realizados testes para verificar possíveis falhas em sua concepção. Inicialmente o fechamento do reservatório foi concebido por meio do método de tubo com bola, porém este não se mostrou eficiente na vedação para evitar que a água dos instantes seguintes entrasse no reservatório e assim foi substituído por uma válvula de retenção.

A Figura 41 ilustra as duas situações. À esquerda sistema montado com redução 100x50mm, luva de 100mm e outra redução de 100x50mm. No interior há uma grelha e uma bola de tênis para fechamento conforme elevação do nível da água. À direita a válvula de retenção em PVC marrom.

Esperava-se que o sistema se comportasse de forma estanque após o ajuste da peça que fazia o fechamento da entrada de água no reservatório, porém observou-se que os componentes do sistema, que não foram executados com anel de vedação e/ou cola adesiva, sofriam vazamentos. Para minimizar este inconveniente foi realizada aplicação de silicone nas partes móveis do sistema: cap superior, plug e flange inferior.

Figura 41. Métodos de fechamento da entrada do reservatório. Em A: “tubo com bola”, utilizando-se de 2 reduções excêntricas, luva simples e em seu interior grelha e bola de tênis; em B: válvula de retenção em PVC marrom.



Fonte: Teixeira e Teixeira (2016)

A concepção de torná-lo desmontável para limpeza após cada coleta mostrou-se eficiente, com um único limitador: a conexão de 50mm que interliga o tê de derivação com a válvula de retenção ficou em uma posição de difícil acesso e com a necessidade de fixação segura da válvula, para que ela não caísse com o peso e pressão da água na entrada, não foi possível descartar a cola adesiva neste ponto do sistema.

Os sólidos que eventualmente ficaram barrados na válvula são despejados no reservatório para homogeneização e posterior coleta.

PARTE 2 – CARACTERIZAÇÃO PRELIMINAR DA QUALIDADE DA ÁGUA DE DESCARTE DO ESCOAMENTO INICIAL (*FIRST FLUSH*)

2.1 Coleta teste

No dia 28 de abril de 2016 foi realizada uma coleta teste no arranjo experimental com o objetivo de padronizar a metodologia proposta para a coleta e para os procedimentos laboratoriais. A coleta se deu apenas no primeiro reservatório, representando 0,5mm de precipitação. Os resultados obtidos encontram-se na Tabela 9.

Tabela 9. Caracterização físico-química do escoamento inicial realizada na coleta teste de 28/04/2016

Repetições	Reservatório 1 (0,5 mm)			
	Resultados	Média	dp	CV
Cor [mg/L Pt-Co]				
1	208,00	205,00	3,77	2%
2	200,00			
3	208,00			
Turbidez [NTU]				
1	22,70	20,00	4,09	20%
2	23,10			
3	14,24			
SST [mg/L]				
1	210,00	165,00	45,00	27%
2	120,00			
pH				
1	7,85	7,00	0,72	10%
2	6,44			
3	8,05			
Condutividade [μs/cm]				
1	333,00	331,00	1,70	1%
2	332,00			
3	329,00			
Alcalinidade [mg/L CaCO₃]				
1	53,00	52,50	0,50	1%
2	52,00			
Dureza [mg/L CaCO₃]				
1	2,10	2,10	0,00	0%
2	2,10			

Fonte: Do autor

O valor de cor aparente foi 205uH (unidade Hazen), sendo considerado elevado, visto a ABNT NBR 15527:2007 recomendar valores inferiores a 15uH para uso de água de chuva. O valor de turbidez foi de 20 UNT (unidades nefelométricas de turbidez), sendo que a ABNT NBR 15.527:2007 recomenda valores menores de 2 UNT para uso comum e menor do que 5 UNT para usos menos restritivos. Estes dados apontam a importância da avaliação do

tamanho do *first flush* a ser descartado para aproveitamento máximo da água de chuva coletada de telhado.

Resíduos acumulados por períodos mais ou menos longos de estiagem e contribuição de poluição atmosférica acentuada na região explicam a alta turbidez da água de primeiro instante. Os valores de SST também estão superiores aos encontrados posteriormente na coleta oficial.

A análise de pH apresentou resultado médio de 7,00, variando de 6,44 a 8,05. De acordo com a ABNT NBR 15.527:2007, o valor ideal para reservação de água de chuva é a faixa de 6 a 8, visando proteção de redes de distribuição, se necessárias.

O resultado da condutividade apresentou valor médio de $331 \pm 2 \mu\text{S}/\text{cm}$. A condutividade da água destilada é de 0,5 a $3 \mu\text{S}/\text{cm}$, possuindo baixa condução elétrica e da água potável de torneira é de 50 a $1500 \mu\text{S}/\text{cm}$. O resultado obtido com a água de chuva de primeiro instante indica alta condutividade, potencialmente em razão da presença de grande quantidade de íons dissolvidos decorrentes de processos químicos ocorrendo no ar atmosférico e/ou de contaminantes depositados no telhado durante o período de estiagem.

A análise microbiológica pelo método dos tubos múltiplos indicou, no teste presuntivo, número superior a 1600 microrganismos/100mL de água de chuva. No teste confirmatório para coliformes totais, igualmente $\text{NMP} \geq 1600$ microrganismos/100mL e o teste confirmatório para coliformes termotolerantes $\text{NMP} < 2$ microrganismos/100mL de água. A ABNT NBR 15527:2007 recomenda ausência de coliformes totais e termotolerantes em 100mL de água de chuva para usos restritivos não potáveis, sendo não recomendado o uso da água de chuva coletada de telhado em primeiro instante, pelo grau de contaminação.

2.2. Informações gerais sobre as coletas do *first flush*

Para controle das informações do ato da coleta do *first flush* para a caracterização da qualidade da água foram elaboradas as Tabelas 10 e 11.

A primeira coleta foi realizada no outono enquanto a segunda foi realizada na primavera, sendo a diferença de temperatura de 10°C de uma coleta em comparação a outra. O registro do índice pluviométrico para o período foi obtido da estação “A701 – São Paulo, Mirante de Santana” do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET. Esta estação fica a aproximadamente 6 km de distância do ponto de coleta.

Tabela 10. Informações sobre a coleta de água de chuva – 19/05/2016

DADOS DO DIA DA COLETA	
Nº da coleta	1
Data da coleta	19.05.2016
Horário de início da coleta	14h48
Horário de término da coleta	17h03
Temperatura (°C)	15
Nº de dias sem chuva	0
Precipitação no dia (mm)	25
Precipitação acumulada no último mês (mm)	34

Fonte: Do autor

Tabela 11. Informações sobre a coleta de água de chuva – 10/11/2016

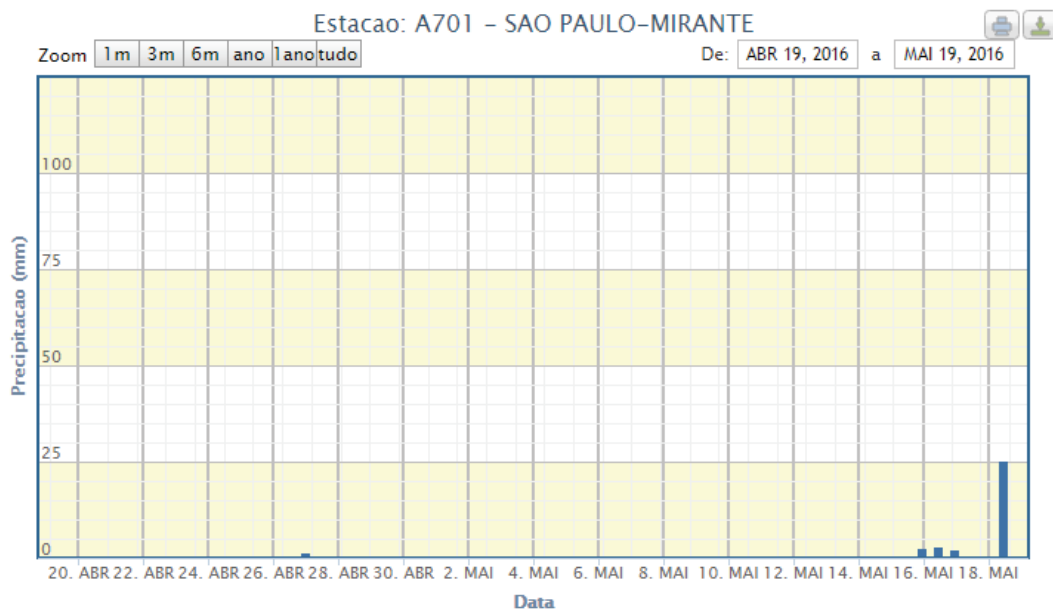
DADOS DO DIA DA COLETA	
Nº da coleta	2
Data da coleta	10.11.2016
Horário de início da coleta	18h48
Horário de término da coleta	20h54
Temperatura (°C)	25
Nº de dias sem chuva	0
Precipitação no dia (mm)	34
Precipitação acumulada no último mês (mm)	172

Fonte: Do autor

Havia uma coleta programada entre estas duas, que ocorreria no mês de junho ou julho, porém não houve precipitação suficiente para realização da coleta no período.

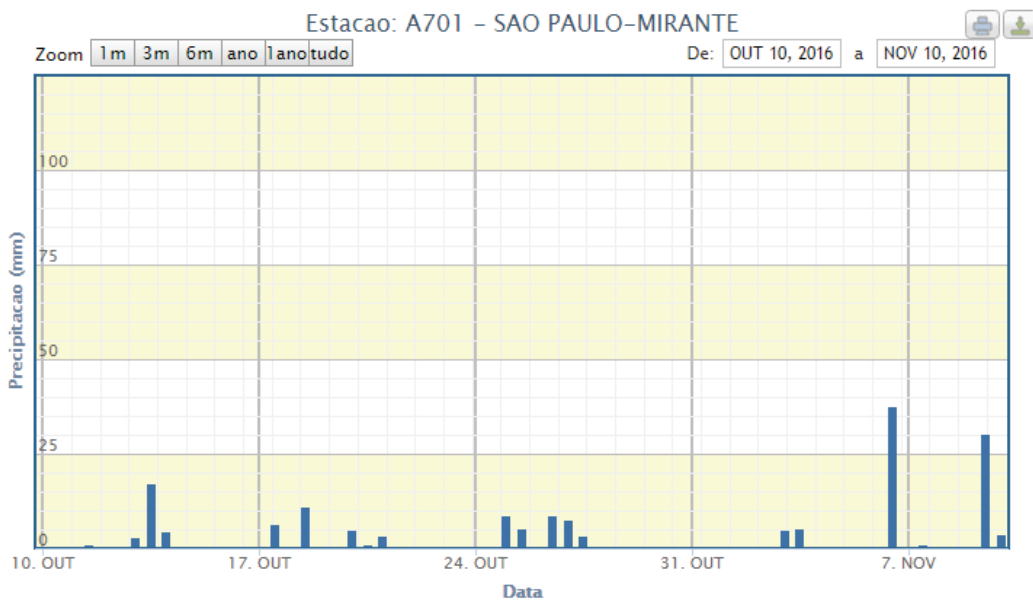
As Figuras 42 e 43 mostram o registro de precipitação durante um mês anterior a coleta.

Figura 42. Histórico de chuva um mês antes da coleta do dia 19/05/2016



Fonte: INMET (2016)

Figura 43. Histórico de chuva um mês antes da coleta do dia 10/11/2016



Fonte: INMET (2016)

Apesar de ter chovido um dia antes nas duas coletas, a precipitação acumulada nas datas é bem diferente, o que resultou em qualidades distintas das amostras de água de chuva analisadas.

2.3 Avaliação geral dos parâmetros físico-químicos

As Tabelas 12 e 13 compilam os resultados das análises físico-químicas realizadas. Logo em seguida serão apresentados gráficos detalhando cada análise.

A primeira coluna à esquerda indica a data que a análise foi realizada. A segunda coluna indica se a análise foi feita em duplicata ou triplicata. Além dos valores das análises a tabela também apresenta valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação para a amostra de cada reservatório. A quantidade de análises para as amostras a serem realizadas em duplicata e triplicata impossibilitou que fossem todas processadas no mesmo dia, portanto, as amostras foram armazenadas refrigeradas e processadas ao longo da semana.

O tempo necessário para a realização do preparo, condução e finalização do experimento contemplando a limpeza das vidrarias acabou exigindo ainda a participação de voluntários na pesquisa para auxiliar nas bancadas do laboratório.

TABLE 1.1. Summary of the results of the 2010-2011 survey of the 100 largest U.S. corporations										
Company	2010		2011		2012		2013		2014	
	Revenue	Profit	Revenue	Profit	Revenue	Profit	Revenue	Profit	Revenue	Profit
1. Apple	156.2	15.3	156.2	15.3	156.2	15.3	156.2	15.3	156.2	15.3
2. Amazon.com	133.7	4.8	133.7	4.8	133.7	4.8	133.7	4.8	133.7	4.8
3. Microsoft	115.4	12.4	115.4	12.4	115.4	12.4	115.4	12.4	115.4	12.4
4. Google	106.7	17.1	106.7	17.1	106.7	17.1	106.7	17.1	106.7	17.1
5. Facebook	73.7	3.7	73.7	3.7	73.7	3.7	73.7	3.7	73.7	3.7
6. eBay	68.8	2.1	68.8	2.1	68.8	2.1	68.8	2.1	68.8	2.1
7. Oracle	67.7	4.1	67.7	4.1	67.7	4.1	67.7	4.1	67.7	4.1
8. LinkedIn	67.4	1.1	67.4	1.1	67.4	1.1	67.4	1.1	67.4	1.1
9. Twitter	64.7	0.8	64.7	0.8	64.7	0.8	64.7	0.8	64.7	0.8
10. IBM	62.8	3.1	62.8	3.1	62.8	3.1	62.8	3.1	62.8	3.1
11. Salesforce.com	62.7	2.1	62.7	2.1	62.7	2.1	62.7	2.1	62.7	2.1
12. Cisco	62.5	3.1	62.5	3.1	62.5	3.1	62.5	3.1	62.5	3.1
13. eBay	61.8	2.1	61.8	2.1	61.8	2.1	61.8	2.1	61.8	2.1
14. LinkedIn	61.7	1.1	61.7	1.1	61.7	1.1	61.7	1.1	61.7	1.1
15. Twitter	61.6	0.8	61.6	0.8	61.6	0.8	61.6	0.8	61.6	0.8
16. IBM	61.5	3.1	61.5	3.1	61.5	3.1	61.5	3.1	61.5	3.1
17. Salesforce.com	61.4	2.1	61.4	2.1	61.4	2.1	61.4	2.1	61.4	2.1
18. Cisco	61.3	3.1	61.3	3.1	61.3	3.1	61.3	3.1	61.3	3.1
19. eBay	61.2	2.1	61.2	2.1	61.2	2.1	61.2	2.1	61.2	2.1
20. LinkedIn	61.1	1.1	61.1	1.1	61.1	1.1	61.1	1.1	61.1	1.1
21. Twitter	61.0	0.8	61.0	0.8	61.0	0.8	61.0	0.8	61.0	0.8
22. IBM	60.9	3.1	60.9	3.1	60.9	3.1	60.9	3.1	60.9	3.1
23. Salesforce.com	60.8	2.1	60.8	2.1	60.8	2.1	60.8	2.1	60.8	2.1
24. Cisco	60.7	3.1	60.7	3.1	60.7	3.1	60.7	3.1	60.7	3.1
25. eBay	60.6	2.1	60.6	2.1	60.6	2.1	60.6	2.1	60.6	2.1
26. LinkedIn	60.5	1.1	60.5	1.1	60.5	1.1	60.5	1.1	60.5	1.1
27. Twitter	60.4	0.8	60.4	0.8	60.4	0.8	60.4	0.8	60.4	0.8
28. IBM	60.3	3.1	60.3	3.1	60.3	3.1	60.3	3.1	60.3	3.1
29. Salesforce.com	60.2	2.1	60.2	2.1	60.2	2.1	60.2	2.1	60.2	2.1
30. Cisco	60.1	3.1	60.1	3.1	60.1	3.1	60.1	3.1	60.1	3.1

Variable	Coefficient	Standard Error	F-statistic	R-squared	Adjusted R-squared	p-value
Area	0.25	0.02	15.62	0.45	0.42	<0.001
Mean Annual Precipitation	0.18	0.03	30.25	0.45	0.42	<0.001
Mean Annual Temperature	0.12	0.02	30.25	0.45	0.42	<0.001
Mean Annual Relative Humidity	0.05	0.01	15.62	0.45	0.42	<0.001
Constant	1.23	0.15	65.50	0.45	0.42	<0.001

Year	2010	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030
Population (millions)	7.7	7.9	8.1	8.3	8.5	8.7	8.9	9.1	9.3	9.5	9.7	9.9	10.1	10.3	10.5	10.7	10.9	11.1	11.3	11.5	11.7
GDP (trillion USD)	4.8	5.2	5.6	6.0	6.4	6.8	7.2	7.6	8.0	8.4	8.8	9.2	9.6	10.0	10.4	10.8	11.2	11.6	12.0	12.4	12.8
Urban population (%)	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87	89	91	93	95
Life expectancy (years)	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
Renewable energy (%)	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
CO2 emissions (metric tons)	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8
Urbanization rate (%)	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87	89	91	93	95
Life expectancy (years)	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92
Renewable energy (%)	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35
CO2 emissions (metric tons)	1.8	2.0	2.2	2.4	2.6	2.8	3.0	3.2	3.4	3.6	3.8	4.0	4.2	4.4	4.6	4.8	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8
Urbanization rate (%)	55	57	59	61	63	65	67	69	71	73	75	77	79	81	83	85	87	89	91	93	95

2.4 Apresentação detalhada dos parâmetros analisados nas amostras do *first flush*

2.4.1 Cor

A cor é um parâmetro fácil de ser percebido sem ajuda de equipamentos. A Figura 44 é uma fotografia retirada no dia 17/05/2016 no ato de esvaziamento do coletor para limpeza e padronização para a coleta oficial. Nota-se uma coloração amarelo escura com presença de sólidos suspensos de cor preta.

Figura 44. Aspecto visual da água no ato da coleta das amostras para análise



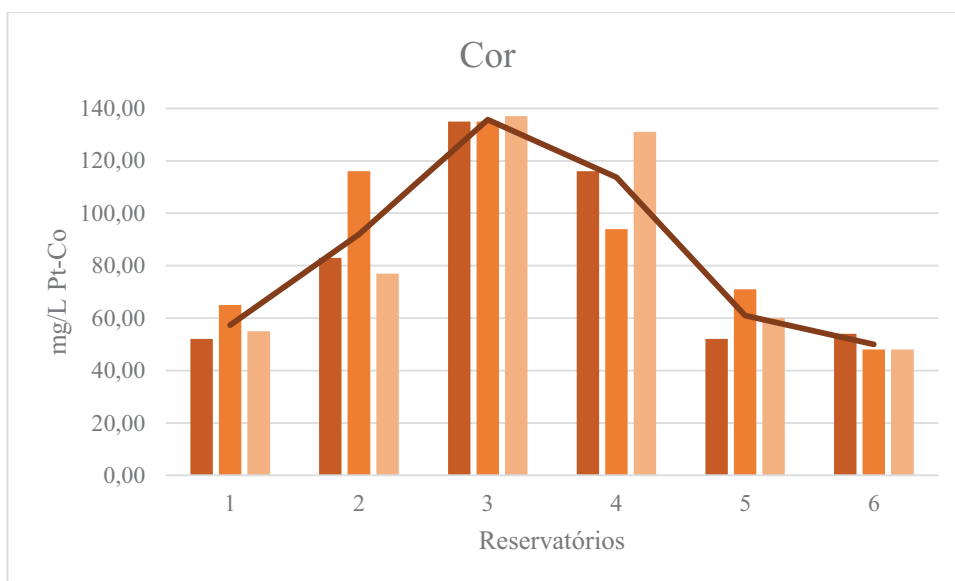
Fonte: Do autor

Analisando os resultados das Tabelas 12 e 13 e os gráficos apresentados nas Figuras 47 e 48 fica claro que a coleta realizada no outono tem índices de cor mais elevados do que a coleta realizada na primavera quando estavam ocorrendo chuvas constantes.

Na Figura 45 há uma tendência de a cor elevar-se nos primeiros instantes da chuva (de 0,5 a 1,5mm captados) e depois reduzir. Este fenômeno pode ser causado se a chuva se iniciou com uma intensidade baixa e ao aumentar de intensidade aumentou-se também a capacidade de desprender possíveis sólidos dissolvíveis do telhado. Para comprovação dessa hipótese seria necessário realizar a coleta com o monitoramento de uma estação meteorológica instalada no local que fizesse o registro da precipitação em tempo real ou em intervalos curtos, de 5 em 5 minutos, por exemplo.

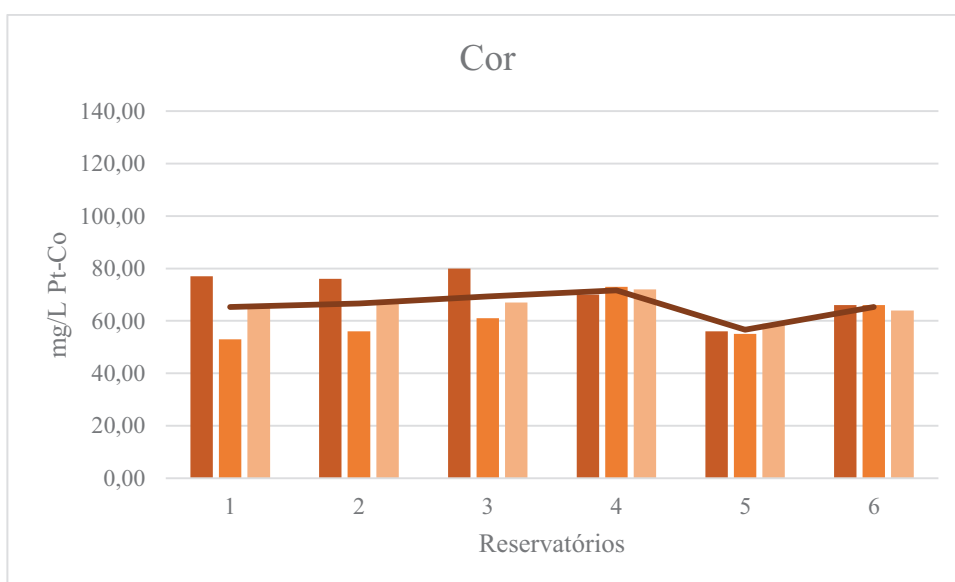
A Figura 46 apresenta valores para a cor mais estáveis, variando pouco de reservatório para reservatório e ficando na média em torno de 60 mg/L Pt-Co, enquanto que na coleta anterior o valor máximo obtido na amostra 3 é de quase 140 mg/L Pt-Co e na última coleta reduz drasticamente para menos da metade deste valor.

Figura 45. Análises do parâmetro COR realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 19/05/2016



Fonte: Do autor

Figura 46. Análises do parâmetro COR realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 10/11/2016



Fonte: Do autor

Os resultados obtidos são compatíveis com os encontrados por May (2004) em estudo realizado na Cidade Universitária da Universidade de São Paulo (USP) que variou de 20 a 218 uH, com média de 52,5 uH.

Este parâmetro é relevante, pois consta na norma técnica da ABNT NBR 15.527:2007, com limite estabelecido em 15 uH para usos mais restritos, portanto, fica evidente que para fins de aproveitamento desta água captada, fazer o descarte do escoamento inicial pode contribuir para diminuição da cor, possibilitando seu uso para lavagens e irrigação, porém um tratamento subsequente será necessário para atingir o requisito da norma se esta água for conduzida para descarga em bacias sanitárias.

2.4.2 Turbidez

Os valores para turbidez são ocasionados especialmente pela presença de sólidos suspensos nas amostras. Estes sólidos são oriundos basicamente da presença de folhas no telhado e também de particulados mais finos presentes na atmosfera ocasionados pela emissão de poluentes de veículos automotores.

A quantidade destes sólidos finos é intensa e pode ser observada no conduto horizontal registrado na Figura 47 em fotografia retirada no dia 02/06/2016 quando o coletor estava sendo preparado para a coleta de inverno, que não ocorreu.

Figura 47. Presença de sólidos particulados na tubulação horizontal do coletor de água de chuva

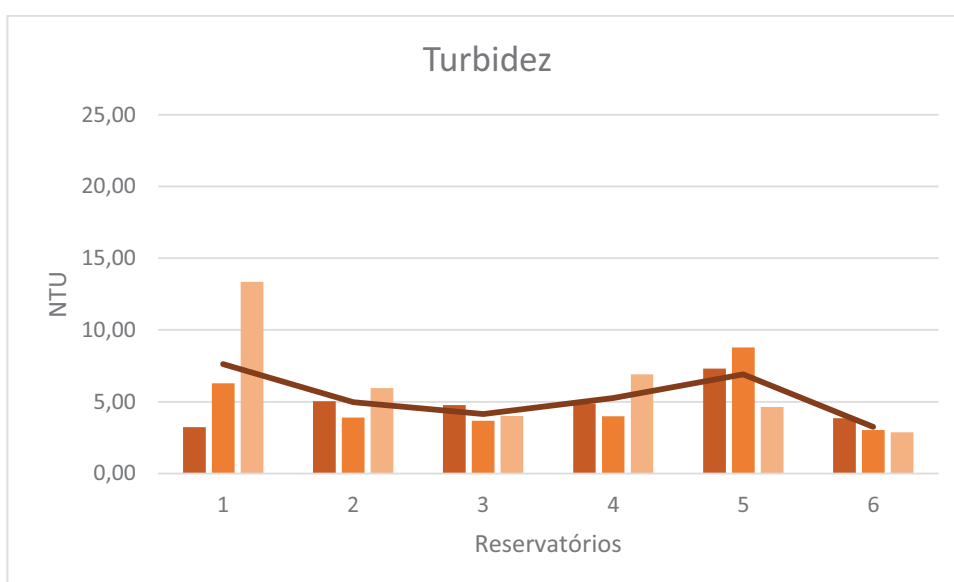


Fonte: Do autor

A turbidez manteve-se entre 4 e 8 nos 5 primeiros reservatórios, não mantendo uma tendência clara de redução. Tendência semelhante à encontrada no parâmetro cor, de aumento após os primeiros milímetros de chuva também é observado aqui e este parâmetro só apresenta redução significativa no sexto reservatório, após 2,5mm de precipitação, conforme ilustra Figura 48.

Na amostra do reservatório número 1, uma das leituras está fora da curva provavelmente ocasionado pela entrada de sólidos grosseiros, como folhas e esta discrepância é expressa pelo coeficiente de variação de 56%.

Figura 48. Análises do parâmetro TURBIDEZ realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 19/05/2016

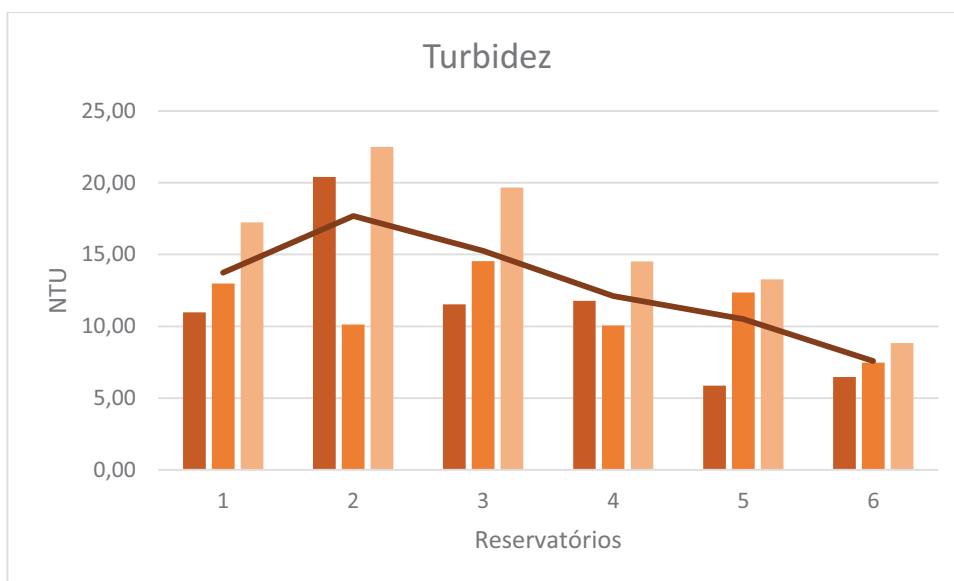


Fonte: Do autor

Na Figura 49 os valores encontrados para a turbidez são bem superiores e apresentam tendência de redução. Novamente ressalta-se a importância de conhecer a intensidade de chuva no instante da coleta, pois tais valores podem ser explicados se a chuva ocorrida no dia 10 de novembro tenha durado menos tempo e lavado de forma mais efetiva os sólidos maiores do telhado.

Os resultados obtidos encontram-se acima do encontrado por May (2004) em estudo realizado na Cidade Universitária da Universidade de São Paulo (USP) que variou de 0,6 a 7,1 NTU, com média de 1,6 NTU.

Figura 49. Análises do parâmetro TURBIDEZ realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 10/11/2016



Fonte: Do autor

Este parâmetro é relevante pois consta da norma técnica da ABNT NBR 15.527:2007, com seu limite estabelecido em 5 NTU, sendo necessário atingir valor menor do que 2 NTU para usos mais restritos, portanto, fica evidente que para fins de aproveitamento desta água captada, fazer o descarte do escoamento inicial pode contribuir para diminuição da turbidez. No entanto, para usos menos restritos como lavagens e irrigação, em algumas épocas do ano a água coletada pode não atender o recomendado na norma e um tratamento subsequente seja necessário para atingir este requisito. Se seu uso for o mais restrito, como em bacias sanitárias, recomenda-se tratamento posterior à reservação e anterior ao ponto de uso.

Outro ponto a se destacar é a importância sanitária deste parâmetro que quanto maior o número de sólidos suspensos maior será a probabilidade da ocorrência de bactérias que se utilizam destes meios flutuantes para fixação. Assim, reduzindo-se a turbidez é possível reduzir a presença de coliformes (TEIXEIRA et al, 2015).

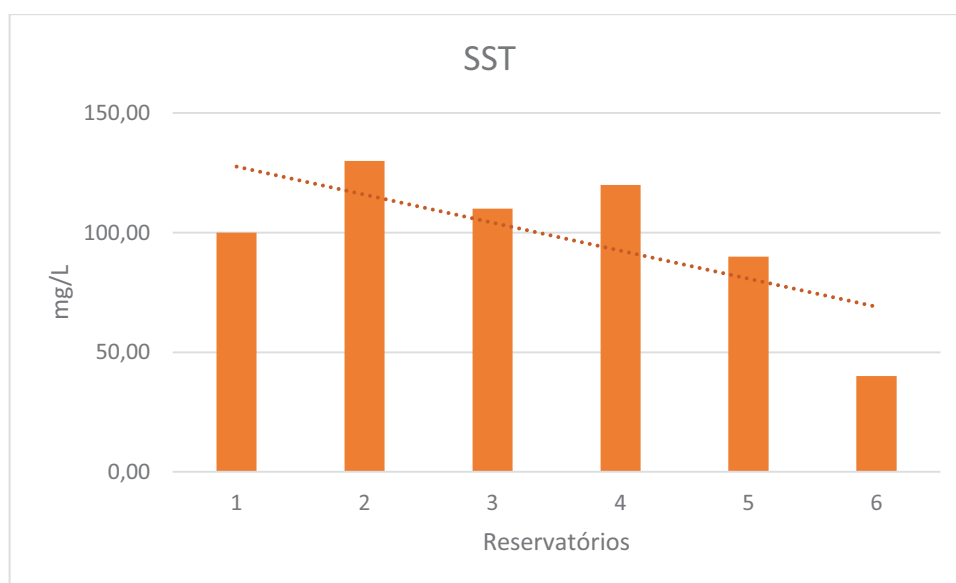
2.4.3 Sólidos suspensos totais

Os ensaios para obtenção do parâmetro SST - Sólidos Suspensos Totais não foram conclusivos na coleta realizada no dia 19 de maio e foi descartado e, portanto, não utilizado neste trabalho. Já na coleta do dia 10 de novembro apenas uma das análises realizadas em duplicata apresentou valores satisfatórios para serem discutidos, por isso foi incluída mesmo sem repetição.

Na Figura 50 é possível observar que as determinações dos sólidos suspensos apresentam tendência de redução, sendo que nos quatro primeiros reservatórios os valores são maiores que 100 mg/L e a determinação cai para menos da metade no sexto reservatório.

Este parâmetro, que é tão próximo da turbidez, não apresentou correlação identificável e estudos futuros para correlacionar ambos os parâmetros podem ser úteis.

Figura 50. Análises do parâmetro SÓLIDOS SUSPENSOS TOTAIS realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 10/11/2016

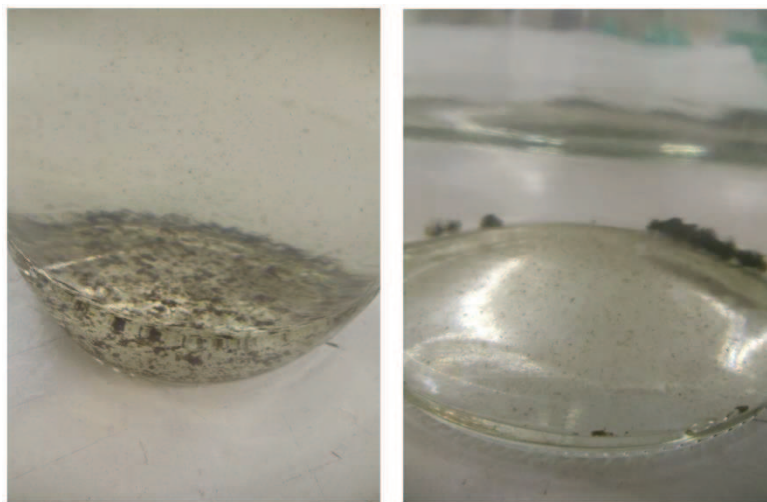


Fonte: Do autor

Este parâmetro não está previsto em norma, mas os resultados são compatíveis com os encontrados por May (2004) em estudo na Cidade Universitária da Universidade de São Paulo (USP) que indicou valores entre 2 e 183 mg/L, com média de 30 mg/L.

A Figura 51 ilustra a aparência dos sólidos coletados junto com a água da chuva decantados no fundo da garrafa.

Figura 51. Sólidos decantados no fundo de garrafas de coleta da água de chuva

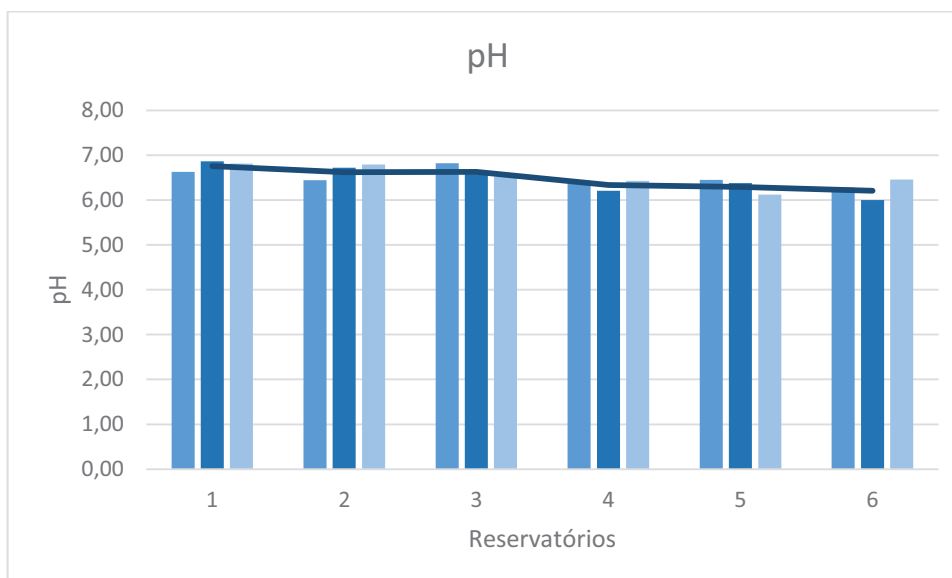


Fonte: Do autor

2.4.4 pH

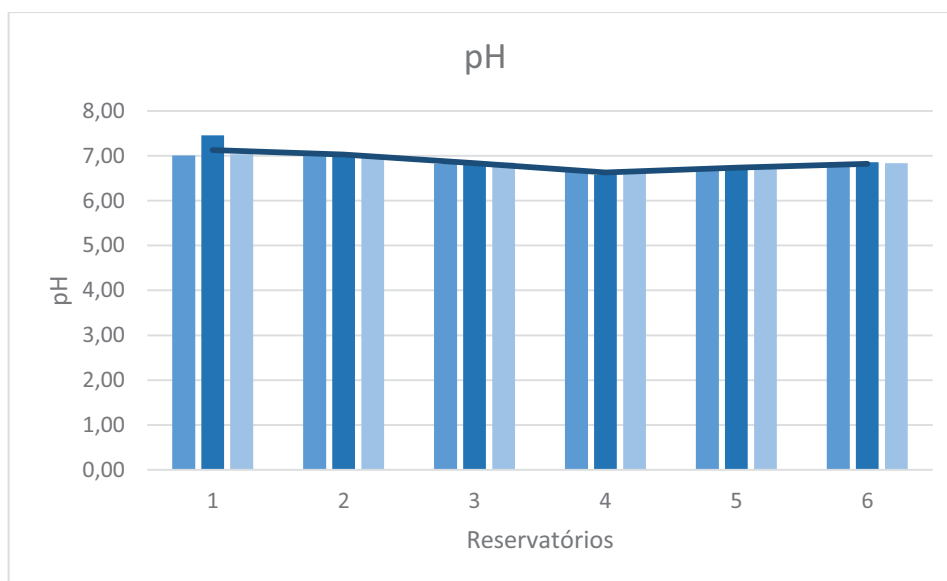
Analisando a Figura 52, observamos que a determinação do pH apresentou ligeira redução do primeiro meio milímetro até o último reservatório referente à coleta de maio, variando de 6,77 à 6,25. A mesma tendência é observada na Figura 53, na qual a determinação do pH se reduziu de 7,17 à 6,82.

Figura 52. Análises do parâmetro pH realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 19/05/2016



Fonte: Do autor

Figura 53. Análises do parâmetro pH realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 10/11/2016



Fonte: Do autor

Estes valores estão dentro do preconizado pela norma técnica da ABNT (ABNT, 2007) que determina que a água esteja com o pH dentro da faixa de 6,0 a 8,0. Em nossa caracterização, mesmo sem remoção do *first flush* a água de chuva atenderia aos requisitos do parâmetro pH.

Esta correção de pH pode vir a ser necessária em locais onde há presença industrial massiva e ocorrência frequente de chuvas ácidas.

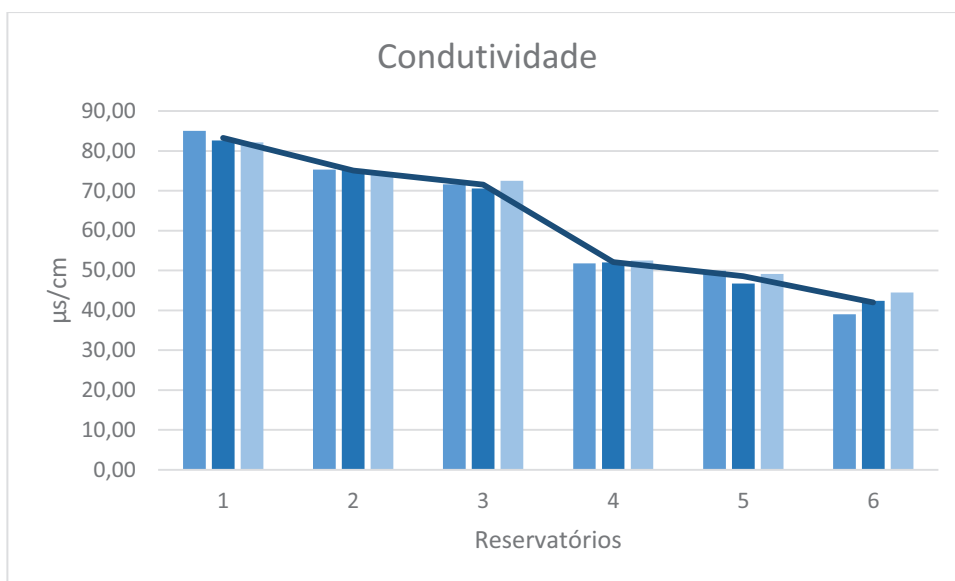
May (2004) encontrou o intervalo de 5,8 a 7,6, com média de 7,0 em estudo realizado na Cidade Universitária da Universidade de São Paulo (USP).

2.4.5 Condutividade

As medidas de condutividade tiveram redução significativa em ambas as coletas, caindo pela metade seu valor no sexto reservatório em comparação ao primeiro.

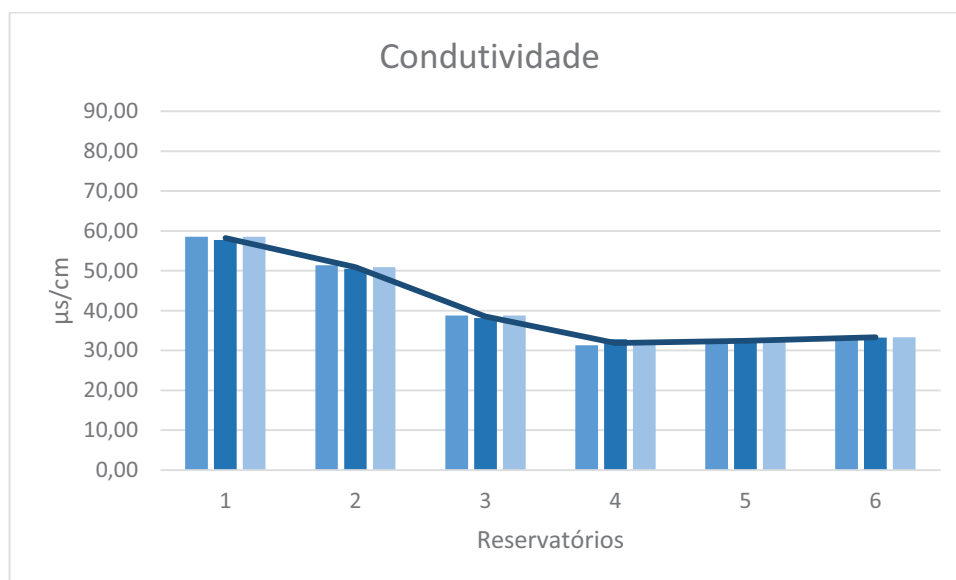
Analisando as Figuras 54 e 55 é possível observar a redução dos valores de condutividade, sendo que as determinações da segunda coleta (novembro) foram em média 20 $\mu\text{s}/\text{cm}$ menor, apontando que a água da chuva coletada numa estação chuvosa possuía uma menor quantidade de íons dissolvidos de processos químicos no ar atmosférico e de partículas presentes no telhado.

Figura 54. Análises do parâmetro CONDUTIVIDADE realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 19/05/2016



Fonte: Do autor

Figura 55. Análises do parâmetro CONDUTIVIDADE realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 10/11/2016



Fonte: Do autor

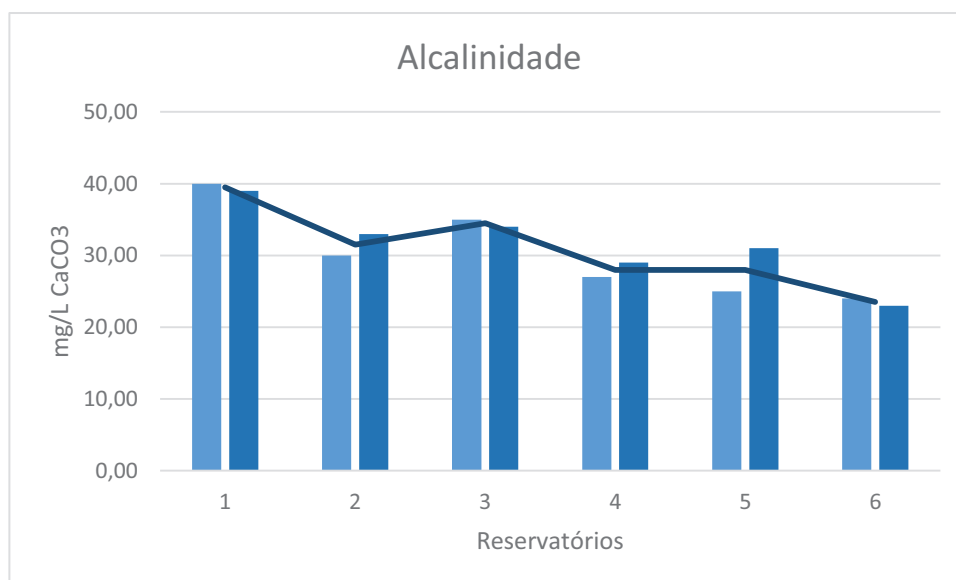
A água de chuva com índices de condutividade baixos possibilita o uso em equipamentos que exigem alto padrão de qualidade como para reposição em sistemas de refrigeração à água.

Este parâmetro não é previsto na ABNT NBR 15.527:2007, mas May (2004) em seu estudo encontrou intervalo de 7,0 à 126,2 $\mu\text{s}/\text{cm}$, tendo como média 63,4 $\mu\text{s}/\text{cm}$, e os valores por nós determinados são compatíveis com esta faixa descrita pela autora.

2.4.6 Alcalinidade

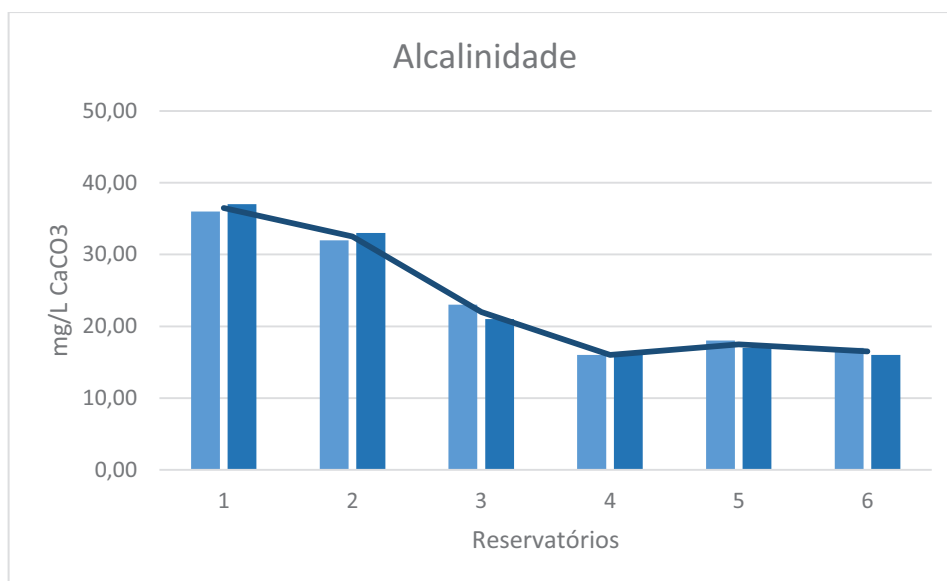
A alcalinidade apresentou redução de quase metade de seu valor do primeiro reservatório para o último nas duas coletas do *first flush*, conforme pode ser observado nas Figuras 56 e 57. O descarte do escoamento inicial contribui para a remoção de possíveis bicarbonatos, carbonatos e hidróxidos presentes na água de chuva.

Figura 56. Análises do parâmetro ALCALINIDADE realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 19/05/2016



Fonte: Do autor

Figura 57. Análises do parâmetro ALCALINIDADE realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 10/11/2016



Fonte: Do autor

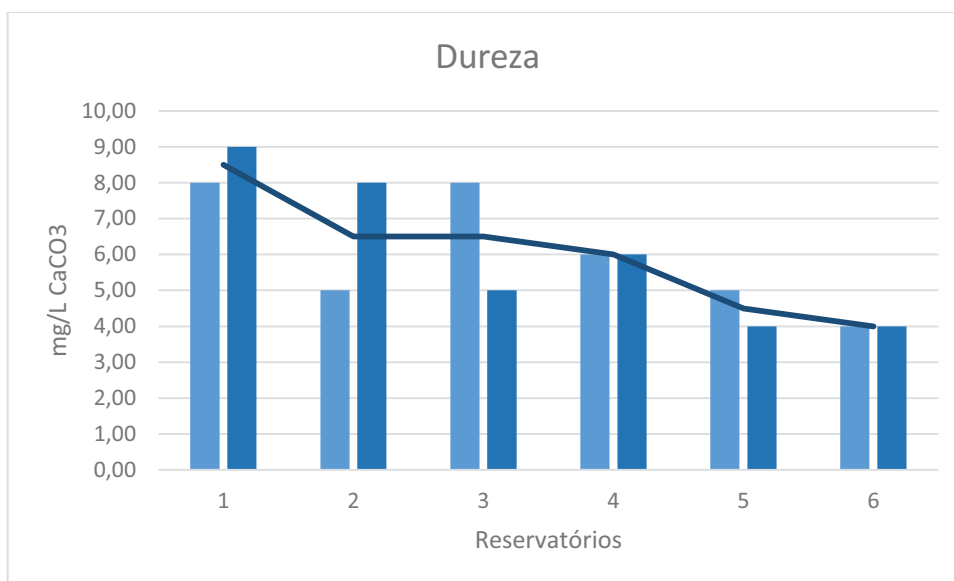
A medida deste parâmetro não é exigida pela ABNT NBR 15.527:2007, mas também aqui essas determinações são compatíveis com aquelas descritas por May (2004), que relata um intervalo de 4,0 à 60,0 mg/L, com média de 30,6 mg/L de alcalinidade.

2.4.7 Dureza

Os valores encontrados para dureza foram baixos e, conforme Figuras 58 e 59, sofreram redução do primeiro ao último reservatório do coletor e seus valores indicam uma água com característica “mole”, conforme classificação de Richter e Neto (1991).

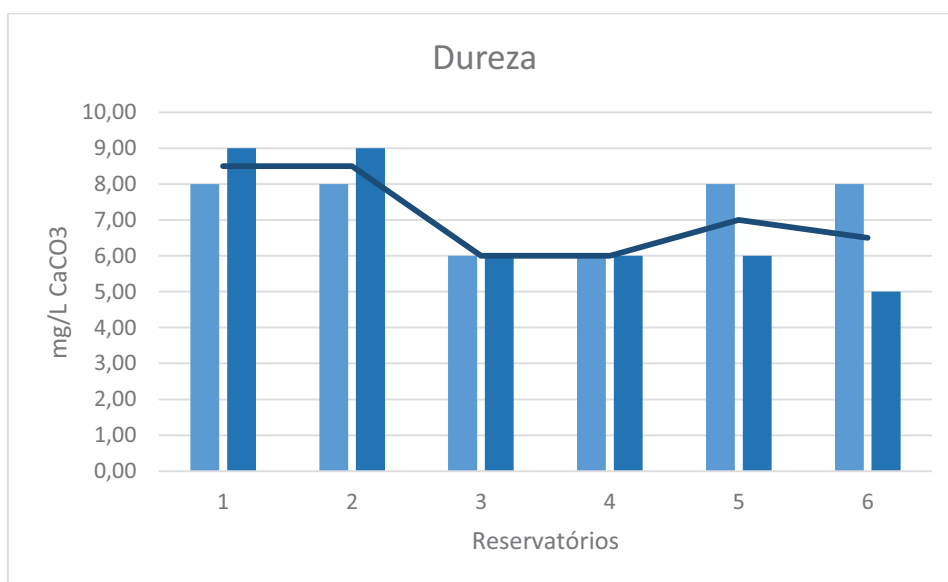
Os resultados da segunda coleta (Figura 59) mostraram tendência à redução menos ordenada, com aumento nos dois últimos reservatórios, porém apresenta também valores altos de coeficiente de variação para os reservatórios 5 e 6 de 14 e 23%, respectivamente, o que pode indicar possível erro nas leituras.

Figura 58. Análises do parâmetro DUREZA realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 19/05/2016



Fonte: Do autor

Figura 59. Análises do parâmetro DUREZA realizadas com 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta 10/11/2016



Fonte: Do autor

Este parâmetro não consta na ABNT NBR 15:527:2007 e nossos resultados estão compatíveis com aqueles encontrados por May (2004), que estão entre 4,0 e 68,0 mg/L, com média de 39,4 mg/L.

2.5 Avaliação geral dos ensaios microbiológicos

Os parâmetros para coliformes totais e termotolerantes são os mais importantes do ponto de vista da segurança sanitária e a ABNT NBR 15.527:2007 recomenda ausência deles em 100mL para ambos.

Os valores encontrados e apresentados nas Tabelas 14 e 15 variaram muito em cada coleta sem apresentar tendência de redução do primeiro ao último reservatório.

Além da possibilidade de transferência de contaminação de um reservatório para o outro, outros fatores podem ter influenciado nos resultados como a formação de biofilme, visto que foi realizada lavagem simples, sem uso de desinfetante; e os reservatórios poderiam estar cobertos para evitar entrada de microrganismos do ar em seu interior.

Uma coleta realizada com novo método para desinfecção e enxágue com água destilada pode minimizar os valores obtidos.

Tabela 14. Determinação do Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes em 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta de 19/05/2016

Reservatório	Teste presuntivo	Coliformes totais	Coliformes termotolerantes
		(NMP/100mL)	
1	500	≥1600	<2
2	170	170	6
3	900	900	2
4	900	900	4
5	≥1600	≥1600	<2
6	280	≥1600	<2

Fonte: Do autor

É importante destacar que os valores de coliformes termotolerantes na coleta do dia 19 de maio são praticamente ausentes, o que significa que não há presença de bactérias de origem fecal. Este fato torna mais simples o tratamento que deverá ser dado antes do uso e garante maior segurança aos usuários.

A presença dos coliformes totais mostrou-se significativa em ambas as coletas, porém com presença um pouco mais elevada na coleta do dia 10 de novembro. O mesmo ocorreu com os coliformes termotolerantes que apresentaram valores baixos na coleta do dia 19 de maio, mas apresentaram valores elevados na segunda coleta.

A temperatura mais alta na segunda coleta, 10° C maior que na primeira, pode ter colaborado para a proliferação dos microrganismos termotolerantes.

Tabela 15. Determinação do Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais e termotolerantes em 3 mm de água de chuva coletada em frações de 0,5 mm cada – Coleta de 10/11/2016

Reservatório	Teste presuntivo	Coliformes totais (NMP/100mL)	Coliformes termotolerantes
1	34	34	34
2	1600	1600	1600
3	350	350	280
4	140	140	50
5	130	130	17
6	≥1600	≥1600	≥1600

Fonte: Do autor

Fica evidente que o descarte do escoamento inicial não é suficiente para garantir o atendimento às recomendações da ABNT NBR 15.527:2007, que especifica ausência de coliformes totais e termotolerantes em 100mL, sendo necessário, portanto, a desinfecção desta água antes do uso. A ABNT NBR 15.527:2007 recomenda ainda que a água de chuva para fins não potáveis possua cloro residual livre de 0,5 a 3,0 mg/L no ponto de consumo, desta forma é possível garantir a ausência dos coliformes totais e termotolerantes.

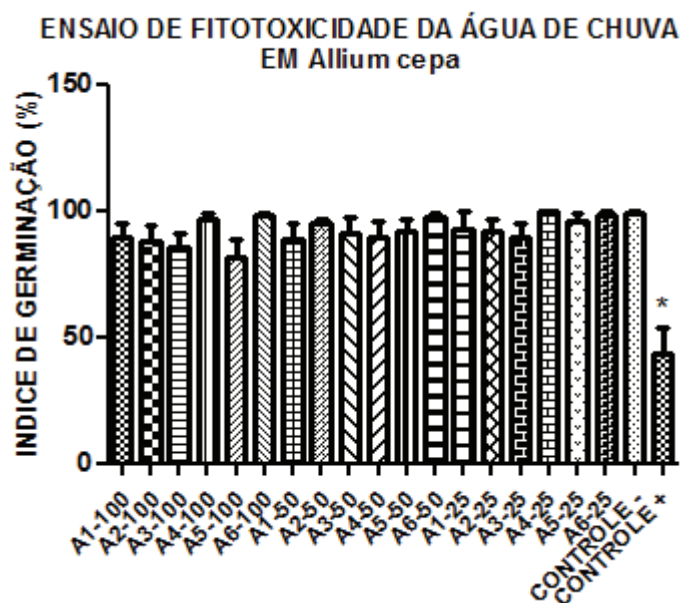
PARTE 3 – CARACTERIZAÇÃO DOS ASPECTOS ECOTOXICOLÓGICOS DA ÁGUA DE DESCARTE DO ESCOAMENTO INICIAL (*FIRST FLUSH*)

3.1 Ensaios de fitotoxicidade, genotoxicidade e mutagenicidade em semente de *Allium cepa*

Não foi possível realizar os ensaios para as coletas teste e de maio de 2016, sendo os resultados apresentados a seguir referentes a coleta de novembro de 2016.

Na Figura 60 encontra-se o resultado do ensaio de fitotoxicidade em *Allium cepa* (Índice de Germinação, em %) e na Figura 61 o resultado do ensaio de genotoxicidade (Índice de Aberração Cromossômica – IAC) e de mutagenicidade (Índice de Micronúcleo – IMN), referentes à coleta realizada no dia 10 de novembro de 2016.

Figura 60. Taxa de germinação da semente *Allium cepa* nas amostras de água de chuva coletadas para ensaio de fitotoxicidade em *Allium cepa* – Índice de Germinação.



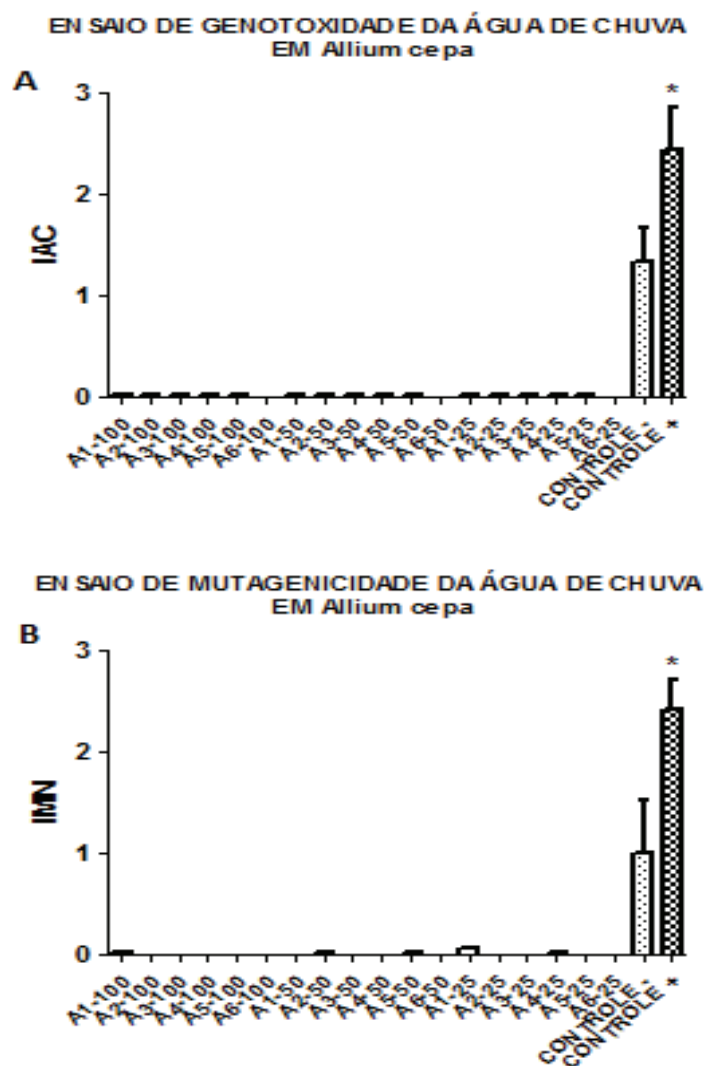
Fonte: Do autor

A Figura 60 demonstra que todas as amostras apresentaram valores de germinação maiores que 75% de sementes germinadas, portanto, não há indicativo da presença de substâncias fitotóxicas em níveis significativos na água de chuva coletada.

Apesar da literatura ter indicado possibilidade de presença de metais pesados em locais urbanizados e, em especial, em rotas de avião, provavelmente mesmo que haja presença destes metais, o teor não é suficiente para provocar fitotoxicidade na água.

Estas análises não estão previstas em norma, mas podem servir de base para verificar os potenciais usos para essa água de forma indireta. Nestes testes não se analisam substâncias tóxicas individualmente, mas sim o impacto das amostras ambientais que constituem uma mistura complexa, como pode se esperar da água de chuva coletada em local severamente impactado como o objeto de estudo.

Figura 61. Índices de Aberração Cromossômica (IAC), apresentados na figura A para ensaio de genotoxicidade e Índices de Micronúcleo (IMN), apresentado na Figura B para ensaio de mutagenicidade em *Allium cepa* realizados nas amostras de água de chuva do *first flush*.



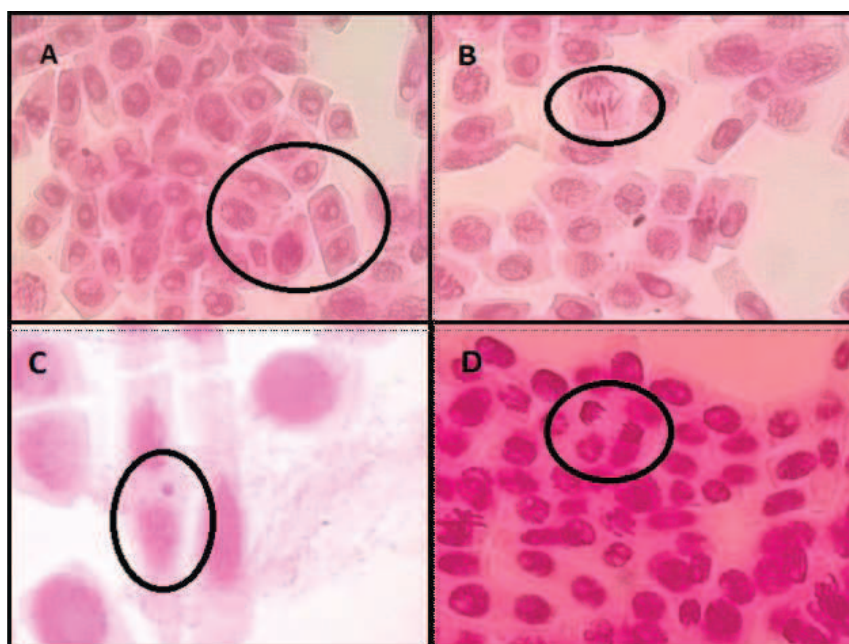
Fonte: Do autor

Nos gráficos A e B da Figura 61 não se evidenciou efeito de toxicidade das amostras de água de chuva para as células das raízes de *Allium cepa*.

Os resultados obtidos demonstram que a água de chuva, mesmo do escoamento inicial, possui boa qualidade do ponto de vista ecotoxicológico. Embora não se tenha observado efeito genotóxico ou mutagênico significativo em nenhuma das amostras, a presença de intensa vacuolização citoplasmática foi evidente em todas as amostras, denotando um possível impacto de menor relevância no presente estudo, uma vez que o aproveitamento de água de chuva seria para fins menos nobres (não potáveis).

Nas Figura 62-A e 62-B é possível verificar as raras alterações encontradas durante os ensaios. A Figura 62-C, apresenta uma aberração encontrada no controle positivo do ensaio e a 62-D uma mitose normal.

Figura 62. Análise citológica das células meristemáticas e F1 das raízes de cebola expostas às amostras de água de chuva. Em A, a área dentro do círculo destaca grande vacuolização dos citoplasmas das células meristemáticas; em B, perda cromossômica em destaque; em C, observa-se micronúcleo nas células do controle positivo; em D, observa-se figura de mitose normal.



Fonte: Do autor

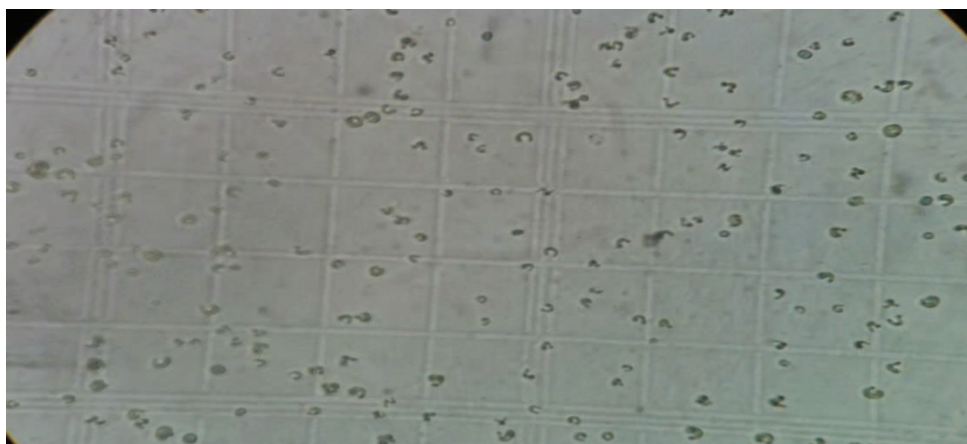
3.2 Ensaios de ecotoxicologia aquática com *Radophicelis subcapitata*

3.2.1 Coleta teste

No dia 28 de abril de 2016 foi realizada coleta teste no primeiro reservatório do coletor de água de chuva e foram realizadas algumas análises para refinamento da metodologia.

Os resultados podem ser vistos em Teixeira et al. (2016) e ilustrado nas Figuras 63 e 64.

Figura 63. Algas observadas no microscópio óptico comum, aumento de 400X

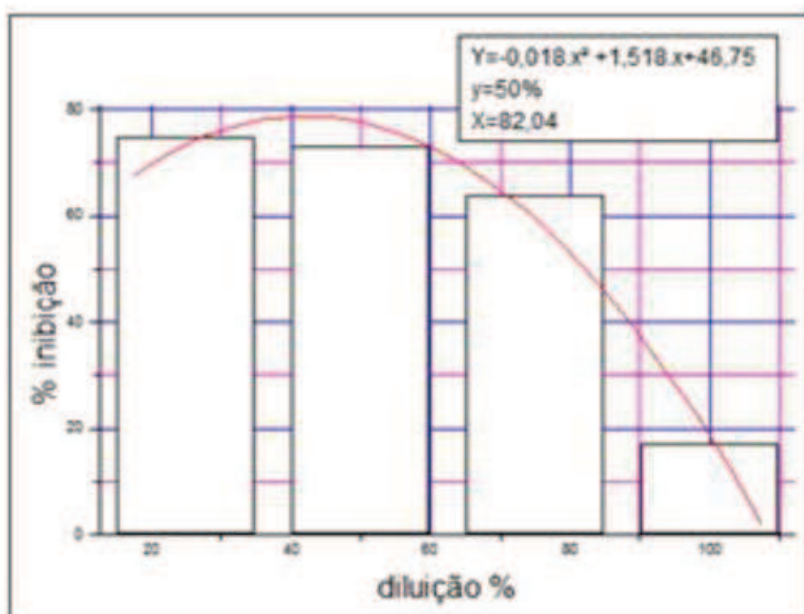


Fonte: Teixeira et al. (2016)

O ensaio ecotoxicológico com *R. subcapitata*, embora não previsto em norma, mostrou inibição de crescimento algal proporcional à diluição, de 25% a 100% da amostra, indicando uma má qualidade ecotoxicológica (Figuras 63 e 64). A concentração efetiva - EC50 - calculada foi de 82,04%, ou seja, para causar inibição de 50% de crescimento algal, a diluição da amostra seria de 82,04%.

Figura 64. Inibição do crescimento algal pela água da chuva.

A[X]	B[Y]
25	75
50	73
75	64
100	17



Fonte: Teixeira et al. (2016)

Esta inibição não foi confirmada nos ensaios posteriores, o que demonstra que o primeiro meio milímetro de escoamento coletado nesta amostra após longo período de estiagem (25 dias sem precipitação e chuva acumulada nos últimos 30 dias de 17,4mm) possui potencial de toxicidade.

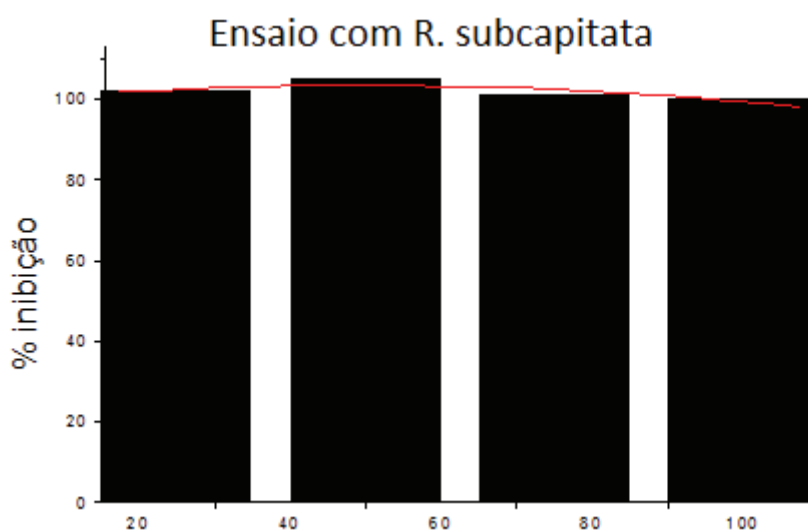
Em conjunto, os resultados das análises demonstram que a coleta e utilização da água de chuva de primeiro instante, correspondente a menos de 0,5 mm de chuva, pode expor o usuário a um risco de contaminação biológica e/ou química, em especial se esta for realizada em centros urbanos após períodos de mais de 25 dias de estiagem, reforçando a importância da determinação do volume de escoamento inicial, o *first flush*, para garantir a qualidade da água de chuva a ser aproveitada. O descarte deste volume permite o arraste de contaminantes de origem microbiológica, química e toxicológica.

3.3.2 Avaliação geral dos ensaios de toxicidade aquática

A Figura 65 mostra os resultados do ensaio de toxicidade crônica realizado com as amostras de água de chuva coletadas em maio de 2016 com a alga *R. subcapitata*, onde não foi observada inibição do crescimento algal. Em todas as diluições o crescimento foi semelhante ao controle.

Neste caso, a análise e o gráfico foi feito no programa ORINGE 4.1.

Figura 65. Ensaio sem inibição do crescimento algal pela água da chuva.



Fonte: Do autor.

Não foi possível realizar o ensaio de toxicidade com a alga *R. subcapitata* para a coleta de novembro de 2016 em função de problemas técnicos graves com as algas no Laboratório.

O desenvolvimento do coletor de água de chuva para estudo do escoamento inicial obteve resultado satisfatório possibilitando a coleta de forma simples, de fácil reprodução, além de permitir um estudo aprofundado desta importante etapa para o adequado estabelecimento de um sistema de aproveitamento de água de chuva.

O coletor proposto possui característica modular, podendo ampliar a faixa de interesse de captação dos instantes iniciais da precipitação. Nesta pesquisa foi apresentado o estudo de até 3mm de precipitação, mas pode-se inserir outros reservatórios (ex.: 4, 5, 6, "n" milímetros), bem como alterar o intervalo de precipitação avaliado, aqui utilizado de 0,5 em 0,5mm, mas podendo ser de 1 em 1mm ou de 2 em 2mm, a depender do local, do interesse do usuário, bem como da disponibilidade hídrica.

O desenvolvimento do coletor visou também melhorias em relação aos arranjos estudados. Buscou-se calcular precisamente seu volume em relação à área de captação, assim como aprimorar o bloqueio de cada módulo para diminuir a interferência de um instante para o outro. A facilidade para desmontagem e higienização também foi alvo de interesse, para que futuras coletas sejam realizadas com grau de confiança maior e menos interferências externas.

Algumas dificuldades fizeram parte deste desenvolvimento: i) inicialmente os encaixes foram realizados utilizando anel de vedação, porém tornou-se difícil a desmontagem, então optou-se pelo encaixe simples e vedação com silicone para evitar vazamentos; ii) o bloqueio de cada reservatório foi realizado conforme encontrado na literatura utilizando uma bola flutuante. Dois modelos foram testados, primeiramente uma bola de tênis e posteriormente uma bola de fisioterapia, porém nenhuma das duas apresentou estanqueidade satisfatória. Então a solução encontrada foi a de fazer uma adaptação e encaixar uma válvula de retenção de PVC marrom que apresentou um desempenho melhor.

Foi cogitada a hipótese de a limpeza com água corrente não ter sido suficiente para garantir que o coletor estivesse suficientemente descontaminado para a próxima coleta, portanto, em futuros estudos o uso de desinfecção pode ser uma alternativa para garantir que o sistema esteja isento de microrganismos no ato da coleta.

Estudos anteriores já verificaram variações na qualidade da água de chuva em função do período de estiagem, declividade e material do telhado, intensidade de chuva e condições do entorno (MAY, 2004; BRITO et al., 2005; DOYLE, 2008; VASCONCELOS, 2008; HAGEMANN, 2009; ROCHA REIS e ARAÚJO, 2011). Todas estas variáveis são importantes para a tomada de decisão sobre o volume do descarte inicial e devem ser

analisadas caso a caso, podendo aumentar ou diminuir o valor proposto pela ABNT NBR 15.527:2007.

A qualidade da água de chuva em área urbana apresentou valores preliminares para os parâmetros de cor e turbidez maiores do que os estudos em áreas rurais, conforme levantamento em May (2004), Doyle (2008), Vasconcelos (2008), Hagemann (2009) e Rocha, Reis e Araújo (2011). Períodos de estiagem longos merecem maior atenção em relação aos aspectos sanitários por piorarem significativamente a qualidade da água captada.

O descarte do escoamento inicial sozinho, na área em que foi desenvolvido o estudo preliminar da qualidade da água de chuva, não é suficiente para o enquadramento da água dentro dos parâmetros propostos pela ABNT. Mesmo assim se faz importante para: i) facilitar o tratamento posterior à reservação, diminuindo custos de insumos como cloro ou reposição/retrolavagem de filtros e ii) para melhorar a qualidade da água no reservatório evitando desta forma proliferação dos organismos e, como já visto na literatura, a ocorrência de doenças de veiculação hídrica é maior onde não há descarte do escoamento inicial – *first flush* (MAY, 2004; BRITO et al., 2005; DOYLE, 2008).

Os usos não potáveis da água de chuva em sistemas produtivos (indústrias, serviços, comércios, hospitais, etc.) assemelham-se aos usos domésticos (descarga em bacias sanitárias, lavagens em geral e irrigação), porém, pode também haver utilização em sistemas de refrigeração à água ou mesmo em processos, já que nesta primeira avaliação, características como condutividade, dureza e alcalinidade possibilitam estes usos sem tratamentos sofisticados.

Edificações com grandes áreas de cobertura como shoppings centers, galpões industriais, hospitais, hotéis e edificações comerciais apresentam um grande potencial de aproveitamento de água de chuva e conseqüente redução do consumo de água potável.

O estudo ecotoxicológico das amostras preliminares precisa ser ampliado para confiança dos resultados obtidos, porém mostrou-se ferramenta relevante para identificação indireta de possíveis substâncias tóxicas presentes na água de chuva coletada.

V CONCLUSÕES

O presente trabalho possibilitou o desenvolvimento de um coletor de água de chuva, passível de ser reproduzido com médio grau de dificuldade. Sua utilização primeira é para captação dos primeiros instantes de chuva, permitindo a coleta individualizada de cada 0,5 mm de chuva e sua posterior análise em laboratório.

A construção de coletor de 0,5 em 0,5 milímetro permite aprofundar os estudos das características da água do escoamento inicial e, a coleta total de 3mm foi definida para ser possível avaliar instantes além daqueles 2 mm preconizados pela ABNT NBR 15.527:2007.

Não foi objetivo deste trabalho definir o volume ideal para descarte do escoamento inicial da água de chuva, mas do que foi aprendido com a revisão de literatura, podemos afirmar que este volume pode variar grandemente a depender de diversas variáveis, e este coletor pode contribuir para o esclarecimento sobre as condições de descarte, em especial nas áreas urbanas.

A caracterização preliminar da água dos instantes iniciais da chuva serviu para verificar e corrigir eventuais falhas na modelagem/metodologia do coletor proposto. As análises microbiológicas indicaram uma forte presença de bactérias do grupo coliforme na maioria das amostras, não atendendo às recomendações da ABNT NBR 15.527:2007. Para futuros experimentos recomenda-se um aperfeiçoamento na metodologia de descontaminação das partes do coletor.

As análises físico-químicas indicaram que os parâmetros exigidos pela ABNT NBR 15.527:2007 como cor e turbidez não foram atingidos até 3 mm de chuva. Houve redução da condutividade, alcalinidade e dureza. O pH não variou nas análises efetuadas.

As análises ecotoxicológicas indicaram uma boa qualidade da água, embora o local de estudo seja uma área de intenso fluxo de veículos automotores, com forte emissão de poluição, ser rota de aviões e se localizar próxima a um aeroporto. Um número mais significativo de amostras é necessário para afirmações mais conclusivas sobre a qualidade toxicológica da água de chuva.

O monitoramento da precipitação durante o evento chuvoso por meio de uma estação meteorológica compacta pode contribuir para uma melhor interpretação dos dados obtidos,

em especial nas análises físico-químicas, cujos parâmetros podem ser influenciados por variações na intensidade da chuva durante o processo da coleta. As análises físico-químicas mais refinadas poderiam ser desenvolvidas em parceria com laboratórios acreditados, de instituições públicas e/ou privadas.

Há ainda poucos estudos relacionados com a captação da água de chuva em áreas densamente povoadas e, com a proliferação de sistemas de aproveitamento, especialmente para uso doméstico, devido à recente crise hídrica (2014-2016) da RMSP, tornou-se relevante aprofundar, entender e disseminar a preocupação sanitária com a qualidade da água de chuva.

Este estudo nos permite concluir que o aproveitamento de água de chuva em sistemas produtivos e/ou domésticos em regiões urbanas é viável e o descarte do escoamento inicial contribui para remoção de parte dos poluentes carregados pela chuva da atmosfera e das áreas de captação, tornando a água armazenada mais segura e facilitando o tratamento posterior. O coletor desenvolvido neste estudo pode contribuir para o aprofundamento de estudos neste campo do conhecimento.

REFERÊNCIAS

3P TECHNIK. **Catálogo de produtos: aproveitamento de água de chuva.** São Paulo: Aquasave. 2015.

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13.798 - Água-Determinação de cor - Método da comparação visual.** Rio de Janeiro, 1997.

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

ALVES, F.; LUZ, J.; FIGUEIRAS, M. L.; MEDEIROS, L. L.; SANTOS, S. M., GAVAZZA, S. **Qualidade de água em cisternas do semiárido Pernambucano.** In: 8º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Campina Grande – PB: ABCMAC – Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva, 2012.

ANA. Agência Nacional de Águas. Ministério do Meio Ambiente. **Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil - 2013.** Brasília: ANA, 2013.

ANA, FIESP e SindusCon-SP. **Conservação e Reúso de água em Edificações.** São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005.

ANDRADE NETO, C. O. Aproveitamento imediato da água de chuva. GESTA, **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais.** v. 1. n. 1. 2013.

APHA. **Standard Methods for the examination of water and wastewater.** American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environmental Federation, 20th ed. Washington, 1999.

ASA. Articulação Semiárido Brasileiro. **Ações – P1MC.** Disponível em: http://www.asabrasil.org.br/acoes/p1mc#categoria_img. Acesso em: 07.mai.2016.

BERTOLETTI, E. **Controle ecotoxicológico de efluentes líquidos no estado de São Paulo.** Série Manuais. São Paulo: CETESB, 2008.

BERTOLO, E. J. P. **Aproveitamento da água da chuva em edificações.** 204f. Dissertação. Curso de Engenharia do Ambiente. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2006.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n.º518, de 25 de março de 2004.** Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 25 mar. 2004.

_____. **Portaria n.º2914, de 12 de dezembro de 2011.** Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, 12 dez. 2011.

BRASIL, R. **Processo de renovação da outorga do sistema Cantareira e conjuntura institucional da escassez hídrica de 2013-14.** São Paulo: Faculdade de Tecnologia de São Paulo. In: VIII Semana de Tecnologia e Meio Ambiente. 21 mai. 2014. 16 slides. Apresentação em power-point.

BRITO, L.T.; PORTO, E.R.; SILVA, A.S.; SILVA, M.S.L.; HERMES, L.C.; MARTINS, S.S. **Avaliação das características físico-químicas e bacteriológicas das águas das cisternas da comunidade de Atalho, Petrolina-PE.** In: 5º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Teresina – PI: ABCMAC – Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva, 2005.

CETESB - Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Normalização técnica. L15. 124 – Determinação da Dureza total. Método titulométrico do EDTA.** São Paulo, 1978.

_____. **Normalização técnica. L5.202 – Coliformes totais e fecais – determinação pela técnica de tubos múltiplos: método de ensaio.** São Paulo, 1993.

CHENG, L. **Rainwater use system in building design.** In: CIB-W62 SEMINAR, 26. 2000, Rio de Janeiro. Proceedings... Rio de Janeiro: CIB, 2000. 13 p.

COOMBES, P. J., KUCZERA, G., KALMA, J. D. **Rainwater quality from roofs, tanks and hot water systems at Figtree Place.** In: 3º International Hydrology and Water Resources Symposium of The Institution of Engineers. Hydro 2000. Proceedings v.1 Perth, Australia 20-23 nov, 2000.

CORREA, S. M. B. B. **Probabilidade e estatística.** 2ª ed. Belo Horizonte: PUC Minas Virtual, 2003.

COSTA, A. R. F. **Limites de aplicabilidade para sistemas automáticos de descarte de água de chuva: estudo de caso.** 69p. Monografia. Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, 2011.

COSTA, C. R.; OLIVI, P.; BOTTA, C. M. R.; ESPINDOLA, E. L. G. Toxicity in aquatic environments: discussion and evaluation methods. **Química Nova**, vol. 31, nº 7. São Paulo, 2008.

CRABTREE, K. D.; RUSKIN, R. H.; SHAW, S. B.; ROSE, J. B. The detection of *cryptosporidium* oocysts and *giardia* cysts in cistern water in the U.S. Virgin Islands. **Water Research**, v. 30, n. 1 p. 208-216, 1996.

DADACH, N. G. **Saneamento básico.** 3 ed. Rio de Janeiro: Didática e Científica, 1990.

DAVIES-COLLEY, R. J; SMITH, D. G. Turbidity, suspended sediment, and water clarity: a review. **Journal of the American Water Resources Association**, v. 37, nº 5, p. 1085-1101, out 2001. Estados Unidos da América: American Water Resources Association, 2001.

DOYLE, K. C. **Sizing the First Flush and its Effect on the Storage-Reliability- Yield Behavior of Rainwater Harvesting in Rwanda**. B.S. Civil Engineering, Villanova University, 2008.

EDUARDO, M. B. P.; SUSUKI, E.; MADALOSSO, G.; CÉSAR, M. L. V. S.; SILVA, M. C. **Principais doenças emergentes e reemergentes – atualização e perspectivas**. In: III SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE VIGILÂNCIA DAS DOENÇAS DE TRANSMISSÃO HÍDRICA E ALIMENTAR, 2005, Centro de Convenção Rebouças, São Paulo, SP. São Paulo: Centro de Vigilância Epidemiológica, nov. 2005.

ENHEALTH. En Health Council. **Guidance on the Use of Rainwater Tanks**, Australian Government Department of Health and Ageing, Canberra, 2004. Disponível em: [http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/D3E8C00F3041304BCA257BF0001C685A/\\$File/env_rainwater.pdf](http://www.health.gov.au/internet/main/publishing.nsf/Content/D3E8C00F3041304BCA257BF0001C685A/$File/env_rainwater.pdf). Acesso em: 07 ago. 2016.

FARIAS, M. M. M. W. E. C. **Aproveitamento de águas de chuva por telhados: aspectos quantitativos e qualitativos**. 2012. 117f. Dissertação. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental. Centro Acadêmico do Agreste. Universidade Federal de Pernambuco, 2012.

FATIMA, R. A.; AHMAD, M.; Certain antioxidant enzymes of *Allium cepa* as biomarkers for the detection of toxic heavy metals in wastewater. **Sci. Total Environ.**, v. 346, p. 256-273, 2005.

FISKESJÖ, G. **The *Allium* test as a standard in environmental monitoring**. **Hereditas**, v. 102, p. 99–112, 1985.

_____. **The *Allium* test in wastewater monitoring**. **Environmental Toxicology & Water Quality**, v. 8, n. 3, p. 291-298, 2006.

FLINT, K. R. **Water quality characterization of highway stormwater runoff from an ultra urban area**. 209f. Tese. Department of Civil and Environmental Engineering. Faculty of the Graduate School of the University of Maryland, 2004.

FORNARO, A. **Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil?** Revista USP. São Paulo, SP, n. 70, p. 78-87, jul./ago. 2006. Disponível em: <<http://www.revistas.usp.br/revusp/article/viewFile/13533/15351>>. Acesso em: 26 jun. 2016.

FORTLEV. **Separador de folhas**. Disponível em: <<http://www.fortlev.com.br/produto/separador-de-folhas/>>. Acesso em: 05 mar. 2017.

FRANCESCHINI, A. T. L. **Sistema residencial de aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis em Votorantim: avaliação de parâmetros de qualidade e eficiência**. 2009. 50f. Monografia. Curso de Especialização em Saneamento Ambiental. Universidade de Sorocaba, 2009.

FUJIOKA, R.; INSERRA, S.; CHINN, R. **The bacterial content of cisterna Waters in Hawaii**. In: 5th International Conference on Rain Water Cistern Systems, Keelung, Taiwan. Proceedings. Keelung, Taiwan, p.33-45, 1991.

GNADLINGER, J. **Colheita de água de chuva em áreas rurais**. In: 2º Fórum Mundial da Água. Holanda, 2000. Disponível em: <<http://irpaa.org.br/colheita/indexb.htm>> Acesso em: 26 de junho de 2016.

_____. **Tecnologias de captação e manejo de água de chuva para o semiárido brasileiro**. Artigo Técnico. Fortaleza, 2006.

GOMES, M. C. R. L.; NASCIMENTO, A. C. S.; CORRÊA, D. S. S.; CHAGAS, H. C. **Uso de água de chuva para consumo em localidades ribeirinhas da Amazônia, Brasil**. In: 9º Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Feira de Santana – BA: ABCMAC – Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva, 2014.

GONÇALVES, R. F. **Uso Racional da Água e Energia: conservação de água e energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água**. Rio de Janeiro: ABES, 2009.

GONTIJO, A. M. M. C.; TICE, R. **Teste do cometa para a detecção de dano no DNA e reparo em células individualizadas**. In: RIBEIRO, L. R.; SALVADORI, D. M. F.; MARQUES, E. K. (Org.). Mutagênese Ambiental. Canoas: Ulbra, p. 173-200, 2003.

GOULD, J. **Is Rainwater safe to drink? A review of recent findings**. In: 9th International Rainwater Catchment Systems Conference. Pernambuco, 1999.

GOUVELLO, B.; KHOUIL, Y.; DERRIEN, F. **The French experience in Rainwater reuse in buildings for collective use**. Artigo Técnico. Centre Scientifique et Technique du Bâtiment: França, 2004.

HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. 141f. Dissertação. Mestrado em Engenharia Civil. Centro de Tecnologia. Universidade Federal de Santa Maria, 2009.

HAYLE, J. **A thirsty Colorado is battling over who owns raindrops**. The New York Times, Denver, CO, page A1, Jun. 2015. Disponível em: <http://www.nytimes.com/2015/06/16/us/a-thirsty-colorado-battles-over-the-destiny-of-its-raindrops-drought.html?smid=tw-nytimes&_r=1>. Acesso em: 15 maio 2016.

HELLAWELL, J. M. **Biological Indicators of Freshwater Pollution and Environmental Management**, London: Elsevier, 1986. 509 p. (Pollution Monitoring Series).

HEYWORTH, J. S.; GLONEK, G.; MAYNARD, E. J.; BAGHURST, P. A.; FINLAY-JONES, J. Consumption of untreated tank rainwater and gastroenteritis among young children in South Australia. **International Journal of Epidemiology**, v. 35, p. 1051-1058, 24 maio. 2006. Austrália: Oxford University Press, 2006.

HOOD, G. **New Colorado law bring rain barrel owners out from shadows**. Colorado Public Radio, Denver, CO, news, May. 2016. Disponível em: <<http://www.cpr.org/news/story/new-colorado-law-brings-rain-barrel-owners-out-shadows>>. Acesso em: 07 jun 2017.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Estações automáticas – Gráficos**. São Paulo,

Mirante de Santana. Disponível em:

<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=home/page&page=rede_estacoes_auto_graf>.

Acesso em: 10 nov 2016.

JAQUES, R. C. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações.** 2005. 102f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

KAWASHIMA, K. Y.; SANT'ANA, T. R. L. **Verificação da eficiência de remoção de sólidos grosseiros e quantificação das perdas de um pré-filtro de água de chuva.** 2015. 64f. Trabalho de graduação. Curso de Tecnologia em Hidráulica e Saneamento Ambiental. Departamento de Hidráulica e Saneamento, Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2015.

KITA, I.; TAKEYAMA, K., TAKEUCHI, A.; KITAMURA, K. **Local government's financial assistance for rainwater utilization in Japan.** In: 9º Conferência Internacional Sobre Sistemas de Captação de Água de Chuva, Petrolina, 1999. Anais.

KÖNIG, K. W. **The Rainwater Technology Handbook: Rain harvesting in Building.** design. 1º Ed. Dortmund, Germany: Wilo-Brain, 2001. 143 p.

KRISHNA, H. J.; BROWN, C.; GERSTON, J.; COLLEY, S. **Texas Guide to Rainwater Harvesting,** Texas Water Development Board, Austin, Texas, 2005.

KURAS, M.; NOWAKOWSKA, J.; SLIWIŃSKA, E.; PILARSKI, R.; ILASZ, R.; TYKARSKA, T.; ZOBEL, A.; GULEWICZ, K.; Changes in chromosome structure, mitotic activity and nuclear DNA content from cells of *Allium Test* induced by bark water extract of *Uncaria tomentosa* (Willd.) DC. **J. of Ethnopharmacology**, v.107, p.211–221, 2006.

LEE, B. D.; VISSCHER, J. T. **Water haversting – a guide for planners and project managers.** 119f. Technical Paper Series. International Water and Sanitation Centre. IRC: The Hague, 1992.

LEME, D.M.; ANGELIS, D.F; MARIN-MORALES, M.A. Action mechanisms of petroleum hydrocarbons present in waters impactec by an oil an oil spill on the genetic material of *Allium cepa* cells. **Aquatic Toxicology**, v. 88, p. 214-219, 2008.

LEME, D.M.; MARIN-MORALES, M.A. Chromosome aberration and micronucleus frequencies in *Allium cepa* cells exposed to petroleum pollutes water – A case study. **Mutation Research**, v. 650, p. 80-86, 2008.

LIMA, J. C. A. L.; CARVALHO, J. R. S.; FIGUEIRAS, M. L.; SANTOS, S. M.; GAVAZZA, S. **Influência da intensidade pluviométrica no desempenho do dispositivo de desvio das primeiras águas de chuva aplicado às cisternas do semiárido.** In: 27º CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 2013, Centro de Convenções de Goiânia, Goiânia, GO. Goiás: 27º CBESA, set. 2013.

LOMBA, C. C. P. **A disponibilidade hídrica da Região Metropolitana de São Paulo.** In: XVI Encontro Nacional dos Geógrafos. Porto Alegre, Brasil, 2010. Anais.

LUCA, S. J.; VÁSQUEZ, S. G. **Qualidade do ar e das chuvas**. In: TUCCI, C.E.M.; MARQUES, D.M. L.M. (Orgs.) Avaliação e controle da drenagem urbana. Porto Alegre: Editora da Universidade, 2000. p.219-226.

LYE, D., J. Microbiology of Rainwater cisterna systems: a review. In: **Journal of Environmental Science and Health**. Part A: Environmental Science and Engineering and Toxicology: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering, 27:8, p. 2123-2166, 1992.

MACAN, J. M.; TEIXEIRA, G. A.; PICH, C. T.; PEDROSA, R. C.; FÁVERE, V. T.; GEREMIAS, R. Avaliação da toxicidade de drenagem ácida de mina de carvão, utilizando parâmetros físico-químicos e bioensaios. **Revista Brasileira de Biociências**. Porto Alegre, v. 10, n. 3, p. 275-280, jul./set. 2012

MACÊDO, Jorge. A.B. **Águas & Águas – Métodos Laboratoriais de Análises: Físico-Químicas e Microbiológicas**. Jorge Macêdo, Juiz de Fora, MG. 1.ed. 2001.

MANAHAN, S. E. **Environmental chemistry**. Florida: Taylor & Francis Group. 9th ed. 2010.

MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. **Aproveitamento de água pluvial para usos não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC**. Ambiente Construído. Porto Alegre, RS, v. 8, n. 2, p. 67-84, abr. / jun. 2008. Disponível em: <<http://www.seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/download/5355/3283>>. Acesso em: 15 maio 2016.

MARTINSON, D., B.; THOMAS, T. **Quantifying the first-flush phenomenon**. Warwick: School of Engineering, University of Warwick, 2005.

MARTINSON, D., B. **Improving the viability of roofwater harvesting in low-income countries**. 355f. Tese. Warwick: School of Engineering, University of Warwick, 2007.

MATSUMOTO, S. T.; MARIN-MORALES, M. A. Mutagenic potential evaluation of the water of river that receives tannery effluent using the *Allium cepa* system. **Cytology**, v. 69, p. 399–408, 2004.

MAY, S. **Estudo de viabilidade do aproveitamento de água de chuva para consumo não potável em edificações**. 189f. Dissertação. Escola Politécnica. Universidade de São Paulo, 2004.

MELO, L. R. C.; ANDRADE NETO, C. O. **Variação da qualidade da água de chuva em três pontos distintos da cidade de Natal-RN**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. Anais... Rio de Janeiro: ABES, 2007.

NINNI, K. **Tecnologias ancestrais**. In: Página 22, n. 4, p. 46-49, maio de 2014. Disponível em: <<http://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/pagina22/article/view/20800/19524>>. Acesso em 03 mar. 2017.

OLIVEIRA, L. C.; OLIVEIRA, M. S.; GONÇALVES, O. M.; YWASHIMA, L.; REIS, R. P. A. **Levantamento do estado da arte: Água**. Projeto FINEP: Tecnologias para construção

habitacional mais sustentável. São Paulo, 2007. Disponível em:
<<http://docplayer.com.br/3471889-2-1-habitacao-maissustentavel-tecnologias-para-construcao-habitacional-mais-sustentavel-documento-levantamento-do-estado-da-arte-agua.html>>. Acesso em 05 jun. 2016.

OLIVEIRA, W. E. **Abastecimento de água**. 2 ed. São Paulo: CETESB, 1976.

PACEY, A., CULLIS, A. **Rainwater Harvesting. The collection of rainfall and run-off in rural areas**. 4. Ed. – London: IT Publications. 1996.

PEREIRA, P. C. G. **Apostila prática de laboratório de saneamento**. Curso de Tecnologia em Hidráulica e Saneamento Ambiental. São Paulo: Faculdade de Tecnologia de São Paulo, 2014.

PEREIRA, P. C. G.; SILVEIRA, A. P. P. **Qualidade da água: propriedades, indicadores, transmissão de doenças e potabilidade**. In: TELLES, D. D. (Orgs.) *Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão*. São Paulo: Blucher, 2013. p.143-176.

PFLEEGER, T. et al. A short-term bioassay for whole plant toxicity. In: GORSUCH, J.W. et al. (Eds.). **Plants for toxicity assessment**. Philadelphia: American Society for Testing and Materials, 1991. v. 2. p. 355-364

PONTES, E. F. M. **Avaliação da qualidade da água de reúso de uma indústria do ramo eletroeletrônico: teste de toxicidade aquática**. 2015. 40f. Monografia. Curso Superior em Sistemas Biomédicos. Faculdade de Tecnologia de Sorocaba, 2015.

PORTAL CLIMA TEMPO. **Previsão de chuva – São Paulo, SP**. Disponível em:
<<https://www.climatempo.com.br/graficos/cidade/558/saopaulo-sp#chuva>>. Acesso em: 17 jun. 2017.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. **Determinação da dureza total**. Disponível em:
<<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/determinacao-da-dureza-total/>>. Acesso em: 16 jun 2017.

RICHTER, C. A., AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento de Água**. São Paulo: Edgard Blucher Ltda., 332 p., 1991.

ROCHA, B. C. C. M.; REIS, R. P. A.; ARAÚJO, J. V. G. Avaliação do volume necessário de descarte de água de chuva escoada sobre coberturas de diferentes materiais. **REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil**. Nº2, vol. 1, 51-58. 2011.

RODRIGUEZ, M.T.R. **O uso de bioindicadores para avaliação da qualidade do ar em Porto Alegre**. In: Zurita M.L.L; Tolfo A.M. (Org.) *A Qualidade do Ar em Porto Alegre*. Porto Alegre: Secretaria Municipal do Meio Ambiente, 2000.

SABESP. **Norma técnica interna: NTS 008. Turbidez- Método de ensaio**. São Paulo, 1999a.

_____. **Norma técnica interna: NTS 013. Sólidos – Método de Ensaio**. São Paulo, 1999b

_____. **Sobre o Programa Uso Racional da Água.** Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=137>>. Acesso em: 09 maio 2016.

SANTOS, J. R. **Variação da qualidade das águas de chuva com descarte das primeiras águas.** 2010. 53f. Iniciação científica. Universidade Federal do ABC, 2010.

SHIKLOMANOV, I. A. **World water resources – a new appraisal and assessment for the 21^o century.** 37f. St. Petersburg: IHP/UNESCO, 1998

SHIKLOMANOV, I. A.; RODDA, C. R. **World water resources at the beginning of the twenty-first century.** University of Cambridge: Cambridge, United Kingdom, 2003.

SICKO-GOAD, L; STOERMER, E. F. Effects of toxicants on phytoplankton with special reference to the Laurentian Great Lakes. In: EVANS, M.S. (Ed.). Toxic contaminants and ecosystem health – A great lakes focus. **Advances in Environmental Science and Technology**, Nova York, v. 21, p.1-19, 1988.

SILVA, N., CANTÚSIO NETO, R., JUNQUEIRA, V. C. A., SILVEIRA, N. F. de A. **Manual de Análise Microbiológica de Água.** Campinas: ITAL/Núcleo de Microbiologia, 2000. 99p. (Manual Técnico).

SILVA, N. M. D. **Qualidade microbiológica das águas de chuva em cisternas da área rural do município de Inhambupe, no semiárido baiano e seus fatores intervenientes.** 2013. 141f. Dissertação. Programa de Mestrado em Meio Ambiente, Águas e Saneamento. Escola Politécnica. Universidade Federal da Bahia, 2013.

SILVA, V. S.; PÁDUA, V. L. **Qualidade microbiológica de água de chuva armazenada em cisternas de placas, construídas em comunidades rurais do município de Araçuaí-MG.** In: 6^o Simpósio Brasileiro de Captação e Manejo de Água de Chuva. Belo Horizonte – MG: ABCMAC – Associação Brasileira de Captação e Manejo de Água de Chuva, 2007.

SIMMONS, G.; HEYWORTH, J. **Assessing the microbial health risks of potable Rainwater.** In: 9th International Rainwater Catchment Systems Conference. Pernambuco, 1999. Anais.

SOARES, D. A.; GONÇALVES, O. M. **Fuzzy sets apply to assist toilet flushing.** In: CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro. Proceedings. CIB W62 Seminar, Rio de Janeiro, v. 1, p.B3-1B1-8, 2001.

SOUZA, E. L.; GHISI, E. **Potable water savings by using rainwater for non-potable uses in houses.** Water. Basel, Switzerland, p. 607-628, ago. 2012. Disponível em: <<http://www.mdpi.com/2073-4441/4/3/607/pdf>>. Acesso em: 15 mai. 2016.

SOUZA, S. H. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SANTOS, S. M.; PESSOA, S. G. S. Avaliação da qualidade da água e da eficácia de barreiras sanitárias em sistemas para aproveitamento de águas de chuva. **RBRH – Revista Brasileira de Recursos Hídricos.** Nº3, vol. 16, 81-93. 2011.

TAVARES L. H. S, PEREIRA A. M. L. Large scale laboratory cultures of *Ankistrodesmusgracilis* (Reisch) Korsikov (Chlorophyta) and *Diaphanosomabiergei* Korinek,

1981 (Cladocera). **Brazilian Journal of Biology**, v. 68, n. 4, p. 875-883, 2009.

TEIXEIRA, E. P. **Água e saúde: doenças de veiculação hídrica de origem biológica**. In: TELLES, D. D. (Orgs.) *Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão*. São Paulo: Blucher, 2013. p.237-265.

TEIXEIRA, Á. D. S.; PULZ, E.; SILVA, B. C. R.; IRAZUSTA, S. P.; TEIXEIRA, E. P. **Avaliação da qualidade de água de chuva para aproveitamento doméstico**. In: X Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza. São Paulo, 2015.

TEIXEIRA, Á. D. S.; HASSATO, P.; GABILAN, D.; BÁLSAMO, P.; TEIXEIRA, E. P.; IRAZUSTA, S. P. **Caracterização físico-química, microbiológica e ecotoxicológica de água de chuva de primeiro instante**. In: XIV Congresso Brasileira de Ecotoxicologia. Paraná, 2016.

TEIXEIRA, Á. D. S.; TEIXEIRA, E. P. **Desenvolvimento e montagem de coletor do primeiro escoamento – *first flush* – para pesquisa em aproveitamento de água de chuva**. In: XI Workshop de Pós-Graduação e Pesquisa do Centro Paula Souza. São Paulo, 2016.

THOMAS, T. H.; MARTINSON, D. B. **Roofwater harvesting: a handbook for practitioners**. Delft, The Netherlands, IRC International Water and Sanitation Centre, 2007. Technical Paper Series, n. 49, 160 p.

TOLEDO, K. **As lições da Seca do Milênio**. Agência FAPESP, São Paulo, SP, Abr. 2015. Disponível em: <http://agencia.fapesp.br/as_licoes_da_seca_do_milenio/21071/>. Acesso em: 15 mai. 2016.

TOMAZ, P. **Conservação da água**. 1º ed. São Paulo: Parma, 1998.

_____. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo: Rubenal Hermano Santos. 2003.

_____. **Poluição difusa**. 2º ed. São Paulo: Navegar Editora, 2006.

_____. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. Guarulhos, SP, Fev. 2009. Disponível em: <<http://ftp-acd.puc-campinas.edu.br/pub/professores/ceatec/lorenzino/Util/aguadechuva.pdf>>. Acesso em: 05 jun. 2016.

_____. **Capítulo 27: pesquisas sobre *first flush* conforme Sartor e Boyd, 1972**. In: *Aproveitamento de água de chuva*. Guarulhos, SP, 2010. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Capitulo27.pdf>. Acesso em: 5 jun. 2016.

_____. **Águas de chuva: poluição difusa e aproveitamento em uso não potável**. In: TELLES, D. D. (Orgs.) *Ciclo ambiental da água: da chuva à gestão*. São Paulo: Blucher, 2013. p.433-455.

TORGAN, L. C. **Identificação de microalga (Chlorophyceae-Chlorococcales) do banco de cultivo do Departamento de Ecologia/UFRGS**. Porto Alegre, Fundação Zoobotânica, 2002. (Relatório Técnico).

UFPE. **Água de chuva – DesviUFPE – (Guia de dimensionamento e montagem)**. Disponível em <[tps://youtu.be/tgvv06essYs](https://youtu.be/tgvv06essYs)>. Acesso em: 08 mar.2017.

UNEP. United Nations Environment Programme. **Rainwater Harvesting And Utilisation. An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management: An Introductory Guide for Decision-Makers**. Disponível em: <<http://www.unep.or.jp/ietc/Publications/Urban/UrbanEnv-2/3.asp>>. Acesso em: 18 set. 2016.

_____. **Vital water graphics: an overview of the state of the world's fresh and marine Waters**. 2nd Ed. 2008. Disponível em: <<http://www.unep.org/dewa/vitalwater/index.html>>. Acesso em: 07 maio 2016.

URBANO, E. **Projeto experimental do filtro de água de chuva de baixo custo modelo auto-limpante: manual de construção e instalação**. Disponível em: <<http://www.sempresustentavel.com.br/hidrica/minicisterna/filtro-de-agua-de-chuva.htm>>. Acesso em: 05 mar. 2017.

VASCONCELOS, A. F. **Análise da qualidade da água pluvial para sistemas de aproveitamento com separadores automáticos**. 2008. 114f. Monografia. Curso de Engenharia Ambiental. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2008.

VERDADE, J. H. O. **Aproveitamento de águas de chuva e reutilização de águas cinzentas**. 157f. Dissertação. Curso de Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto, 2008.

XAVIER, R. P. **Influência de barreiras sanitárias na qualidade da água de chuva armazenada em cisternas no semiárido paraibano**. 114f. Dissertação. Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental. Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

YAZIZ, M., GUNTING, H., SAPIARI, N., & GHAZALI, A. Variation in rainwater quality from roof catchments, **Water Research**, v. 23(6), p.761-5, 1989.

WIROJANAGUD, W.; MUNGARNDEE, P.; HOVICITR, P. **Valuation of Rainwater quality: heavy metals and pathogens**. In: 4th International Conference on Rain Water Cistern Systems. Manila, Filipinas, 1989.

WISY. **Catálogo de produtos: aproveitamento de água de chuva**. São Paulo: Aquastock. 2014.

ZANELLA, L. **Manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva**. Livro eletrônico. São Paulo: IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2015.

ANEXO 1

Índice de NMP e limites de confiança de 95%, quando são utilizados inóculos de 10 mL, 1 mL e 0,1 mL em séries de 5 tubos.

Número de tubos com reação positiva, quando são utilizados, em séries de 5 tubos, inóculos de:			Índice de NMP/100 mL	Limites de confiança de 95%	
10 mL	1 mL	0,1 mL		Inferior	Superior
0	0	0	< 2	-	-
0	0	1	2	1	10
0	1	0	2	1	10
0	2	0	3	1	13
1	0	0	2	1	11
1	0	1	4	1	15
1	1	0	4	1	15
1	1	1	6	2	18
2	2	0	6	2	18
2	0	0	4	1	17
2	0	1	7	2	20
2	1	0	7	2	21
2	1	1	9	3	24
2	2	0	9	3	25
2	3	0	12	5	29
3	0	0	8	3	24
3	0	1	11	4	29
3	1	0	11	4	29
3	1	1	14	6	35
3	2	0	14	6	35
3	2	1	17	7	40
4	0	0	13	5	38
4	0	1	17	7	45
4	1	0	17	7	46
4	1	1	21	9	55
4	1	2	26	12	63
4	2	0	22	9	56
4	2	1	26	12	65
4	3	0	27	12	67
4	3	1	33	15	77
4	4	0	34	16	80

5	0	0	23	9	86
5	0	1	30	10	110
5	0	2	40	20	140
5	1	0	30	10	120
5	1	1	50	20	150
5	1	2	60	30	180
5	2	0	50	20	170
5	2	1	70	30	210
5	2	2	90	40	250
5	3	0	80	30	250
5	3	1	110	40	300
5	3	2	140	60	360
5	3	3	170	80	410
5	4	0	130	50	390
5	4	1	170	70	480
5	4	2	220	100	580
5	4	3	280	120	690
5	4	4	350	160	820
5	5	0	240	100	940
5	5	1	300	100	1300
5	5	2	500	200	2000
5	5	3	900	300	2900
5	5	4	1600	600	5300
5	5	5	>1600	-	-

Fonte: CETESB (1993)