



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Ciência e Tecnologia

Faculdade de Engenharia

Rodrigo Mazza Guimarães

**Caracterização físico-química e biológica da chuva armazenada
no sistema do Instituto Fernando Rodrigues da Silveira, CAP-UERJ**

Rio de Janeiro

2016

Rodrigo Mazza Guimarães

**Caracterização físico-química e biológica da chuva armazenada no sistema
do Instituto Fernando Rodrigues da Silveira, CAP-UERJ**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Jr

Rio de Janeiro

2016

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

G963 Guimarães, Rodrigo Mazza.

Caracterização físico-química e biológica da chuva armazenada no sistema do Instituto Fernando Rodrigues da Silveira, CAp-UERJ / Rodrigo Mazza Guimarães. – 2016.

97f.

Orientador: Alfredo Akira Ohnuma Junior.

Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental 2. Águas pluviais - Qualidade - Avaliação - Dissertações. 3. Águas pluviais - Armazenamento - Dissertações. 4. First flush - Dissertações. I. Ohnuma Junior, Alfredo Akira. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 628.222

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta tese, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Rodrigo Mazza Guimarães

**Caracterização físico-química e biológica da chuva armazenada no sistema
do Instituto Fernando Rodrigues da Silveira, CAP-UERJ**

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Controle da Poluição Urbana e Industrial.

Aprovado em: 11 de abril de 2016.

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Jr (Orientador)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof^a. Dra. Daniele Maia Bila
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof^a. Dra. Luciene Pimentel da Silva
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof^a. Dra. Luciana Pereira Torres Chequer
Universidade Federal Fluminense – UFF

Rio de Janeiro

2016

DEDICATÓRIA

In memoriam Miguel Ângelo de Freitas Mazza.

AGRADECIMENTOS

Nesta breve jornada, adquiri certeza de que nunca estive sozinho, portanto, gostaria de agradecer a todos que de alguma forma me ajudaram nessa caminhada.

A toda minha família pelo amor incessante, compreensão e estímulo oferecido. A minha irmã Isabelle e aos meus pais Eliane e Marcos. A minha companheira Nina Bordini pela paciência e apoio.

Ao professor Alfredo Akira pela orientação e transmissão de conhecimento ao longo dessa jornada.

A empresa Sea Projects e todos os meus amigos: Bruno, Guilherme, Karina, Luiz, E.Porto, Luciana, Leandro, E.Richard, Marina e Tata (*in memorian*) que me incentivaram em todos os momentos dessa vida dupla.

Ao Laboratório de Engenharia Sanitária da UERJ em especial a coordenadora do laboratório professora Daniele e os funcionários Louise e Sidnei por me guiarem ao longo das análises.

Aos estagiários Matheus e Maria pela ajuda.

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental do Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente.

À professora Luciene Pimentel da Silva pela disposição da sonda multiparâmetros.

Ao projeto MAPLU, pelo financiamento do projeto.

Ao CAp UERJ por ceder suas instalações para a implementação do sistema de captação de águas pluviais, em especial ao diretor Lincoln Tavares e ao funcionário Marquinhos pela receptividade.

Ao grande arquiteto do universo.

Se você tem metas para 1 ano, plante arroz.
Se você tem metas para 10 anos, plante uma árvore.
Se você tem metas para 100 anos, então eduque uma criança.
Se você tem metas para 1000 anos, então preserve o meio ambiente.

Confúcio

RESUMO

GUIMARÃES, Rodrigo Mazza. *Caracterização físico-química e biológica da chuva armazenada no sistema do Instituto Fernando Rodrigues da Silveira, CAP-UERJ*. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

A escassez hídrica que acometeu principalmente a região sudeste nos anos de 2014 e 2015 expôs a dependência da sociedade a água potável e desmitificou que se tratava de um recurso infinito. Entre inúmeras alternativas para racionalização do consumo o aproveitamento da água de chuva foi uma das mais procuradas. Atualmente a utilização das águas pluviais é amplamente aplicado em diversos países do mundo como Austrália, Israel e Estados Unidos. Contudo, é necessária cautela na montagem do sistema de captação para evitar a contaminação da água reservada. Este trabalho teve como objetivo avaliar a qualidade físico-química e biológica das águas pluviais em um sistema de captação e armazenamento de água de chuva instalado no Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira, bairro do Rio Comprido, região central da cidade do Rio de Janeiro. Os parâmetros analisados durante doze meses, entre os anos de 2014 e 2015, foram: temperatura, pH, condutividade, turbidez, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos totais, alcalinidade, cor, sulfato, dureza, nitrogênio amoniacal, carbono orgânico dissolvido, coliformes totais e *Escherichia coli*. Foram registradas desconformidades com a lei nº 2.856/2011 de Niterói nos parâmetros pH, turbidez, cor e coliformes totais. No geral a turbidez e o pH apresentaram valores críticos sendo recomendado a filtração, equalização do pH e desinfecção da água reservada. Em relação a sazonalidade não foram observadas diferenças estatisticamente significativas, contudo recomenda-se para melhor correlação uma análise histórica superior ao presente monitoramento.

Palavras-chave: Qualidade de água pluviais; *First flush*; Captação e armazenamento de água da chuva.

ABSTRACT

GUIMARÃES, Rodrigo Mazza. *Physicochemical and biological characterization of rain stored in the Institute Fernando Rodrigues da Silveira CAp-UERJ system*. 2016. 97f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

Water scarcity that affected mainly the southeast region in the years 2014 and 2015 exposed the dependence of the society to clean water and demystified it was an infinity resource. Among numerous alternatives for consumption streamlining the use of rainwater was one of the most sought after. Currently the harvest of rainwater is widely applied in several countries such as Australia, Israel and the United States. However, caution is required in assembling the collection system to prevent contamination of the reserved water. This work aims to evaluate the physical and chemical quality and biological rainwater in a catchment and rainwater storage system installed on the Application Institute Fernando Rodrigues da Silveira, the Rio Comprido neighborhood, downtown of the city of Rio de Janeiro. The parameters analyzed for twelve months between the years 2014 and 2015 consist of: temperature, pH, conductivity, turbidity, dissolved oxygen, total dissolved solids, alkalinity, color, sulfate, hardness, ammonia nitrogen, total organic carbon, total coliforms and *Escherichia coli*. Parameters pH, turbidity, color and total coliforms were non conformities recorded with Law nº. 2,856 / 2011 in Niterói. In general, the turbidity and the pH values were critical and have been recommended filtration, the pH equalization and disinfection of the storage water. Regarding seasonality statistically significant differences weren't observed, however it is recommended for better correlation historical analysis superior to this monitoring.

Keywords: Quality of rainwater; *First flush*; Harvesting and storage rainwater.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Foto da pedra Mohabita de 830 aC. (Fonte: Tomaz, 2010)	19
Figura 2: Precipitação média anual global (Fonte: INMET, 2014a)	20
Figura 3: Distribuição de chuvas anuais no Estado do Rio de Janeiro (Fonte: SIMERJ,2008).	22
Figura 4: Normais climatológicas entre 1961 e 1990 de estações na cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Adaptado de INMET, 2014b).	23
Figura 5: Demanda consuntiva total no Brasil ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$). Fonte: Adaptado de ANA,2015.	24
Figura 6: Destinação da água trata pela SABESP (Fonte: SABESP,2014).	25
Figura 7: Vazão retirada no Brasil ($\text{m}^3.\text{s}^{-1}$). (Fonte: Adaptado de ANA,2015).....	26
Figura 8: Vazão total de retirada por microbracia (Fonte: ANA,2015).....	27
Figura 9: Distribuição do consumo de água em uma habitação de quatro pessoas (Fonte: Adaptado TOMAZ,2010).	28
Figura 10: Hidrograma Rural e Urbano (Fonte: SUDERHSA,2002)	29
Figura 11: Reservatório da Praça Niterói, Tijuca - RJ.	30
Figura 12: Sequência ilustrativa da água de descarte – <i>first flush</i> (Fonte: Water Diverters,2015).	35
Figura 13: Sistema <i>first flush</i> por gotejamento (Fonte: www.sempresustentavel.com.br).	35
Figura 14: Exemplos de reservatórios de água da chuva subterrâneos e visíveis. (Fonte: Harvesting Brasil).....	37
Figura 15: Mapa geográfico da localização do CAP-UERJ	45
Figura 16: Imagem 3D do Maciço da Tijuca em torno do CAP-UERJ. (Fonte: Google Earth,2015).....	46
Figura 17: Esquema da superfície de captação do sistema.	47
Figura 18: Calhas e condutores (Fonte: PICCOLI, 2014).	48
Figura 19: Separados de galhos e folhas.	49
Figura 20: Sistema de boia de vedação do <i>first flush</i>	49
Figura 21: Reservatório com capacidade para 2.460 litros (Harvesting Brasil, 2012)	50

Figura 22: Sonda Multiparâmetros HORIBA U52.	52
Figura 23: Metodologia para amostras de coleta de água de chuva <i>ex situ</i>	53
Figura 24: Esquema com variáveis utilizadas no gráfico do tipo <i>box-plot</i>	56
Figura 25: Precipitação acumulada na estação Tijuca.	59
Figura 26: Variação do pH por ponto de coleta.	61
Figura 27: <i>Box plot</i> do pH nos pontos de coleta.	62
Figura 28: Variação da alcalinidade (mg.L^{-1}).	63
Figura 29: <i>Box plot</i> da alcalinidade (mg.L^{-1}).	64
Figura 30: Variação da concentração de sólidos dissolvidos totais (g.L^{-1}).	65
Figura 31: <i>Box plot</i> da concentração de sólidos dissolvidos totais (g.L^{-1}).	66
Figura 32: Variação da condutividade (mS.cm^{-1}).	68
Figura 33: <i>Box plot</i> da condutividade (mS.cm^{-1}).	69
Figura 34: Variação da turbidez (UNT).	70
Figura 35: <i>Box plot</i> da turbidez (UNT).	71
Figura 36: Variação da cor (μH).	72
Figura 37: <i>Box plot</i> da cor (μH).	73
Figura 38: Variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$).	74
Figura 39: <i>Box plot</i> da temperatura ($^{\circ}\text{C}$).	75
Figura 40: Variação da concentração de sulfato (mg.L^{-1}).	77
Figura 41: <i>Box plot</i> da concentração de sulfato (mg.L^{-1}).	78
Figura 42: Variação da concentração de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}).	79
Figura 43: <i>Box plot</i> da concentração de oxigênio dissolvido (mg.L^{-1}).	80
Figura 44: Variação da dureza (mg.L^{-1}).	81
Figura 45: <i>Box plot</i> da dureza (mg.L^{-1}).	82
Figura 46 - Variação da concentração de carbono orgânico dissolvido (mg.L^{-1}).	83
Figura 47: <i>Box plot</i> da concentração de carbono orgânico dissolvido (mg.L^{-1}).	84
Figura 48: Distribuição de variáveis selecionadas da qualidade da água.	86
Figura 49: Distribuição das amostras do sistema.	87

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Índices pluviométricos das regiões climáticas do Brasil (Fonte: INMET, 2014a).....	21
Tabela 2: Tratamentos necessários para diferentes aplicações da água da chuva. (Fonte: PROSAB,2006).....	36
Tabela 3: Caracterização da água da chuva.....	40
Tabela 4: Marcos regulatório em diferentes regiões do Brasil. (Fonte: Ohnuma JR et al, 2013)	43
Tabela 5: Principais marcos regulatórios e normas utilizadas para análise de qualidade das águas pluviais.	44
Tabela 6: Metodologia de análise das variáveis de água <i>ex situ</i>	54
Tabela 7: Índice Pluviométrico (mm) do Sistema Alerta Rio – Estação 4 (Tijuca). (Fonte: Alerta Rio).....	58
Tabela 8: Variação dos resultados de coliformes totais e <i>Escherichia Coli</i> (NMP.100 mL ⁻¹)......	85

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas e Técnicas
AC	Acre
AM	Amazonas
ANA	Agência Nacional de Águas
APHA	<i>American Public Health Association</i>
AWWA	<i>American Water Works Association</i>
BASIX	<i>Building Sustainability Index</i> (Índice de Sustentabilidade de Edificações)
CEDAE	Companhia Estadual de Águas e Esgotos
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
EA	<i>Environmental Agency</i> (Agência Ambiental)
EPA	<i>Environmental Protection Agency</i> (Agência de Proteção Ambiental)
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
NBR	Norma Brasileira
NTU	<i>Nephelometric Turbidity Unit</i> (Unidade Nefelométrica de Turbidez)
OD	Oxigênio Dissolvido
OMS	Organização Mundial da Saúde
ORP	<i>Oxidation Reduction Potential</i> (Potencial de Oxi- Redução)
pH	Potencial de hidrogênio iônico
PROSABb	Programa de Pesquisas em Saneamento Básico
STD	Sólidos Totais Dissolvidos
UNEP	<i>United Nations Programme</i> (Programa das Nações Unidas)
WEF	<i>Water Environment Federation</i>

LISTA DE SÍMBOLOS E UNIDADES

%	por cento
=	igual
°C	grau Celsius
μS/cm	micro Siems por centímetro
‰	por mil
C	coeficiente de escoamento
cm	centímetros
g	grama
kJ/m ²	kilo Joule por metro quadrado
L	litro
m/s	metros por segundos
m ²	metros quadrados
m ³	metros cúbicos
Máx	máximo
Mg	mili gramas
Mín	mínimo
mL	mili litro
mm	mili metros
MS	Ministério da Saúde
mS/ cm	mili Siems por centímetro
mV	mili volts
n°	número

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	15
1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	18
1.1 Histórico do aproveitamento de água de chuva.....	18
1.2 Benefícios do aproveitamento de água de chuva.....	19
1.2.1 Disponibilidade hídrica	20
1.2.2 Captação próxima ao uso.....	23
1.2.3 Racionalização da rede pública.....	25
1.2.4 Aumento de detenção nos reservatórios	29
1.3 Sistemas de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais.....	30
1.3.1 Dimensionamento.....	31
1.3.2 Superfície de Captação	32
1.3.3 Calhas e condutores.....	33
1.3.4 <i>First flush</i>	33
1.3.5 Tratamento	36
1.3.6 Reservatórios	36
1.4 Caracterização da água de chuva.....	38
1.5 Legislação	41
2 METODOLOGIA	44
2.1 Área de Estudo.....	44
2.2 Mecanismos do Sistema de Captação e Armazenamento de Águas Pluviais.....	46
2.2.1 Captação	46
2.2.2 Calhas e condutores.....	47
2.2.3 Descarte	48
2.2.4 Reservação	50
2.3 Malha Amostral.....	51
2.4 Análises de qualidade da água <i>in situ</i>	52
2.5 Análise de qualidade da água <i>ex situ</i>	53
2.6 Período Amostral.....	54

2.7	Pluviosidade	54
2.8	Análises estatísticas dos parâmetros de qualidade de águas pluviais	55
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	57
3.1	Pluviosidade	57
3.2	Potencial Hidrogeniônico (pH)	59
3.3	Alcalinidade	62
3.4	Sólidos dissolvidos totais (TDS)	64
3.5	Condutividade.....	66
3.6	Turbidez.....	69
3.7	Cor.....	71
3.8	Temperatura	73
3.9	Nitrogênio Amoniacal	75
3.10	Sulfato	75
3.11	Oxigênio dissolvido.....	78
3.12	Dureza.....	80
3.13	Carbono Orgânico Dissolvido (COD).....	82
3.14	Colimetria	84
3.15	Análise Integrada dos parâmetros analisados.....	85
4	CONCLUSÃO	88
	REFERÊNCIAS.....	90
	APÊNDICE A – PLANILHA DE ANOTAÇÃO DE CAMPO	95
	APÊNDICE B – RESULTADOS DAS ANÁLISES	96

INTRODUÇÃO

Problemática e Justificativa

Ainda que o Brasil possua 13 % da água doce disponível do planeta sua distribuição é desigual. Destes cerca de 81 % estão localizados na Região Amazônica enquanto as regiões hidrográficas que concentram 45,5% da população do país, apenas 2,7% dos recursos hídricos estão disponíveis. Ademais, os rios localizados em regiões metropolitanas apresentam um estado crítico devido à alta demanda e grande quantidade de carga orgânica lançada (ANA, 2015). Segundo o Índice de Desenvolvimento Sustentável 2012, o Rio Paraíba do Sul está na 9ª colocação da lista das bacias de água doce mais poluída do Brasil. Essa colocação torna-se relevante para o estado do Rio de Janeiro e sua metrópole, visto que o principal rio (Guandu) que fornece água para o sistema de abastecimento é uma transposição das águas do Rio Paraíba do Sul. Portanto, com a intensificação da poluição o tempo e o investimento do tratamento necessário para viabilizar a água para o consumo humano são cada vez maiores.

Além da distribuição desigual e poluição dos recursos hídricos a utilização da água potável é feita de maneira não racional. Atividades como irrigação de jardins, descargas de vasos sanitários, limpeza de carros e calçadas podem chegar a 50 % de todo o consumo de uma unidade familiar (TOMAZ, 2010). Uma das soluções propostas é a busca por fontes alternativas de água para atender à demanda das atividades não potáveis. Uma fonte constantemente estudada na atualidade e com uso disseminado em alguns países do mundo o aproveitamento das águas pluviais vem ganhando cada vez mais espaço.

Além de contribuir para racionalização do uso potável da água a captação tem um papel fundamental em cidades de clima tropical como o Rio de Janeiro. Eventos pluviométricos extremos são responsáveis por sobrecarregarem as redes de drenagem e provocam o extravasamento de canais e consequentemente às inundações urbanas. A impermeabilização do solo a partir da construção de loteamentos residenciais, telhados, áreas de estacionamento, ruas pavimentadas e calçamentos, provocam o aumento da parcela de volume de chuva que é convertida

em escoamento superficial. O processo de ocupação de áreas vegetadas permeáveis a chuva ocorre à medida que cresce a densidade populacional e de edificações. Grandes metrópoles como Rio de Janeiro e São Paulo apresentaram taxas de impermeabilização de até 70% (PINTO e MARTINS, 2008). Com objetivo de diminuir os impactos das inundações urbanas SCHILLING (1982) propôs a utilização de pequenas cisternas como medida não-convencional. Para eventos frequentes com período de retorno menor que um ano, as vazões podem diminuir em até 80% (OHNUMA JR, ALMEIDA NETO e MENDIONDO, 2014).

Portanto, se faz fundamental a compreensão dos fenômenos pluviométricos na cidade do Rio de Janeiro. Para isso o presente trabalho estudou a qualidade físico-química e biológicas das águas pluviais e os efeitos da sazonalidade em um sistema de aproveitamento de água de chuva localizado na região central da cidade. Este experimento está incluído no Projeto Manejo de Águas Pluviais (MAPLU) que visa no âmbito nacional apoiar iniciativas, estudos e pesquisas com soluções para uma melhor utilização das águas pluviais em todo o Brasil.

Objetivo Geral

O objetivo geral é caracterizar físico-química e biologicamente as amostras armazenadas e coletadas no sistema de captação de águas pluviais instalado no Instituto de Aplicação da UERJ (CAp-UERJ).

Objetivos Específicos

Como objetivos específicos, este trabalho visa:

- ◊ avaliar a operação do sistema de captação e armazenamento de águas pluviais em função da qualidade da água reservada;
- ◊ propor destinação do uso de acordo com as características observadas no período de análise, conforme legislação vigente e
- ◊ analisar a influência da sazonalidade do regime pluviométrico na qualidade da água armazenada no sistema.

Natureza da metodologia e estrutura do projeto

O presente trabalho está dividido em cinco capítulos. No capítulo **introdução**, são abordados temas como: disponibilidade de água e impactos associados, problemática e justificativa do trabalho, objetivos e a estrutura da dissertação.

O primeiro capítulo retrata uma breve revisão bibliográfica sobre o tema o qual descreve o histórico da utilização da água da chuva, os benefícios da implantação do sistema de captação e aproveitamento das águas pluviais, a caracterização da água de chuva e legislação vigente.

O segundo capítulo aborda a metodologia empregada no trabalho como a área de estudo, o sistema utilizado, a malha amostral, as análises realizadas, o período de coleta e análise estatística dos dados.

No terceiro são apresentados os resultados das análises, discutindo-os de acordo com a literatura e respectivas variantes.

O quarto capítulo consiste das conclusões do trabalho e recomendações para trabalhos futuros.

1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1.1 Histórico do aproveitamento de água de chuva

Diversas maneiras de aproveitamento de água de chuva foram utilizadas ao longo dos séculos, porém seu uso na agricultura merece destaque. A técnica denominada *Floodwater* é muito utilizada nas áreas desérticas do Arizona e no noroeste do Novo México pelo menos nos últimos 1000 anos. A técnica consiste no plantio de lavouras em áreas que são naturalmente inundadas todos os anos na época das chuvas, portanto, proporciona uma irrigação natural (ZAUNDERER & HUTCHINSON, 1988).

Em alguns casos como no deserto de Negev de Israel os registros de técnicas são datados em cerca de 4.000 anos (EVENARI *et al*, 1982). Em outros casos como o palácio de Knossos na ilha de Creta a água da chuva era aproveitada para descarga em vasos sanitários (FRASIER & MYERS, 1983). Além disso, na mesma região, são inúmeros os reservatórios escavados em rochas anteriores a 3000 a.C., que aproveitavam a água de chuva para consumo humano (TOMAZ, 2010).

Segundo ainda Tomaz (2010) o primeiro registro de aproveitamento da água de chuva foi verificado em uma pedra de basalto negro denominada de Mohabita, datada de 830 a.C. encontrada na região de Moab, perto de Israel (Figura 1). Nela estão marcadas as determinações do rei Mesa, para a cidade de Qarhoh, dentre as quais destaca-se a construção de reservatórios para armazenar a água de chuva em cada residência: “...para que cada um de vós faça uma cisterna para si mesmo, na sua casa”.



Figura 1: Foto da pedra Mohabita de 830 aC. (Fonte: Tomaz, 2010)

A crescente tomada de consciência do potencial de captação de água para melhorar a produção agrícola surgiu nas décadas de 1970 e 1980, com as secas generalizadas na África. Grande parte da experiência adquirida em países como Israel, EUA e Austrália tem relevância limitada como nas regiões semi-áridas da África e Ásia. Em Israel por exemplo, a ênfase de pesquisa foram os aspectos hidrológicos de microbacias para árvores frutíferas, como amêndoas e pistache. As técnicas empregadas nos EUA e Austrália são aplicadas principalmente para abastecimento doméstico e gado. Uma série de projetos foram criados na África Subsaariana durante a última década com objetivos de combater os efeitos da seca, melhorar a produção alimentícia e reabilitar terras degradadas (CRITCHLEY & REIJ, 1989).

1.2 Benefícios do aproveitamento de água de chuva

O aproveitamento da água de chuva no Brasil é muito vantajoso devido à alta oferta em relação aos outros lugares do mundo, além de ser uma captação próxima ao uso o que reduz a perda com vazamentos, promove a racionalização da rede pública e o aumento do volume e tempo de retenção nos reservatórios.

1.2.1 Disponibilidade hídrica

A distribuição global da precipitação está bastante relacionada à circulação na atmosfera e a distribuição das cadeias de montanhas. Contudo, alguns estudos recentes apontam que a distribuição das chuvas no planeta tem se alterado no tempo. Segundo o Painel Intergovernamental sobre Mudanças Climáticas (IPCC, 2011), é provável que o aumento da temperatura média global altere a precipitação e a umidade atmosférica ao redor do globo. Em algumas regiões é provável que a intensificação da precipitação provoque o aumento da ocorrência de enchentes. Por outro lado, em outras áreas, as temperaturas mais quentes podem levar ao aumento do processo de seca e então acelerar o início da estiagem (IPCC, 2011).

O lugar do planeta onde mais chove é em Waialeale situado numa Ilha do Havaí, no Pacífico. A média anual de precipitação é de 11.700 mm, quase três vezes maior que o índice do lugar mais úmido do Brasil, a Amazônia, que raramente passa de 3.000 mm/ano (INMET, 2014a). A precipitação média anual do Brasil varia de 500mm a 3000mm (TOMAZ, 2010) (Figura 2).

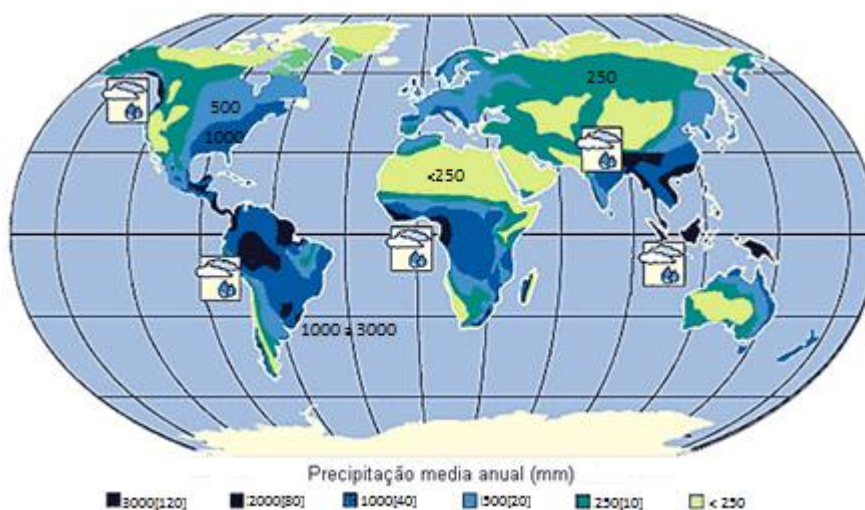


Figura 2: Precipitação média anual global (Fonte: INMET, 2014a)

Contudo, vale destacar que por ser um país de grandes dimensões continentais o Brasil possui distribuição de chuvas distintas ao longo de seu território, cuja variação ocorre de acordo com as características climatológicas de cada região (MEDEIROS, 2012).

Há seis classificações climáticas distintas que possuem regimes de chuvas diferentes, como: semiárido, tropical, tropical de altitude, tropical úmido, temperado e equatorial (Tabela 1).

Clima	Chuva acumulada/ano
Semiárido	750
Tropical	1.500
Tropical de altitude	1.500
Tropical úmido	2.000
Temperado	1.500
Equatorial	2.000

Tabela 1: Índices pluviométricos das regiões climáticas do Brasil (Fonte: INMET, 2014a).

O semiárido compreende o sertão nordestino denominada também de polígono das secas. Os menores valores pluviométricos do país são encontrados nessa região com índices médios anuais de 750mm (INMET, 2014b)

No Brasil central predomina o clima tropical com sazonalidades bem demarcadas, sendo a estação chuvosa no verão e a estação seca no inverno. O índice pluviométrico na região clima é considerado alto, em torno de 1.500 mm/ano (INMET, 2014b).

O clima tropical de altitude é predominante nas áreas de elevadas altitudes da região sudeste, com médias mensais similares ao clima tropical (INMET, 2014a).

O clima tropical úmido compreende a região litorânea desde a costa do Estado do Rio Grande do Norte até o estado de São Paulo, com clima chuvoso ao longo de todo o ano e sazonalidade não tão bem demarcada com média anual de 2.000 mm (INMET, 2014b).

O clima equatorial abrange a região amazônica com temperaturas médias elevadas e chuvas abundantes em torno de 2.000 mm/ano. Já o clima temperado compreende as latitudes abaixo do trópico de capricórnio, ou seja, o sul do estado de São Paulo e a região metropolitana de São Paulo, além do Paraná, Santa Catarina, Rio Grande do Sul e o extremo sul de Mato Grosso do Sul (INMET, 2014b).

Predomina no estado do Rio de Janeiro o clima tropical úmido com chuvas ao longo de todo ano. Contudo, a partir do estudo desenvolvido por Andre *et al.* (2008) o estado pode ser dividido em seis regiões de acordo com o índice pluviométrico tendo a região norte valores em torno de 870 mm/ano e a região sul da serra do mar com as maiores pluviosidades próximo de 3.000 mm/ano (Figura 3).

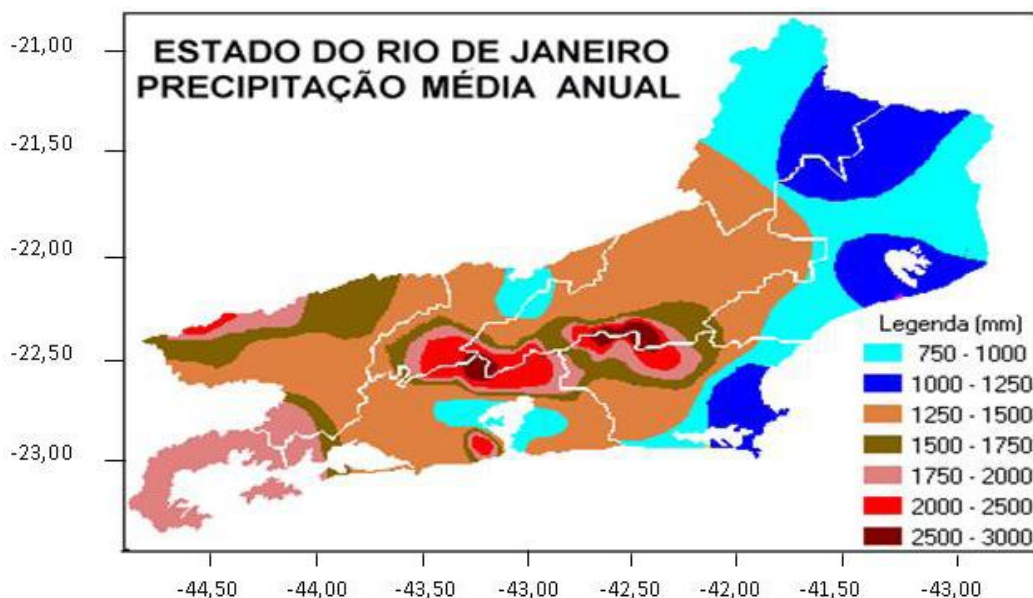


Figura 3: Distribuição de chuvas anuais no Estado do Rio de Janeiro (Fonte: MEDEIROS, 2012).

No mesmo estudo foi corroborado a presença da sazonalidade marcada em períodos secos e úmidos sendo 80 % das precipitações ocorrerem no verão, cuja estação é considerada chuvosa e 20 % no inverno, estação seca (Figura 4). Segundo dados do INMET (2014a) a precipitação anual média da cidade do Rio de Janeiro é de 1.401 mm, abaixo da média nacional de 1.761 mm

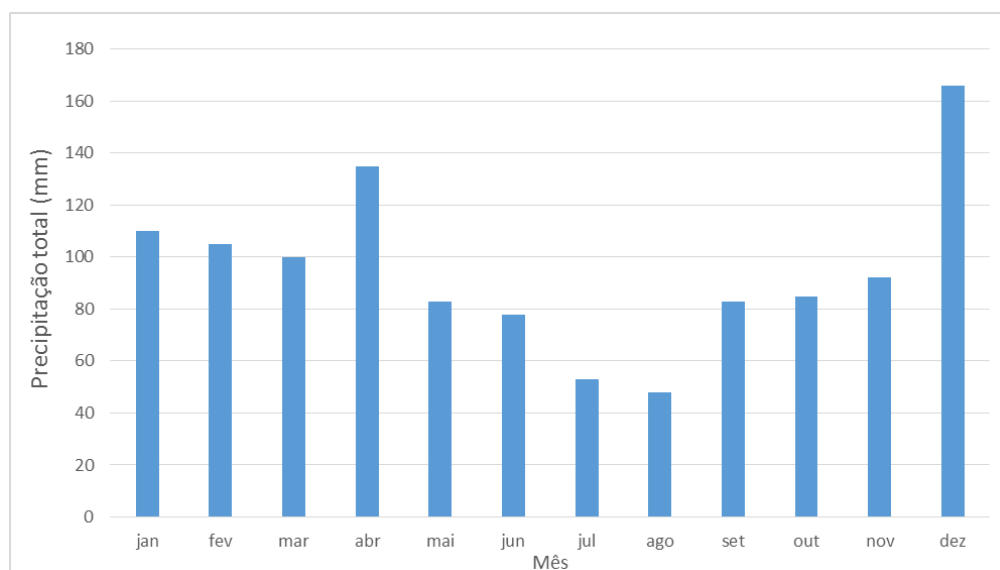


Figura 4: Normais climatológicas entre 1961 e 1990 de estações na cidade do Rio de Janeiro (Fonte: Adaptado de INMET, 2014b).

Vale destacar que a região sudeste no ano de 2014 foi atingida por uma forte estiagem com intensidade pluviométrica muito baixa com relação as médias históricas. Alguns meses como em outubro de 2014 foram registradas diminuição de até 77 % em relação à média 1997/2013 além de representar queda de 71 % no volume de chuva quando comparado a Normal Climatológica INMET (D'ORSI *et al*, 2015).

1.2.2 Captação próxima ao uso

Dados obtidos na ANA (2015) revelam uma diferença de 13 % entre a vazão retirada e consumida na demanda urbana (Figura 5). Os números indicam que cerca de $418 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$ são perdidos ao longo do sistema de abastecimento de água. As perdas de água acontecem durante sua distribuição pós-tratamento onde, no Brasil, em média 39% ocorre por vazamentos, problemas de medição e ligações clandestinas (SNIS, 2014).

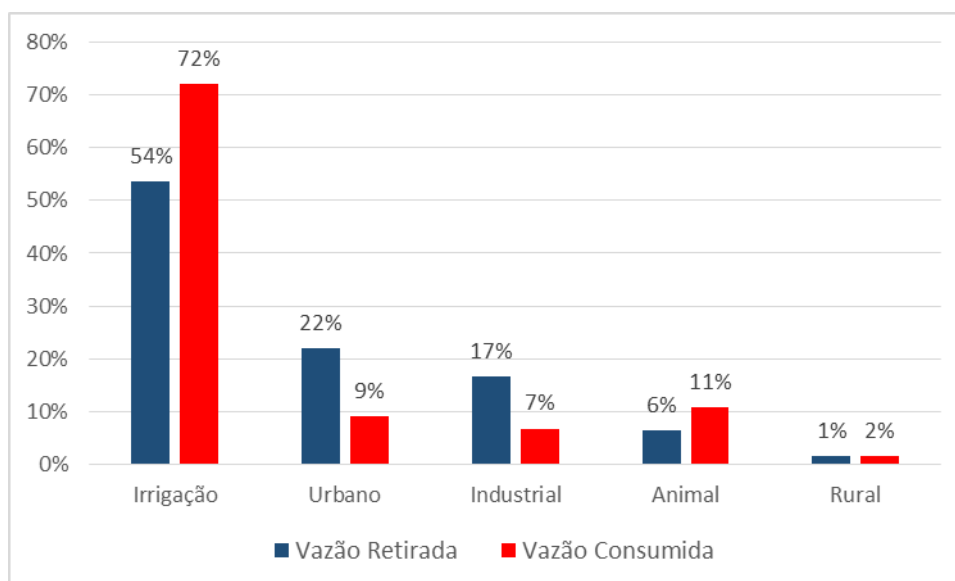


Figura 5: Demanda consuntiva total no Brasil ($\text{m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$). (Fonte: Adaptado de ANA, 2015).

No documento elaborado pela companhia de saneamento do estado de São Paulo (SABESP) estima-se que 36 % da água tratada pela empresa é perdida devido aos vazamentos na tubulação (Figura 6). Os projetos de abastecimento de água trabalham com 20 % de perda visto que o sistema é feito sobre pressão para atuar em casos de fissuras na tubulação e não haver contaminação externa, além de uma concentração de cloro residual para eliminar qualquer risco biológico até a residência.

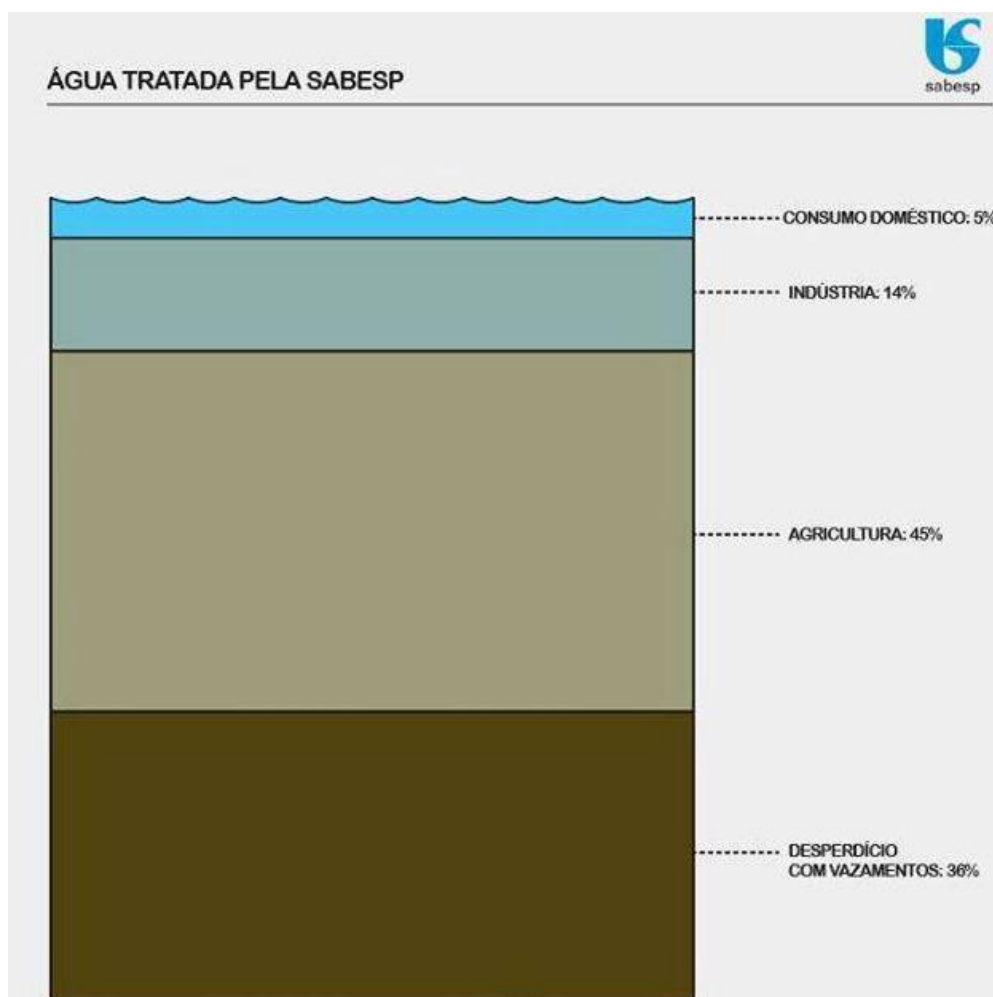


Figura 6: Destinação da água tratada pela SABESP (Fonte: SABESP, 2014).

Portanto, outra vantagem do aproveitamento da água de chuva é a proximidade do uso que se destina de modo que o desperdício seja reduzido. Ou seja, devido ao fato do usuário da água ser o responsável pela manutenção do sistema é sua responsabilidade efetuar a vistoria e promover o conserto em caso de defeito do sistema (PEIXE, 2012).

1.2.3 Racionalização da rede pública

Por ser um país emergente com ampla extensão territorial e crescimento populacional constante o Brasil possui cada vez mais a necessidade de água. Essa necessidade varia de acordo com a região em função da disponibilidade hídrica, qualidade das águas, população e atividade econômica predominante (PICCOLI, 2014).

A Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (ANA, 2015) divide a demanda em cinco classes: Urbana, Rural, Animal, Irrigação e Industrial. O estudo realizado no ano de 2014 relata que as atividades de irrigação equivalem a 54% da vazão retirada seguido das vazões para abastecimento humano urbano, industrial, animal e por fim humano rural (Figura 7).

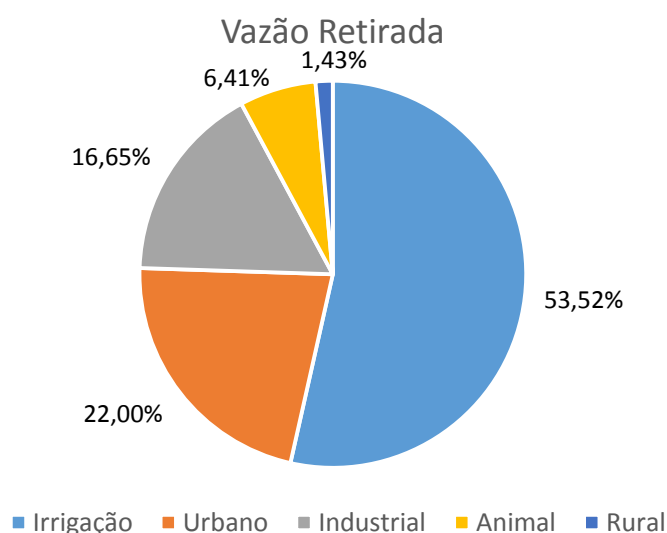


Figura 7: Vazão retirada no Brasil (m³.s⁻¹). (Fonte: Adaptado de ANA,2015)

O mesmo documento informa ainda que a região sudeste possui um dos mais altos consumos de água do país devido às grandes metrópoles, com taxa de urbanização de até 90% (Figura 8). A área com maior demanda de água no ano de 2014 foi a região hidrográfica do Paraná, em contrapartida a região com menor demanda foi do atlântico nordeste ocidental.

A implementação de programas de incentivo à instalação de sistemas de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais para fins não potáveis tende a facilitar a economia de água tratada para fins potáveis das redes públicas (PICCOLI, 2014).

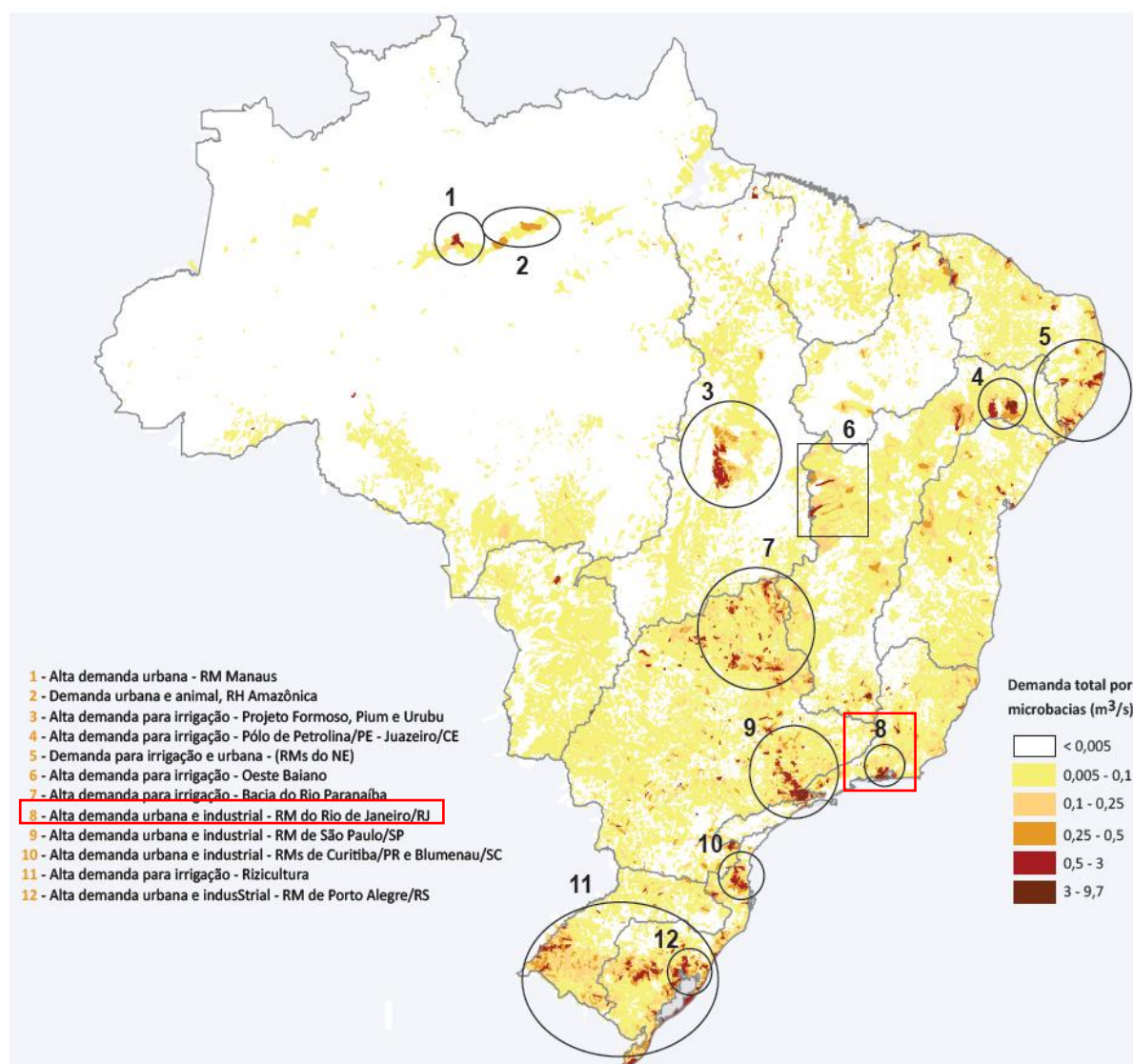


Figura 8: Vazão total de retirada por microbracia (Fonte: ANA,2015).

Estudos apontam que até 50 % do consumo em uma residência de quatro pessoas podem ser substituídos por água da chuva (GOMES; HELLER & PENA, 2012; TOMAZ, 2010). Atividades como irrigação de jardim, lavagem de carro e descargas de vasos sanitários podem ser facilmente substituídos por água de chuva (TOMAZ, 2010) (Figura 9). Segundo Rocha & Barreto (1999) uma casa unifamiliar pode destinar até 27% de todo seu consumo diário, para fins que não necessitam de água enquadrada nos padrões de potabilidade vigente no Brasil.

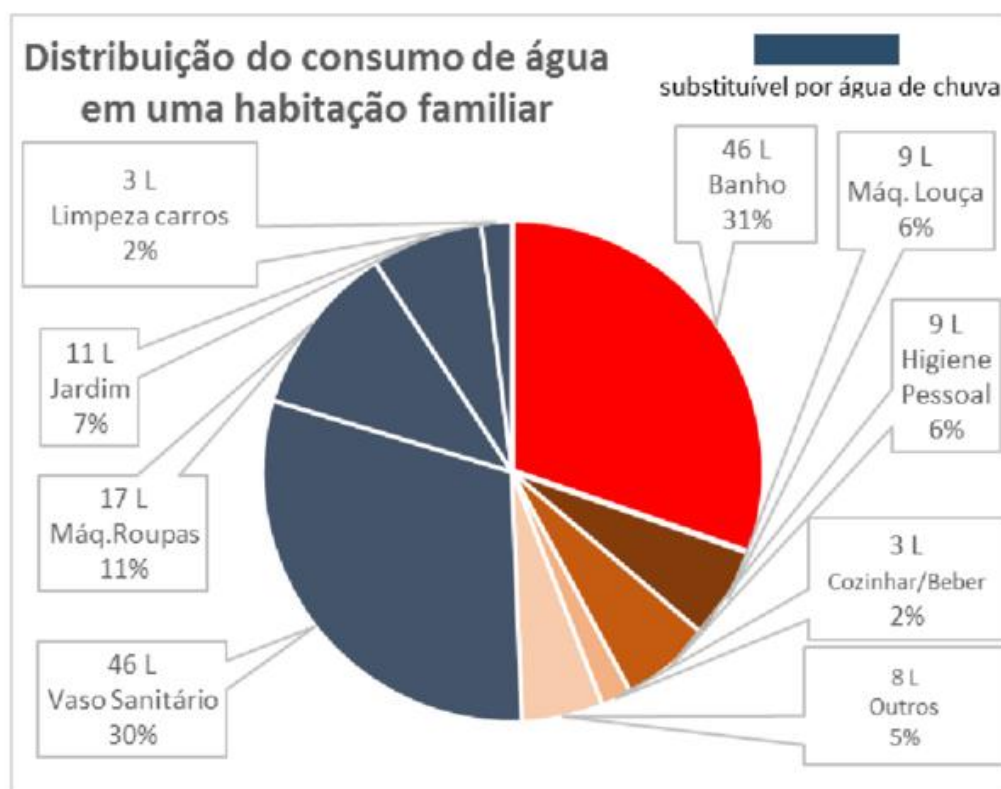


Figura 9: Distribuição do consumo de água em uma habitação de quatro pessoas (Fonte: Adaptado TOMAZ,2010).

Em prédios escolares, por exemplo, a descarga da bacia sanitária equivale a mais de 27% do total de água utilizada (ANAND & APUL, 2011). O uso de grandes volumes de água potável para esta finalidade não é considerado somente um uso desapropriado dos recursos hídricos, mas também pode-se afirmar ineficiente, caro e de gasto excessivo de energia (PEIXE adaptado, 2012).

Porém, em alguns casos, como descrito por Anand & Apul (2011), em Toledo, Ohio (EUA) em um grande complexo escolar com 2.200 pessoas o aproveitamento da água da chuva não foi suficiente para suprir a demanda de água não potável, sendo necessário a utilização do sistema de abastecimento de água público. Dessa forma, não houve uma relação custo-benefício favorável à esta prática, em comparação com o modelo padrão, com retorno de investimento acima de 50 anos.

Contudo, além de economia o aproveitamento da água de chuva em escolas tem grande influência no desenvolvimento da sociedade. O suprimento afeta diretamente o aprendizado sobre às questões ambientais. Um planejamento apropriado em instituições de ensino sobre o aproveitamento das águas pluviais pode contribuir

amplamente para o orçamento da educação no país, além de promover a consciência ambiental (PEIXE, 2012).

1.2.4 Aumento de retenção nos reservatórios

Estima-se que no início do século cerca de 15 % da população viviam em áreas urbanas, hoje esse valor ultrapassa 80% (TUCCI, 1997). Junto com a urbanização acelerada ocorre a degradação ambiental como os aterros de áreas de recargas de aquíferos, degradação de encostas, degradação de faixas marginais de proteção, retificação de rios e principalmente a impermeabilização do solo. Nesse sentido, um dos principais impactos observados nas grandes cidades durante o período de chuvas é o aumento dos casos de inundações urbanas, enchentes e alagamentos (MEDEIROS, 2012).

Em uma área não urbanizada, preservada por características naturais de uso e ocupação do solo, o volume de chuvas é amortecido pela vegetação, de modo que favoreça a infiltração da água no solo de forma gradual, cujo hidrograma varia mais lentamente com picos de cheias menos intensos e moderados. Por outro lado, em uma área urbanizada, devido à ausência de áreas permeáveis, a infiltração ocorre de maneira mais rápida, de forma a promover um maior volume de água que escoar pela superfície, com maior pico no hidrograma (SUDERHSA, 2002) - Figura 10.

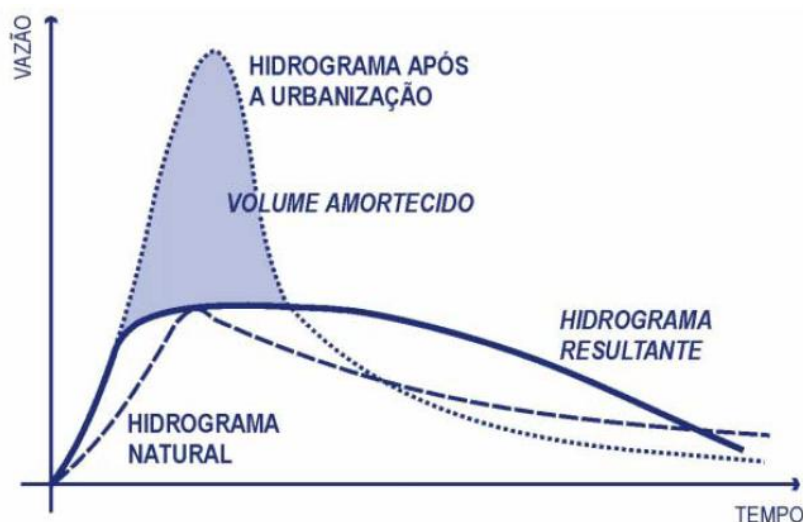


Figura 10: Hidrograma Rural e Urbano (Fonte: SUDERHSA, 2002)

A revitalização da área da bacia hidrográfica, a recuperação da mata ciliar, a proteção dos ecossistemas locais e o restabelecimento dos rios e córregos a partir

do processo de reestruturação do curso d'água são fundamentais para evitar efeitos indesejados em áreas urbanas. Contudo, essas ações devem ser permanentes e não somente paliativas (MEDEIROS, 2012).

Como medida mitigadora dos efeitos das inundações urbanas tem-se adotado em algumas cidades a retenção das águas pluviais com a construção de reservatórios subterrâneos conhecidos popularmente como “piscinões” (Figura 11). O objetivo dessa engenharia é reter a água da chuva e liberá-la gradativamente de modo a proporcionar um retardo no volume de escoamento superficial, sobretudo para a macrodrenagem. No caso recente do Rio de Janeiro o valor inicial das obras paliativas do sistema de piscinões da grande Tijuca foi de R\$ 160,4 milhões.



Figura 11: Reservatório da Praça Niterói, Tijuca – RJ (Fonte: Prefeitura do Rio de Janeiro).

O aproveitamento de águas pluviais a partir de sistemas de captação particulares trata-se de um controle a montante ou controle na fonte, enquanto os piscinões são denominados controles a jusante. Os reservatórios nos lotes particulares têm papel fundamental na microdrenagem visto que retardam o escoamento superficial das águas pluviais para rede de drenagem urbana.

1.3 Sistemas de captação, armazenamento e aproveitamento de águas pluviais

De maneira geral, o sistema de captação, armazenamento e aproveitamento da água da chuva é simples, contudo, depende de fatores socioambientais fundamentais para se obter resultados mais satisfatórios. Para isso, o sistema deve garantir que as águas pluviais sejam captadas, transportadas e armazenadas de forma que não tragam prejuízos diretos e indiretos ao usuário. Normalmente, o

volume precipitado é coletado em superfícies impermeáveis como: telhados, pátios ou áreas de estacionamento. Em seguida, a vazão escoada da precipitação é encaminhada para reservatórios por meio de calhas e condutores verticais e horizontais. Finalmente, a água passa por unidades de tratamento para atingir os níveis de qualidade correspondentes aos usos estabelecidos em cada caso (TOMAZ, 2010).

Para um eficiente sistema de aproveitamento de água de chuva recomenda-se responder determinados questionamentos antes da realização do projeto, como: a precipitação média mensal, a área total da superfície de captação, a caracterização físico-química e biológica da água armazenada, o dimensionamento do volume de descarte de acordo com respectiva área de captação, o tipo do reservatório de armazenamento, a destinação da água para demanda e qualidade e, o tratamento necessário para conformidade do uso (TOMAZ, 2010).

1.3.1 Dimensionamento

O volume é calculado a partir da relação entre o regime de chuvas local e a demanda por água. Dentre os métodos citados na NBR 15527:2007 destacam-se o Método de Rippl, Método da Simulação, Método de Azevedo Neto, Método Prático Alemão, Método Prático Inglês e Método Prático Australiano.

A metodologia comumente utilizada em aproveitamento de água de chuva é o de **Rippl** devido sua fácil aplicação e simplicidade (TOMAZ, 2010). Amplamente aplicado em lugares com grande variação de precipitações visto que utiliza o valor extremo do volume do reservatório para garantir a vazão constante até em períodos mais críticos de estiagem pelo diagrama de massas. Por isso os dados utilizados são da série histórica de dados das chuvas. Em resumo, o volume do reservatório é determinado a partir da área de captação, índices pluviométricos locais e demanda. Alguns autores destacam que este método é eficiente, contudo, possui a características de superdimensionar o volume necessário, especialmente por se tratar de um método igualmente utilizado para regularização de vazão a partir de grandes volumes de armazenamento e não para o aproveitamento de águas pluviais (MIERZWA *et al*, 2007).

No **Método de Simulação** a evaporação da água não é considerada no equacionamento de volumes. O método proposto por **Azevedo Neto**, o volume do reservatório é estimado em 4,2% do produto da precipitação média anual pela área de captação e pelos meses de estiagem, sendo a demanda não utilizada no cálculo. Esse método é semelhante ao **Método Prático Inglês** que utiliza o valor de 5,0 % do produto da precipitação média pela área de captação, sem também considerar a demanda do usuário pela água.

O **Método Prático Alemão** é um método empírico cujo volume mínimo do reservatório é de 6 % do volume anual do consumo ou da precipitação aproveitável. Por fim, o **Método Prático Australiano** considera as perdas por evaporação e o coeficiente de escoamento superficial em torno de 80 %.

Todos os métodos supracitados estão descritos na Norma Brasileira de Água de Chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis (NBR 15527:2007). No entanto, reitera-se que as metodologias desta norma correspondem essencialmente para a regularização de vazões e dimensionamento de reservatórios para abastecimento público ou geração de energia e não sistematicamente para o aproveitamento de águas pluviais (MIERZWA *et al*, 2007).

1.3.2 Superfície de Captação

A captação da água de chuva é realizada normalmente em áreas de coberturas ou telhados de edificações, sendo que determinadas áreas de pavimentos de grandes estacionamentos e pátios também podem ser utilizadas. Entretanto, estudos indicam que a água captada em áreas de telhados geralmente apresentam uma qualidade superior às áreas de maior circulação de pessoas e veículos (OHNUMA JR *et al*, 2013).

Os tipos de revestimentos utilizados nas áreas de captação de telhados interferem diretamente na qualidade da água no sistema de armazenamento. Entre os revestimentos citam-se: manta asfáltica, concreto armado, acrílico, vidro, plástico, aço galvanizado, zinco, fibrocimento e cerâmica. Dentre as opções citadas, recomenda-se o material com menor índice de absorção de água de modo a minimizar as perdas ao longo do sistema (PROSAB, 2006).

Em um estudo realizado pela universidade de Oregon foram analisadas diversas amostras entre elas duas provenientes de dois telhados de materiais diferentes: metal e manta asfáltica. No geral, os parâmetros tiveram resultado semelhante, porém a turbidez da água obtida pelo escoamento no telhado de manta asfáltica foi superior ao escoamento no metal, atribuído à coloração aplicada artificialmente neste material. Nesse caso, não é indicado aplicar cobertura de manta em áreas de captação de águas pluviais para o devido aproveitamento da água de chuva (MATT & COHEN, 2001).

Além do material utilizado no revestimento da cobertura, é fundamental que a área de captação apresente uma inclinação favorável ao escoamento da água para os reservatórios. No caso de telhados, a condução da água precipitada é realizada por calhas e condutores, no entanto em caso de captação em áreas pavimentadas são necessários cálculos especiais de modo que o sistema de drenagem seja dimensionado para receber o volume precipitado de toda área, inclusive de guias e sarjetas (PROSAB, 2006).

1.3.3 Calhas e condutores

As calhas e condutores utilizados no sistema de aproveitamento de água de chuva devem ser feitas exclusivamente de chapas de aço galvanizado, folhas-de-flandres, chapas de cobre, aço inoxidável, alumínio, fibrocimento, PVC rígido, fibra de vidro, concreto ou alvenaria (NBR 15527:2007). Além disso, é fundamental que ambos os coletores permitam a limpeza e a desobstrução de qualquer ponto no interior da instalação.

1.3.4 *First flush*

Os primeiros minutos de chuva são responsáveis pelo carreamento de poluentes atmosféricos e poluentes depositados sob a área de captação utilizada (TOMAZ, 2010). Nesse contexto, é fundamental o descarte dos primeiros minutos de chuva de modo a obter uma melhor qualidade da água reservada. Essa alíquota de descarte é denominada de *first flush*.

O volume do *first flush* varia, principalmente, em função da área de captação do sistema. Um estudo realizado pelo governo realizado no Texas sugere que o volume de descarte seja entre 0,4 e 0,8 mm, isto é, um volume inicial de 0,4 e 0,8 litros para cada m² de área de cobertura (TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, 1997). Outros estudos recomendam 0,8 a 1,5 litros.m⁻² (GOMES; HELLER & PENA, 2012; TOMAZ, 2010).

Além da área de captação, o volume de descarte necessário para manutenção da qualidade da água reservada depende da localização do sistema e da sazonalidade. A atmosfera de grandes centros urbanos possui alta carga de poluentes que afetam diretamente a qualidade da água precipitada como os óxidos nitrosos (NO_x) e os dióxidos de enxofre (SO₂), enquanto que em um ambiente rural a presença desses contaminantes tende a ser menor (BAIRD, 2002). Dessa forma, a chuva coletada em grandes centros urbanos tende a não apresentar as mesmas características de volumes coletados em ambientes naturais, logo torna-se necessário descartar um maior volume inicial precipitado para assegurar a qualidade da água. A sazonalidade é fundamental a partir do regime pluviométrico da região. Lugares com períodos de estiagem prolongados ocasionam maior carga de deposição seca sob a área de captação, assim o volume de chuva posterior ao período seco, tende a resultar qualidade inferior da água de chuva armazenada (HU; BALASUBRAMANIAN & WU, 2003).

O sistema de descarte geralmente consiste de uma tubulação com fechamento automático de boia (Figura 12). A água ao chegar a um nível pré-estabelecido, a boia fecha o condutor e encaminha a água mais limpa para o reservatório. Contudo, a boia pode ser dispensável e apenas o fechamento manual da válvula a cada evento já torna o sistema em operação, desde que haja acompanhamento sistemático dos níveis armazenados, de modo que não haja sobreposição de volumes em excesso.

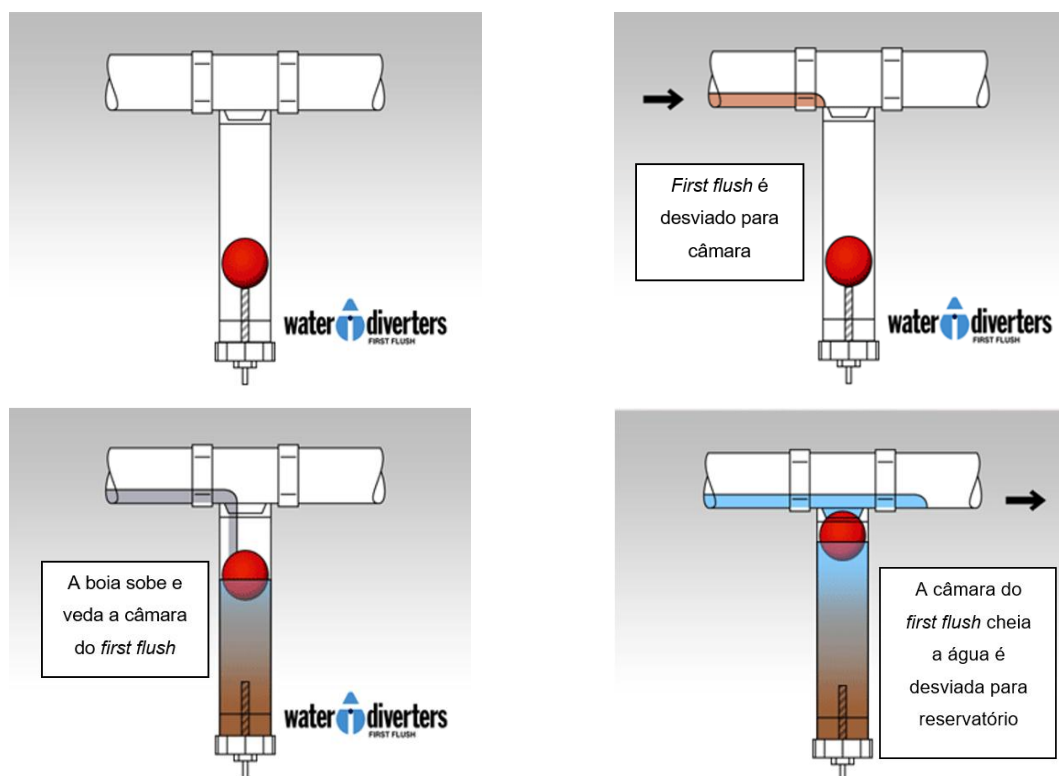


Figura 12: Sequência ilustrativa da água de descarte – *first flush* (Fonte: Water Diverters, 2015).

Outros métodos mais simples são descritos como a utilização de uma saída por gotejamento sem precisar do acionamento manual da válvula de descarte do *first flush* a cada evento de chuva (Figura 13).

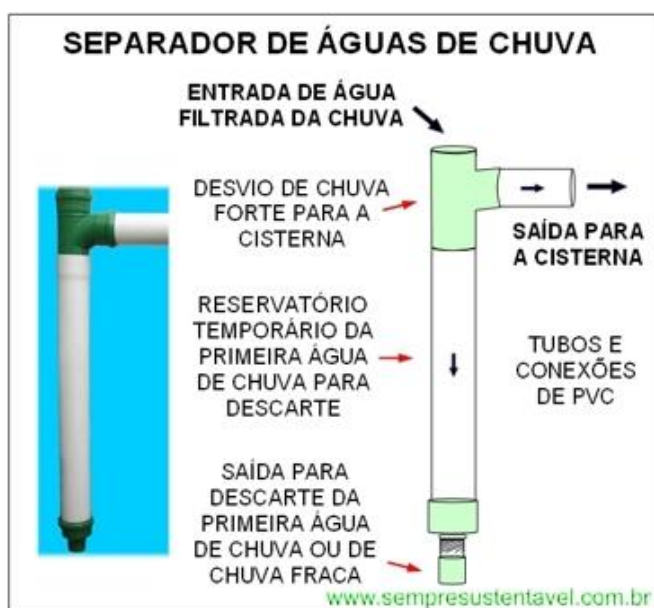


Figura 13: Sistema *first flush* por gotejamento (Fonte: www.sempresustentavel.com.br).

Assim como existem métodos simples de separação do escoamento inicial, há aqueles mais sofisticados, como o uso da válvula solenóide com a temporização entre 2 e 30 minutos, conforme determinado pelas áreas de coleta dos volumes precipitados.

1.3.5 Tratamento

Mesmo com o descarte do *first flush* algumas substâncias como fezes de aves, poeira, revestimento do telhado, resíduos de tinta podem permanecer na água da chuva sendo necessário a utilização de outros mecanismos de tratamento (PROSAB, 2006). A filtração através de membranas e desinfecção com cloro ou por radiação ultravioleta são algumas medidas de tratamento simples capazes de eliminar algumas dessas substâncias.

A Tabela 2 descreve os tratamentos necessários para cada destinação final da água coletada (PROSAB, 2006). Contudo, outros estudos indicam que em grandes centros urbanos, a filtração e a desinfecção são o mínimo necessário para qualquer utilização sem riscos (HU; BALASUBRAMANIAN & WU, 2003; TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD, 1997; ZHU *et al*, 2004).

Uso final	Tratamento necessário
Prevenção de incêndio, condicionamento de ar.	Nenhum tratamento
Fontes e lagoas, descargas de banheiros, lavagem de roupas e carros.	Manutenção adequada de calhas, condutores e reservatórios
Piscina/banho, consumo humano e preparo de alimentos.	Desinfecção

Tabela 2: Tratamentos necessários para diferentes aplicações da água da chuva. (Fonte: PROSAB, 2006).

1.3.6 Reservatórios

Após o descarte e o pré-tratamento a água é encaminhada para o reservatório de armazenamento para uso posterior. Esses reservatórios podem ser visíveis ou subterrâneos e constituídos de concreto armado ou alvenaria, plástico ou poliéster (Figura 14).



Figura 14: Exemplos de reservatórios de água da chuva subterrâneos e visíveis. (Fonte: Harvesting Brasil)

O tipo de reservatório a ser utilizado considera a área disponível e a destinação final da água reservada. Os reservatórios superficiais ou visíveis são indicados para locais que disponham de área livre, cuja destinação final independe do uso de bombas de recalque, como para: lavagem de áreas impermeáveis e irrigação de jardins. Por outro lado, reservatórios enterrados necessitam de bombeamento, seja ele manual ou mecânico. Em algumas situações, como no nordeste do Brasil, muitas vezes a população utiliza baldes para a retirada da água da cisterna, o que pode levar a contaminação da água em seu interior. Em outras situações, como nas edificações, o reservatório é comumente instalado logo abaixo do telhado, de maneira a evitar os gastos com o bombeamento da água (PROSAB,2006).

PROSAB (2006) estabelece algumas precauções fundamentais quanto a manutenção do reservatório a fim de assegurar a boa qualidade da água reservada, como:

- ◊ as paredes e a cobertura do reservatório devem ser impermeáveis;
- ◊ a entrada de luz deve ser evitada para evitar a proliferação de algas;
- ◊ a entrada da água no reservatório e o extravasor devem ser protegidos por telas para evitar a entrada de insetos e pequenos animais;
- ◊ o reservatório deve ser dotado de uma abertura para inspeção e limpeza;
- ◊ a água deve entrar no reservatório de maneira a não provocar turbulência e a ressuspensão de sólidos depositados no fundo;
- ◊ o reservatório deve ser limpo ao menos uma vez por ano para a retirada do lodo depositado no fundo.

1.4 Caracterização da água de chuva

As características físico-química e biológicas de volumes armazenados das águas pluviais variam de acordo com diversos fatores (PROSAB, 2006):

- ◊ a localização geográfica, como: áreas urbanas, rurais e regiões oceânicas;
- ◊ às condições meteorológicas, como: a intensidade, a duração e o tipo de chuva além dos regimes de ventos;
- ◊ a sazonalidade ocasionada pelas estações do ano,
- ◊ a presença de vegetação e
- ◊ a carga poluidora da atmosfera local.

De maneira geral, a chuva ocorre como agente dispersor de poluentes, capaz de carrear os contaminantes presentes na atmosfera através do processo de sedimentação do material particulado e dissolução dos gases (BAIRD, 2002). Este processo de remoção dos poluentes por carreamento é denominado de deposição úmida. Os contaminantes presentes na atmosfera variam de acordo com os fatores supracitados e podem afetar as características naturais da água da chuva.

Em grandes centros urbanos as atividades de construção civil, presença de indústrias e veículos influenciam diretamente na qualidade dos volumes precipitados, visto que liberam em grande quantidade de poluentes de ar os óxidos de carbono, enxofre e nitrogênio. Em áreas próximas ao oceano, ocorre a interferência de compostos de sódio, potássio, magnésio e cloro devido a influência direta do spray marinho. Por outro lado, em regiões do interior são registrados traços de compostos de origem continental como a sílica, alumínio, ferro, nitrogênio, fosforo e enxofre (BAIRD, 2002).

Outro fator supracitado capaz de influenciar diretamente a qualidade das águas pluviais é a sazonalidade ou períodos secos e úmidos que modificam a dinâmica dos poluentes. Estudos demonstram a interferência sazonal na qualidade das águas pluviais visto que em períodos secos há um maior acúmulo de contaminantes na atmosfera e na superfície de captação devido à ausência de chuvas (HU; BALASUBRAMANIAN & WU, 2003). Logo, as chuvas existentes no período secos

possuem maior concentração de poluentes quando comparadas àquelas observadas nos períodos úmidos. YAZIZ *et al* (1989), encontraram uma relação positiva entre um maior acúmulo de sólidos nos telhados estudados em períodos secos, ou seja, quanto maior o período de estiagem, maior a concentração de sólidos. Isso pode ser comprovado principalmente pelo aumento no valor de parâmetros como sólidos totais suspensos e turbidez, de acordo com o acúmulo de dias sem chuvas na região estudada.

Na Tabela 3 são apresentados resultados da qualidade da água das chuvas em diferentes regiões do Brasil e algumas cidades da Europa, Índia e Singapura. O pH ácido e as altas concentrações de sulfatos característicos de grandes centros urbanos foram detectados em amostras coletadas na cidade de São Paulo (TOMAZ, 2010) e Singapura (HU; BALASUBRAMANIAN & WU, 2003). Determinados estudos também comprovam o efeito da sazonalidade na concentração de íons na água, seja na Índia ou em Passo Fundo no Rio Grande do Sul, Brasil (DA CUNHA *et al*, 2009; KHARE *et al*, 2004).

Parâmetro	UND.	Florianópolis-SC, Brasil	Vitória-ES, Brasil	São Paulo-SP, Brasil	João Pessoa-PB, Brasil	João Pessoa-PB, Brasil	Grécia	Lucknow - Norte da Índia	Singapura	Passo Fundo-RS, Brasil	Itália	São Paulo-SP, Brasil	São Jose dos Campos-SP, Brasil	São Paulo-SP, Brasil	Cubatão-SP, Brasil	Caraguatatuba-SP, Brasil	Natal-RN, Brasil	São Paulo-SP, Brasil	São Paulo-SP, Brasil
		PROSAB, 2006	PROSAB, 2006	TOMAZ, 2010	Santos, Magno, Palmeira, Dantas, & Braga, 2007	Santos, Magno, Palmeira, Dantas, & Braga, 2007	Georgios e Vassilios (2012)	Khare, Goel, Patel, & Behari, 2004	Hu, Balasubramanian, & Wu, 2003	Rocca, Santi, & Dalmago, 2009	Naddeo, Scannapieco, & Belgiorno, 2013	Paiva et al. (1994)	Moreira-Nordeman et al. (1994)	Forti et al. (1990)	Moreira-Nordeman et al. (1994)	Moreira-Nordeman et al. (1994)	Moreira-Nordeman et al. (1994)	Rocha et al. (1998)	Gutz (2000)
Acidez	mg/L	2,7 ± 4	3,7±1,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Alcalinidade	mg/L	4,5 ± 3,1	1,8±1,9	18,8	13,4	6,5	41,56 ± 26,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Coliformes Totais	NMP/100mL	1770 ± 902	-	>65	93	9,00E+00	279 ± 110	-	-	-	152 ± 32	-	-	-	-	-	-	-	-
E.Coli	NMP/100mL	5,68 ± 12,8	-	-	0	0	-	-	-	-	328 ± 126	-	-	-	-	-	-	-	-
Condutividade	µS/cm	-	-	25,7	25	24	143,63 ± 67,09	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	0,14 ± 0,07	0,164 ± 0,151
Cor	UC	12,8 ± 10,6	-	23	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DBO	mg/L	-	2,7±1,6	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
DQO	mg/L	7,9 ± 6,0	8,9±8,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Dureza	mg/L	7,3 ± 3,9	8,4±9,2	19,6	21,4	20,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
N. Amoniacal	mg/L	0,7 ± 0,5	0,5±0,3	-	0	0	6,11 ± 4,19	0,082 ± 0,047	0,615	-	-	34,85 ± 78,70	-	-	-	-	-	36 ± 41	46,8 ± 52,1
Nitrato	mg/L	0,1 ± 0,2	0,2±0,2	3,1	0	0	0,628 ± 0,559	0,592 ± 0,285	0,246	-	-	28,37 ± 16,67	1,226	2,68	2,66	0,8	0,07	27 ± 21	22,2 ± 21,1
Nitrito	mg/L	0,0 ± 0,0	0,0±0,0	0,1	0	0,1	0,072 ± 0,122	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NTK	mg/L	3,4 ± 2,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
OD	mg/L	-	-	17,6	-	-	1,22 ± 0,92	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
pH	-	5,8 ± 1,1	6,1±0,9	6,7	6,72	5,24	6,67 ± 0,49	6,6 ± 0,3	4,2	5,9 ± 0,3	-	4,54 ± 0,50	-	-	-	-	-	5,2	4,75
SDT	mg/L	-	-	24	13,9	12,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
SST	mg/L	1,0 ± 0,9	7,9±6,8	2	-	-	8,97 ± 8,88	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Sulfatos	mg/L	0,6 ± 0,5	3,9±3,3	5,1	0	0	14,31 ± 6,27	0,535 ± 0,202	3,816	-	-	38,73 ± 21,32	2,289	3,314	8,63	1,67	0,35	21 ± 15	16,0 ± 23,7
Turbidez	UNT	1,6 ± 1,4	0,9±1,2	0,8	-	-	-	-	-	-	25,88 ± 3,62	-	-	-	-	-	-	-	-

Tabela 3: Caracterização da água da chuva

1.5 Legislação

No âmbito internacional a cidade de Bangalore na Índia, foi a primeira cidade a implementar uma política de aproveitamento de águas pluviais. O sistema foi impulsionado por uma necessidade de reduzir os custos de bombeamento e uso de energia com o fornecimento de água para a cidade. Na Austrália, devido à alta demanda na irrigação, foi elaborada uma legislação em 2007 para aumentar o número de implantação de sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Em resposta aos condomínios familiares que consomem mais de 70% do abastecimento de água em Sydney, o governo de Nova Gales do Sul criou o índice de sustentabilidade de edificações denominado BASIX. O programa garante que casas sejam projetadas para usar menos água potável e produzir menos gases de efeito estufa. A Bélgica também dispõe de uma legislação nacional que oferece suporte aos sistemas de aproveitamento de águas pluviais e exige que todas as novas construções tenham um sistema a ser usado para descarga de sanitários e usos externos. O estado do Arizona (EUA) foi a primeira cidade norte-americana a implantar sistemas de aproveitamento de águas pluviais, contudo somente a partir de 2010 foi instituído que 50% da água de irrigação de propriedade comercial deve ser fornecida a partir da água pluvial (PEIXE, 2012).

No Brasil destaca-se o Código das Águas - Decreto 24.643/1934 onde afirma que as águas pluviais pertencentes ao proprietário do prédio onde caírem diretamente, podem dispor delas à vontade. Contudo, não é permitido a construção de reservatórios de aproveitamento das águas pluviais sem licença da administração. A ABNT a partir da NBR 15527/2007 estabelece normas para projetos como instalação de dispositivo para remoção de sólidos grosseiros, dimensionamento, manutenção dos reservatórios; freios d'água para evitar a ressuspensão do sedimento depositado, a retirada da água do reservatório próxima à superfície e a qualidade da água para usos mais restritivos. Na instância federal esses são os principais marcos regulatórios relacionados ao aproveitamento da água de chuva.

No âmbito estadual e municipal são inúmeras as leis relacionadas aos sistemas de aproveitamento de águas pluviais. Dentre essas destaca-se o Decreto Estadual

nº 48.138, de 7 de outubro de 2003 da cidade de São Paulo que institui medidas de redução de consumo e racionalização do uso de água em órgãos públicos e de capital misto. No artigo 1º, parágrafo 1º, é decretado que é permitida somente a lavagem de ruas, calçadas, praças, pisos frios e áreas de lazer com água de reúso ou outras fontes como a pluvial, sendo expressamente vedada a lavagem com água potável, exceto em casos que se confirme existência de material contagioso ou outros que tragam danos à saúde. Outro marco que merece destaque é a lei do Estado de São Paulo 12.526, de 2 de janeiro de 2007 que estabelece normas para contenção de enchentes e destinação de águas pluviais. Em seu artigo 1º torna obrigatória a implantação de sistema para a captação e retenção de águas. A Tabela 4 traz as principais legislações a respeito de marcos regulatórios que incentivam a implantação de sistemas de aproveitamento de água pluviais no Brasil.

Região	Marco Regulatório	Município (Estado)	Ano	Principais Pontos
NORDESTE	Lei municipal de nº17.081	Recife (PE)	2005	Cria o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações. Determina a instalação de um sistema de captação de águas pluviais em atividades que não requerem o uso de água tratada.
	Projeto de Lei nº016/2012	Lauro de Freitas (BA)	2012	Obriga a implementação de mecanismo de captação e armazenamento de chuva. Torna essa implementação um requisito fundamental para o licenciamento da construção. Essas águas deveram ser utilizadas em atividades não potáveis.
NORTE	Lei nº 1.611	Rio Branco (AC)	2006	Institui o Plano Diretor da Cidade. Em seu Art. 71º, diz que deverão ser previstos reservatórios de aproveitamento de águas pluviais no interior de empreendimentos, que ainda serão regulamentados por leis específicas.
	Lei nº 1.192,	Manaus (AM)	2007	Cria o Programa de Tratamento e Uso Racional das Águas nas edificações – PRO-ÁGUAS. Incentiva a utilização das águas pluviais como fonte hídrica alternativa para atividades não potáveis. Ainda prevê incentivos para as construções já instaladas que queiram instalar tais sistemas.
	Projeto de Lei Nº. 1.364	Amapá	2009	Busca criar Programa de Captação de Água da Chuva. Descreve de forma simples quais os tipos de instalações devem ser utilizados para a captação e uso das águas pluviais. Ainda fala que as águas deveram ser utilizadas para atividades que não requeiram água tratada.
CENTRO-OESTE	Lei Complementar nº 155	Goiânia (GO)	2006	Descreve uma série de normas para a instalação do sistema de captação. Ainda diz que os projetos elaborados pela prefeitura deverão conter o sistema para aproveitamento da chuva em atividades não potáveis.
	Lei Complementar nº 150/2010	Campo Grande (MS)	2010	Cria o Imposto Ecológico. Dentre os incentivos previstos pela lei, está o desconto de 4% no IPTU, para o contribuinte que adotar um sistema de aproveitamento de águas pluviais.
SUL	Lei nº 10.785	Curitiba (PR)	2003	Cria o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE. Para o licenciamento de novas obras torna-se obrigatório a inclusão do sistema de captação e aproveitamento pluvial nos projetos hidráulicos das novas construções.
	Lei Ordinária, nº 10.506	Porto Alegre (RS)	2008	Institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas. Descreve como uma das ações de reaproveitamento das águas a captação, o armazenamento e a utilização da chuva

Região	Marco Regulatório	Município (Estado)	Ano	Principais Pontos
SUDESTE	Decreto Estadual nº 48.138	São Paulo	2003	Decreta que as áreas externas de instituições com participação pública em sua administração, deverão limpar suas áreas externa usando apenas água de reuso ou outras fontes (como água de Chuva).
	Lei Ordinária nº 9.242	Belo Horizonte (MG)	2006	Cria o Grupo Movimento das Águas. Visa capacitar e instrumentalizar os cidadãos com soluções de captação e uso de águas de chuva.
	Lei Estadual nº 12.526	São Paulo	2007	Estabelece normas para a contenção de enchentes e destinação de águas pluviais. Obriga a implantação de sistema para a captação e retenção de águas pluviais em lotes, edificados ou não, que tenham áreas impermeabilizada superior a 500m².
	Lei Ordinária nº 7079/2007	Vitória (ES)	2007	Institui o Programa de Conservação, Redução e Racionalização do Uso de Água nas Edificações Públicas. Prevê como algumas ações para conservação de água como: captação, armazenamento e utilização de água provenientes das chuvas.

Tabela 4: Marcos regulatório em diferentes regiões do Brasil. (Fonte: Ohnuma JR *et al*, 2013)

Em relação ao estado do Rio de Janeiro destaca-se a Lei Estadual nº 4.248, de 16 de dezembro de 2003 que instituiu o programa de captação de águas pluviais no âmbito do estado com finalidade de oferecer aos habitantes, educação e treinamento visando à captação de águas pluviais, de modo a permitir que as pessoas se conscientizem da importância do ciclo e uso das águas. O Decreto Municipal nº 23.940, de 30 de janeiro de 2004, torna obrigatória a adoção de reservatórios nos empreendimentos que tenham área impermeabilizada superior a 500 (quinhentos) metros quadrados para retardar o escoamento das águas pluviais na rede de microdrenagem ou encaminhada para outro reservatório de uso não potável. Outras leis merecem destaque como a Lei nº2.856/2011 de Niterói que estabelece diretrizes a respeito dos parâmetros de qualidade da água e então utilizada no presente trabalho (Tabela 5).

Parâmetros	ABNT NBR 15527	Lei nº2.856/2011 Niterói
Coliformes Totais	Ausência em 100 mL	Ausência em 100 mL
Coliformes Termotolerantes	Ausência em 100 mL	Ausência em 100 mL
Turbidez	< 2,0 UNT	< 5,0 UNT
Cor aparente	< 15,0 µH	< 15,0 µH
pH	6,0 a 8,0	6,0 a 9,0
Sólidos Dissolvidos Totais	-----	< 200,0 mg.L ⁻¹
Oxigênio Dissolvido	-----	> 2,0 mg.L ⁻¹

Tabela 5: Principais marcos regulatórios e normas utilizadas para análise de qualidade das águas pluviais.

2 METODOLOGIA

2.1 Área de Estudo

O sistema de captação e armazenamento de águas pluviais para fins de aproveitamento está localizado no Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira ou Instituto de Aplicação da UERJ, mais conhecido como CAP-UERJ, no bairro Rio Comprido, região central do município do Rio de Janeiro (Figura 15).

O bairro Rio Comprido possui alto adensamento populacional (13.102 hab.km⁻²) e intensamente urbanizado, localizado próximo aos bairros da Tijuca e Centro. É uma das principais zonas de transição entre as regiões norte e sul da cidade através da Avenida Paulo de Frontin e Elevado Engenheiro Freyssinet ambos possuem elevado tráfego de veículos (PICCOLI, 2014).

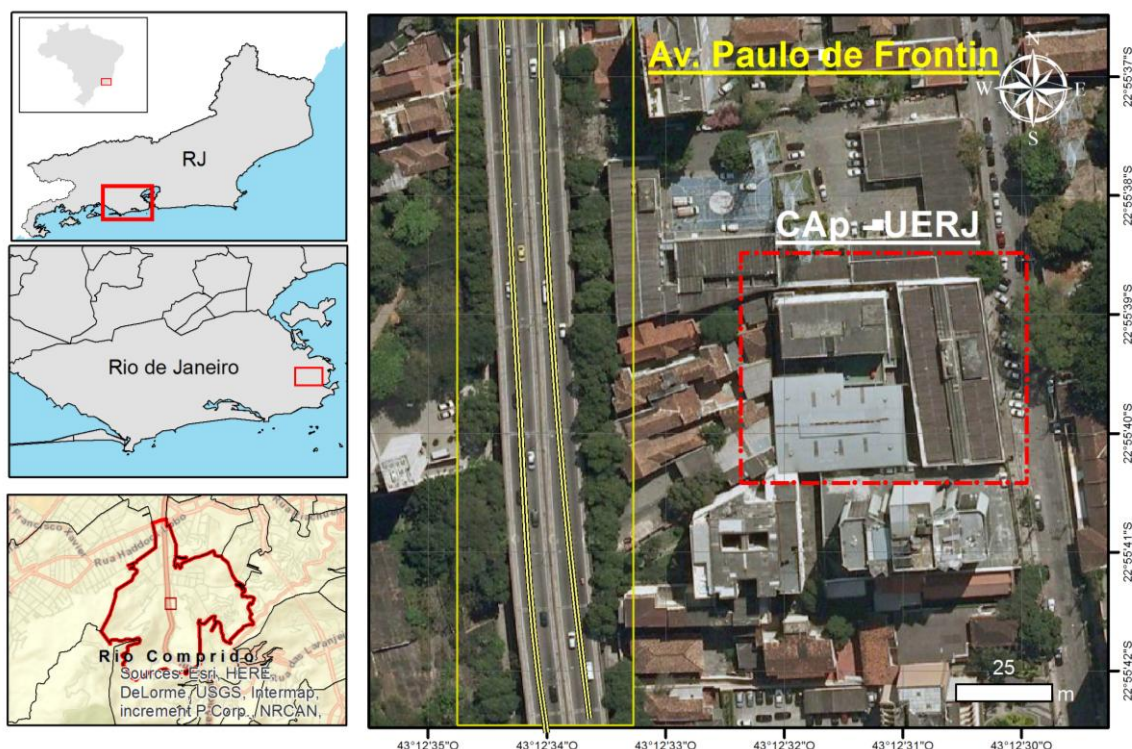


Figura 15: Mapa geográfico da localização do CAP-UERJ

Apesar do alto adensamento populacional urbano, o bairro é localizado próximo ao Maciço da Tijuca característico pela mata atlântica preservada. Contudo, a presença da cadeia montanhosa do maciço interfere diretamente na dispersão dos gases sendo fator relevante na interferência do clima na região (Figura 16).



Figura 16: Imagem 3D do Maciço da Tijuca em torno do CAp-UERJ. (Fonte: Google Earth, 2015)

2.2 Mecanismos do Sistema de Captação e Armazenamento de Águas Pluviais

O sistema de captação e armazenamento de águas pluviais consiste em quatro fases principais: captação, calhas e condutores, descarte e reservação.

2.2.1 Captação

A superfície de captação de águas pluviais é o telhado da quadra poliesportiva do CAp-UERJ com área aproximada de 80 m². Trata-se da maior área disponível de captação na instituição considerada apropriada pela facilidade de execução das instalações hidráulicas, e ser constituída de material em conformidade com a NBR 10844/1989. O telhado de alumínio é um dos tipos de materiais considerados adequados ao uso em sistemas de captação de águas pluviais, embora possam interferir na qualidade da água armazenada (MENDEZ *et al*, 2011; OHNUMA JR *et al*, 2013). O levantamento da área de contribuição foi realizado a partir de um evento de chuva simulado conforme indicado pela declividade da calha (Figura 17).

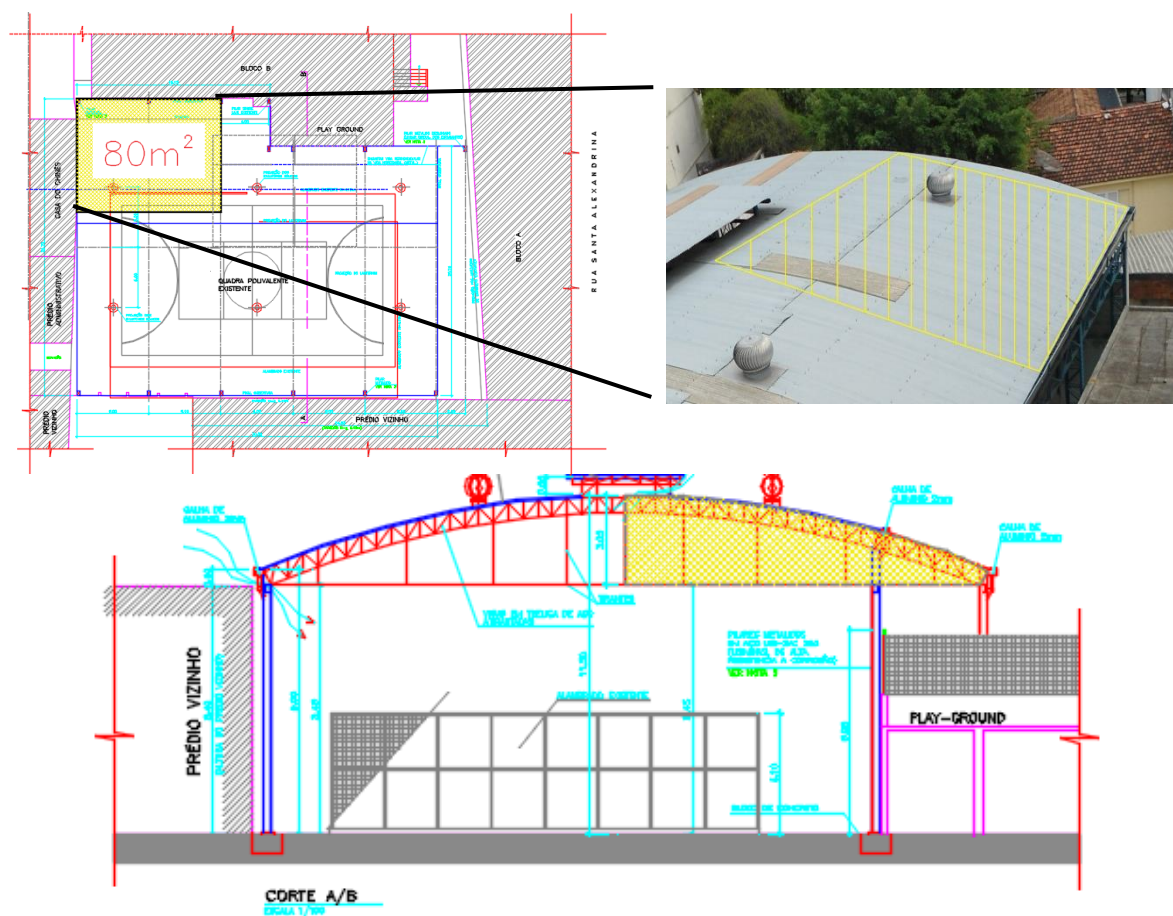


Figura 17: Esquema da superfície de captação do sistema.

2.2.2 Calhas e condutores

A água proveniente do telhado é transportada por calhas até os condutores verticais que a levam para o sistema de descarte e reservação localizados em uma área restrita do CAP-UERJ. A calha é composta de alumínio e os condutores verticais de PVC (Figura 18).

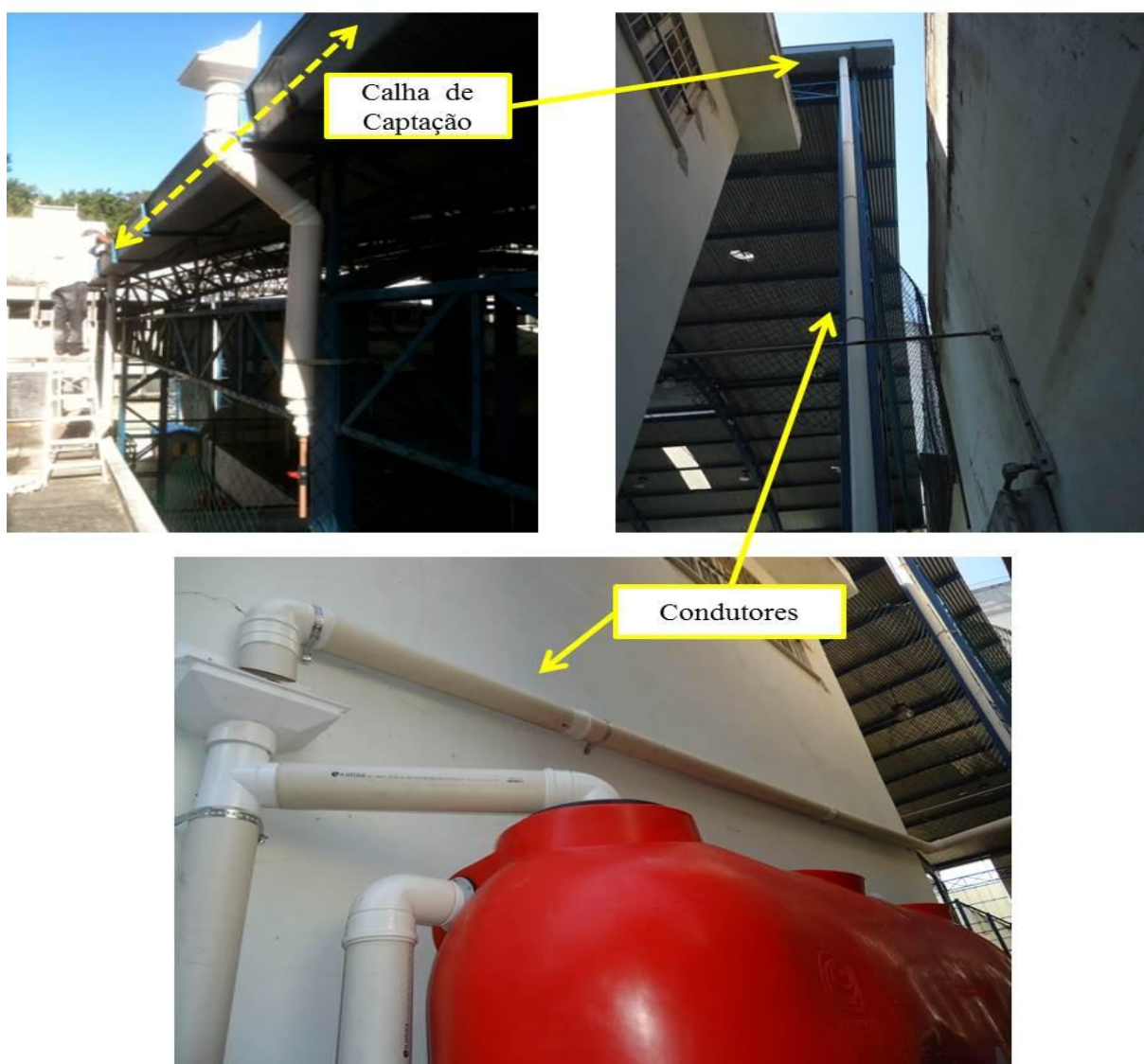


Figura 18: Calhas e condutores (Fonte: PICCOLI, 2014).

2.2.3 Descarte

Antes de chegar no volume de descarte ou *first flush* toda a água captada passa por uma filtragem de material grosseiro para retirada de folhas e detritos através de uma malha inox de 1,0 mm (Figura 19).



Figura 19: Separados de galhos e folhas.

Após o processo de filtragem a água captada passa pelo *first flush* com capacidade para desviar ou armazenar no sistema aproximadamente 12 (doze) litros de volume de chuva precipitado. O sistema de boia interna à tubulação veda automaticamente o tubo até sua capacidade máxima, como uma válvula de retenção (Figura 20). Após captados doze litros a água é direcionada ao reservatório. Devido às condições locais de implantação do sistema, o armazenamento no *first flush* instalado corresponde a cerca de 0,15 mm de chuva.

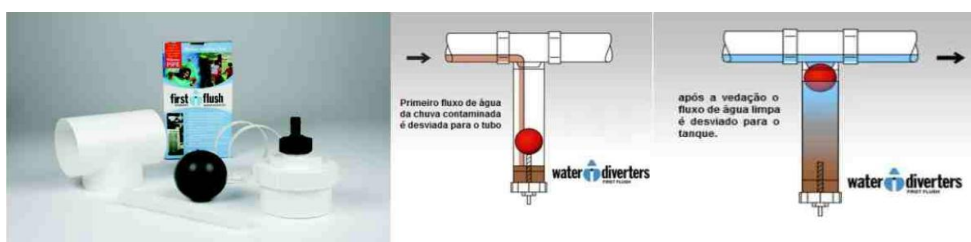


Figura 20: Sistema de boia de vedação do *first flush*

2.2.4 Reservação

Após a passagem pelo *first flush* a água captada é finalmente armazenada no reservatório. O reservatório de polietileno é o modelo *Fatboy Slim* comercializado pela Harvesting Brasil, importado da Austrália, com capacidade para armazenar 2.460 litros (Figura 21).

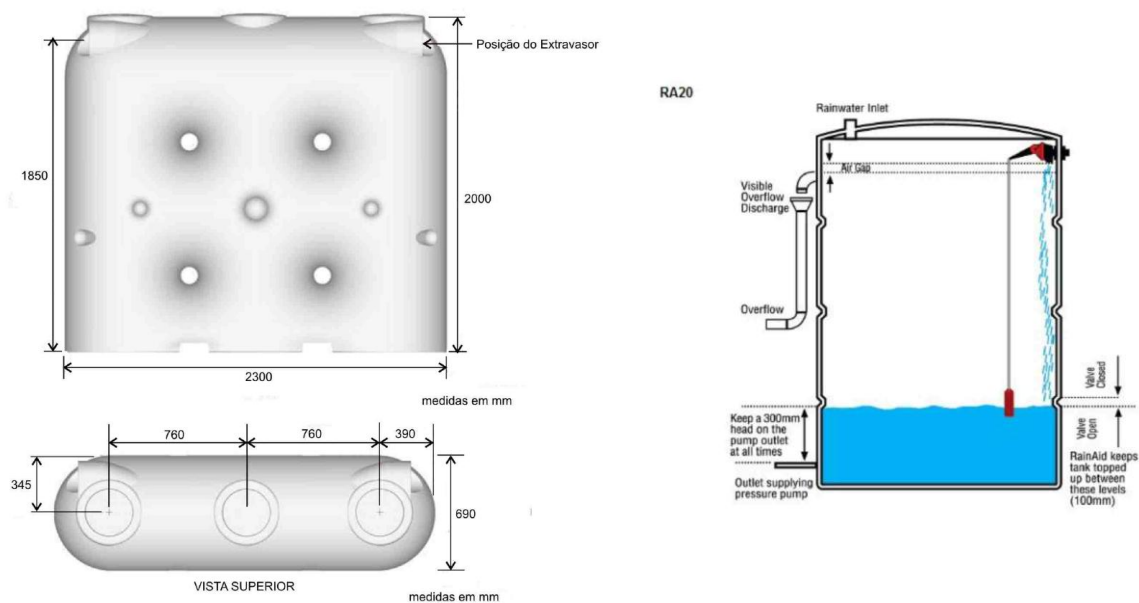


Figura 21: Reservatório com capacidade para 2.460 litros (Harvesting Brasil, 2012)

2.3 Malha Amostral

A caracterização físico-química e biológica das águas pluviais armazenadas no sistema de captação consiste da seleção de 4 (quatro) pontos de coleta: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório (RR) e volume morto (VM).



O ponto da precipitação direta (PD) tem como objetivo analisar as características da água da chuva sem quaisquer influências do sistema de captação. Ou seja, trata-se da caracterização da água da chuva diretamente da atmosfera, livre do contato de superfícies. O reservatório de PVC com capacidade de cerca de 5,5 litros da precipitação direta consiste de um tubo de 100 mm de diâmetro e altura de 0,7 m com malha inox no topo para evitar a entrada e contaminação por folhas e detritos.

O armazenamento do volume do *first flush* (FF) tem como objetivo a caracterização dos primeiros minutos de chuva de modo avaliar se a qualidade da água é inferior aos volumes posteriores. O volume retido no *first flush* é considerado de lavagem de toda atmosfera e superfície de captação, portanto, fundamental para diagnosticar a situação atmosférica antes de cada evento.

A qualidade do volume armazenado no reservatório (RR) é fundamental para avaliar a eficácia do sistema de pré-filtragem e assim destinar o uso correto da água captada. A partir de análises de parâmetros específicos é possível aprimorar as técnicas de tratamento e/ou propor mudanças físicas na instalação do sistema de captação como, por exemplo, no aumento do volume de descarte inicial ou *first flush*.

O volume morto (VM) armazenado para análise tem como finalidade principal efetivar a CODa de nível d'água do sistema de aproveitamento de modo a garantir volumes de melhor qualidade, sobretudo devido ao processo de decantação.

Durante o período de coletas, procurava-se esvaziar os reservatórios à medida que novos eventos ocorriam, de modo a evitar interferências e a sobreposição nos volumes armazenados.

2.4 Análises de qualidade da água *in situ*

As análises dos volumes armazenados *in situ* foram realizadas com a sonda multiparâmetros HORIBA modelo U52 previamente calibrada com a solução padrão HORIBA de pH 4,0(Figura 22). Os parâmetros analisados com a sonda foram: salinidade, oxigênio dissolvido (OD), turbidez, pH, temperatura, potencial de oxi-redução (ORP) e sólidos dissolvidos totais (TDS).

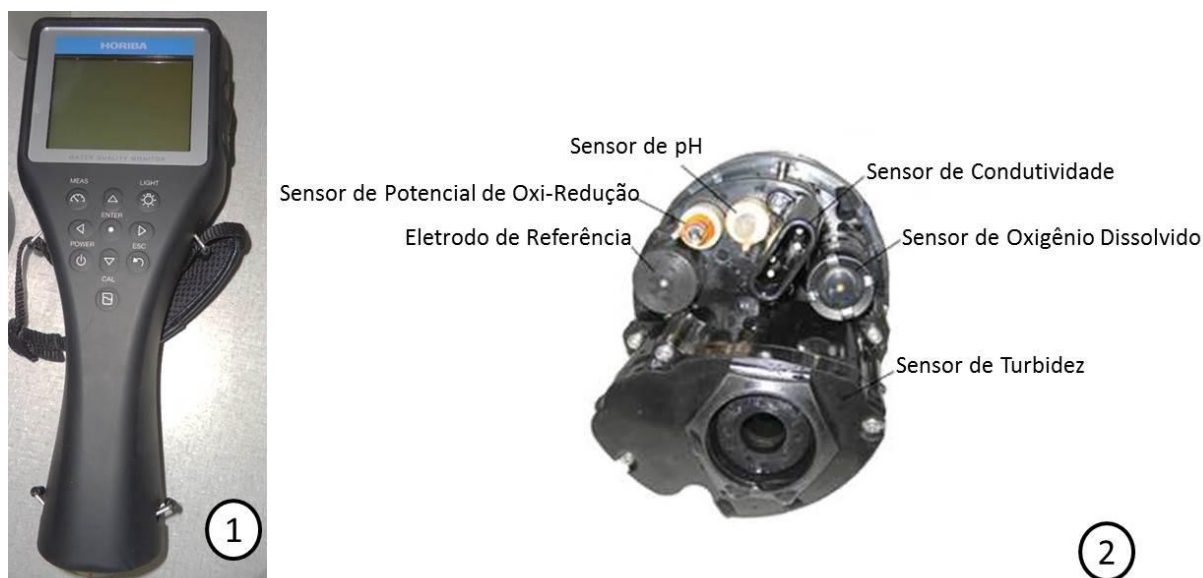


Figura 22: Sonda Multiparâmetros HORIBA U52.

O protocolo de análise da qualidade da água com a sonda era ordenado de modo não contaminar as amostras, sendo: (1º) Precipitação Direta (PD); (2º) Reservatório (R); (3º) Volume Morto (VM) e (4º) *First flush* (FF). Quando finalizada a análise em um determinado ponto de coleta, a sonda era lavada com água deionizada a fim de minimizar possíveis interferências, cujos resultados eram anotados em planilhas de campo e transcritos em planilhas digitais.

2.5 Análise de qualidade da água *ex situ*

Para análise *ex situ* era coletado um litro de água condicionado em frascos de polipropileno e conservados no gelo para posterior análise no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES), na Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ) (Figura 23). Para análises de colimetria foi contratado o laboratório particular Hidroquímica.



Figura 23: Metodologia para amostras de coleta de água de chuva *ex situ*.

As amostras condicionadas à temperatura ambiente eram homogeneizadas e então retirada a alíquota necessária de cada procedimento. Para análise foi utilizada

vidraria básica de laboratório (becker, balão volumétrico, pipeta volumétrica, tubo de ensaio), pipetas automáticas e espectrofotômetros. Os parâmetros analisados no laboratório consistiram de: alcalinidade, cor, nitrogênio amoniacal, sulfato, carbono orgânico dissolvido e dureza. As metodologias empregadas basearam-se no *Standard Methods* (APHA; AWWA & WEF, 2012) - Tabela 6.

VARIÁVEIS	MÉTODOS ANALÍTICOS
Alcalinidade	¹ SMEWW 22:2005-2320 B
Dureza	¹ SMEWW 22:2005-2340 C
Carbono orgânico dissolvido	² USEPA 415.3
Nitrogênio amoniacal	¹ SMEWW 22:2005-4500.NH ₃ -D
Cor	¹ SMEWW 22:2005-2120 C
Sulfato não dissociado	¹ SMEWW 22:2005-4500 D
Colimetria	¹ SMEWW 21:2005-4500 D

Tabela 6: Metodologia de análise das variáveis de água *ex situ*.

⁽¹⁾ SMEWW – *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*.

⁽²⁾ USEPA – *United States Environmental Protection Agency Test Methods*.

2.6 Período Amostral

As coletas foram realizadas com objetivo de abranger os períodos chuvosos e secos, com amostragens de dezembro/2014 à dezembro/2015, correspondendo à 21 (vinte e uma) coletas. Devido ao recurso fornecido a colimetria foi realizada apenas três vezes ao longo do estudo.

2.7 Pluviosidade

Em relação ao índice pluviométrico foram utilizados os dados disponibilizados pelo sistema Alerta Rio, gerenciado pela Prefeitura do Município do Rio de Janeiro (ALERTA RIO, 2013).

A estação utilizada foi a de número 4 denominada Tijuca localizada no Centro de Estudos do Sumaré, distante aproximadamente 1.800 m do CAP-UERJ. Os dados gerados por essa estação são os que melhor representam a situação pluviométrica da região estudada (ALERTA RIO, 2013).

2.8 Análises estatísticas dos parâmetros de qualidade de águas pluviais

Os dados referentes à qualidade da água foram apresentados na forma de gráficos de barras, divididos entre os pontos de coleta (*first flush*, precipitação direta, reservatório e volume morto). Quando aplicável, é apresentada uma linha tracejada vermelha que representa o limite da legislação vigente. Os resultados obtidos são comparados aos limites propostos na Lei nº 2.856/2011, do município de Niterói e, quando aplicável, é utilizado também os limites propostos pela NBR 15.527/2007.

A tendência geral do sistema de aproveitamento foi avaliada pela média das estações de coleta $\pm$ o desvio-padrão (abreviado com a sigla D.P.). Essa medida descreve a dispersão dos dados em torno da média, responsável por indicar a variação dos valores encontrados (VIEIRA, 2008). Assim, quando o desvio-padrão é maior do que a média, indica ampla variação dos resultados obtidos e, portanto, a média pode não ser representativa do valor real encontrado para um determinado parâmetro.

De modo a complementar as análises, foram também utilizados gráficos do tipo *box-plot*. No *box-plot* (Figura 24) são apresentadas as medidas de tendência central como:

- a média, representada por um losango e a mediana, representada por uma linha horizontal,
- a amplitude dos resultados, representado pelo mínimo e máximo não *outlier*, com as medidas de dispersão - linhas verticais),
- os quartis, representados inferior e superiormente por uma caixa e
- os resultados *outliers*, com círculos fora da área da caixa.

As medidas de tendência central indicam o valor do ponto em torno do qual os dados se distribuem, enquanto que as medidas de dispersão indicam em qual faixa os dados se encontram, sendo essa variância representada pelos resultados mínimo e máximo. Os quartis são os valores que dividem um conjunto de dados em quatro partes (25 %, 50 %, 75 % e 100 %), após a ordenação dos resultados, sendo considerada pela literatura somente a faixa entre 25 % (quartil inferior) e 75 %

(quartil superior). Os *outliers* são aqueles dados que se apresentam muito afastados do conjunto, ou seja, são os resultados extremos.

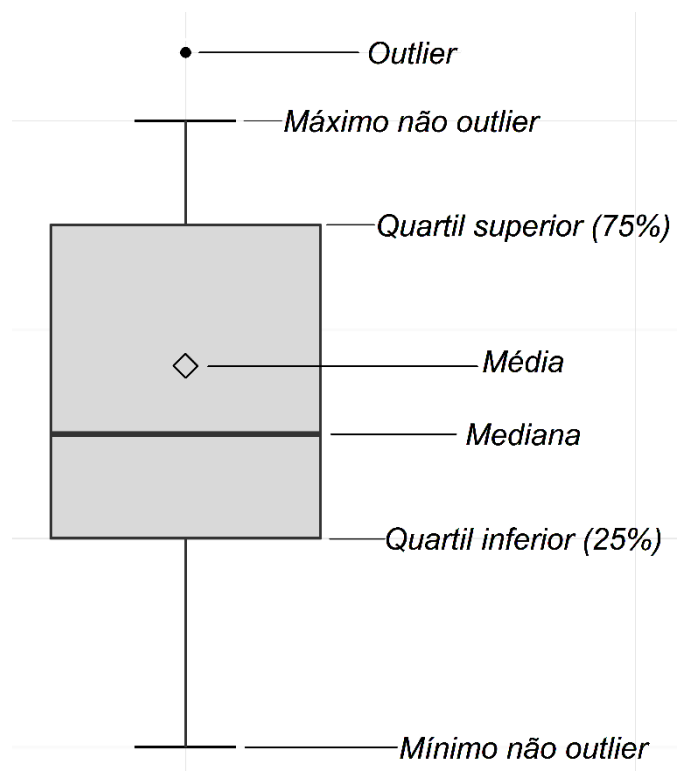


Figura 24: Esquema com variáveis utilizadas no gráfico do tipo *box-plot*.

A partir dos resultados obtidos foram realizadas análises estatísticas com auxílio do software livre “R” para o sistema operacional Windows®. Foi utilizado o teste de *Shapiro-Wilk* (teste W) para analisar a normalidade dos dados e homogeneidade das variâncias. Devido aos dados não apresentarem distribuição normal e variâncias homogêneas, foi aplicado o teste não paramétrico *Kruskal-Wallis* (equivalente a ANOVA).

O teste de *Mann-Whitney*, não paramétrico, foi utilizado para a comparação dos resultados entre os períodos secos e chuvosos. Esse teste é utilizado para avaliar a hipótese da nulidade de que dois grupos ou mais possuem a mesma distribuição. Os quatro pontos de coleta foram comparados no teste *Kruskal-Wallis* e *post-hoc* (*a posteriori*). Estes testes são análises não paramétricas, sendo o primeiro utilizado para comparar se as medidas de duas ou mais amostras diferem entre si. Para o teste *post-hoc* (*a posteriori*) foi utilizado o teste de comparação múltipla após

Kruskal-Wallis. Este teste *post-hoc* indica quais grupos se diferenciaram para o grau de significância desejado.

Foi realizada também a análise de componentes principais (PCA) como um procedimento estatístico multivariado que estabelece, a partir de uma matriz de correlação, um conjunto de fatores ou eixos correlacionados. Os fatores são organizados em ordem decrescente de variância, logo o componente 1 ou fator 1 é o que representa a maior variância, e diminuem sucessivamente a cada componente (VALENTIN, 2012). A projeção das amostras pode ser baseada na matriz de correlação entre os resultados brutos e os fatores da PCA. Antes de ser realizada a PCA, os resultados foram padronizados como média = 0 e desvio-padrão = 1, devido à sensibilidade da análise e à normalidade. A utilização da PCA permite a identificação da relação entre as amostras baseada nas características de cada uma delas.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Pluviosidade

A cidade do Rio de Janeiro, assim como a maioria das cidades da Região Sudeste, apresenta características singulares no regime pluviométrico, cujo período hidrológico pode ser dividido em períodos secos, entre abril e outubro, e períodos chuvosos, entre novembro e março. A série histórica de dados pluviométricos desde 1997 revela que os anos de 2014 e 2015 representaram um período atípico no comportamento das chuvas no município do Rio de Janeiro, devido à forte estiagem que atingiu a região Sudeste (Tabela 7). Alguns meses, como em outubro de 2014, registraram diminuição queda de até 77 % em relação à média de 1997 à 2013, além de representar redução de até 71 % no volume de chuvas, quando comparado a Normal Climatológica do INMET (D'ORSI *et al*, 2015).

Precipitação acumulada													
ANO	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ	TOTAL
1997	195	34	80	86	68	38	21	48	74	107	129	119	999
1998	418	527	216	126	245	77	67	56	242	248	133	246	2601
1999	168	78	181	123	105	152	92	39	109	95	108	95	1345
2000	133	142	119	35	39	16	54	109	190	52	101	171	1161

2001	28	43	114	38	119	79	95	8	63	69	104	402	1162
2002	71	132	49	32	103	85	25	28	135	67	271	322	1320
2003	243	2	252	110	78	35	37	228	97	264	369	149	1864
2004	257	162	113	140	59	26	238	24	59	58	216	153	1505
2005	193	106	193	260	86	17	139	15	239	185	180	286	1899
2006	226	126	105	256	169	174	37	54	172	122	215	84	1740
2007	127	118	14	118	202	67	106	18	39	208	220	252	1489
2008	186	125	247	219	74	62	45	146	112	92	205	128	1641
2009	272	122	94	237	55	73	110	58	132	226	129	464	1972
2010	220	62	339	496	90	71	127	33	58	176	108	288	2068
2011	104	87	150	357	171	40	47	36	57	138	33	173	1393
2012	180	14	91	101	100	148	47	21	125	74	120	28	1049
2013	354	83	358	85	169	43	172	22	75	89	138	221	1809
2014	51	34	115	167	28	83	87	39	40	51	77	45	817
2015	78	88	137	118	40	131	13	10	130	10	197	80	1034
MÉDIA	184	110	156	163	105	75	82	52	113	123	161	195	1519

Tabela 7: Índice Pluviométrico (mm) do Sistema Alerta Rio – Estação 4 (Tijuca). (Fonte: Alerta Rio)

A Tabela 7 indica que a média total do ano de 2015 com valor precipitado de 1.034 mm foi menor que a normalmente encontrada de 1.519 mm. A Figura 25 ilustra a diferença histórica entre as médias mensais pluviométricas obtidas na estação 4-Tijuca (Figura 25).

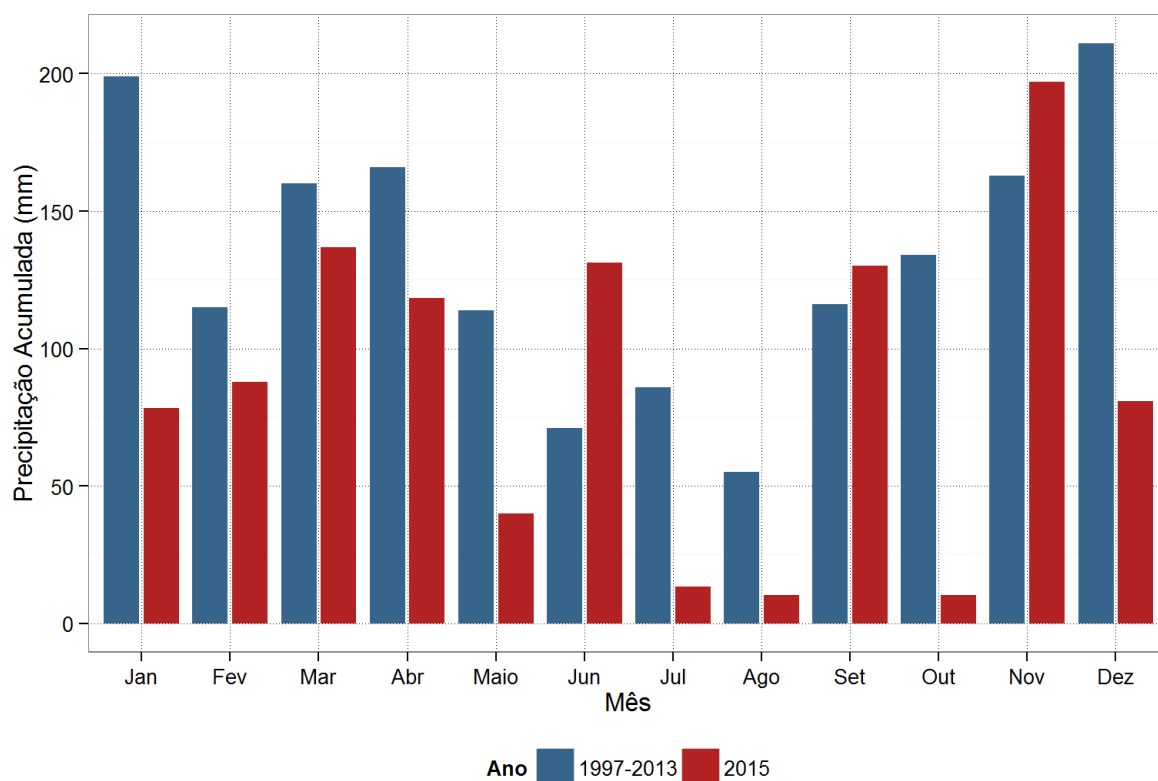


Figura 25: Precipitação acumulada na estação Tijuca.

3.2 Potencial Hidrogeniônico (pH)

O pH ou potencial hidrogeniônico representa um papel fundamental em ecossistemas aquáticos, cujo valor indica a quantidade de prótons H^+ , sua acidez, neutralidade ou alcalinidade de uma determinada solução aquosa. Na análise do pH é possível prever a ocorrência de corrosividade ou incrustações (PEIXE, 2012). A água da chuva é naturalmente ácida com pH em torno de 5,6, devido ao dióxido de carbono (CO_2) atmosférico que em contato com água forma o ácido carbônico (H_2CO_3). Contudo, essa acidez pode ser intensificada na presença de poluentes primários como o dióxido de enxofre, óxidos e nitrogênio (SO_2 e NO_x), originando poluentes secundários como ácido sulfúrico (H_2SO_4) e ácido nítrico (HNO_3) que interferem de diferentes formas no ambiente como a degradação de fachadas, estátuas e alteração da biogeoquímica dos nutrientes no solo; além da fisiologia de animais aquáticos (BAIRD, 2002).

No presente estudo o pH nos quatro pontos de coleta oscilou entre 2,93 e 6,54 com média geral de $5,33 \pm 0,81$. Nessas análises, no geral as amostras coletadas no

sistema de captação apresentaram caráter de chuva ácida atribuída a queima de combustível fóssil por automóveis em trânsito na região. Na Escócia já foram reportados valores menores que o mínimo deste estudo com pH igual à 2,40. Em outras regiões da Europa como Reino Unido o pH da chuva oscila entre 4,0 e 4,5 (BAIRD, 2002). Em Singapura foram reportados pH médio de 4,2 (HU; BALASUBRAMANIAN & WU, 2003). Valores equivalentes aos reportados no atual trabalho são comumente encontrados em grandes centros urbanos como Singapura, São Paulo, Tokyo, Seoul, Hong Kong e Bangkok (HU; BALASUBRAMANIAN & WU, 2003; ROCCA; SANTI & DALMAGO, 2009; VIEIRA-FILHO; LEHMANN & FORNARO, 2015).

Em relação à sazonalidade às médias obtidas foram similares com $5,36 \pm 0,80$ no período seco e $5,37 \pm 0,80$ no período chuvoso. Esta similaridade foi comprovada pelo teste estatístico que não revelou diferenças significativas, conforme o *Teste de Kruskal-Wallis* com valor de p igual à 0,767.

Na legislação vigente, cerca de 79 % de todas as amostras estiveram em desconformidade com o limite mínimo de 6,0 estipulado pela Lei Municipal de Niterói nº 2.856/2011. Ou seja, 66 (sessenta e seis) de um total de 84 (oitenta e quatro) amostras estiveram abaixo do mínimo estipulado (Figura 26).

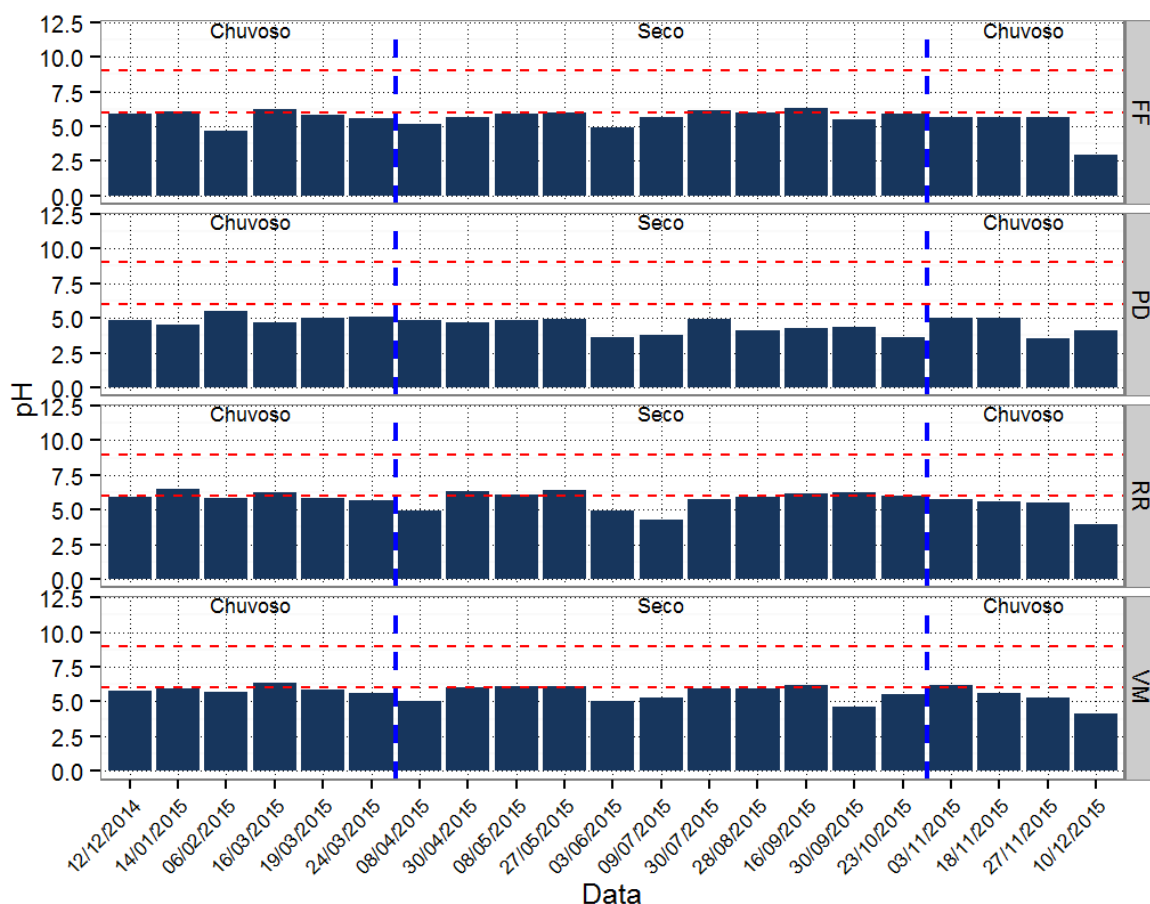


Figura 26: Variação do pH por ponto de coleta.

Nos pontos de coleta, a precipitação direta (PD) apresentou a menor média com $4,67 \pm 0,69$ (Figura 27). Em contrapartida o maior pH médio foi observado no reservatório (RR) com $5,72 \pm 0,68$. O teste *a posteriori* revelou diferenças estatisticamente significativas entre a precipitação direta (PD), o *first flush* (FF) e o reservatório (RR) pelo Teste de *Kruskal Wallis* com valor de *p* menor que 0,05. De maneira geral, o pH médio registrado no reservatório (RR) não foi característico de chuvas ácidas, ou seja, pH acima de 5,6. Entretanto, ficou abaixo do recomendado pela legislação vigente que limita o pH maior que 6,0. Pode-se afirmar as médias obtidas neste trabalho estão coerentes com o registrado ao redor do globo em grandes centros urbanos. O fato da precipitação direta (PD) apresentar o menor pH médio dentre as quatro estações ou pontos de coleta está atribuído, sobretudo a uma maior temperatura registrada no ponto observado, visto que quanto maior a temperatura maior é a dissociação das moléculas de água em íons hidrogênio e oxigênio, logo, a maior proporção de hidrogênio aumenta o potencial hidrogeniônico da amostra observada (BAUMGARTE & POZZA, 2001).

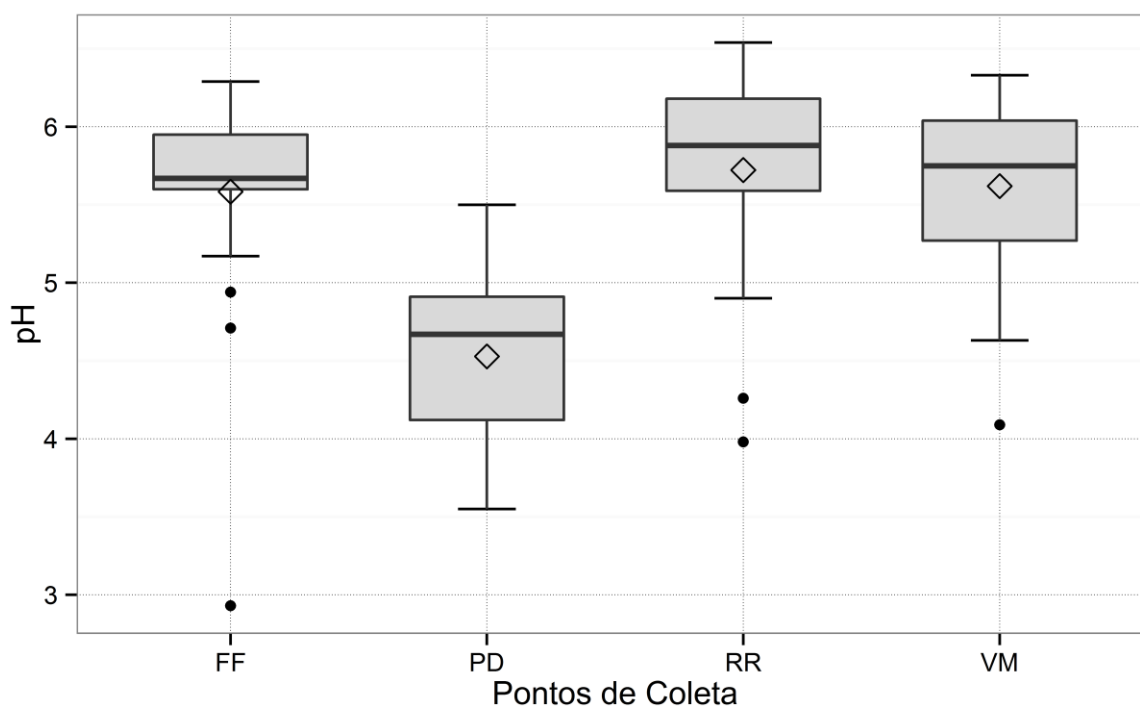


Figura 27: Box plot do pH nos pontos de coleta

3.3 Alcalinidade

Chapman & Kimstach (1992) mencionam a definição de alcalinidade como sendo a capacidade da água de neutralizar os ácidos presentes na água. As principais fontes de alcalinidade em águas naturais são bicarbonatos (HCO_3^-), carbonatos (CO_3^{2-}) e hidróxidos (OH^-). Águas de baixa alcalinidade ($< 24 \text{ mg.L}^{-1}$) apresentam baixa capacidade de tamponamento, e assim, estão sujeitas às alterações no pH. Baird (2002) destaca que, em lagos a alcalinidade costuma ser utilizada para medir a capacidade da manutenção da vida das plantas aquáticas.

A alcalinidade observada no presente estudo oscilou abaixo do limite de quantificação do método ($1,0 \text{ mg.L}^{-1}$), com valor máximo de até $147,80 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 28). A média geral foi de $16,34 \pm 22,96 \text{ mg.L}^{-1}$, sendo que o desvio padrão superior à própria média evidencia a alta flutuabilidade dos resultados ao longo do estudo.

A comparação com as legislações vigentes não foi possível visto que não mencionam limites para este parâmetro. Em relação a sazonalidade o período seco apresentou alcalinidade superior ao período chuvoso com médias de

$18,22 \pm 28,33 \text{ mg.L}^{-1}$ e $14,28 \pm 15,12 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. Contudo, devido à alta variabilidade observada não é possível afirmar influências diretas do período hidrológico na alcalinidade da água da chuva. Além disso, o teste estatístico empregado pelo teste de *Kruskal-Wallis*, com valor de p igual a 0,896 não revelou diferenças significativas entre os períodos.

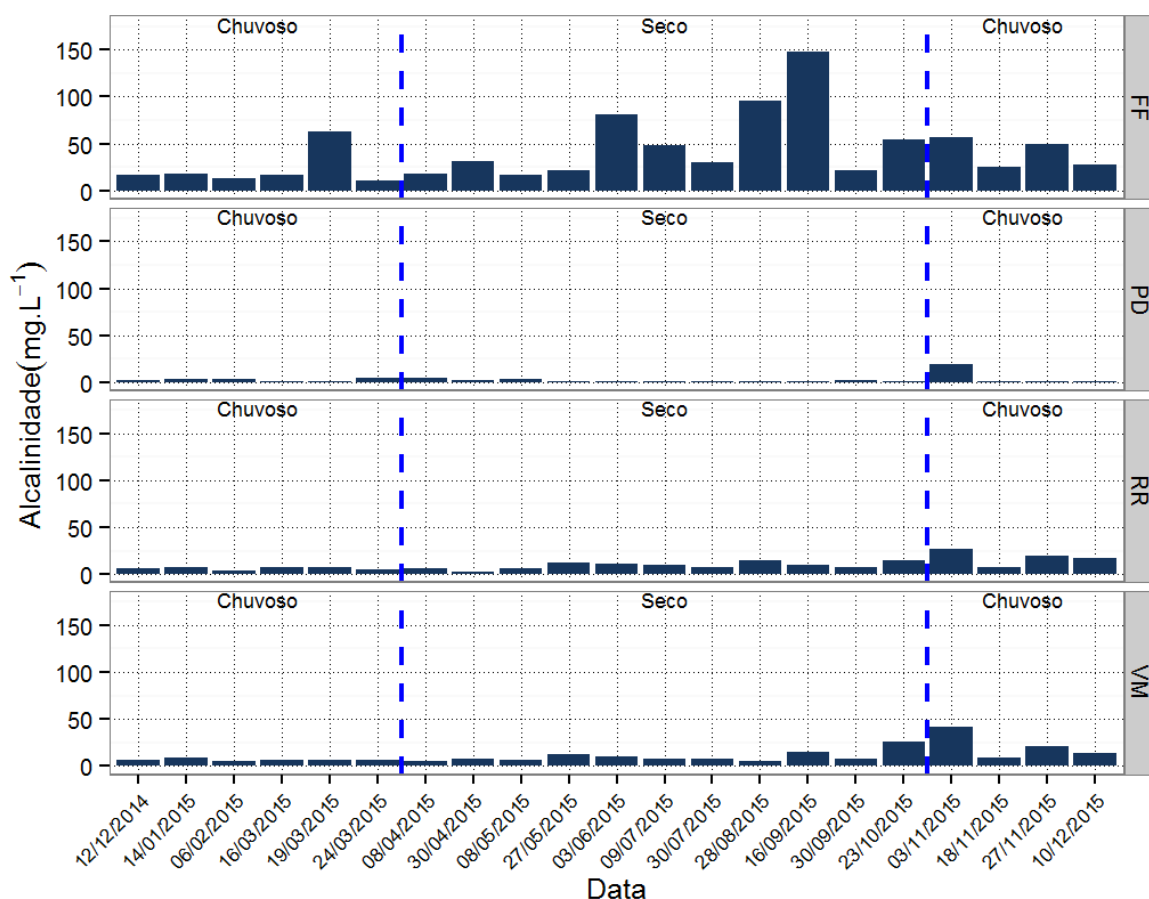


Figura 28: Variação da alcalinidade (mg.L^{-1})

Em relação as estações de coleta, a alcalinidade é diretamente proporcional ao pH, ou seja, quanto menor o pH menor tende a ser a alcalinidade. Logo, os resultados apresentados mostram coerência nos valores obtidos como aqueles referentes a precipitação direta (PD) que apresentaram a menor alcalinidade dentre os quatro pontos de coleta com média de $5,62 \pm 7,94 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 29). Em contrapartida as amostras do *first flush* apresentaram a maior média com $41,21 \pm 33,89 \text{ mg.L}^{-1}$. O reservatório e o volume morto apresentaram concentração intermediária com $10,19 \pm 7,51$ e $11,11 \pm 8,94 \text{ mg.L}^{-1}$, respectivamente. Em um estudo realizado em vários pontos na Grécia a alcalinidade do *first flush* (FF) e do

reservatório (RR) do sistema situado em área urbana apresentou média semelhante ao reportado no atual trabalho com $54,20 \pm 40,20 \text{ mg.L}^{-1}$ no FF e $12,20 \pm 6,40 \text{ mg.L}^{-1}$ no RR (GIKAS & TSIHRINTZIS, 2012). Em outro estudo realizado na cidade de São Paulo a alcalinidade da água de chuva também foi semelhante com valores em torno de $18,80 \text{ mg.L}^{-1}$ (TOMAZ, 2010).

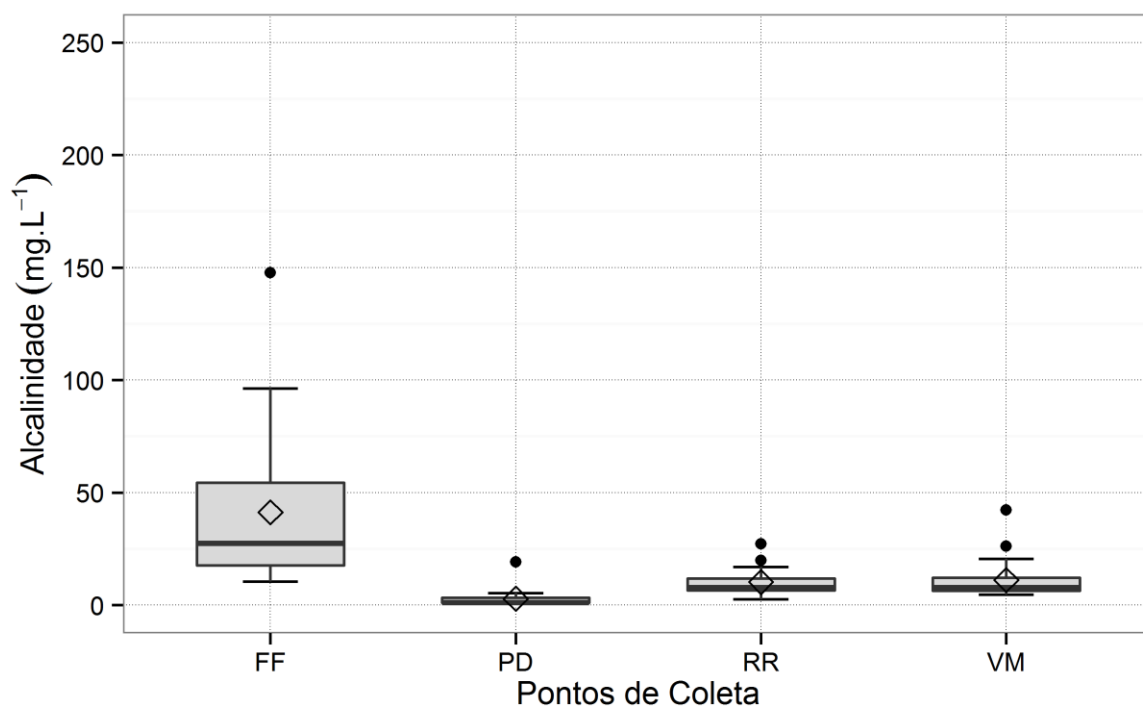


Figura 29: Box plot da alcalinidade (mg.L^{-1})

3.4 Sólidos dissolvidos totais (TDS)

Os sólidos dissolvidos totais (TDS) representam o material filtrante, ou seja, material que passa pelo filtro de porosidade de $0,45 \mu\text{m}$ após a etapa de filtração (APHA; AWWA & WEF, 1999). Sua importância está no transporte de matéria orgânica e diversos contaminantes entre ambientes, a coluna d'água e os sedimentos (GOÑI *et al*, 2005).

A concentração de sólidos dissolvidos totais (TDS) variou entre $0,001$ e $0,259 \text{ g.L}^{-1}$ com média de $0,059 \pm 0,051 \text{ g.L}^{-1}$. No geral as amostras estiveram sempre abaixo do limite de $0,200 \text{ g.L}^{-1}$ estipulado pela lei municipal de Niterói 2.856/2011. No entanto, cerca de 5 % das amostras estiveram acima deste limite sendo 3 (três) delas referentes ao *first flush* (FF) e outra referente à precipitação direta (Figura 30).

Em um trabalho realizado na Palestina a concentração TDS foi ainda maior que o presente estudo com média de $0,157 \pm 0,017 \text{ g.L}^{-1}$ (DAOUD *et al*, 2011). Na região norte da China a concentração de sólidos dissolvidos totais chegou a atingir $0,750 \text{ g.L}^{-1}$ (ZHU *et al*, 2004), enquanto em uma área considerada urbana de Zambia o máximo reportado foi de $0,102 \text{ g.L}^{-1}$ (HANDIA; MADALITSO & MWIINDWA, 2003).

No que se refere aos períodos analisados durante o estágio seco foram registrados valores superiores de sólidos dissolvidos totais. As médias foram de $0,069 \pm 0,059$ e $0,048 \pm 0,039 \text{ g.L}^{-1}$ nos períodos secos e chuvosos, respectivamente. Este resultado é coerente, visto que as chuvas nos períodos mais secos são comumente mais concentradas de poluentes devido ao grande período de estiagem. Além disso, a diferença supracitada foi estatisticamente significativa, conforme teste de *Kruskal-Wallis* com valor de p igual a 0,020 (Figura 30).

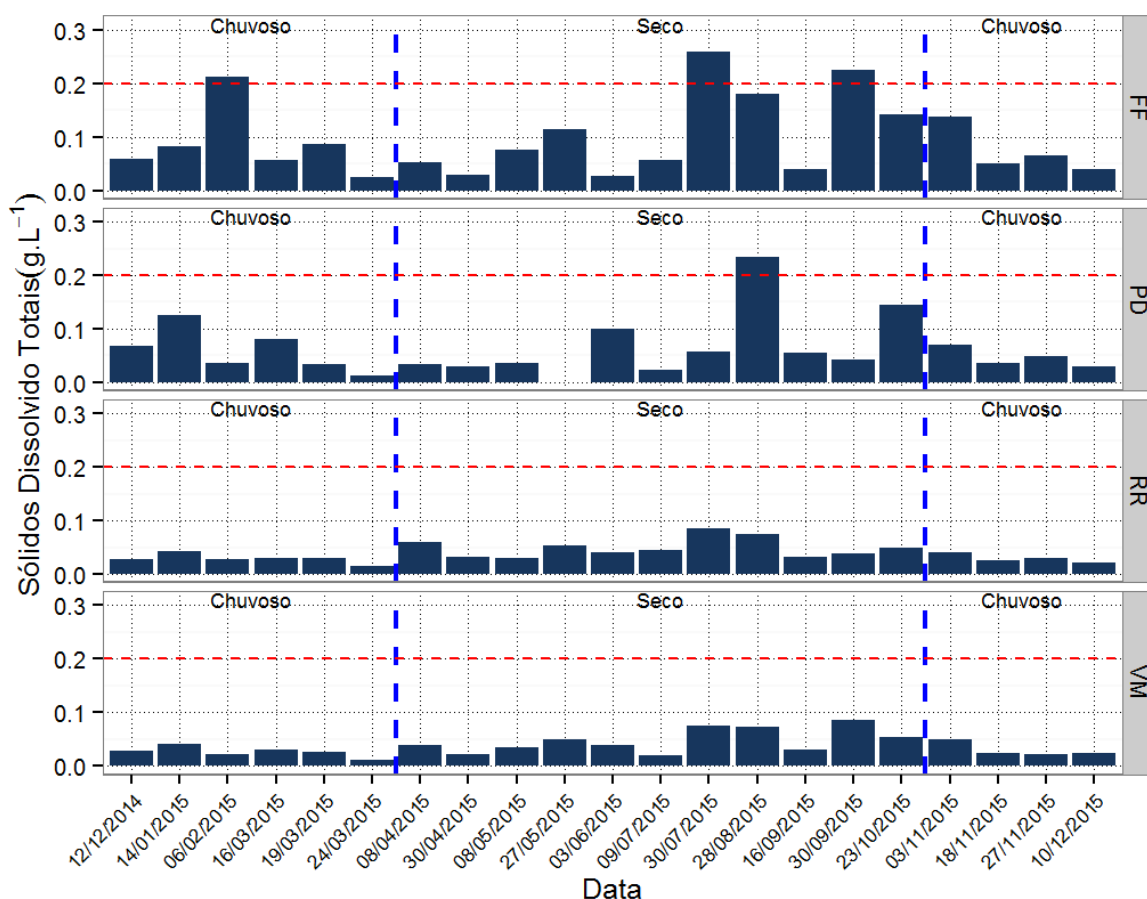


Figura 30: Variação da concentração de sólidos dissolvidos totais (g.L^{-1}).

Em relação aos pontos de coleta o *first flush* e a precipitação direta apresentaram a maior média com $0,096 \pm 0,070$ e $0,062 \pm 0,053 \text{ g.L}^{-1}$, respectivamente, enquanto o

volume morto (VM) e o reservatório (RR) apresentaram as menores médias com $0,038 \pm 0,020$ e $0,039 \pm 0,017 \text{ g.L}^{-1}$, respectivamente. O resultado encontrado é consistente com as amostras, como no FF que apresentou maior número de partículas por ser a água responsável pela lavagem inicial da atmosfera e todo o sistema de captação e transporte. Os resultados elevados de TDS na precipitação direta (PD) indicam a necessidade do descarte da chuva inicial que carreiam os poluentes presentes na atmosfera (Figura 31). O teste *a posteriori* mostrou que os maiores resultados médios diferiram estatisticamente dos demais, ou seja, o FF foi diferente estatisticamente do RR e VM, contudo o PD não apresentou diferença devido ao maior desvio padrão observado.

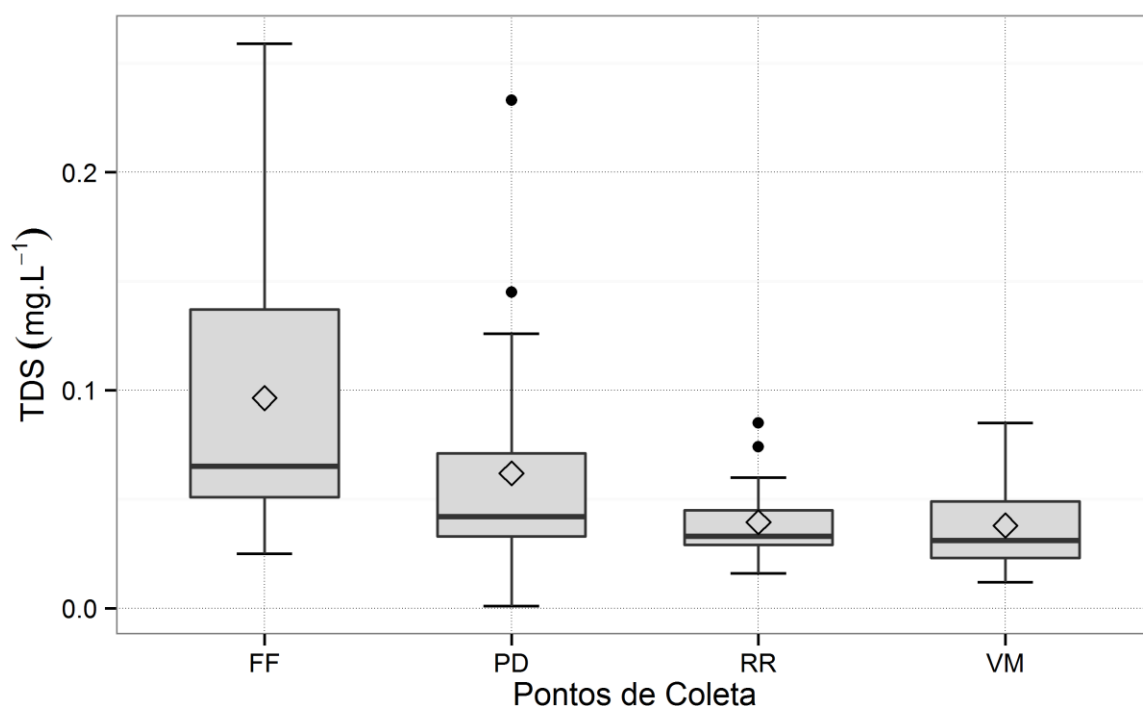


Figura 31: Box plot da concentração de sólidos dissolvidos totais (g.L^{-1})

3.5 Condutividade

A condutividade ou condutância específica é a medida da capacidade da água de conduzir corrente elétrica, sendo sensível às variações nas concentrações de sólidos dissolvidos totais e íons maiores (CHAPMAN & KIMSTACH, 1992). Brigante & Espindola (2003) mencionaram valores entre $0,01$ e $0,1 \text{ mS.cm}^{-1}$ para condutividade de águas naturais e até 1 mS.cm^{-1} para ambientes poluídos, porém Chapman & Kimstach (1992) destacam que a condutividade de ambientes dulcícolas

ou de água doce normalmente encontra-se acima da faixa citada anteriormente. Para uso industrial é fundamental que a água apresente baixa condutividade (ESTEVEES, 2011).

As análises em estudo apresentaram condutividade entre 0,010 e 0,040 mS.cm⁻¹ com média geral de 0,091 ± 0,079 mS.cm⁻¹. No trabalho realizado na Palestina a condutividade foi maior com média de 0,332 ± 0,036 mS.cm⁻¹ e o máximo de 0,834 mS.cm⁻¹ (DAOUD *et al*, 2011). Em um extenso trabalho realizado em vários pontos da Grécia, a condutividade variou de 0,037 a 0,394 mS.cm⁻¹, entretanto na estação inserida no perímetro urbano a média foi de 0,046 ± 0,022 mS.cm⁻¹ nos reservatórios e 0,067 ± 0,035 mS.cm⁻¹ no *first flush* (SAZAKLI; ALEXOPOULOS & LEOTSINIDIS, 2007).

A condutividade é diretamente proporcional a concentração de sólidos dissolvidos totais (Figura 32). Logo, todas as observações anteriores feitas para sólidos dissolvidos totais acima são aplicáveis para condutividade assim como na diferença sazonal. A condutividade no período seco foi superior com média de 0,106 ± 0,090 mS.cm⁻¹ enquanto no período chuvoso a média foi de 0,074 ± 0,061 mS.cm⁻¹. A diferença supracitada foi estatisticamente significativa (*Kruskal-Wallis* – $p=0,022$).

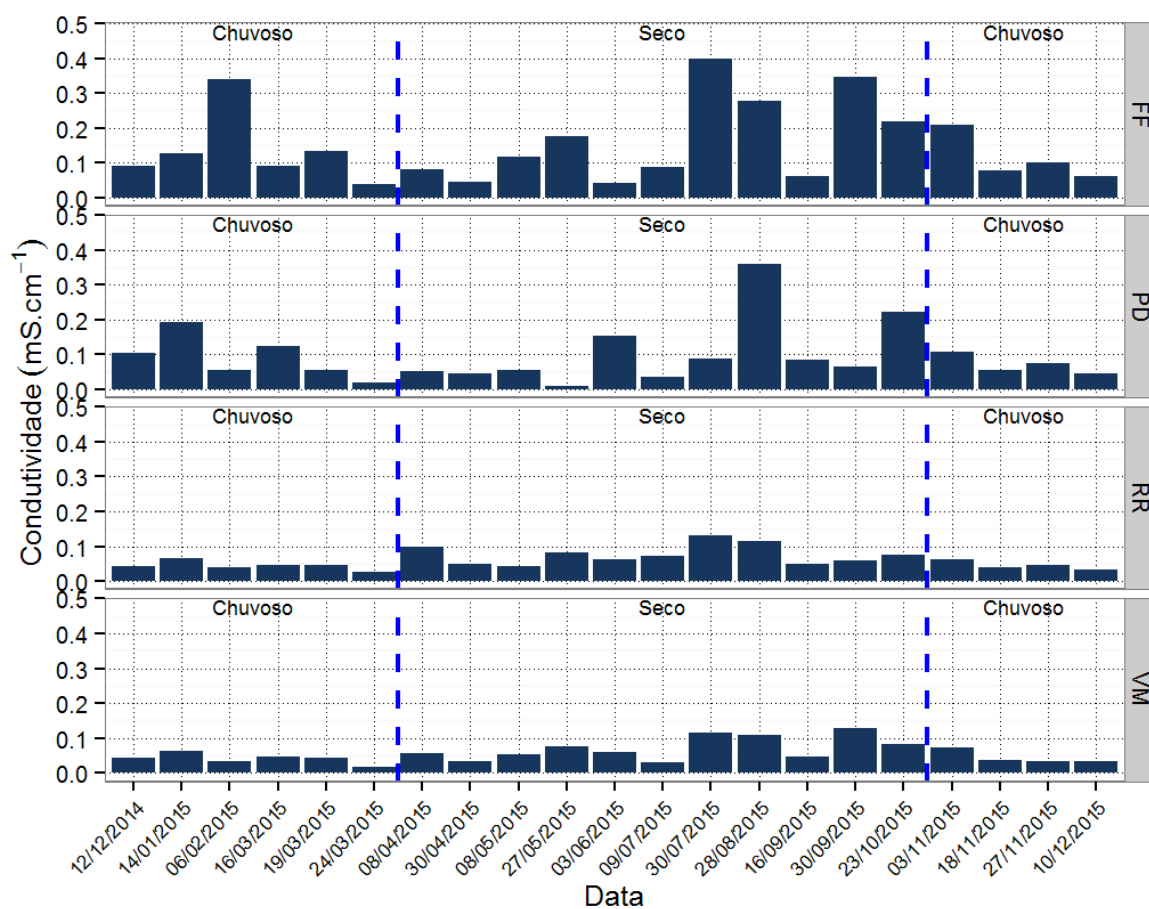


Figura 32: Variação da condutividade (mS.cm⁻¹).

O *first flush* (FF) e a precipitação direta (PD) apresentaram a maior média com $0,148 \pm 0,109$ mS.cm⁻¹ e $0,096 \pm 0,081$ mS.cm⁻¹, respectivamente, enquanto o reservatório (RR) e o volume morto (VM) indicaram as menores médias com $0,061 \pm 0,027$ e $0,113 \pm 0,096$ mS.cm⁻¹, respectivamente (Figura 33). O teste estatístico apresentou diferença significativa entre FF e o RR e VM, devido à maior média obtida.

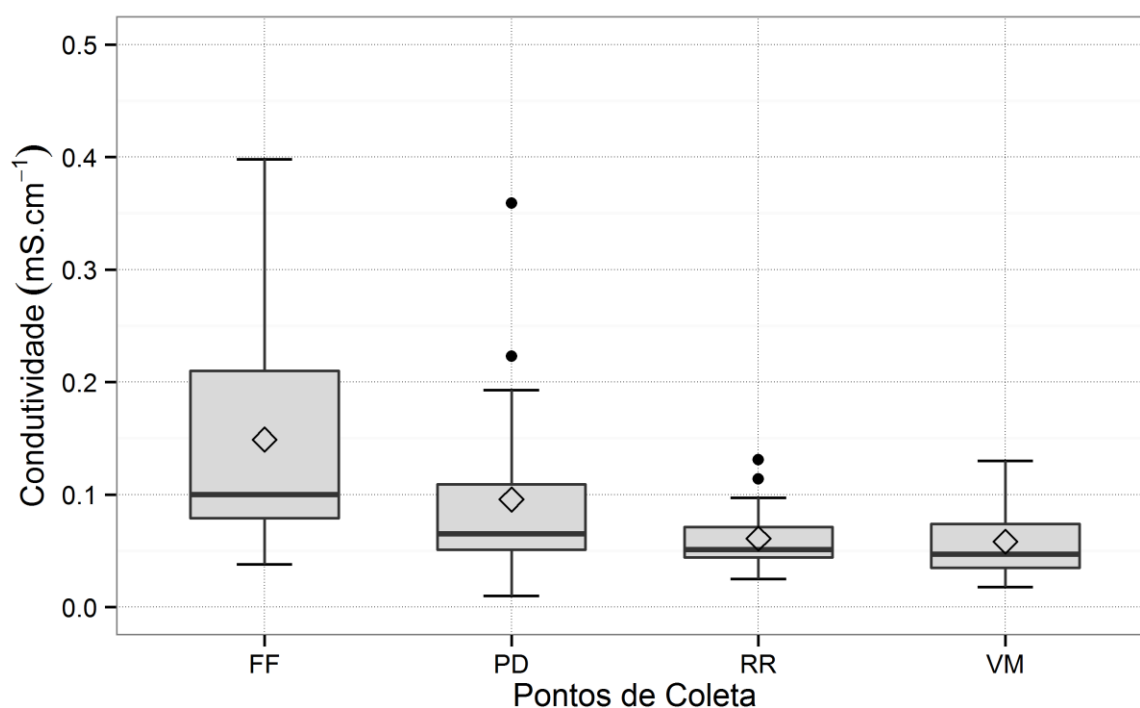


Figura 33: Box plot da condutividade (mS.cm^{-1}).

3.6 Turbidez

A turbidez é uma propriedade ótica da água e representa a atenuação da luz ao atravessar uma determinada amostra de água (CETESB, 2012). Esta atenuação é provocada pelas partículas orgânicas e inorgânicas contidas na água. A turbidez resulta do espalhamento e absorção da luz incidente pelas partículas presentes na água, orgânicas ou inorgânicas. Os níveis de turbidez variam normalmente entre 1 e 1.000 UNT (Unidade Nefelométrica de Turbidez), e podem ser acrescidos pela presença de poluição por matéria orgânica (CHAPMAN & KIMSTACH, 1992). É comum a turbidez apresentar boa correlação com os parâmetros, cor, sólidos dissolvidos totais e sólidos suspensos totais (LAWLER *et al*, 2006).

A turbidez no presente trabalho oscilou entre 0,00 e 800 UNT. A média obtida foi de $53,36 \pm 124,49$ UNT. O desvio padrão superior a própria média evidencia a alta variação dos resultados ao longo do estudo. A alta variação foi atribuída aos pontos de coleta visto que sazonalmente não foram observadas diferenças significativas (Figura 34). No trabalho desenvolvido na Palestina, a turbidez foi menor com variação de 0,13 a 5,31 UNT e média de $0,85 \pm 0,22$ UNT (DAOUD *et al*, 2011). Na

região norte da China, a turbidez registrada também foi baixa com máximo de 3,50 UNT (ZHU *et al*, 2004). Vale destacar que o eixo x da Figura 34 está em escala diferente para melhor visualização dos dados.

Em referência a legislação vigente cerca de 46 % das amostras estiveram acima do limite de 5,00 UNT proposto pela Lei municipal de Niterói nº 2.856/2011. No entanto, apenas 5 (cinco) amostras referentes ao reservatório estiveram em desconformidade, ou seja, as amostras acima do limite foram predominantemente referentes ao volume do *first flush*. Esse resultado é esperado e comprova a eficiência do descarte da primeira água para que não interfira na qualidade da água reservada.

Em relação à sazonalidade as médias dos períodos secos e chuvosos foram semelhantes com $52,40 \pm 137,29$ e $54,42 \pm 110,45$ UNT, respectivamente. Ademais, o teste estatístico de *Kruskal-Wallis* com valor de p igual a 0,835 não revelou diferenças significativas.

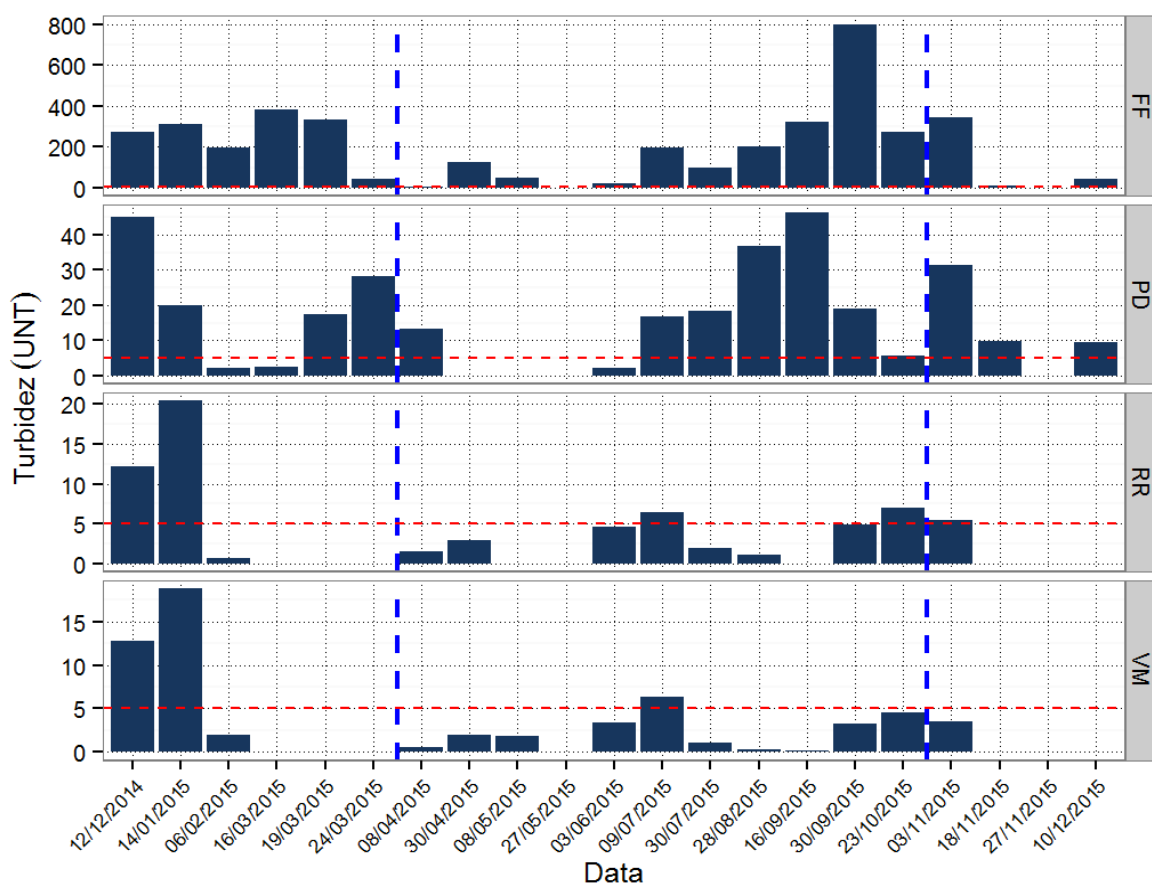


Figura 34: Variação da turbidez (UNT).

As amostras coletadas no *first flush* (FF) se destacou com a maior média de $191,90 \pm 192,59$ UNT, seguido da precipitação direta (PD) com $54,94 \pm 171,47$ UNT, volume morto (VM) com $4,75 \pm 1,10$ UNT e reservatório (RR) com $3,30 \pm 5,09$ UNT. De maneira geral, as amostras referentes ao reservatório e volume morto estiveram abaixo do limite proposto pela legislação vigente. Entretanto, acima do valor estipulado pela NBR 15.527/2007 que estabelece o limite de 2,00 UNT. Cerca de 60 % das amostras estiveram em desconformidade com a norma supracitada além disso, todos os pontos de coleta apresentaram valores médios acima deste limite. O teste *a posteriori* revelou diferenças estatisticamente significativas apenas entre o FF e as demais estações de coleta (PD, RR, VM).

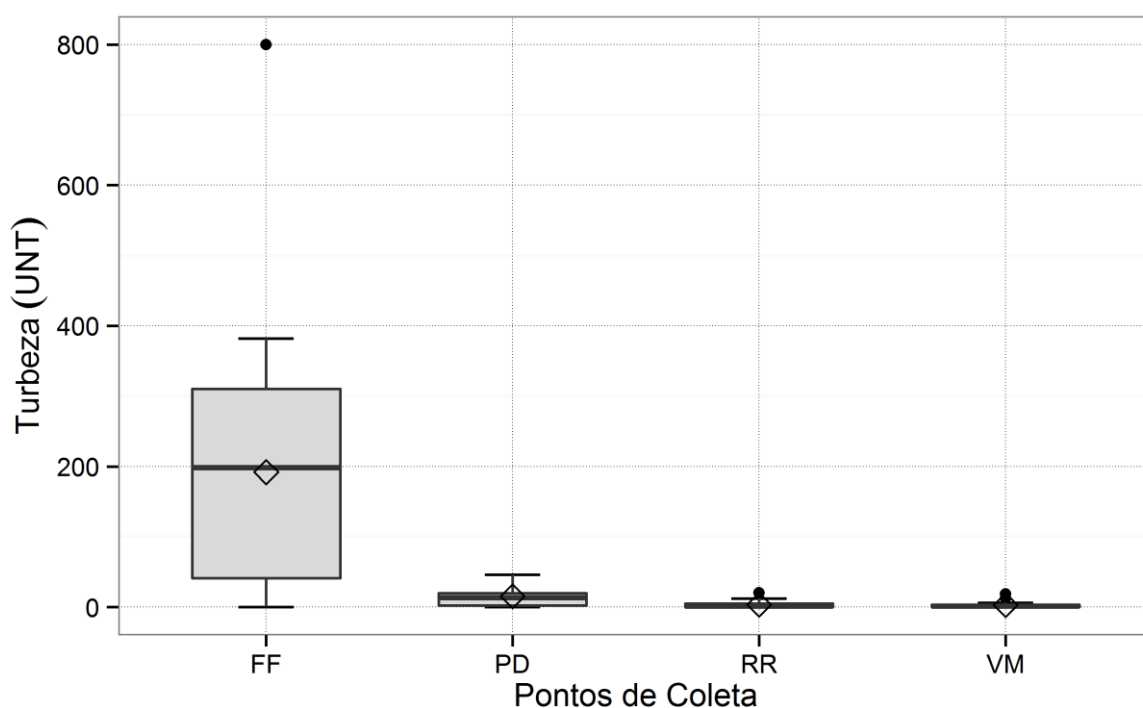


Figura 35: Box plot da turbidez (UNT)

3.7 Cor

A cor, segundo a CETESB(2012) é resultante da presença de sólidos dissolvidos, principalmente material em estado coloidal orgânico e inorgânico. Dentre os colóides orgânicos destacam-se os ácidos húmicos e fúlvicos, substâncias naturais e de elevado caráter refratário (KILLOPS & KILLOPS, 2005) resultantes da decomposição parcial de compostos orgânicos de folhas, dentre outros substratos, além de também estarem presentes nos esgotos domésticos e diversos efluentes industriais. Entre os

compostos inorgânicos que contribuem para a cor estão os óxidos de ferro e manganês abundantes em diversos tipos de solo e alguns outros metais presentes em efluentes industriais.

No presente estudo a cor variou de 1,00 a 500,00 μH com média de $72,85 \pm 138,70 \mu\text{H}$ (Figura 36). Em relação à legislação vigente cerca de 40 % das amostras estiveram acima do máximo de 15,00 μH proposto pela lei municipal de Niterói nº 2.856/2011, sobretudo os volumes de descarte iniciais, ou *first flush* (FF). Em relação à sazonalidade, não foram reveladas diferenças significativas estatisticamente pelo teste de *Kruskal-Wallis* com valor de p igual a 0,399. Vale destacar que o eixo x da Figura 36 está em escala diferente para melhor visualização dos dados.

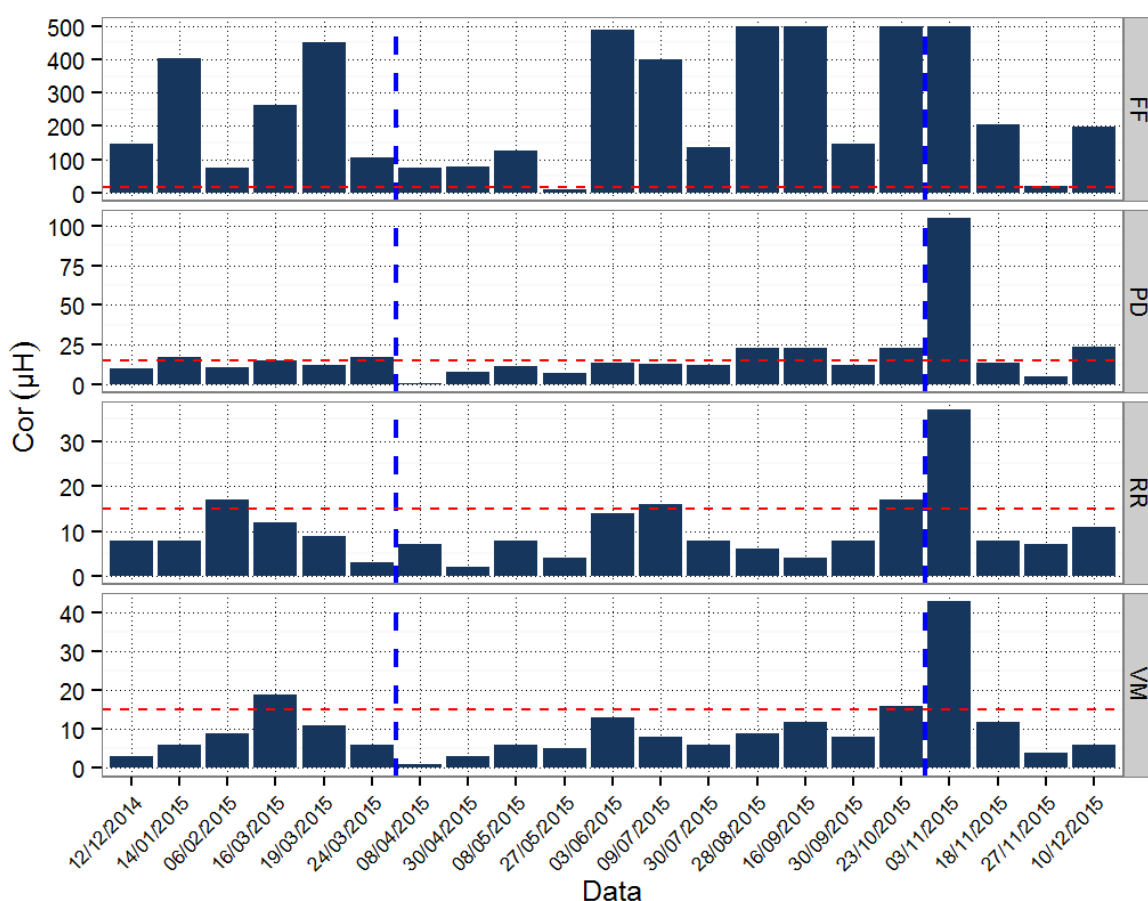


Figura 36: Variação da cor (μH).

Em relação aos pontos de coleta apenas o *first flush* se destacou devido a maior média obtida com $253,40 \pm 183,26 \mu\text{H}$ (Figura 37). O teste estatístico revelou diferença estatística significativa entre o FF e as demais estações (PD, RR e VM).

No geral o resultado para a cor esteve compatível com o observado para turbidez, o que indica ser fundamental o descarte dos primeiros milímetros de chuva para melhorar a qualidade da água reservada. Contudo, foram registradas 4 (quatro) amostras referentes ao reservatório e 3 (três) referentes ao volume morto com concentração acima do limite preconizado pela legislação vigente supracitada. As médias foram $38,74 \pm 55,48 \mu\text{H}$ para a precipitação direta (PD), $10,19 \pm 7,51 \mu\text{H}$ para o volume no reservatório (RR) e $9,81 \pm 8,81 \mu\text{H}$ para o volume morto (VM).

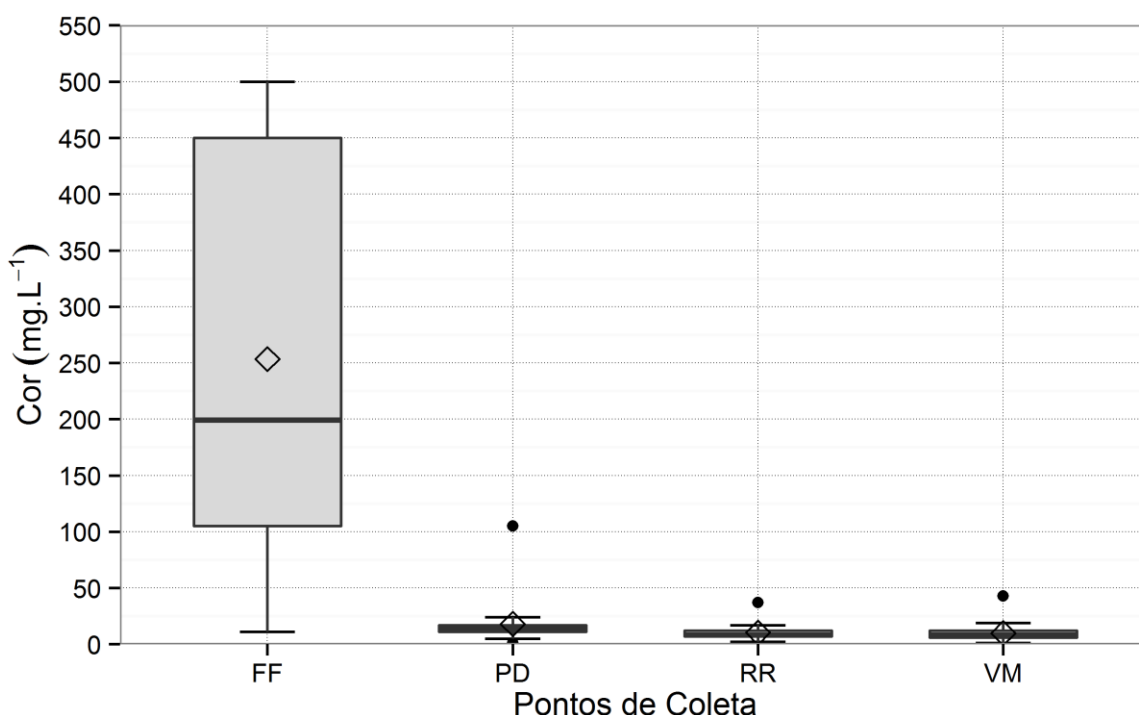


Figura 37: Box plot da cor (μH).

3.8 Temperatura

No presente estudo a temperatura variou entre $20,47$ e $34,28$ °C com média geral de $25,36 \pm 3,16$ °C. No geral, a variação foi considerada baixa, contudo o teste estatístico de *Kruskall-Wallis* revelou diferenças significativas entre os períodos chuvosos e secos com valor de p menor que 0,001. Como esperado, o período seco apresentou os menores valores com média de $23,60 \pm 2,35$ °C, enquanto no período chuvoso a média foi de $27,30 \pm 2,80$ °C (Figura 38).

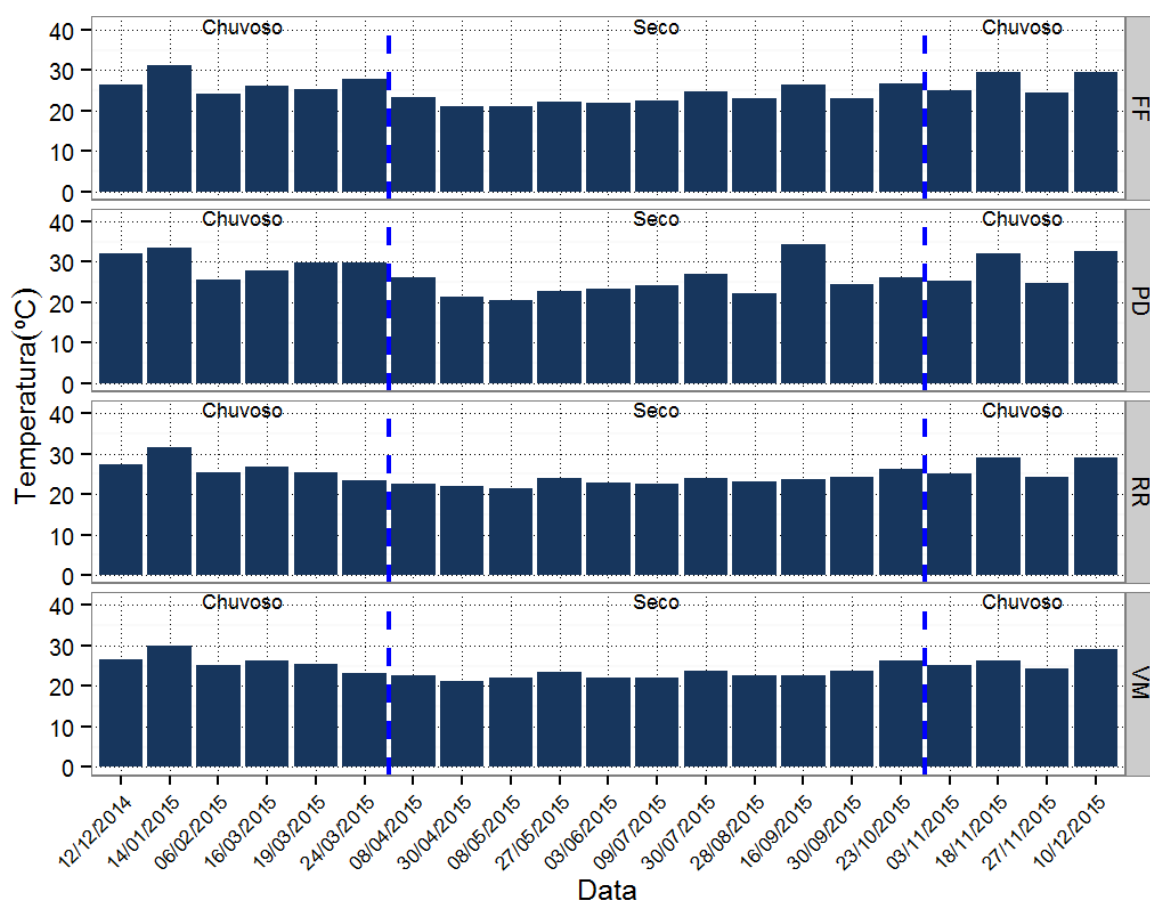


Figura 38: Variação da temperatura (°C).

Nos pontos de coleta não foram observadas diferenças estatisticamente significativas pelo teste de *Kruskal-Wallis* com valor de p igual a 0,179. Contudo a partir da Figura 39 é evidente o maior deslocamento na temperatura para as amostras da precipitação direta (PD) em relação aos demais pontos. Esse fato foi atribuído a localização do ponto no terraço influenciado diretamente pela radiação solar.

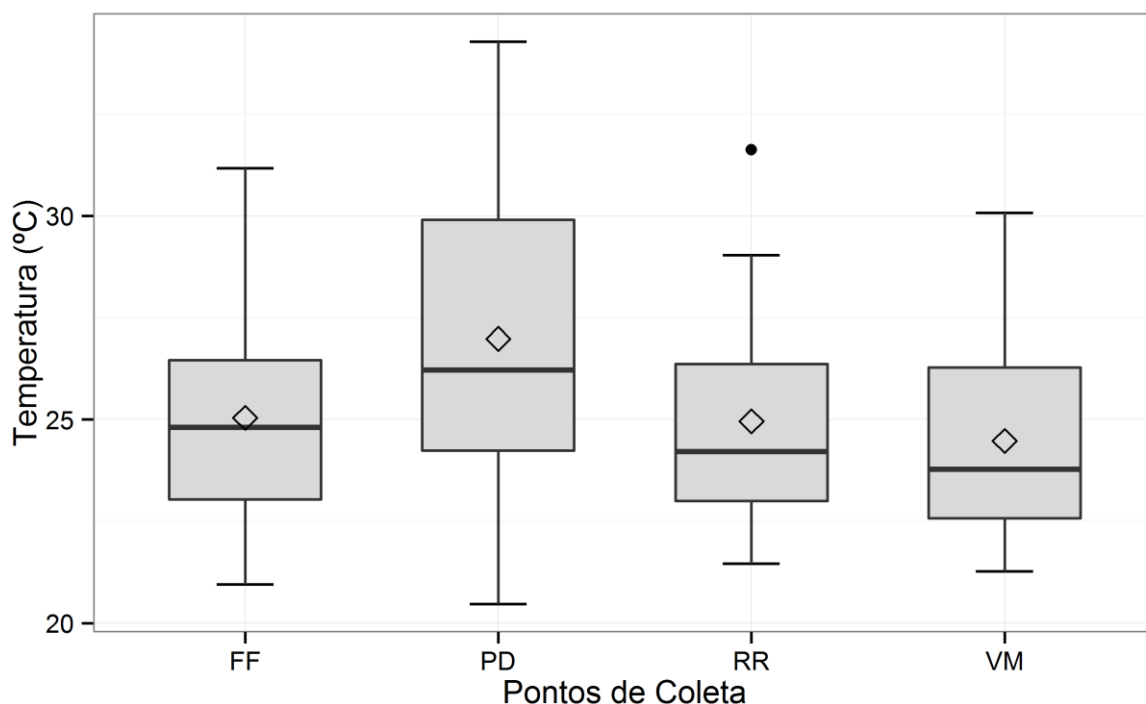


Figura 39: Box plot da temperatura (°C).

3.9 Nitrogênio Amoniacal

A concentração de nitrogênio amoniacal registrada foi baixa com cerca de 85 % dos resultados abaixo do limite de quantificação do método de $1,00 \text{ mg.L}^{-1}$. Os demais resultados variaram entre $1,66$ e $6,720 \text{ mg.L}^{-1}$. Esses valores estão compatíveis com os resultados encontrados na bibliografia. Em estudo realizado na ilha de Cefalônia na Grécia, a concentração média de nitrogênio amoniacal foi de $0,01 \text{ mg.L}^{-1}$ e a concentração máxima de $0,05 \text{ mg.L}^{-1}$ (SAZAKLI; ALEXOPOULOS & LEOTSINIDIS, 2007). Em outro estudo realizado em uma área mais urbanizada da Grécia, registrou-se média de $1,38 \pm 1,82 \text{ mg.L}^{-1}$ (GIKAS & TSIHRINTZIS, 2012). Devido a frequência de resultados abaixo do limite do método, não foram realizados os testes estatísticos e a representação gráfica destes parâmetros.

3.10 Sulfato

Dentre as formas de enxofre que podem ser encontradas na água, destaca-se especialmente o íon sulfato (SO_4^{2-}). Dados da CETESB (2012) destacam que entre as principais fontes antrópicas de sulfato nas águas superficiais estão as descargas de esgotos domésticos e efluentes industriais. Em relação a chuva o íon é

proveniente da dissociação do ácido sulfúrico formado a partir do contato das gotículas d'água com dióxido de enxofre (SO₂), oriundo principalmente da queima de combustíveis fósseis (BAIRD, 2002). Além disso, destaca-se o sulfato por ser um dos íons mais abundantes da terra raramente encontra-se em baixas concentrações.

A concentração de sulfato no presente estudo variou de 0,25 a 49,88 mg.L⁻¹ com média geral de $5,66 \pm 8,39$ mg.L⁻¹ (Figura 40). O desvio padrão maior que a própria média evidencia a flutuabilidade dos resultados ao longo do estudo. Em comparação com a bibliografia os valores foram semelhantes. Em um estudo realizado na ilha de Cefalônia na Grécia a concentração de sulfato variou de 1,00 a 13,00 mg.L⁻¹ com média de 8,00 mg.L⁻¹ (SAZAKLI; ALEXOPOULOS & LEOTSINIDIS, 2007). Em outro estudo realizado em uma área mais urbanizada da Grécia a concentração média registrada foi de $8,84 \pm 5,31$ mg.L⁻¹. Em relação à sazonalidade foram reveladas diferenças significativas estatisticamente pelo teste de *Kruskal-Wallis* com valor de *p* igual a 0,030. O período seco apresentou concentração média de $7,88 \pm 10,94$ mg.L⁻¹ enquanto no período chuvoso obteve $3,22 \pm 2,44$ mg.L⁻¹.

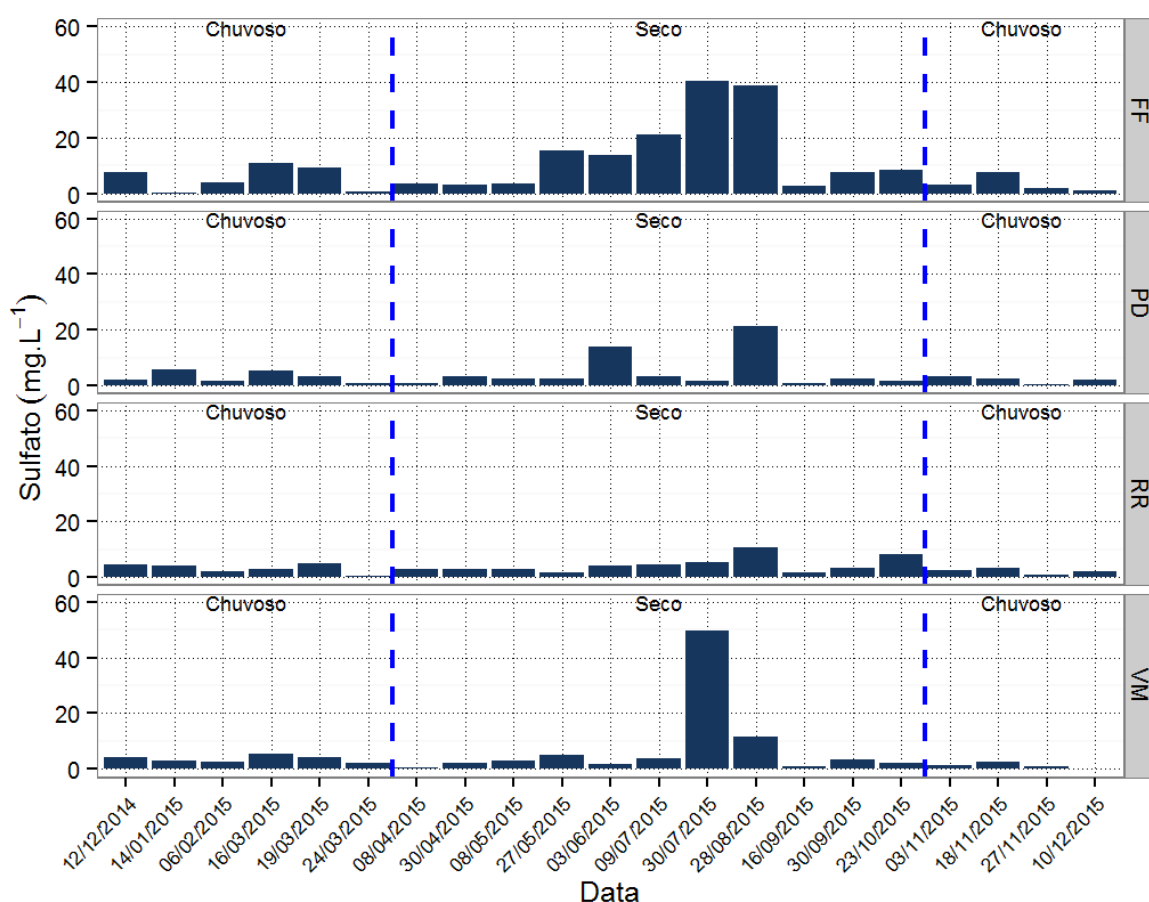


Figura 40: Variação da concentração de sulfato (mg.L⁻¹).

As amostras do volume de descarte inicial (FF) se destacaram da precipitação direta (PD) estatisticamente pelo teste de *Kruskal-Wallis* com valor de p menor que 0,05. A precipitação direta (PD) apresentou a menor concentração média de sulfato com $4,42 \pm 4,95$ mg.L⁻¹. Na Figura 41 é possível constatar a presença da alta concentração de sulfato não só no *first flush* (FF), mas também no reservatório (RR) e no volume morto (VM), ou seja, é provável que os 12 (doze) litros de descarte não sejam suficientes para eliminar o enxofre do sistema sendo necessário maior volume na separação dos primeiros milímetros de chuva.

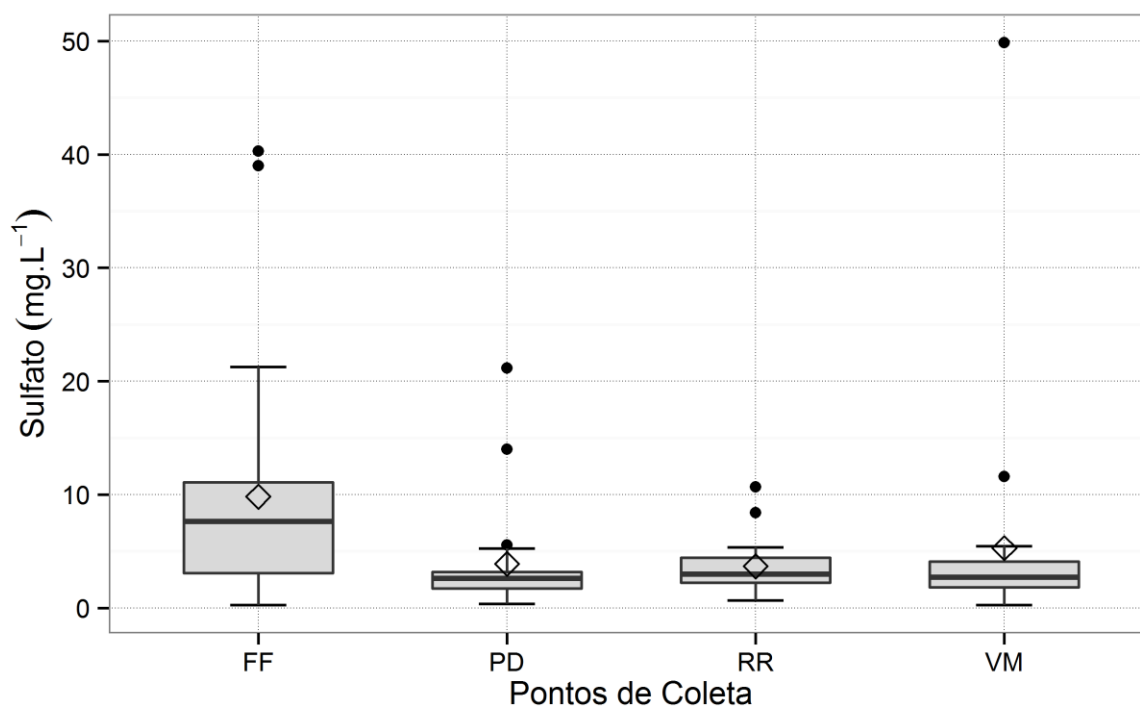


Figura 41: Box plot da concentração de sulfato (mg.L⁻¹).

3.11 Oxigênio dissolvido

O oxigênio dissolvido é um dos principais parâmetros indicadores de poluição sendo fundamental para manter e verificar as condições aeróbias em um ambiente impactado (BAUMGARTE & POZZA, 2001). Na água da chuva trata-se de um parâmetro capaz de traçar possível presença de matéria orgânica em excesso no sistema de armazenamento.

A concentração de oxigênio dissolvido nas amostras oscilou entre 1,74 e 10,32 mg.L⁻¹ com média de $5,54 \pm 2,10$ mg.L⁻¹ (Figura 42). De acordo com a lei municipal nº 2.856/2011 de Niterói cerca de 95 % das amostras estiveram em concordância com o limite mínimo de 2,00 mg.L⁻¹. Em relação à sazonalidade não foram reveladas diferenças estatisticamente significativas pelo teste de *Kruskal-Wallis* com valor de p igual a 0,252 e médias de $5,81 \pm 2,00$ mg.L⁻¹ no período seco e $5,25 \pm 2,20$ mg.L⁻¹ no período chuvoso.

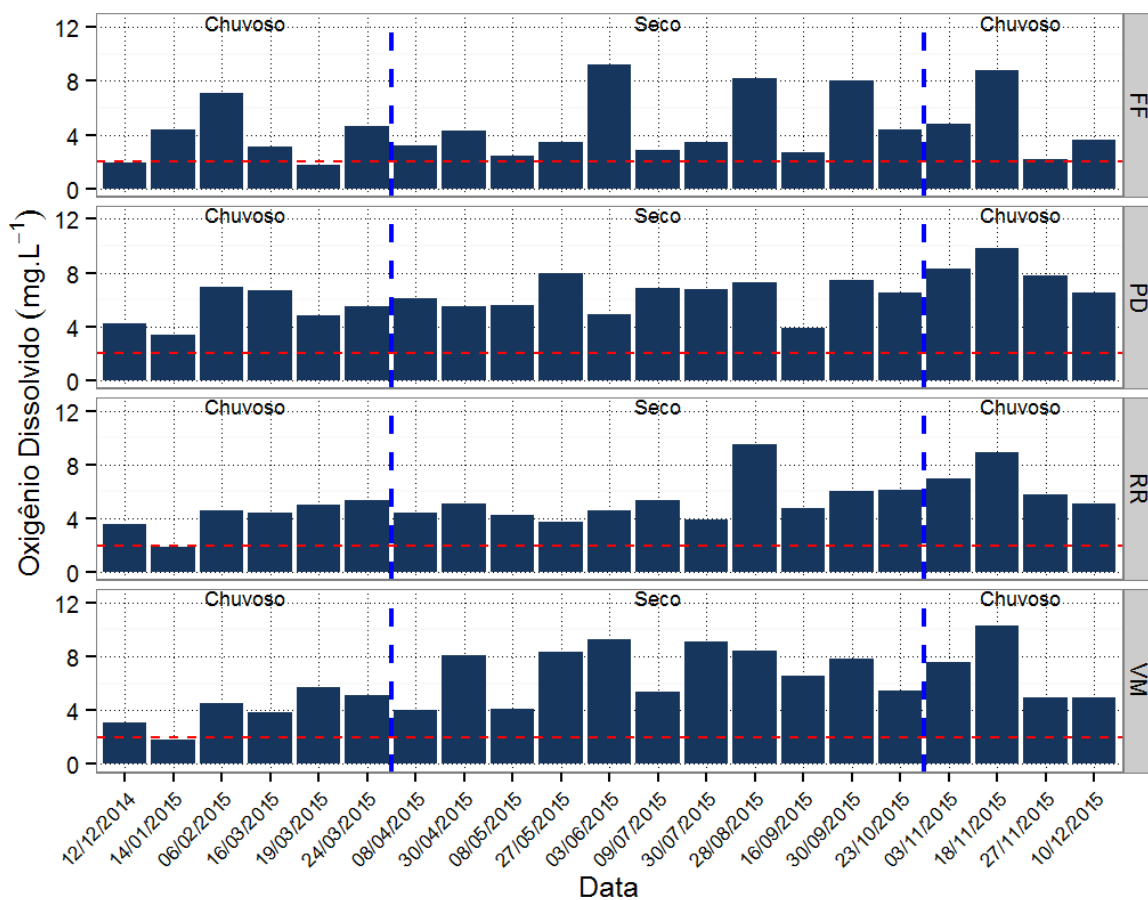


Figura 42: Variação da concentração de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹).

Nos pontos de coleta a precipitação direta (PD) apresentou a maior média com $6,16 \pm 1,72 \text{ mg.L}^{-1}$ enquanto o *first flush* (FF) apresentou a menor média com $4,51 \pm 2,34 \text{ mg.L}^{-1}$ (Figura 43). Todos os pontos de coleta apresentaram média acima do mínimo de $2,00 \text{ mg.L}^{-1}$ preconizado na legislação supracitada.

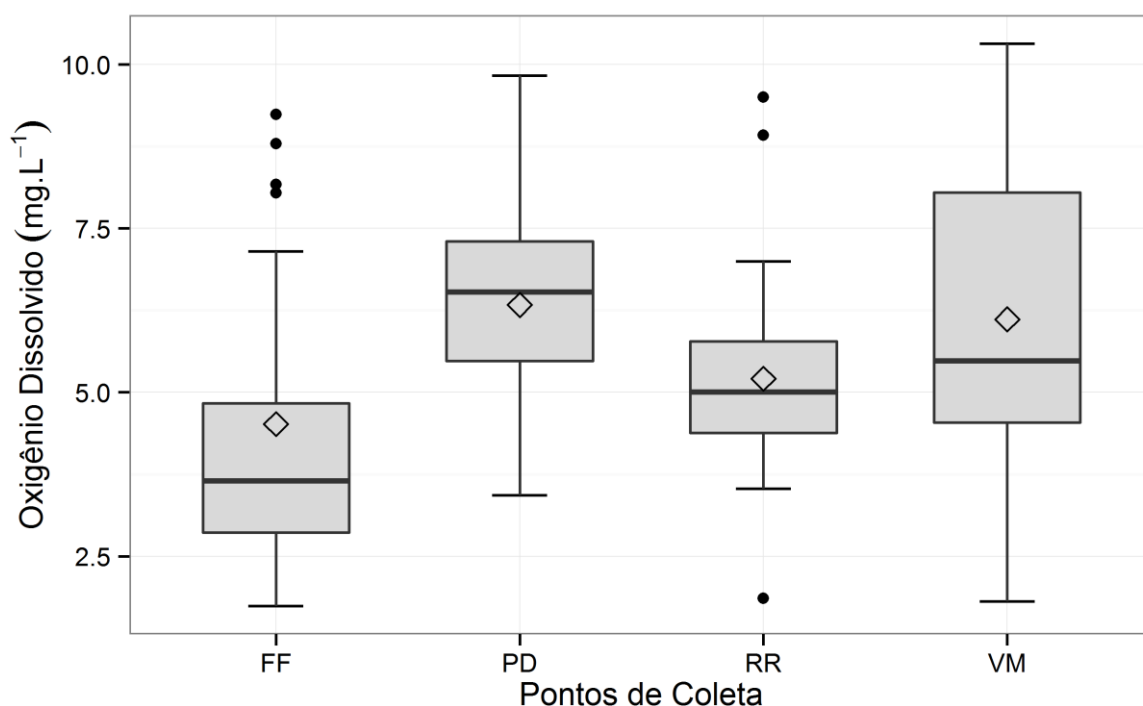


Figura 43: Box plot da concentração de oxigênio dissolvido (mg.L⁻¹).

3.12 Dureza

A dureza é uma propriedade conferida à água, principalmente, pela presença de sais alcalino-terrosos (cálcio, magnésio, e outros) e, em menor intensidade, de alguns metais (MORAES, 2008). É usual a medida de dureza pela presença de bicarbonatos e carbonatos, a chamada dureza temporária. Ressalta-se que em águas naturais, a dureza total, de modo geral, se equipara aos valores de alcalinidade. Águas duras podem incrustar nas tubulações e também dificultar a formação de espumas com sabão, além de alterações na dureza afetarem o metabolismo de peixes (GIANOTTI, 1986; GRAEFF *et al*, 2007).

A dureza no presente estudo variou de 0,76 a 38,76 mg.L⁻¹ com média de $5,66 \pm 6,82$ mg.L⁻¹. O desvio padrão superior a própria média evidencia a variabilidade dos resultados, principalmente em relação às estações de coleta (Figura 44). Em um estudo realizado na ilha de Cefalônia na Grécia a dureza foi superior com média de 40,00 mg.L⁻¹ e oscilação entre 24,00 e 74,00 mg.L⁻¹. Em Florianópolis os resultados obtidos encontraram média de $7,30 \pm 3,90$ mg.L⁻¹

(PROSAB, 2006). Na cidade de São Paulo a dureza registrada foi considerada intermediária com média de $19,60 \text{ mg.L}^{-1}$ (TOMAZ, 2010).

Em relação à sazonalidade não foram registradas diferenças estatisticamente significativas entre os períodos seco e chuvoso pelo teste de *Kruskal-Wallis* p igual a 0,204. Não foi realizada comparação com a legislação, pois não há limites estabelecidos para este parâmetro.

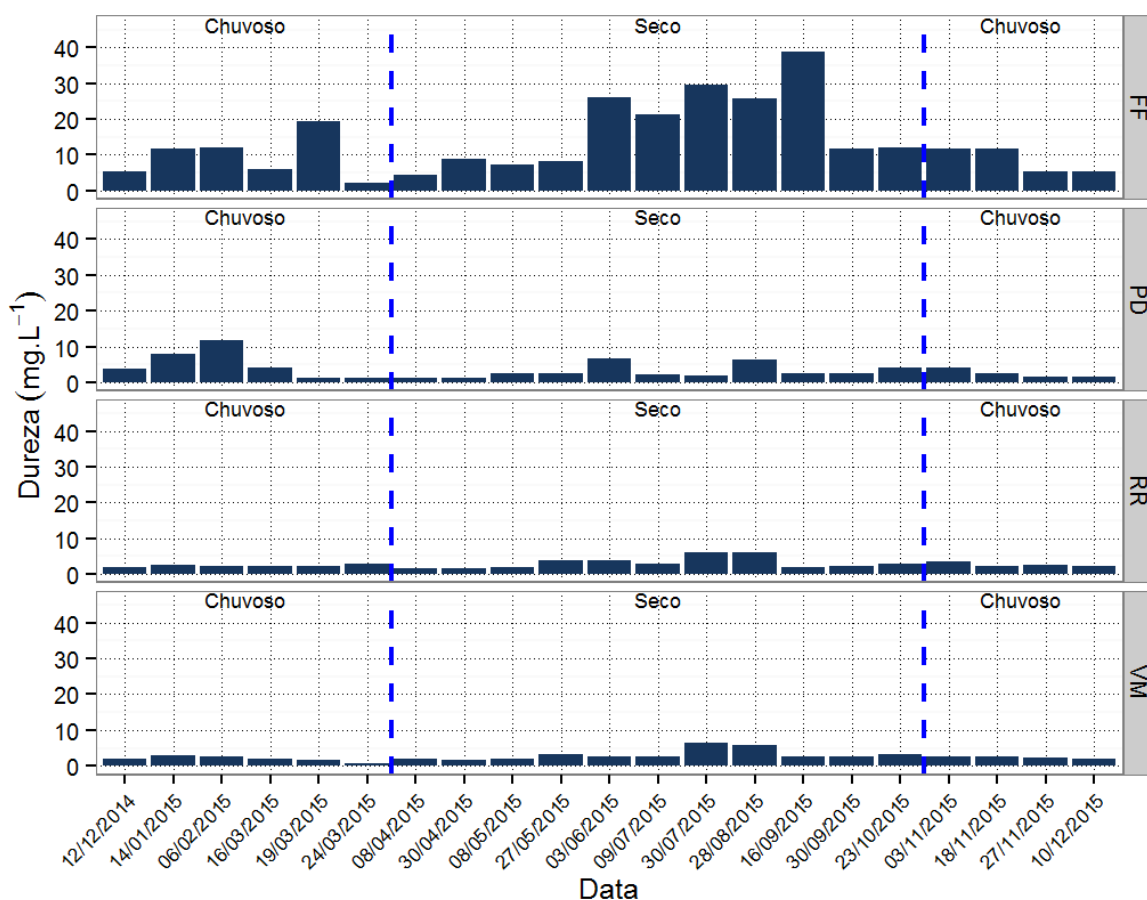


Figura 44: Variação da dureza (mg.L^{-1}).

Os volumes coletados de *first flush* (FF) apresentaram diferença significativa das demais devido a maior média obtida com teste de *Kruskal-Wallis* e valor p menor que 0,05. Este resultado é compatível visto que a alcalinidade é proporcional a dureza da amostra (Figura 45).

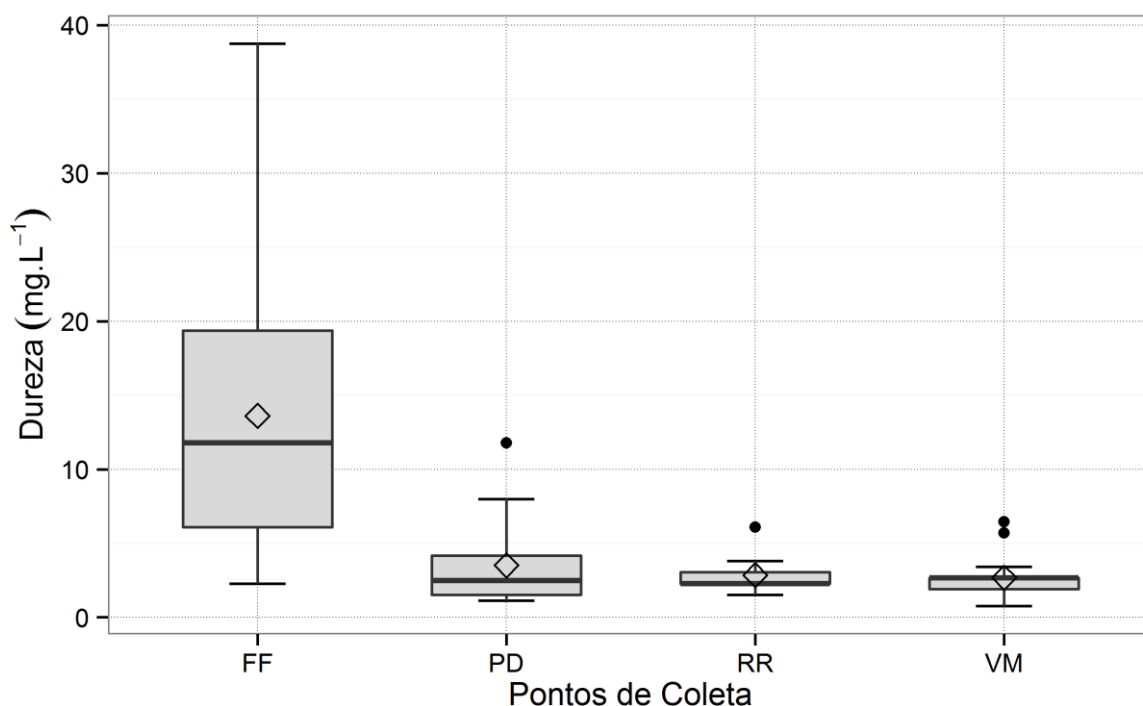


Figura 45: Box plot da dureza (mg.L⁻¹).

3.13 Carbono Orgânico Dissolvido (COD)

O carbono orgânico dissolvido (COD) é uma importante ferramenta na avaliação da qualidade da água e é um excelente indicador do total de matéria orgânica, uma vez que a maior parte da matéria orgânica é composta por carbono (KILLOPS & KILLOPS, 2005).

No presente trabalho a concentração de carbono orgânico dissolvido oscilou entre 1,22 e 34,72 mg.L⁻¹ com média de $4,40 \pm 4,14$ mg.L⁻¹ (Figura 46). Em relação à sazonalidade não foram reveladas diferenças estatísticas significativas entre o período seco e chuvoso conforme o teste de *Kruskal-Wallis* com valor de p igual a 0,993. As médias foram de $4,11 \pm 2,51$ mg.L⁻¹ no período seco e $4,72 \pm 5,42$ mg.L⁻¹ no período chuvoso.

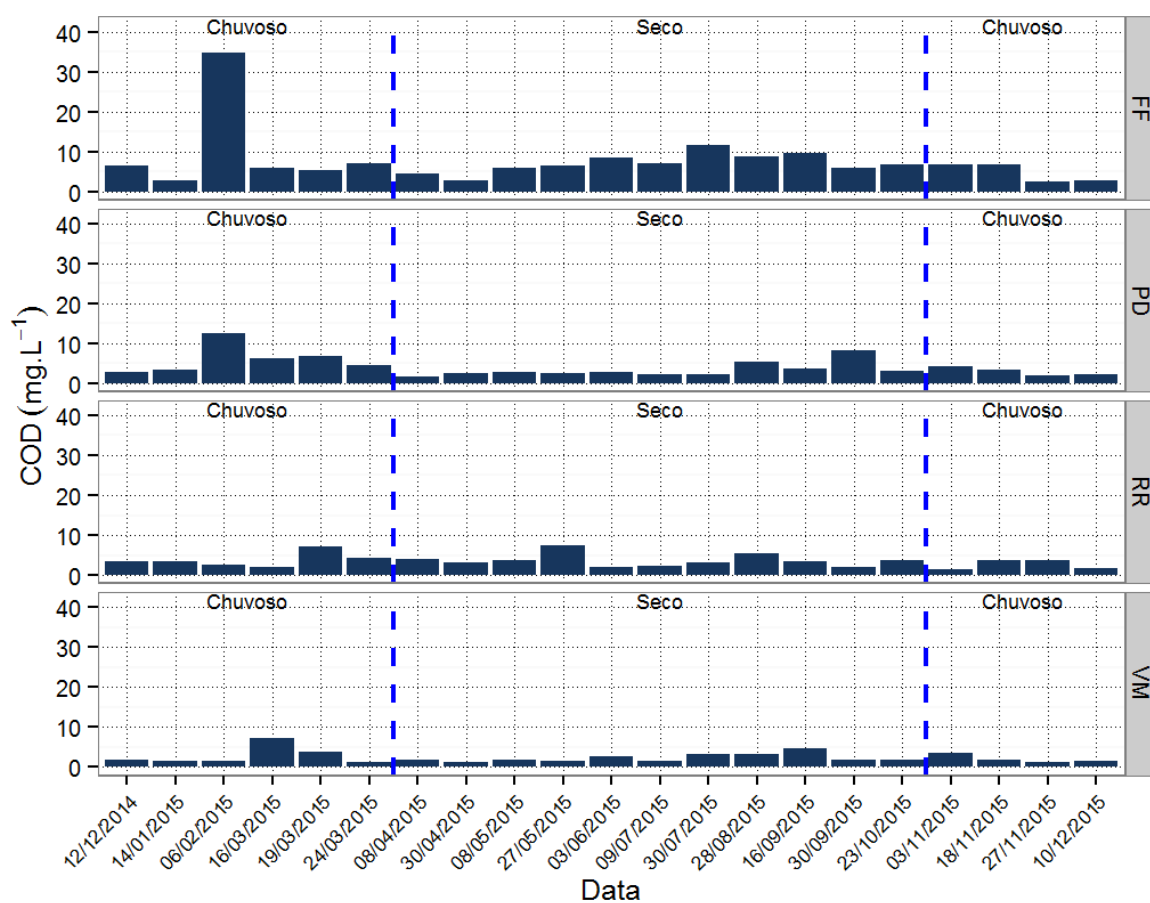


Figura 46 - Variação da concentração de carbono orgânico dissolvido (mg.L⁻¹).

Nos pontos de coleta o *first flush* (FF) apresentou a maior média com $4,40 \pm 4,14$ mg.L⁻¹ seguido da precipitação direta (PD) com $4,31 \pm 2,56$ mg.L⁻¹, reservatório (RR) com $3,53 \pm 1,58$ mg.L⁻¹ e volume morto (VM) com $2,39 \pm 1,46$ mg.L⁻¹ (Figura 47). Pelo teste *post-hoc* foram reveladas diferenças estatisticamente significativas entre o FF e as demais estações e entre PD e VM.

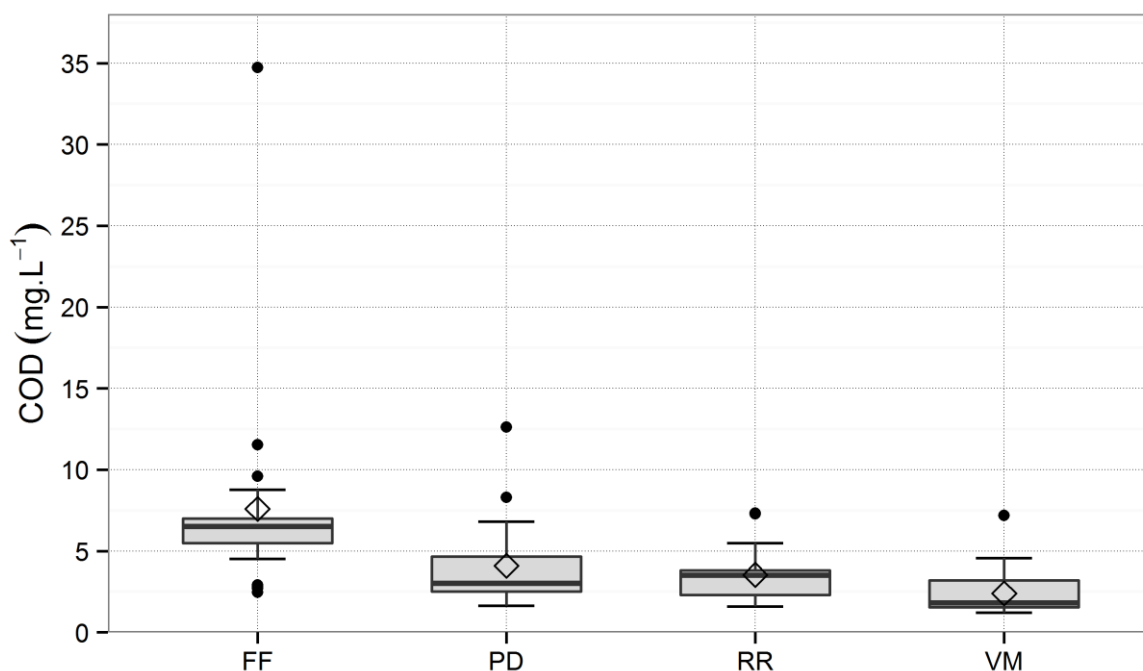


Figura 47: Box plot da concentração de carbono orgânico dissolvido (mg.L^{-1}).

3.14 Colimetria

Microrganismos do grupo dos coliformes são utilizados há anos como indicadores da qualidade da água. A nomenclatura de coliformes fecais se encontra em desuso, pois estes coliformes não são de origem exclusivamente fecal, no entanto, devido à sua boa correlação com o coliforme indicador de contaminação fecal *Escherichia coli* (*E. coli*) esta nomenclatura se popularizou. A nomenclatura mais apropriada é a de coliformes termotolerantes (BASTOS *et al*, 2000) que por definição, são coliformes capazes de fermentar a lactose à uma temperatura de 44 e 45 °C (CETESB, 2012). Apesar das limitações atribuídas a este método, ele ainda é amplamente utilizado como indicador da qualidade da água (BASTOS *et al*, 2000; CETESB, 2012).

Foram realizadas 3 (três) análises de colimetria com objetivo de contemplar a sazonalidade. No geral os resultados apontaram uma boa qualidade do sistema com 79 % das amostras com valores abaixo do limite estabelecido de quantificação de $1,1 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$. Os resultados referentes ao período seco apresentaram a maior variação observada com valores de 2,0 a $940,0 \text{ NMP.100 mL}^{-1}$, contudo, são resultados referentes aos coliformes totais, ou seja, pode ser atribuído a matéria

orgânica como folhas, enquanto a *Escherichia coli* que é de origem exclusivamente fecal não foi detectada em nenhuma amostra (Tabela 8).

Data	Ponto	Coliformes Totais	<i>Escherichia coli</i>
12/12/2014	PD	nd	nd
12/12/2014	FF	nd	nd
12/12/2014	RR	nd	nd
12/12/2014	VM	nd	nd
03/06/2015	PD	940,0	nd
03/06/2015	FF	38,5	nd
03/06/2015	RR	5,2	nd
03/06/2015	VM	2,0	nd
28/08/2015	PD	23,0	nd
28/08/2015	FF	nd	nd
28/08/2015	RR	nd	nd
28/08/2015	VM	nd	nd

Tabela 8: Variação dos resultados de coliformes totais e *Escherichia Coli* (NMP.100 mL⁻¹).

3.15 Análise Integrada dos parâmetros analisados

Foi realizada uma análise de componentes principais (PCA) com base nos resultados de 11 (onze) parâmetros analisados em 21 (vinte e uma) campanhas com total de 84 (oitenta e quatro) amostras. Os parâmetros utilizados na elaboração da PCA foram: temperatura (Temp), pH, condutividade (Cond), turbidez (Turb), oxigênio dissolvido (OD), sólidos dissolvidos totais (TDS), alcalinidade (Alc), cor, sulfato (Sulf), dureza (Dur) e carbono orgânico dissolvido (COD). A PCA é apresentada como o plano entre dois fatores gerados durante a análise. Geralmente são utilizados os fatores 1 e 2 por apresentarem o maior percentual de explicação dos resultados.

A Figura 48 representa a projeção dos fatores 1 e 2 da PCA, o primeiro apresentado no eixo horizontal explica 39,49 % da variação dos resultados, enquanto o segundo representa 16,22 % e é representado no eixo vertical. É possível observar a distribuição das variáveis no plano da PCA. No geral, os resultados foram coerentes visto que no quadrante I positivamente correlacionado com os fatores 1 e 2 estão localizados a alcalinidade, cor, dureza e a turbidez, de modo que corrobora assim com o descrito anteriormente que esses 4 (quatro)

parâmetros possuem relação diretamente proporcional. Já no quadrante II correlacionados positivamente com o fator 1 e negativamente com o fator 2 estão localizados o carbono orgânico dissolvido, sulfato, sólidos dissolvidos totais e condutividade, o que indica uma relação direta entre a matéria orgânica com os sólidos e altas concentrações de sulfato. Nos quadrantes III e IV se encontram os demais parâmetros de oxigênio dissolvido e a temperatura sem apresentar correlação significativa com os demais parâmetros.

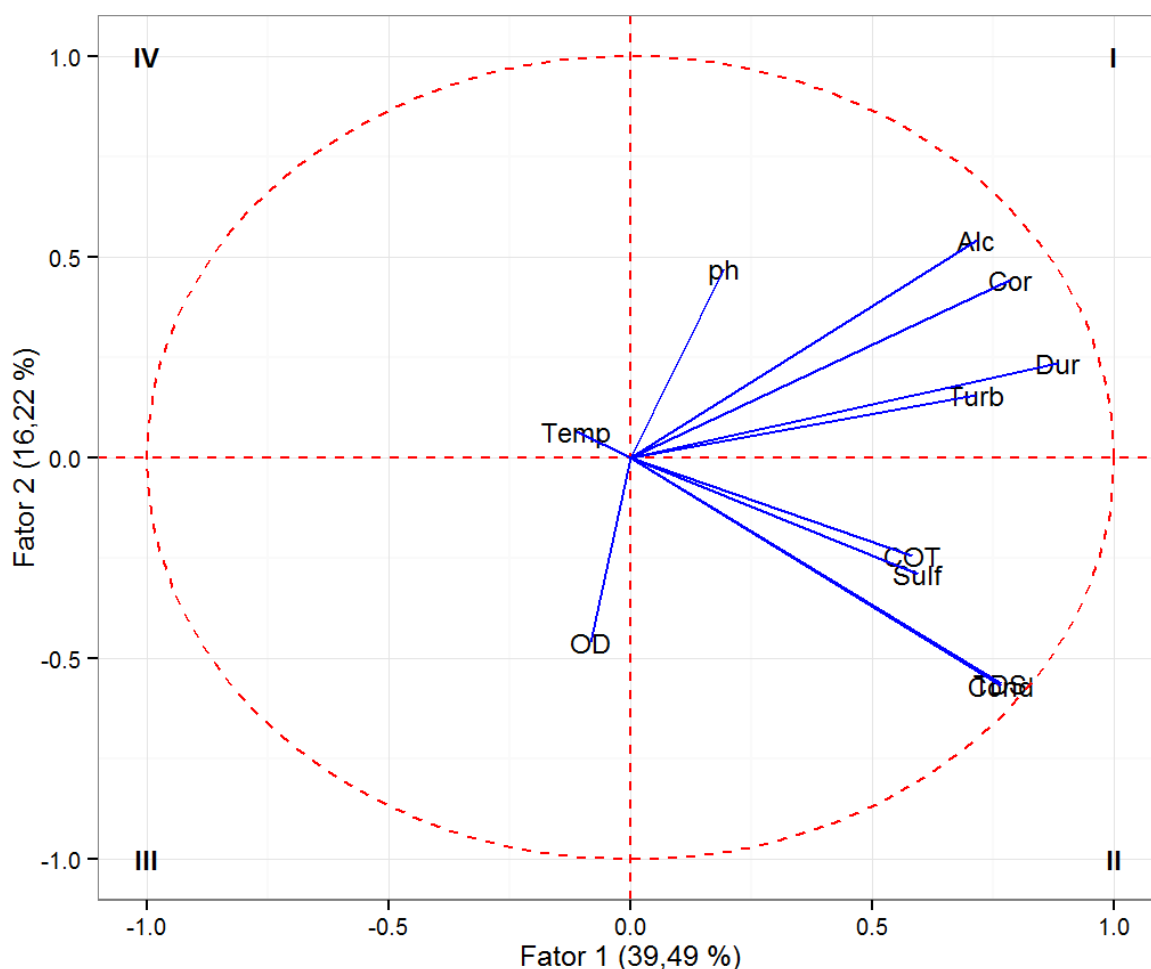


Figura 48: Distribuição de variáveis selecionadas da qualidade da água.

Na Figura 49 estão distribuídas as amostras de acordo com o observado na figura anterior (Figura 48). Isto é, nos quadrantes I e II estão localizadas as amostras com maior alcalinidade, cor, dureza, turbidez, carbono orgânico dissolvido, sulfatos, sólidos dissolvidos totais e condutividade, sendo predominantemente as amostras do *first flush* (FF). No centro do eixo estão localizadas as demais amostras que não apresentaram forte correlação com nenhum parâmetro analisado. É possível

observar amostras referentes à precipitação direta (PD) concentradas no quadrante III devido ao pH mais baixo registrado nesse ponto atribuído à maior temperatura que se encontra também negativamente correlacionado com fator 1. Os demais pontos de coleta, como análise do volume do reservatório (RR) e do volume morto (VM) localizados próximo ao eixo não apresentaram correlação forte com nenhum parâmetro e trata-se de aspecto positivo, o que comprova melhor qualidade nos resultados das análises quando comparado com os outros pontos do sistema.

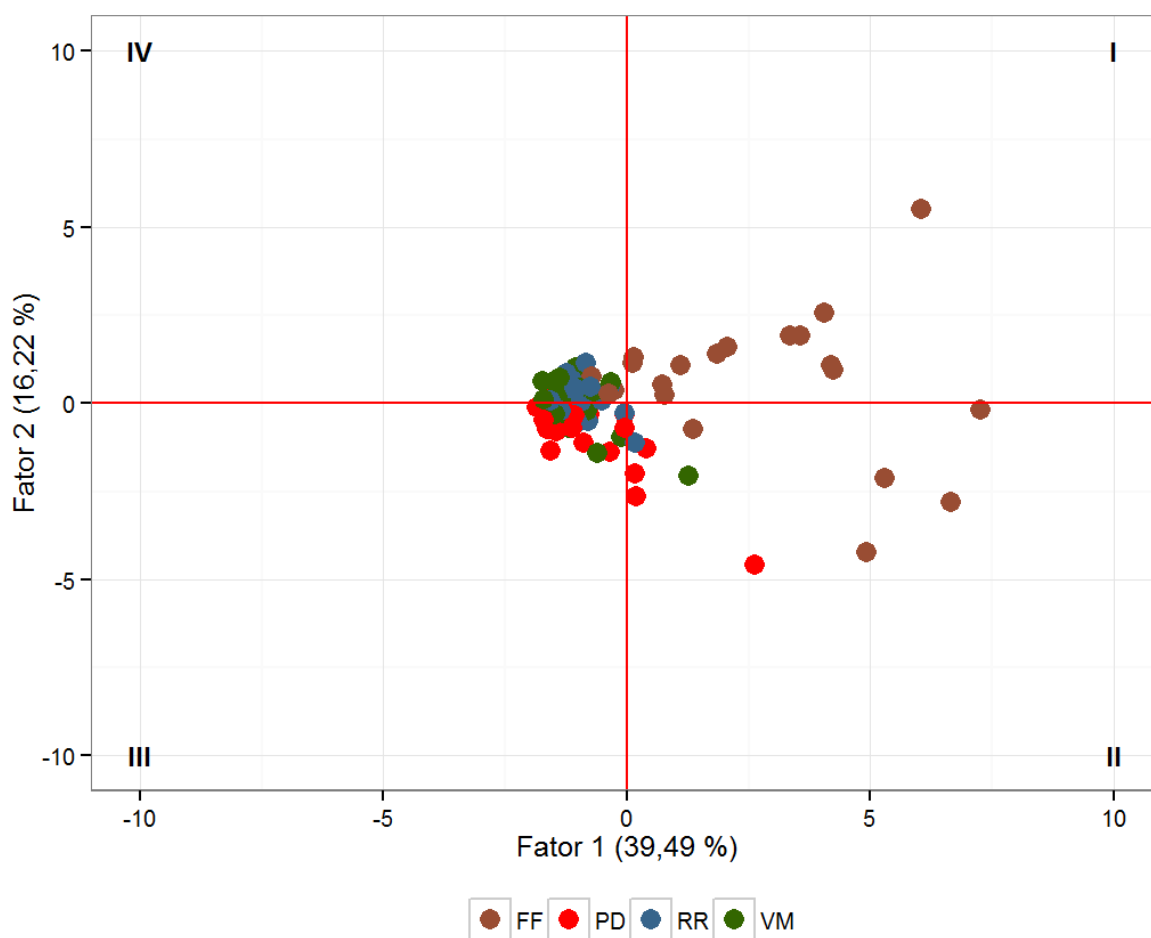


Figura 49: Distribuição das amostras do sistema.

4 CONCLUSÃO

Após o período completo de um ano de monitoramento dos aspectos quantitativos e sobretudo qualitativos das características da água da chuva coletada no sistema de captação e armazenamento de águas pluviais instalado no CAp-UERJ, conclui-se que:

- △ Em relação a sazonalidade não foram observadas diferenças estatisticamente significativas na maioria dos parâmetros. Contudo, o ano de 2014 e 2015 foi um ano atípico para toda região sudeste em função da forte estiagem registrada.
- △ As características das amostras do *first flush* evidenciam a necessidade do descarte dos primeiros minutos de chuva devido à alta turbidez e concentração de sólidos totais dissolvidos, além de sulfatos e carbono orgânico dissolvido. Contudo, a água reservada também apresentou turbidez em desconformidade com a legislação vigente e, portanto recomenda-se aumentar o volume descartado no *first flush* e/ou instalação de um filtro (200 μ m).
- △ Nas análises microbiológicas os resultados foram satisfatórios visto que não foram registrados presença de *Escherichia Coli* em nenhuma amostra, no entanto, a fim de se eliminar qualquer suspeita e risco é necessário que a água reservada passe pelo processo de desinfecção por cloração.
- △ Além da turbidez, é fundamental também equacionar o pH da água de modo torna-lo mais alcalino em função de cerca de 80 % das amostras apresentarem resultados abaixo de 6,0 de modo que evidencia o processo de chuva ácida largamente conhecido em grandes centros urbanos. Para regularização do pH sugere-se o uso de pedras de carbonato de cálcio que em contato com a água torna o meio mais alcalino.

Para fins de estudos futuros, é necessária a implantação de um sistema-filtro capaz de regularizar os três parâmetros supracitados, como: pH, coliformes e turbidez. O sistema deve possuir um filtro tela de 200 μ m para regularização da turbidez, compartimento com carbonato de cálcio para equacionar o pH, além de um dosador de cloro para desinfecção da água reservada.

No geral, o sistema apresentou características satisfatórias para uso final de lavagem de pisos, da quadra poliesportiva e descarga de sanitários. Contudo, devido o pH baixo não é recomendado o uso para irrigação dos jardins devido possíveis interferências na biogeoquímica do solo.

REFERÊNCIAS

- ANA. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2014)** BrasíliaANA, , 2015.
- ANAND, C. & APUL, D. S. Economic and environmental analysis of standard, high efficiency, Rainwater flushed, and composting toilets. **Journal of Environment Management**, v. 92, p. 419–428, 2011.
- ANDRE, R. G. B.; MARQUES, V. DA S.; PINHEIRO, F. M. A. & FERRAUDO, A. S. Identificação de regiões pluviometricamente homogêneas no estado do rio de janeiro, utilizando-se valores mensais. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 23, n. 4, p. 501–509, 2008.
- APHA; AWWA & WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20th. ed. [s.l: s.n.].
- BAIRD, C. **Química Ambiental**. 2^a. ed. Porto Alegre: [s.n.].
- BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; NASCIMENTO, L. E.; CARVALHO, G. R. M. & SILVA, C. V. **Coliformes como indicadores da qualidade da água: Alcance e limitações**. Anais do XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. **Anais...**Porto Alegre: 2000
- BAUMGARTE, M. DA G. Z. & POZZA, S. A. **Qualidade de Águas: descrição de parâmetros químicos referidos na legislação ambiental**. FURG ed. Rio Grande: [s.n.].
- BRIGANTE, J. & ESPINDOLA, E. L. G. **Limnologia fluvial – Um estudo no Rio Mogi-Guaçu. São Carlos**. 1. ed. São Carlos: Rima, 2003.
- CETESB. **Relatório da Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo 2011**. [s.l: s.n.].
- CHAPMAN, D. & KIMSTACH, V. The selection of water quality variables. In: CHAPMAN, D. (Ed.). . **Water Quality Assessments**. 1^a. ed. London: Chapman & Hall, 1992. p. 51–120.
- CRITCHLEY, W. R. S. & REIJ, C. **Water haversting for plant production**Case studies and conclusions from Sub-Saharan Africa, , 1989.

D'ORSI, R. N.; PAES, N. M.; MAGALHÃES, M. A.; COELHO, R. DA S.; JUNIOR, L. R. DA S. & CARNEIRO, T. S. **Relatório Anual de Chuva para a cidade do Rio de Janeiro no ano de 2014**. Rio de Janeiro: [s.n.].

DA CUNHA, G. R.; SANTI, A.; DALMAGO, G. A.; PIRES, J. L. F. & PASINATO, A. Dinâmica do pH da Água das Chuvas em Passo Fundo,RS. **Pesquisa Agropecuaria Brasileira**, v. 44, n. 1, p. 339–346, 2009.

DAOUD, A. K.; SWAILEH, K. M.; HUSSEIN, R. M. & MATANI, M. Quality assessment of roof-harvested rainwater in the West Bank , Palestinian Authority. p. 525–533, 2011.

ESTEVES, F. A. **Fundamentos de Limnologia**. 3^a. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2011.

EVENARI, M.; SHANAN, L.; TADMOR, N.; ITZHAKI, Y. & SHKOLNIK, A. **The Negev, the challenge of a desert**. 2^a. ed. Cambridge: Harvard University, 1982.

FRASIER, G. W. & MYERS, L. E. **Handbook of water harvesting**. 1. ed. Whashington DC: USDA, 1983.

GIANOTTI, E. P. Contaminação das águas pelo zinco - a dureza da água como um fator de modificação da toxicidade do zinco a peixes. **Revista DAE**, v. 145, 1986.

GIKAS, G. D. & TSIHRINTZIS, V. A. Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. **Journal of Hydrology**, v. 466-467, p. 115–126, 2012.

GOMES, U. A. F.; HELLER, L. & PENA, J. L. A National Program for Large Scale Rainwater Harvesting: An Individual or Public Responsibility? **Water Resources Management**, v. 26, n. 9, p. 2703–2714, 14 abr. 2012.

GOÑI, M. A.; CATHEY, M. W.; KIM, Y. H. & VOULGARIS, G. Fluxes and sources of suspended organic matter in an estuarine turbidity maximum region during low discharge conditions. **Estuarine, Coastal and Shelf Science**, v. 63 (2005) , 2005.

GRAEFF, Á.; TOMAZON, A. F.; PRUNE, E. N. & MARAFON, A. T. Influência da dureza e do pH no desenvolvimento do Jundiá (*Rhamdia quelen*) na fase de fertilização ate a produção de pós-larvas. **Revista Eletrônica de Veterinária**, v. 8, p. 1–7, 2007.

HANDIA, L.; MADALITSO, J. & MWIINDWA, C. Potential of rainwater harvesting

in urban Zambia. v. 28, p. 893–896, 2003.

HU, G. P.; BALASUBRAMANIAN, R. & WU, C. D. Chemical characterization of rainwater at Singapore. **Chemosphere**, v. 51, n. November 1999, p. 747–755, 2003.

INMET. **Normais Climatológicas do Brasil 1961-1990**.

INMET. **INMET**.

KHARE, P.; GOEL, A.; PATEL, D. & BEHARI, J. Chemical characterization of rainwater at a developing urban habitat of Northern India. **Atmospheric Research**, v. 69, p. 135–145, 2004.

KILLOPS, S. & KILLOPS, V. **Introduction to Organic Geochemistry**. 2. ed. [s.l.] Blackwell Scientific, 2005.

LAWLER, D. M.; PETTS, G. E.; FOSTER, I. D. L. & HARPER, S. Turbidity dynamics during spring storm events in an urban headwater river system: The Upper Tame, West Midlands, {UK}. **Science of The Total Environment**, v. 360, n. 1–3, p. 109–126, 2006.

MATT, A. & COHEN, J. **A rainwater collection and storage system is investigated, focusing on water quality at various points: from roof runoff to an underground concrete cistern. A prototype sand filtration system (designed to improve water quality) is built and then tested**. TOregon, 2001.

MEDEIROS, T. VAN B. DE. **Estudo para a Captação e Aproveitamento das Águas Pluviais para Fins Não Potáveis na Escola Municipal Professor Teófilo Moreira da Costa, Vargem Grande, Rio de Janeiro, RJ**. [s.l.] Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), 2012.

MENDEZ, C. B.; KLENZENDORF, J. B.; AFSHAR, B. R.; SIMMONS, M. T.; BARRETT, M. E.; KINNEY, K. A. & JO, M. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. **Water Research**, v. 45, n. 5, p. 2049–2059, 2011.

MORAES, P. B. **Tratamento Físico Químico de Efluentes Líquidos - Notas de Aula**. Campinas: [s.n.].

OHNUMA JR, A. A.; PICCOLI, R.; ACCIOLY, W.; MARQUES, M. & SILVA, L. P. DA. **A influência da poluição atmosférica na qualidade das águas pluviais para captação direta,descarte inicial e reservaçãoXXSBRH**. **Anais...**Rio de Janeiro: 2013

PEIXE, C. R. DA S. **Águas Pluviais para usos não potáveis em escolas municipais: estudo de caso na região da baixada de Jacarepaguá, RJ.** [s.l.] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2012.

PICCOLI, R. A. **Análise Físico-química da Qualidade das Águas Pluviais: Estudo de Caso - Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira , Rio Comprido – RJ.** [s.l.] Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2014.

PROSAB. **Tecnologias de segregação e tratamento de esgotos domésticos na origem, visando a redução do consumo da água e da infra-estrutura de coleta, especialmente nas periferias urbanas.** 1ª ed. Vitória: ABES, 2006.

ROCCA, G.; SANTI, A. & DALMAGO, G. A. Dinâmica do pH da água das chuvas em Passo Fundo , RS. n. 1, p. 339–346, 2009.

SAZAKLI, E.; ALEXOPOULOS, A & LEOTSINIDIS, M. Rainwater harvesting, quality assessment and utilization in Kefalonia Island, Greece. **Water research**, v. 41, n. 9, p. 2039–47, maio 2007.

SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos - 2013** Brasília Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental, , 2014.

SUDERHSA. **Manual de Drenagem Urbana: Região Metropolitana de Curitiba/PR.** Curitiba: [s.n.].

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. **Texas Guide to Rainwater Harvesting.** 2ª ed. Austin: [s.n.].

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva.** [s.l: s.n.]. v. I

TUCCI, C. E. M. PLANO DIRETOR DE DRENAGEM URBANA : PRINCÍPIOS E CONCEPÇÃO. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 2, n. 2, p. 5–12, 1997.

VALENTIN, J. L. **Ecologia Numérica - Uma introdução a Análise Multivariada de dados Ecológicos.** 2. ed. Rio de Janeiro: Interciência, 2012.

VIEIRA, S. **Introdução à bioestatística.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2008.

VIEIRA-FILHO, M. S.; LEHMANN, C. & FORNARO, A. Influence of local sources and topography on air quality and rainwater composition in Cubatão and São Paulo , Brazil. **Atmospheric Environment**, v. 101, p. 200–208, 2015.

YAZIZ, M. I.; GUNTING, H.; SAPARI, N. & GHAZALI, A. W. VARIATIONS IN

RAINWATER QUALITY FROM I \ Rubber hose J itl. v. 23, n. 6, p. 761–765, 1989.

ZAUNDERER, J. & HUTCHINSON, C. F. **A review of water harvesting techniques of the Arid Southwestern US and North Mexico.** [s.l: s.n.].

ZHU, K.; ZHANG, L.; HART, W.; LIU, M. & CHEN, H. Quality issues in harvested rainwater in arid and semi-arid Loess Plateau of northern China. v. 57, p. 487–505, 2004.

APÊNDICE A – PLANILHA DE ANOTAÇÃO DE CAMPO

Ficha de amostragem de campo					
Projeto : MAPLU				nº coleta:	
	Equipe:				
	Data:				
	Hora:				
	Coleta <i>ex situ</i> ?				
	Cobertura de nuvens:				
	Chuva no momento da coleta?				
	Última chuva:				
	Precipitação:				
Parâmetros	Unidade	Precipitação Direta	First Flush	Reservatório	Volume Morto
Temperatura. (°C)	°C				
pH	-				
pH	mV				
ORP	mV				
Condutividade	mS/cm				
Turbidez	NTU				
Oxigenio Dissolvido	mg/L				
Oxigênio Dissolvido	%				
TDS	g/L				
ppt	-				
σt	-				
Nº LES	-				
Observações:					

APÊNDICE B – RESULTADOS DAS ANÁLISES

Data		dez-14	dez-14	dez-14	dez-14	jan-15	jan-15	jan-15	jan-15	fev-15	fev-15	fev-15	fev-15	mar-15	mar-15	mar-15	mar-15	mar-15	mar-15	mar-15	mar-15	mar-15	mar-15	mar-15	mar-15	mar-15	mar-15	abr-15	abr-15	abr-15	abr-15
Ponto	UN.	FF	VM	R	PD	VM	R	PD	FF	FF	R	VM	PD	FF	VM	R	PD	FF	R	PD	VM	FF	R	PD	VM	R	VM	PD	FF		
Temperatura	°C	26	27	27	32	30	32	34	31	24	25	25	26	26	26	27	28	25	25	30	25	28	23	30	23	23	22	26	23		
ph	-	6	6	6	5	6	7	5	6	5	6	6	6	6	6	6	5	6	6	5	6	6	6	5	6	5	5	5	5	5	
ORP	mV	44	245	250	299	264	214	320	61	177	117	127	145	102	254	258	295	136	273	269	279	321	329	344	342	321	346	273	333		
Condutividade	mS/cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Turbidez	UNT	274	13	12	45	19	20	20	310	199	1	2	2	382	0	0	3	333	0	17	0	41	0	28	0	2	1	13	4		
OD	mg/L	2	3	4	4	2	2	3	4	7	5	5	7	3	4	4	7	2	5	5	6	5	5	6	5	4	4	6	3		
ODpct	%	24	39	45	57	24	25	48	60	87	57	56	86	39	49	56	86	22	63	64	71	59	65	74	61	52	47	76	39		
TDS	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Alcalinidade	mg/L	17	7	7	3	8	8	4	18	13	4	5	4	17	6	8	1	63	8	1	6	10	5	5	6	6	5	5	19		
Cor	µH	145	3	8	10	6	8	17	404	74	17	9	11	262	19	12	15	450	9	12	11	105	3	17	6	7	1	1	76		
Sulfato	mg/L	8	4	4	2	3	4	6	0	4	2	3	2	11	5	3	5	9	5	3	4	1	1	1	2	3	1	1	1	4	
Dureza	mg/L	5	2	2	4	3	3	8	12	12	2	3	12	6	2	2	4	19	2	1	2	2	3	1	1	2	2	1	5		
NHx	mg/L	3	6	3	7	2	2	3	3	2	3	4	4	1	0	0	1	1	1	1	0	1	1	1	0	4	0	1	1		
COT	mg/L	6	2	4	3	2	4	3	3	35	2	2	13	6	7	2	6	5	7	7	4	7	4	5	1	4	2	2	5		

Data		abr-15	abr-15	abr-15	abr-15	mai-15	mai-15	mai-15	mai-15	mai-15	mai-15	mai-15	mai-15	jun-15	jun-15	jun-15	jun-15	jun-15	jun-15	jun-15	jun-15	jun-15	jun-15	jun-15	ago-15	ago-15	ago-15	ago-15	
Ponto	UN.	FF	R	PD	VM	PD	FF	R	VM	FF	R	PD	VM	R	VM	FF	PD	PD	FF	R	VM	PD	FF	R	VM	FF	VM	PD	R
Temperatura	°C	21	22	21	21	21	20	21	22	22	24	23	24	23	22	22	23	24	23	23	22	27	25	24	24	23	23	22	23
ph	-	6	6	5	6	6	5	6	6	6	6	5	6	5	5	5	4	4	6	4	5	5	6	6	6	6	6	4	6
ORP	mV	335	277	388	307	207	351	297	291	188	222	0	259	310	312	319	381	348	101	307	302	300	121	313	315	88	295	311	292
Condutividade	mS/cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Turbidez	UNT	125	3	0	2	49	0	0	2	1	0	0	0	5	3	24	2	17	198	6	6	18	96	2	1	201	0	37	1
OD	mg/L	4	5	5	8	2	6	4	4	3	4	8	8	5	9	9	5	7	3	5	5	7	3	4	9	8	8	7	10
ODpct	%	50	60	64	93	28	64	50	48	41	45	96	5	55	109	108	59	83	34	64	64	86	42	48	110	98	100	86	110
TDS	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Alcalinidade	mg/L	31	3	2	8	17	3	6	6	22	12	1	12	11	10	81	1	1	49	10	7	1	30	8	8	96	6	1	14
Cor	µH	78	2	8	3	125	12	8	6	11	4	7	5	14	13	490	14	13	400	16	8	12	135	8	6	500	9	23	6
Sulfato	mg/L	3	3	3	2	4	3	3	3	16	2	3	5	4	2	14	14	3	21	4	4	2	40	5	50	39	12	21	11
Dureza	mg/L	9	2	1	2	7	2	2	2	8	4	2	3	4	3	26	7	2	21	3	3	2	30	6	6	26	6	6	6
NHx	mg/L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
COT	mg/L	3	3	3	1	6	3	4	2	7	7	3	2	2	3	9	3	2	7	2	2	2	12	3	3	9	3	5	5

Data		set-15	set-15	set-15	set-15	set-15	set-15	set-15	set-15	out-15	out-15	out-15	out-15	nov-15	nov-15	nov-15	nov-15	nov-15	nov-15	nov-15	nov-15	nov-15	nov-15	nov-15	nov-15	dez-15	dez-15	dez-15	dez-15
Ponto	UN.	R	FF	VM	PD	PD	FF	R	VM	PD	FF	R	VM	PD	FF	R	VM	PD	FF	R	VM	PD	FF	R	VM	PD	FF	R	VM
Temperatura	°C	24	26	23	34	23	24	24	24	26	27	26	26	25	25	25	25	30	32	29	26	25	24	24	24	33	29	29	29
ph	-	6	6	6	4	6	4	6	5	4	6	6	6	5	6	6	6	6	5	6	6	4	6	5	5	4	3	4	4
ORP	mV	296	219	297	344	210	310	154	261	424	290	332	356	261	171	259	234	135	274	279	275	381	37	163	204	341	230	253	389
Condutividade	mS/cm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Turbidez	UNT	0	324	0	46	800	19	5	3	6	272	7	5	31	342	6	4	10	10	0	0	0	0	0	0	9	45	0	0
OD	mg/L	5	3	7	4	8	7	6	8	7	4	6	5	8	5	7	8	9	10	9	10	8	2	6	5	7	4	5	5
ODpct	%	57	34	77	54	96	91	73	94	82	56	77	69	103	52	87	94	116	134	117	130	96	27	71	60	90	48	67	64
TDS	mg/L	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Alcalinidade	mg/L	10	148	15	1	22	2	8	8	1	54	15	26	19	57	27	42	26	1	8	9	1	50	20	21	1	27	17	13
Cor	µH	4	500	12	23	145	13	8	8	23	500	17	16	105	500	37	43	204	14	8	12	5	19	7	4	24	199	11	6
Sulfato	mg/L	2	3	1	1	8	3	3	3	2	8	8	2	3	3	3	1	8	3	3	3	0	2	1	1	2	1	2	0
Dureza	mg/L	2	39	3	3	12	2	2	3	4	12	3	3	4	12	3	3	12	2	2	3	2	5	3	2	2	5	2	2
NHx	mg/L	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
COT	mg/L	3	10	5	4	6	8	2	2	3	7	4	2	4	7	2	3	7	3	4	2	2	2	4	1	2	3	2	1

