



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Flávio Giro de Oliveira


**Análise da viabilidade de um sistema domiciliar de aproveitamento de
águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro**

Rio de Janeiro

2020

Flávio Giro de Oliveira

Análise da viabilidade de um sistema domiciliar de aproveitamento de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro



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

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Jr.

Coorientador: Prof. Dr. Marcelo Obraczka

Rio de Janeiro

2020

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

O48 Oliveira, Flávio Giro de.
Análise da viabilidade de um sistema domiciliar de aproveitamento de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro / Flávio Giro de Oliveira. – 2020.
154f.

Orientador: Alfredo Akira Ohnuma Junior.
Coorientador: Marcelo Obraczka.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia ambiental - Teses. 2. Águas pluviais - Teses. 3. Água - Reuso - Teses. 4. Abastecimento de água nas cidades - Teses. 5. Hidrologia urbana - Teses. I. Ohnuma Junior, Alfredo Akira. II. Obraczka, Marcelo. III. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia. IV. Título.

CDU 628.116.2

Bibliotecária: Júlia Vieira – CRB7/6022

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

Assinatura

Data

Flávio Giro de Oliveira

Análise da viabilidade de um sistema domiciliar de aproveitamento de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro

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

Aprovada em 31 de agosto de 2020.

Banca Examinadora:

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

Prof. Dr. Marcelo Obraczka (Coorientador)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Rodrigo Braga Moruzzi
Universidade Estadual Paulista - UNESP

Prof.^a Dra. Rosane Cristina de Andrade
Faculdade de Engenharia – UERJ

Rio de Janeiro

2020

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus por ter me dado forças para continuar nos momentos em que seria mais fácil desistir e por ter colocado em meu caminho, durante esta jornada, pessoas incríveis que me fizeram persistir.

Aos meus pais, Wilson e Adelina, por demonstrarem o orgulho que sentem pelo filho. Não podia decepcioná-los!

À Juliana, minha companheira de sempre, pela força e compreensão nos momentos de estudo.

Ao meu querido filho Flavio pelo carinho, incentivo e compreensão nas ausências do pai.

Ao meu compadre Jimmy e minha comadre Cristina pelo apoio e por, além de ter cedido sua casa e sua família para realização do experimento, acreditaram.

Aos meus queridos amigos Diogo Rosa, André Faria, Rafael Caldeira, Felipe Catorza e todos os outros, que de alguma forma me estenderam a mão nos momentos difíceis e comemoraram comigo os de felicidade.

Aos meus professores orientadores Akira e Marcelo, pela paciência e auxílio ao longo deste trabalho. Obrigado por todos os conselhos, orientações e por acreditarem que daria certo, algo que cheguei a duvidar inúmeras vezes.

Aos meus professores, que com espírito altruísta, doaram o melhor de si.

Meu agradecimento especial à equipe do Laboratório de Engenharia Sanitária da UERJ, em especial professora Daniele, aos técnicos e aos alunos de iniciação científica da graduação pela ajuda com as análises físico-químicas.

Agradeço aos membros da banca que mesmo com suas rotinas corridas aceitaram o convite e dedicaram um tempo para leitura e correção do meu trabalho, para que o mesmo pudesse ser aperfeiçoado.

Ao Departamento de Engenharia Ambiental (DESMA) e ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental (PEAMB) da UERJ.

É muito melhor lançar-se em busca de conquistas grandiosas, mesmo expondo-se ao fracasso, do que formar fila com os pobres de espírito, que nem gozam muito nem sofrem muito, porque vivem numa penumbra cinzenta, onde não conhecem nem vitória, nem derrota.

Theodore Roosevelt

RESUMO

OLIVEIRA, Flávio Giro. *Análise da viabilidade de um sistema domiciliar de aproveitamento de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro*. 2020. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

A elevada densidade demográfica, a ocupação desordenada do uso do solo e a poluição dos recursos hídricos têm agravado às condições do aumento da demanda de água e os impactos das águas urbanas. Diante deste cenário, a disponibilidade hídrica em diversas regiões do país é afetada em termos de captação e distribuição de água como fontes convencionais de abastecimento. Este trabalho tem como objetivo avaliar a operação de um sistema híbrido de abastecimento de água convencional e de águas pluviais a partir de um sistema residencial implantado na cidade do Rio de Janeiro. A metodologia consiste da análise de série histórica de dados pluviométricos, consumo de água na edificação e de operação do sistema quanto aos volumes armazenados, tratados e distribuídos aos aparelhos sanitários. O desenvolvimento do sistema automatizado de aproveitamento de águas pluviais em uma moradia urbana utiliza as instalações hidráulicas e reservatórios existentes, com foco na redução do consumo de água potável de fontes tradicionais, de maneira integrada ao uso da água da chuva. Os resultados da qualidade da água da chuva alcançados com tratamento empregado mostraram-se promissores, de modo que a água da chuva apresenta-se como uma opção favorável de abastecimento urbano em seus diversos usos. Com a utilização de uma pequena área de telhado para a captação (82 m^2) e um volume total de reservação de $3,3 \text{ m}^3$, integrado à rede de distribuição da concessionária, observou-se uma economia total de $81,4 \text{ m}^3$ de água em doze meses, correspondendo a 32,6% do consumo total de água na residência, e uma economia financeira anual de US\$ 293,02. Com uma vida útil estimada em 20 anos e baixo custo de operação/manutenção, o sistema mostrou-se viável, apresentando um período de retorno do investimento estimado em cinco anos e nove meses.

Palavras-chave: Aproveitamento de águas pluviais; Abastecimento urbano; Crise hídrica; Qualidade da água da chuva.

ABSTRACT

OLIVEIRA, Flávio Giro. *Analysis of the feasibility of a domestic system for rainwater use in the city of Rio de Janeiro*. 2020. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020.

The high population density, the disordered occupation of land use and the pollution of water resources have aggravated the conditions of the increase in water demand and the impacts of urban waters. Given this scenario, water availability in different regions of the country is affected in terms of water collection and distribution as conventional sources of supply. This work aims to evaluate the operation of a hybrid system for supplying conventional water and rainwater from a residential system implemented in the city of Rio de Janeiro. The methodology consists of the analysis of historical series of pluviometric data, water consumption in the building and operation of the system regarding the volumes stored, treated and distributed to the sanitary devices. The development of the automated system for the use of rainwater in an urban dwelling uses the existing hydraulic installations and reservoirs, with a focus on reducing the consumption of drinking water from traditional sources, in an integrated manner with the use of rainwater. The results of the rainwater quality achieved with the treatment employed proved promising, so that rainwater presents itself as a favorable option for urban supply in its various uses. With the use of a small roof area for catchment (82 m²) and a total reserve volume of 3.3 m³, integrated into the concessionaire's distribution network, there was a total saving of 81.4 m³ of water in twelve months, corresponding to 32.6% of total water consumption at the residence, and an annual financial savings of US\$ 293.02. With an estimated useful life of 20 years and low cost of operation / maintenance, the system proved to be viable, with an estimated return on investment of five years and nine months.

Keywords: Use of rainwater; Urban supply; Water crisis; Rainwater quality.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 –	Regiões hidrográficas do Brasil.....	22
Figura 2 –	Disponibilidade hídrica por região em função da população e área territorial.....	23
Figura 3 –	Total de água retirada e consumida no Brasil em 2018.....	24
Figura 4 –	Demanda de água por região geográfica.....	25
Figura 5 –	Ciclo hidrológico.....	26
Figura 6 –	Médias históricas da precipitação mensal no Brasil.....	27
Figura 7 –	Anomalias de precipitação baseadas na climatologia entre 1981 e 2010.....	27
Figura 8 –	Localização das 33 estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio e detalhe hipsométrico da cidade do Rio de Janeiro.....	28
Figura 9 –	Climatologia da precipitação média anual (mm/ano) para o período 1997-2016, a partir das estações pluviométricas do Alerta Rio.....	29
Figura 10 –	Climatologia da precipitação média mensal (mm/mês) para o período 1997-2016: (a) Verão; (b) Outono; (c) Inverno e (d) Primavera.....	30
Figura 11 –	Perfil de consumo de água em residências unifamiliares na cidade de São Paulo por equipamento hidráulico.....	31
Figura 12 –	Componentes de um sistema de aproveitamento de águas pluviais.....	35
Figura 13 –	Captação da água de chuva em telhados.....	36
Figura 14 –	Calhas e condutores em um sistema de aproveitamento de águas pluviais.....	38
Figura 15 –	Exemplos de filtros para sólidos grosseiros (Folhas).....	39
Figura 16 –	Funcionamento do <i>First Flush</i>	40
Figura 17 –	Reservatório para captação de água da chuva.....	41
Figura 18 –	Exemplo de gráfico utilizado na análise de componentes principais (ACP).....	50
Figura 19 –	Fluxograma metodológico da pesquisa.....	54
Figura 20 –	Local do estudo.....	55
Figura 21 –	Fluxograma do sistema de aproveitamento de águas pluviais.....	56

Figura 22 –	Esquema geral do sistema de aproveitamento de águas pluviais.....	57
Figura 23 –	Esquema da parte externa do sistema de aproveitamento de águas pluviais.....	57
Figura 24 –	Esquema da parte interna do sistema de aproveitamento de águas pluviais.....	58
Figura 25 –	Área de captação.....	58
Figura 26 –	Pontos de captação do sistema de aproveitamento de águas pluviais.....	59
Figura 27 –	Componentes envolvidos no tratamento da água da chuva localizados na parte externa do SAAP.....	60
Figura 28 –	Filtro de folhas.....	61
Figura 29 –	<i>First flush</i>	62
Figura 30 –	Localização do reservatório inferior no SAAP.....	63
Figura 31 –	Bomba d'água periférica de 0,5 CV.....	64
Figura 32 –	Dispositivo de acionamento da Bomba d'água e eletroboia.....	64
Figura 33 –	Coluna de adsorção experimental para a água da chuva.....	65
Figura 34 –	Elementos filtrantes/adsorventes utilizados na coluna de adsorção para água da chuva.....	66
Figura 35 –	Esquema da coluna de adsorção experimental para água da chuva.....	67
Figura 36 –	Clorador automático utilizado no SAAP.....	68
Figura 37 –	Esquema de reservação e abastecimento de água na residência.....	69
Figura 38 –	Meses úmidos e secos durante o período do estudo, de acordo com a pluviometria no bairro Jardim Sulacap, Rio de Janeiro-RJ.....	72
Figura 39 –	Fluxo da água no sistema de tratamento.....	74
Figura 40 –	Dias secos consecutivos antecedentes às coletas das amostras de água da chuva.....	75
Figura 41 –	Estação Telepluviométrica de Madureira, próximo ao local do sistema de aproveitamento de águas pluviais no Jardim Sulacap, Rio de Janeiro.....	76
Figura 42 –	Localização da estação pluviométrica Madureira, área de abrangência e o local do estudo de implantação do sistema de águas pluviais no bairro Jardim Sulacap.....	77

Figura 43 –	Localização dos hidrômetros.....	78
Figura 44 –	Gráfico de pH para todo o período do estudo (T), período úmido (U) e período seco (S) dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), <i>first flush</i> (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).....	85
Figura 45 –	Gráfico de cor aparente para todo o período do estudo (T), período úmido (U) e período seco (S) dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), <i>first flush</i> (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).....	87
Figura 46 –	Gráfico de turbidez para todo o período do estudo (T), período úmido (U) e período seco (S) dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), <i>first flush</i> (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).....	89
Figura 47 –	Gráfico de condutividade elétrica para todo o período do estudo (T), período úmido (U) e período seco (S) dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), <i>first flush</i> (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).....	91
Figura 48 –	Gráfico de alcalinidade para todo o período do estudo (T), período úmido (U) e período seco (S) dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), <i>first flush</i> (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).....	93
Figura 49 –	Gráfico de dureza total para todo o período do estudo (T), período úmido (U) e período seco (S) dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), <i>first flush</i> (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).....	95
Figura 50 –	Gráfico de cloreto para todo o período do estudo (T), período úmido (U) e período seco (S) dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), <i>first flush</i> (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).....	97
Figura 51 –	Matriz de correlação das variáveis de qualidade de água para todo o período do estudo.....	104
Figura 52 –	Análise de componentes principais dos parâmetros físico-químicos para todo o período do estudo.....	107

Figura 53 – Matriz de correlação das variáveis de qualidade de água para o período úmido.....	108
Figura 54 – Análise de componentes principais dos parâmetros físico-químicos para o período úmido.....	111
Figura 55 – Matriz de correlação das variáveis de qualidade de água para o período seco.....	112
Figura 56 – Análise de componentes principais dos parâmetros físico-químicos para o período seco.....	115
Figura 57 – Dados de precipitação mensal acumulada com base na série histórica da Estação Pluviométrica de Madureira (1997-2019).....	116
Figura 58 – Série histórica anual de precipitação da Estação Pluviométrica de Madureira.....	117
Figura 59 – Precipitação mensal, dias consecutivos secos e dias totais de chuva durante o período do estudo.....	117
Figura 60 – Histórico do consumo de água potável, água de chuva e perdas na captação, em função da precipitação total mensal.....	119
Figura 61 – Demonstrativo do consumo total de água na moradia unifamiliar na cidade do Rio de Janeiro.....	120
Figura 62 – Gráfico do percentual de atendimento à demanda em função da área de captação.....	121
Figura 63 – Economia financeira em 20 anos de operação do SAAP, tempo de amortização do investimento e demanda atendida para diferentes tamanhos de área de captação.....	125

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estimativas de consumo residencial de água no Brasil.....	31
Tabela 2 – Qualidade da água da chuva em função da área de coleta.....	43
Tabela 3 – Requisitos de tratamento da água da chuva para os diferentes usos pretendidos.....	44
Tabela 4 – Métodos de tratamento da água da chuva.....	44
Tabela 5 – Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis.....	45
Tabela 6 – Parâmetros físico-químicos e biológicos de qualidade da água para consumo humano conforme a Portaria nº05/2017 do Ministério da Saúde...	46
Tabela 7 – Legislações municipais sobre aproveitamento da água da chuva.....	51
Tabela 8 – Legislações estaduais sobre aproveitamento da água da chuva.....	52
Tabela 9 – Datas das coletas das amostras de água de chuva e os parâmetros analisados.....	70
Tabela 10- Nomenclaturas utilizadas para a identificação dos parâmetros físico-químicos do sistema de aproveitamento de águas pluviais.....	70
Tabela 11- Parâmetros físico-químicos conforme a Portaria nº5/2017 do Ministério da Saúde, NBR 15527/2019 (ABNT) e métodos utilizados nas análises	71
Tabela 12- Parâmetros biológicos conforme a Portaria de Consolidação nº05/2017 do Ministério da Saúde, NBR 15527/2019 (ABNT) e métodos utilizados nas análises.....	73
Tabela 13- Descrição dos pontos de consumo de água e fontes de abastecimento na residência.....	79
Tabela 14- Estrutura tarifária domiciliar da concessionária (CEDAE) de água e esgotos praticada na cidade do Rio de Janeiro.....	81
Tabela 15- Estatística descritiva do parâmetro pH para todo o período do estudo, período úmido e período seco dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), <i>first flush</i> (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).....	84
Tabela 16- Estatística descritiva do parâmetro cor aparente para todo o período do estudo, período úmido e período seco dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), <i>first flush</i> (FF), reservatório inferior (RI) e	

	reservatório superior (RS).....	86
Tabela 17-	Estatística descritiva do parâmetro turbidez para todo o período do estudo, período úmido e período seco dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), <i>first flush</i> (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).....	88
Tabela 18-	Estatística descritiva do parâmetro condutividade elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$) para todo o período do estudo, período úmido e período seco dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), <i>first flush</i> (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).....	90
Tabela 19-	Estatística descritiva do parâmetro alcalinidade (mg/L) para todo o período do estudo, período úmido e período seco dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), <i>first flush</i> (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).....	92
Tabela 20-	Estatística descritiva do parâmetro dureza total para todo o período do estudo, período úmido e período seco dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), <i>first flush</i> (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).....	94
Tabela 21-	Estatística descritiva do parâmetro cloreto para todo o período do estudo, período úmido e período seco dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), <i>first flush</i> (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).....	96
Tabela 22-	Resultado das análises para Coliformes totais, termotolerantes e <i>Escherichia coli</i> dos pontos Precipitação Direta (PD), <i>First Flush</i> (FF), Reservatório Inferior (RI) e Reservatório Superior (RS).....	98
Tabela 23-	Comparação dos resultados físico-químicos e biológicos da água da chuva coletada nos reservatórios inferior (RI) e superior (RS) com outros autores.	100
Tabela 24-	Variação percentual nos parâmetros analisados em cada fase do tratamento.....	101
Tabela 25-	Matriz de cargas fatoriais das variáveis originais para todo o período do estudo.....	105
Tabela 26-	Matriz de cargas fatoriais das variáveis selecionadas para todo o período....	106
Tabela 27-	Matriz de cargas fatoriais das variáveis originais para o período úmido.....	109

Tabela 28-	Matriz de cargas fatoriais das variáveis selecionadas para o período úmido.	110
Tabela 29-	Matriz de cargas fatoriais das variáveis originais para o período seco.....	113
Tabela 30-	Matriz de cargas fatoriais das variáveis selecionadas para o período seco....	114
Tabela 31-	Descrição mensal do consumo de água na residência.....	118
Tabela 32-	Economia financeira mensal gerada pelo sistema de aproveitamento de águas pluviais.....	122
Tabela 33-	Custo de implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais.....	123
Tabela 34-	Dados utilizados na análise do período de retorno do investimento.....	124
Tabela 35-	Análise de viabilidade econômica em relação às áreas de captação.....	124
Tabela 36-	Análise per capita do custo de implantação do sistema, economia média diária de água, economia financeira média diária (*) e custo médio do metro cúbico de água de chuva aproveitada, em relação às áreas de captação empregadas no SAAP.....	125

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACP - Análise de Componentes Principais

ANA - Agência Nacional de Águas

APHA - *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas

CEDAE - Companhia Estadual de Águas e Esgotos - RJ

CNRH - Conselho Nacional de Recursos Hídricos

FF - *First Flush*

GEO-RIO - Fundação Instituto de Geotécnica - RJ

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LQ - Limite de Quantificação

MMA – Ministério do Meio Ambiente

MS - Ministério da Saúde

NBR - Norma Brasileira

OMS - Organização Mundial da Saúde

PVC - Policloreto de Polivinila

PD - Precipitação Direta

RH - Regiões Hidrográficas

RI – Reservatório Inferior

RS – Reservatório Superior

RWH - *Roof Water Harvesting*

SAAP - Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

UNEP - *United Nations Environment Programme*

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	18
1	REVISÃO DA LITERATURA	22
1.1	Disponibilidade hídrica no Brasil	22
1.2	Ciclo hidrológico	25
1.3	Distribuição pluviométrica	26
1.3.1	<u>Distribuição das chuvas no Brasil</u>	26
1.3.2	<u>Aspectos pluviométricos na cidade do Rio de Janeiro</u>	28
1.4	Demanda residencial urbana	30
1.5	Aproveitamento da água da chuva	32
1.6	Sistemas de aproveitamento de águas pluviais	34
1.6.1	<u>Área de captação</u>	35
1.6.2	<u>Sistema de transporte das águas pluviais por calhas e condutores</u>	37
1.6.3	<u>Grades e filtros</u>	38
1.6.4	<u>Dispositivo de descarte da primeira chuva ou <i>First Flush</i></u>	39
1.6.5	<u>Reservatórios</u>	40
1.7	Qualidade da água da chuva	42
1.7.1	<u>Parâmetros de qualidade da água</u>	45
1.8	Análise de Componentes Principais (ACP)	48
1.9	Legislações sobre aproveitamento de água da chuva	50
2	METODOLOGIA	54
2.1	Fluxograma metodológico da pesquisa	54
2.2	Local de estudo	55
2.3	Sistema de aproveitamento de águas pluviais (SAAP) na edificação unifamiliar	55
2.3.1	<u>Parte externa do sistema</u>	57
2.3.2	<u>Parte interna do sistema</u>	58
2.3.3	<u>Captação</u>	58
2.3.4	<u>Tratamento</u>	59
2.3.5	<u>Reservação e distribuição</u>	68
2.4	Qualidade da água	69

2.4.1	<u>Parâmetros físico-químicos</u>	70
2.4.2	<u>Parâmetros biológicos analisados na água da chuva</u>	72
2.4.3	<u>Avaliação da eficácia do sistema de tratamento</u>	73
2.4.4	<u>Análise de Componentes Principais (ACP)</u>	74
2.5	Aproveitamento da água da chuva	75
2.5.1	<u>Oferta de água da chuva</u>	76
2.5.2	<u>Coleta de dados de captação e consumo</u>	77
2.5.3	<u>Análise da economia de água</u>	78
2.5.4	<u>Comportamento do atendimento à demanda diante de variações pluviométricas</u>	79
2.5.5	<u>Análise de viabilidade econômica e período de retorno do investimento</u>	81
3	RESULTADOS E DISCUSSÕES	83
3.1	Qualidade da água da chuva obtida de amostras do SAAP	83
3.1.1	<u>Parâmetros físico-químicos de amostras coletadas no SAAP</u>	83
3.1.2	<u>Parâmetros biológicos de amostras coletadas no SAAP</u>	97
3.1.3	<u>Comparação dos resultados obtidos com outros estudos</u>	99
3.1.4	<u>Avaliação da eficácia do tratamento</u>	100
3.2	Análise de Componentes Principais (ACP)	103
3.2.1	<u>Período total</u>	103
3.2.2	<u>Período úmido</u>	108
3.2.3	<u>Período seco</u>	111
3.3	Aproveitamento da água da chuva	116
3.3.1	<u>Oferta de água da chuva</u>	116
3.3.2	<u>Análise da economia de água gerada pelo SAAP</u>	118
3.3.3	<u>Análise da economia financeira gerada com a utilização do SAAP</u>	121
3.3.4	<u>Tempo de recuperação do investimento</u>	123
	CONCLUSÕES	127
	REFERÊNCIAS	130
	APÊNDICE - Custos para implantação do SAAP	139
	ANEXO A - Relatório de análise biológica do RS (Março)	140
	ANEXO B - Relatório de análise biológica do RI (Março)	141
	ANEXO C - Relatório de análise biológica do FF (Março)	142
	ANEXO D - Relatório de análise biológica do RS (Maio)	143
	ANEXO E - Relatório de análise biológica do RI (Maio)	144

ANEXO F - Relatório de análise biológica do FF (Maio).....	145
ANEXO G - Relatório de análise biológica da PD (Maio).....	146
ANEXO H - Relatório de análise biológica do RS (Agosto).....	147
ANEXO I - Relatório de análise biológica RI (Agosto).....	148
ANEXO J - Relatório de análise biológica do FF (Agosto).....	149
ANEXO K - Relatório de análise biológica da PD (Agosto).....	150
ANEXO L - Relatório de análise biológica do RS (Dezembro).....	151
ANEXO M - Relatório de análise biológica do RI (Dezembro).....	152
ANEXO N - Relatório de análise biológica do FF (Dezembro).....	153
ANEXO O - Relatório de análise biológica da PD (Dezembro).....	154

INTRODUÇÃO

Problemática e Justificativa

O crescimento populacional, combinado com a industrialização, mudanças no clima, urbanização e a intensificação da agricultura, tem provocado uma crise global no abastecimento de água, principalmente em grandes centros urbanos (SANTOS et al., 2020; ADHAN et al., 2019; MUSAYEV et al., 2018). Segundo o *United Nations Environment Programme* (UNEP, 2009) desde 1950, o número de pessoas que vivem nas áreas urbanas saltou de 750 milhões para mais de 2,5 bilhões de pessoas. Atualmente, cerca de 61 milhões de pessoas são adicionadas às cidades a cada ano por meio da migração das áreas rurais para urbanas, aumento natural nas cidades e transformação de pequenas cidades em centros urbanos. Em 2025, a população urbana total deve dobrar para mais de cinco bilhões, e espera-se que 90% desse aumento ocorra nos países em desenvolvimento.

No Brasil, o cenário não é diferente daquele que ocorre em boa parte dos outros países, onde a maioria da população está concentrada em grandes centros urbanos, com graves problemas de acesso à água de qualidade e em quantidade adequada (WURTHMANN, 2020; GÓMEZ e TEIXEIRA, 2017). Segundo o IBGE (2010) a grande maioria da população brasileira está concentrada nas áreas urbanas, passando de 56% em 1970 para 84% em 2010.

A contaminação da água potável, tanto por nitrato, como por metais pesados em rios, lagos e reservatórios são problemas comuns em todo o mundo. Um número crescente de pessoas está se tornando dependente de reservas limitadas de água doce, cujas características têm sido afetadas de forma descontrolada em grande parte poluídas, devido à urbanização e a falta de sistemas alternativos e eficazes de controle. Nesse sentido, a segurança hídrica, e a alimentar, está se tornando uma prioridade nacional e regional em muitas áreas do mundo (UNEP 2002).

As cidades exigem grandes quantidades de água para atender suas demandas, devido à elevada densidade populacional (COHIM, 2007). Entre os métodos mais utilizados para atender a essa demanda destacam-se: captação de águas superficiais que podem inclusive englobar a construção de grandes barragens e de sistemas de adução e retirada de água de fontes subterrâneas. Isso pode ser ecologicamente insustentável, além de oneroso, causando estresse hídrico no rio à jusante e alterando a biodiversidade da região. Além disso, os níveis de água subterrânea podem declinar nas áreas urbanas, como resultado do aumento do

bombeamento, bem como, pela impermeabilização de extensas áreas, com praticamente nenhuma infiltração natural (UNEP, 2009).

Cohim et al. (2007) afirmam que o crescimento populacional e a acelerada urbanização, com conseqüente aumento da demanda por água, têm causado a insuficiência e degradação dos mananciais superficiais e subterrâneos próximos a estas regiões, gerando a necessidade de maiores volumes de água, em locais cada vez mais distantes, com elevados custos devido às demandas de energia para o transporte dessas vazões.

O abastecimento da região metropolitana do Rio de Janeiro depende, quase que exclusivamente, da captação da água do rio Guandu, que por sua vez, recebe a água do rio Paraíba do Sul, responsável pelo abastecimento de outras áreas urbanas. Tanto o rio Guandu, quanto o Paraíba do Sul, têm apresentado, constantemente nos últimos anos, problemas de estresse hídrico e poluição, causando deficiência no abastecimento e aumento dos custos de tratamento da água. A crise hídrica, no geral, tem sido provocada pela degradação da qualidade da água do rio Guandu, causada pelo aumento de despejos de efluentes domésticos e industriais (PAIVA et al., 2020, EMPINOTTI et al., 2019).

Diante desse cenário, o uso de fontes alternativas para o abastecimento urbano vem se tornando cada vez mais atrativo, necessitando ainda, da realização de avaliações quanto à viabilidade para tornarem-se soluções atraentes. Entre as possibilidades de fontes alternativas de abastecimento de água, sistemas de aproveitamento da água da chuva têm se tornado soluções técnicas capazes de atender demandas menos nobres do uso da água (SEMAAN et al., 2020; TAMAGNONE et al., 2020; BAIYEGUNHI, 2015).

O incentivo à utilização da água da chuva no atendimento aos fins menos nobres representa uma forma de preservação dos recursos hídricos e de diminuição da pressão nos mananciais, na medida em que se torna uma fonte primária descentralizada de água, em resposta à elevada demanda de sistemas de abastecimento em grandes centros urbanos (GONELA et al., 2020; LEONG et al., 2019).

Recentemente, em 31 de outubro de 2017, foi incluído pela Lei Federal nº 13.501 o objetivo de incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de águas pluviais na Política Nacional de Recursos Hídricos, Lei Federal nº 9.433/97, também conhecida como Lei das Águas.

O aproveitamento da água da chuva é realizado, em diversos países, como: Japão, Austrália, Estados Unidos, Alemanha, Brasil e outros. A maioria das aplicações resume-se ao uso da água para finalidades menos nobres, como: lavagem de pisos, descarga de sanitários, rega de jardins e lavagem de veículos, sendo poucos os exemplos de utilização para fins mais nobres, como: banho, lavagem de roupas e dessedentação humana e animal.

Embora o incentivo a utilização da água da chuva para os fins ditos menos nobres, já represente uma forma de preservação dos recursos hídricos e a diminuição da pressão nos mananciais, essa fonte primária de água possui um potencial promissor como fonte alternativa e descentralizada para o abastecimento de grandes centros urbanos.

O conhecimento dos aspectos qualitativos e quantitativos das águas da chuva é fundamental na definição do emprego a que se destina, bem como da necessidade do tipo de tratamento mais adequado para o atendimento dos parâmetros e limites característicos dos usos pretendidos.

Para definição da adoção ou não dessa alternativa de abastecimento de água deve ser empreendida uma avaliação da praticidade, do funcionamento e da viabilidade técnica e econômica dos sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

Objetivos Geral e Específicos

Objetivo Geral

Avaliar o aproveitamento da água de chuva em uma moradia unifamiliar urbana localizada na cidade do Rio de Janeiro-RJ.

Objetivos Específicos

- Avaliar os aspectos quali-quantitativos da água da chuva nos processos de captação, tratamento, reservação e utilização durante o período hidrológico de um ano de dados;
- Avaliar o comportamento dos parâmetros físico-químicos durante todo o período do estudo, período úmido e período seco separadamente e
- Avaliar a viabilidade econômica da implantação e utilização de um sistema de aproveitamento de águas pluviais (SAAP).

1 REVISÃO DA LITERATURA

1.1 Disponibilidade hídrica no Brasil

O território brasileiro contém cerca de 12% de toda a água doce do planeta. Ao todo, são 200 mil microbacias espalhadas em 12 regiões hidrográficas, como as bacias do São Francisco, do Paraná e a Amazônica, como a mais extensa do mundo e com 60% dela localizada no Brasil (Figura 1) (ANA, 2019). É um enorme potencial hídrico, capaz de prover um volume de água por pessoa 19 vezes superior ao mínimo estabelecido pela Organização das Nações Unidas (ONU) – de 1.700 m³/s por habitante por ano.

Apesar da abundância, os recursos hídricos não são inesgotáveis e o acesso à água é desigual, de acordo com a distribuição populacional. As características geográficas de cada região e as mudanças de vazão dos rios, que ocorrem devido às variações climáticas ao longo do ano, afetam a distribuição (MMA, 2019).

Figura 1 – Regiões hidrográficas do Brasil.



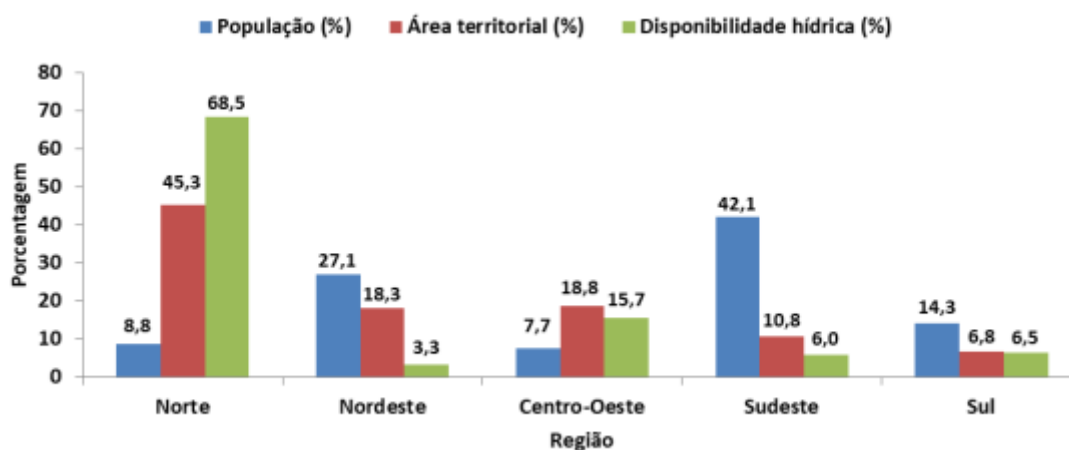
Fonte: ANA, 2019.

A distribuição natural desse recurso ocorre de forma desequilibrada em relação à população. A região Norte, por exemplo, concentra aproximadamente 80% da quantidade de água disponível, mas representa apenas 5% da população brasileira. Já as regiões próximas ao oceano Atlântico possuem mais de 45% da população, porém, menos de 3% dos recursos hídricos do país. Esses fatores, somados aos usos intensivos da água pelas diferentes atividades econômicas nas bacias hidrográficas brasileiras e aos problemas de qualidade de água decorrentes da poluição hídrica, exigem ações de gestão dos recursos hídricos cada vez mais efetivas (ANA, 2019).

A demanda por uso de água no Brasil é crescente, com aumento estimado de 80% do total retirado de água nas últimas duas décadas. A previsão é de que, até 2030, a retirada aumente 26%. O histórico da evolução dos usos da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país (ANA, 2019).

Segundo a Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2019) a Região Hidrográfica Atlântico Sudeste (RHAS) ocupa 2,5% do território nacional e abrange cinco estados: Minas Gerais, Espírito Santo, Rio de Janeiro, São Paulo e Paraná. É a região hidrográfica mais povoada, com densidade demográfica seis vezes maior que a média brasileira. A RHAS apresenta alta diversidade de atividades econômicas e significativo parque industrial, constituindo-se em uma das regiões mais economicamente desenvolvidas do país, enquanto a Região Hidrográfica Amazônica (RH Amazônica) ocupa 45% do território nacional, abrangendo sete Estados: Acre, Amazonas, Rondônia, Roraima, Amapá, Pará e Mato Grosso. A RH Amazônica possui uma extensa rede de rios com grande abundância de água, sendo os mais conhecidos: Amazonas, Xingu, Solimões, Madeira e Negro. A densidade populacional da RH Amazônica é 10 vezes menor que a média nacional, entretanto, a região concentra 81% da disponibilidade de águas superficiais do país (Figura 2).

Figura 2 – Disponibilidade hídrica por região em função da população e área territorial.

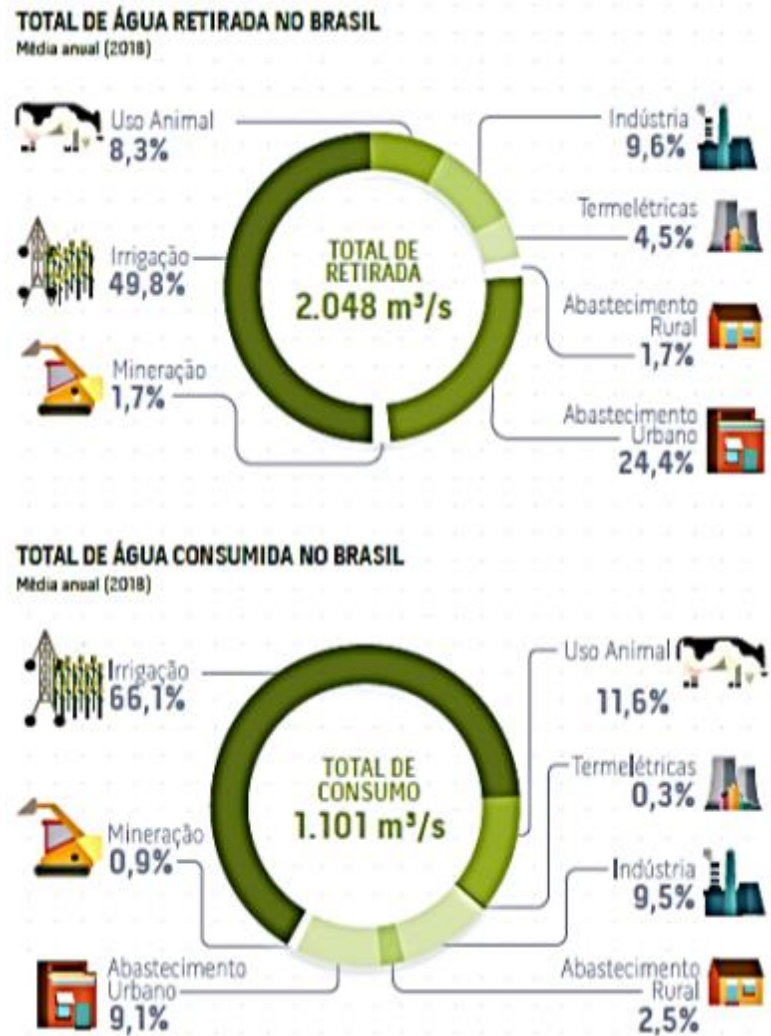


Fonte: Elaborado pelo autor com dados de: ANA, 2019/IBGE, 2019.

Segundo dados de estudos setoriais e cadastros de usuários atualizados, anualmente pela Agência Nacional de Águas, a água é utilizada no Brasil principalmente para irrigação, abastecimento humano e animal, indústria, geração de energia e mineração (Figura 3). O total de água retirada (média anual) é de $2.048 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$ e o consumido é de $1.101 \text{ m}^3 \text{ s}^{-1}$

(ANA, 2019). O estudo revela um elevado volume de água desperdiçado entre a captação e o consumo, com destaque para o abastecimento urbano, aonde as perdas chegam a aproximadamente 63%.

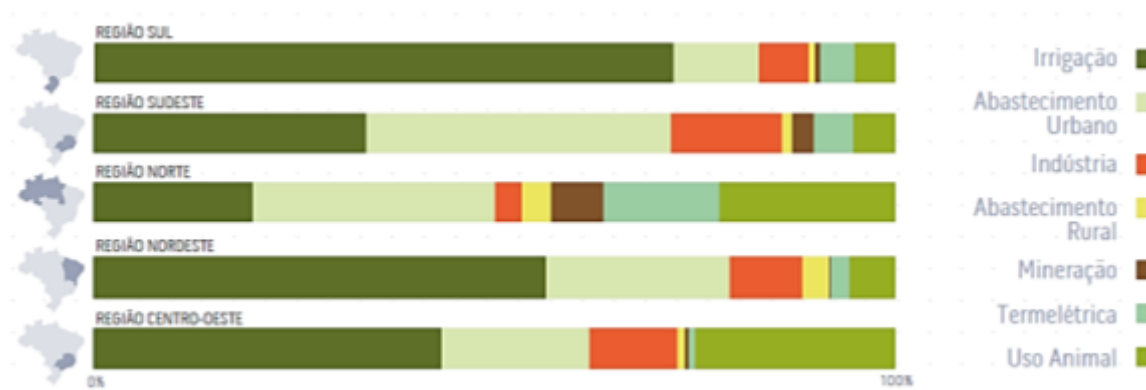
Figura 3 – Total de água retirada e consumida no Brasil em 2018.



Fonte: ANA, 2019.

O crescimento das demandas hídricas no Brasil, a partir do aumento da população e das atividades econômicas intensivas em uso de água, contribui para aumento do stress hídrico, com o passar dos anos. As regiões mais críticas são a Região Sudeste, onde se destaca o uso da água para abastecimento humano, irrigação e na indústria, e a Região Sul, onde é expressiva a retirada de água para irrigação de grandes lavouras de arroz pelo método de inundação. A Região Nordeste apresenta demanda considerável em relação à sua disponibilidade hídrica (ANA, 2019) (Figura 4).

Figura 4 - Demanda de água por região geográfica.



Fonte: ANA, 2019.

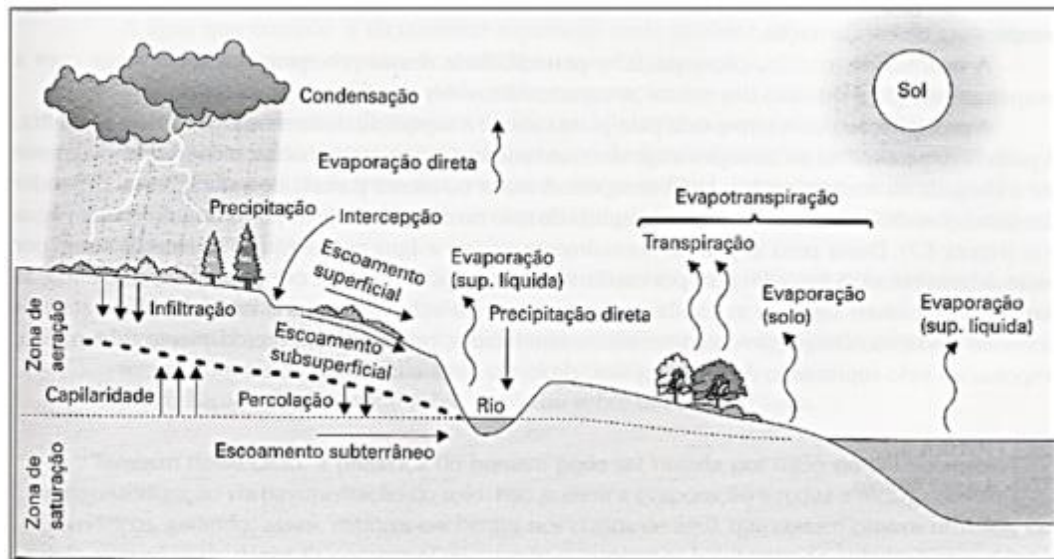
1.2 Ciclo hidrológico

O ciclo hidrológico é um sistema físico que apresenta razoável estabilidade e de auto regulação da qualidade da água, de modo que seu volume é constantemente transportado de um reservatório a outro, compostos pelos oceanos, rios, lagos, lençóis freáticos, e outros (VILLIERS, 2002).

A quantidade total de água existente na Terra, nas suas três fases, sólida, líquida e gasosa, tem se mantido constante ao longo do tempo. Os volumes armazenados distribuem-se por três grandes reservatórios principais, como: oceanos, continentes e a atmosfera, entre os quais existe uma circulação contínua (WARD; ROBINSON, 2000).

A característica essencial de qualquer volume de água superficial localizada em rios, lagos, tanques, represas artificiais e águas subterrâneas é a sua instabilidade e mobilidade. Todos os componentes sólidos, líquidos e gasosos são parte do ciclo dinâmico da água, considerado perpétuo. A fase mais importante deste ciclo, em atendimento às diversas demandas, é a fase líquida, que se encontra disponível para pronta utilização. Os fatores que impulsionam o ciclo hidrológico são: a energia térmica solar; a força dos ventos, que transportam vapor d'água para os continentes; a força da gravidade, responsável pelos fenômenos da precipitação, da infiltração e do deslocamento das massas de água. Os principais componentes do ciclo hidrológico são: a evaporação; a precipitação; a transpiração das plantas e a percolação; a infiltração e a drenagem. Anualmente, aproximadamente 47 mil km³ retornam aos oceanos, a partir dos rios, represas, lagos e águas subterrâneas (Figura 5) (TUNDISI, 2003).

Figura 5 – Ciclo hidrológico.



Fonte: BRAGA, 2002.

A água de fácil acesso encontrada nos rios, lagos e represas, representa uma parcela ínfima do total de água doce do planeta. Água doce disponível também não significa água potável. Menos de 1% de toda a água doce do planeta encontra-se em condições potáveis em atendimento às demandas por produtos e serviços (COSTA et al, 2006).

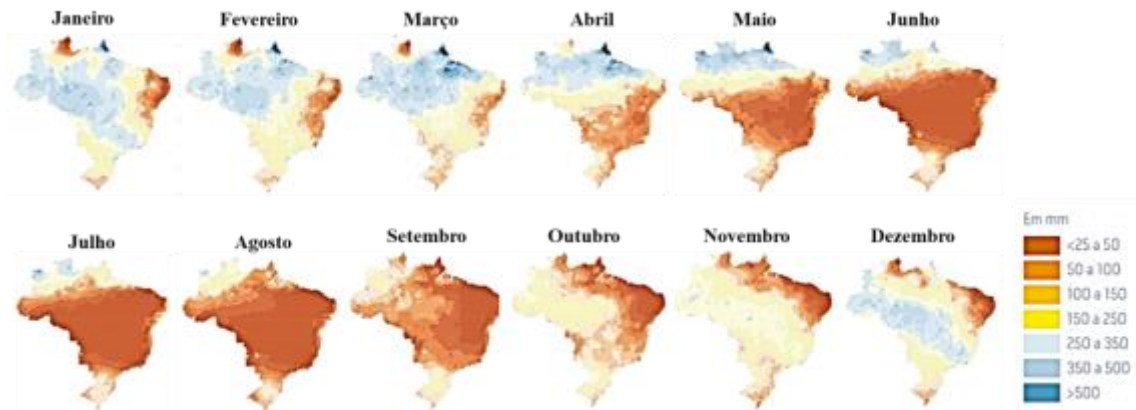
1.3 Distribuição pluviométrica

1.3.1 Distribuição das chuvas no Brasil

Segundo a Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil (2019) a precipitação média anual no País é de 1760 mm, mas por causa das suas dimensões continentais, o total anual de chuva varia de menos de 500 mm na região semiárida do Nordeste, a mais de 3000 mm na região Amazônica.

A Figura 6 apresenta as médias históricas da precipitação mensal no Brasil.

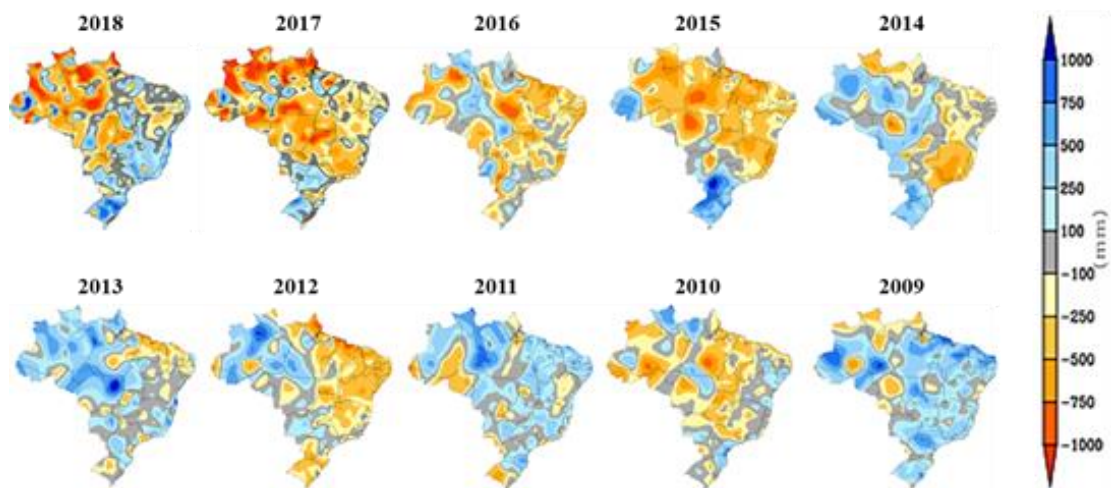
Figura 6 – Médias históricas da precipitação mensal no Brasil.



Fonte: Adaptado de ANA, 2017.

Além da distribuição desigual das chuvas nas diferentes regiões brasileiras, ocorrem ainda, as chamadas anomalias de precipitação, onde os acumulados de chuva podem variar consideravelmente a cada ano em uma mesma região (Figura 7), observados na sazonalidade de eventos extremos de secas e inundações (ANA, 2017).

Figura 7 – Anomalias de precipitação baseadas na climatologia entre 1981 e 2010.

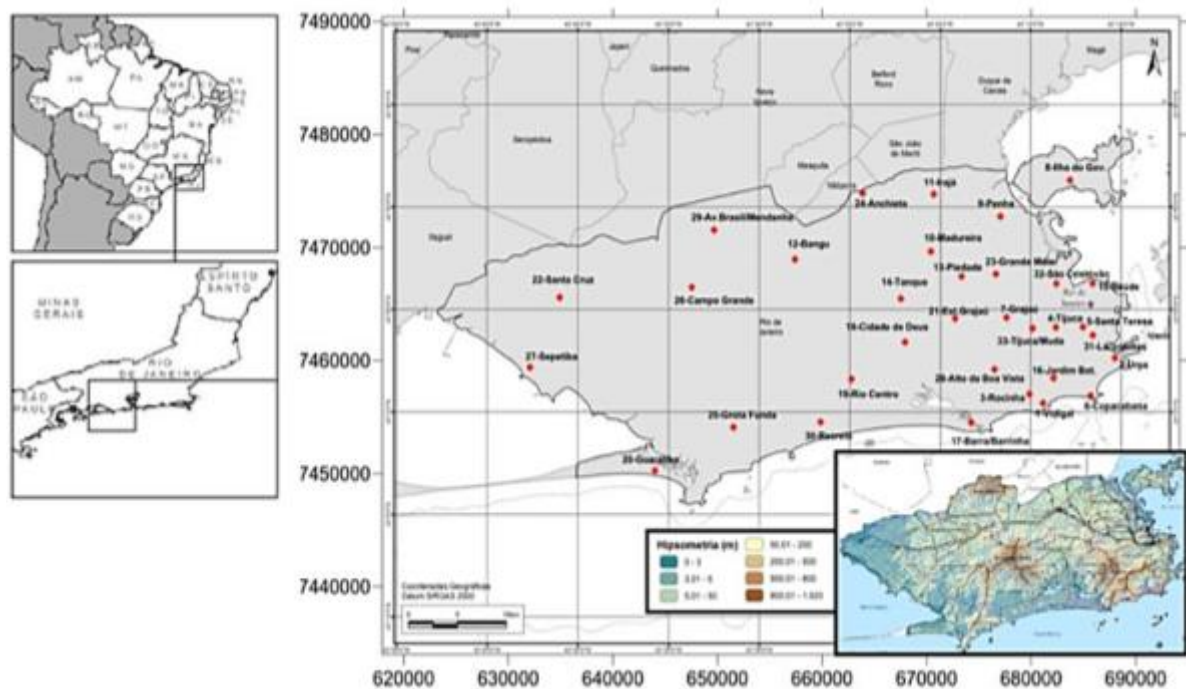


Fonte: Elaborado pelo autor com dados do INMET, 2019.

1.3.2 Aspectos pluviométricos na cidade do Rio de Janeiro

A Fundação Instituto de Geotécnica (GEO-RIO) opera o Sistema Alerta Rio, que realiza o monitoramento da precipitação na cidade do Rio de Janeiro - RJ por meio de 33 estações pluviométricas automáticas e distribuídas estrategicamente (Figura 8). É um sistema de alerta de deslizamentos de encostas e de chuvas intensas para a cidade do Rio de Janeiro. De acordo com a série histórica de 1997 a 2016 do Alerta Rio, o total anual médio é de 1212,4 mm. As maiores chuvas ocorrem no mês de janeiro com precipitação média de 176,6 mm e agosto é definido como o mês mais seco com média de 39,8 mm (GEO-RIO, 2018).

Figura 8 - Localização das 33 estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio e detalhe hipsométrico da cidade do Rio de Janeiro.

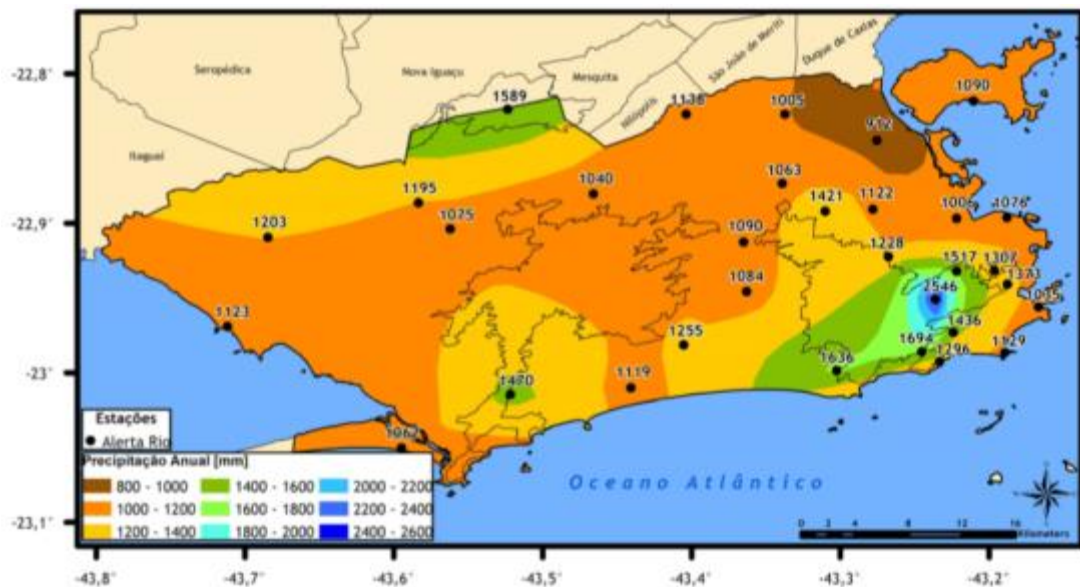


Fonte: SICILIANO et al., 2018.

Também na cidade do Rio de Janeiro as chuvas não ocorrem de forma homogênea em todas as suas regiões, devido principalmente ao relevo acentuado, proximidade do oceano e vegetação da Mata Atlântica (ALERTA RIO, 2016).

Pristo et al. (2018) identificaram a presença de três máximas de precipitação pluviométrica associadas às serras existentes na cidade (Figura 9). O mais significativo encontra-se junto ao Maciço da Tijuca, onde se localiza a estação do Sumaré, que registra os valores máximos de 2546 mm por ano. Os outros dois centros de máxima precipitação se encontram, junto ao Maciço do Gericinó, onde se situa a estação Mendanha, com 1589 mm ao ano, e ao Maciço da Pedra Branca, com valores de até 1470 mm anuais na Grota Funda.

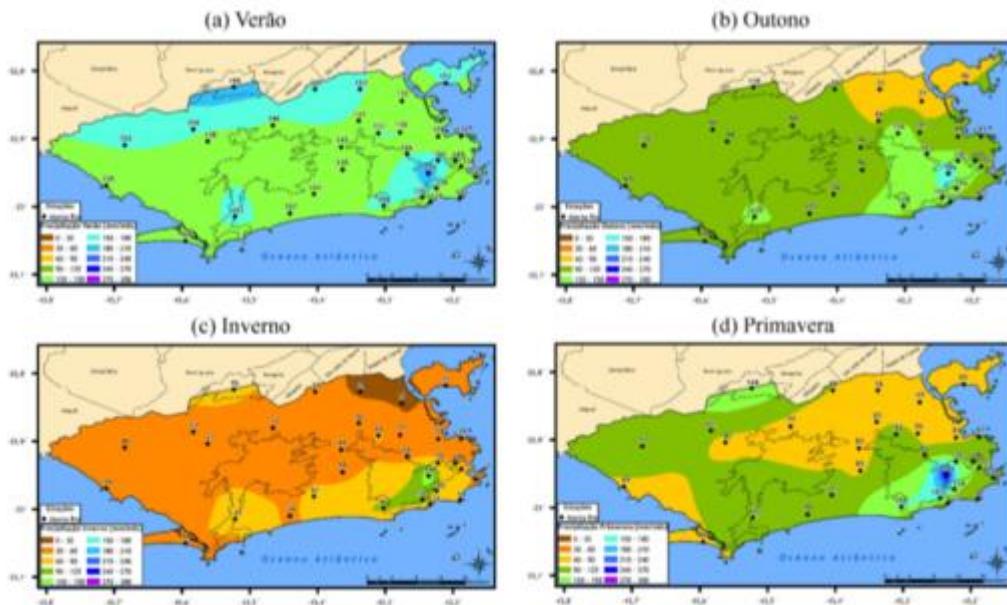
Figura 9 – Climatologia da precipitação média anual (mm/ano) para o período 1997-2016, a partir das estações pluviométricas do Alerta Rio.



Fonte: PRISTO et al., 2018.

Existe ainda uma distribuição sazonal das chuvas (Figura 10) com os maiores acumulados registrados durante o verão e os menores no inverno. As estações outono e primavera apresentam índices intermediários de precipitação. Segundo Pristo et al. (2018), assim como acontece com os acumulados anuais de chuva, os maiores volumes são registrados nas regiões próximas aos maciços em todas as estações do ano.

Figura 10 – Climatologia da precipitação média mensal (mm/mês) para o período 1997-2016: (a) Verão; (b) Outono; (c) Inverno e (d) Primavera.



Fonte: PRISTO et al., 2018.

1.4 Demanda residencial urbana

Segundo dados do Diagnóstico dos Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS, 2018), o consumo médio per capita de água no estado do Rio de Janeiro é bastante elevado, quando comparado com as demais Unidades da Federação, chegando a 254,7 L/hab.dia em 2018. O estado do Rio de Janeiro apresenta valor 39,6% acima da média da macrorregião Sudeste e 64,6% acima da média do País.

Segundo May (2009) no Brasil, os maiores consumos residenciais destinam-se ao vaso sanitário, ao chuveiro e a pia de cozinha. A Tabela 1 mostra as estimativas de consumo de água residencial no Brasil, de acordo com pesquisas realizadas pela USP, IPT/PNCDA e Deca.

Tabela 1 - Estimativas de consumo residencial de água no Brasil.

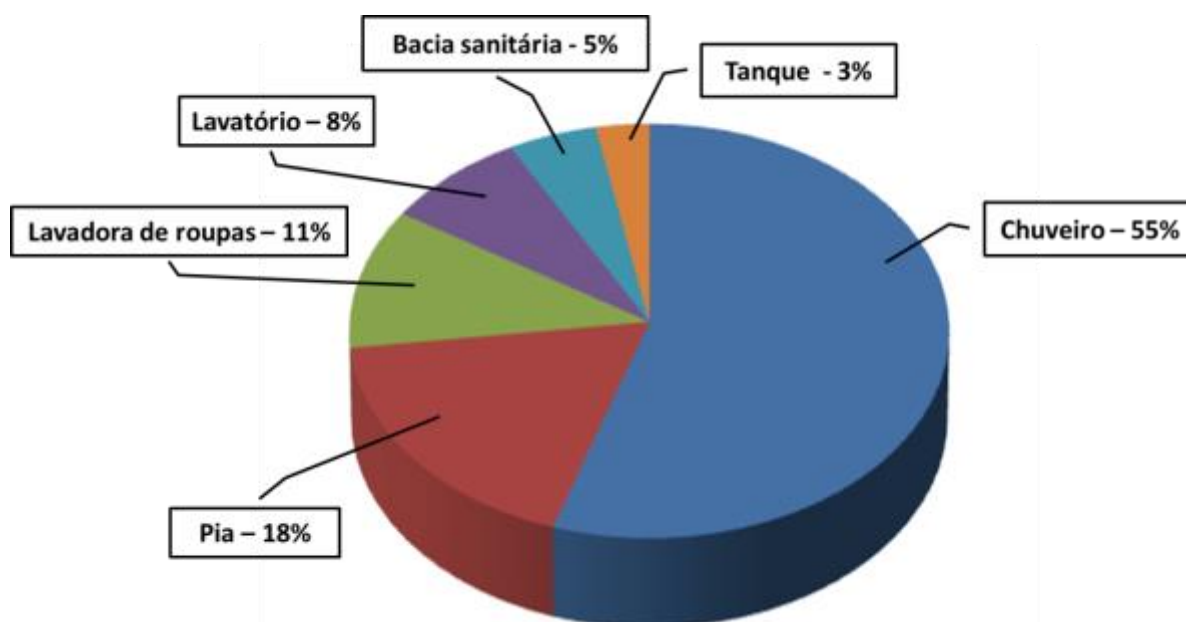
Consumo residencial	Porcentagem de consumo		
	USP	IPT/PNCDA	DECA
Vaso sanitário	29%	5%	14%
Chuveiro	28%	54%	46,7%
Lavatório	6%	7%	11,7%
Pia da cozinha	17%	17%	14,6%
Tanque	6%	10%	4,9%
Lavadora de roupas	5%	4%	8,1%
Lavadora de louças	9%	3%	-

Fonte: Adaptado de MAY, 2009.

Rocha et al. (1999) avaliou o consumo de água por equipamento hidráulico em residências unifamiliares na periferia da cidade de São Paulo.

A Figura 11 apresenta o perfil médio de consumo por equipamento hidráulico nas residências.

Figura 11 – Perfil de consumo de água em residências unifamiliares na cidade de São Paulo por equipamento hidráulico.



Fonte: Adaptado de ROCHA et al., 1999.

1.5 Aproveitamento da água da chuva

O aproveitamento da água da chuva é uma técnica de engenharia que tem por objetivo suprir a demanda de água das atividades humanas. Praticada há milênios, a data em que esta técnica surgiu não é conhecida com exatidão; existem registros que evidenciam a existência de estruturas para armazenamento de água de chuva anteriores a 3.000 a.C., sendo encontradas em diversos locais, como: o deserto de Negev em Israel, Índia, Grécia, Itália, Egito, Turquia e México (KRISHNA et al, 2002).

Atualmente, o estudo e a implantação de coleta de água em telhado, o chamado *roof water harvesting* (RWH) nas cidades, começa a ser considerada uma opção para reduzir o estresse hídrico (ENNENBACH et al., 2018). Uma avaliação do potencial de RWH mostra que este pode reduzir a demanda de água potável em mais de 65% e o escoamento de telhado em 75% das principais cidades dos Estados Unidos como Nova York, Filadélfia, Chicago e Seattle, utilizando uma área de captação de 100 m² e 5 m³ de volumes de tanques de armazenamento (ROSTAD et al., 2016).

Ao suplementar o fornecimento convencional, a captação de água da chuva tem o potencial de reduzir a necessidade de grandes projetos de infraestrutura, dispendiosos e, às vezes, ambientalmente questionáveis (STEINER, 2008).

Há muita evidência histórica de que a captação de água da chuva é um fator importante no desenvolvimento das comunidades desde o início dos assentamentos humanos. Muitas culturas desenvolveram suas sociedades com o gerenciamento primário dos recursos hídricos, desenvolvendo maneiras mais sofisticadas de fornecer água, tanto para consumo, quanto para agricultura (AGARWAL; NARAIN, 2005).

A captação de água da chuva tem sido cada vez mais incentivada e implantada nas áreas urbanas. Na Austrália, as retiradas de água para abastecimento urbano têm diminuído, devido às secas recorrentes. Isso estimulou os proprietários privados, comerciais e públicos a investir na captação de água da chuva para consumo doméstico. O aumento do uso da captação da água da chuva fornece suprimento adicional de água e reduz as pressões da demanda sobre os recursos de água superficial e subterrânea circundantes (UNEP, 2009).

Os sistemas de água da chuva podem fornecer água no ponto de captação ou próximo ao local em que a água é necessária ou utilizada. Os sistemas podem ser operados e gerenciados pelo proprietário ou pela concessionária, com coleta da água da chuva por meio de estruturas existentes, como telhados e estacionamentos. As vantagens da coleta de água da chuva incluem (UNEP, 2009):

- A captação de água da chuva pode coexistir e fornecer um suplemento para outras fontes de água e sistemas de abastecimento, aliviando a pressão sobre o sistema convencional;
- Volumes armazenados de água da chuva fornecem uma opção de abastecimento de água para uso em tempos de emergência ou falhas nos sistemas públicos de abastecimento, sobretudo no atendimento aos períodos prolongados de estiagens;
- A retenção de volumes efetivos precipitados pode reduzir a pressão sobre os sistemas de microdrenagem, evitando o aumento de volumes de cheias em determinados locais;
- Proprietários de sistemas de águas pluviais geralmente operam e gerenciam o sistema de captação e
- As tecnologias de captação de água da chuva são flexíveis, de fácil construção, operação e manutenção.

Embora muitos sistemas desconsiderem a potabilidade do recurso, a qualidade da água na gestão desses sistemas alternativos de abastecimento deve ser considerada, desde que ressalvada às condições previstas quanto aos critérios estabelecidos (OHNUMA JR., 2014).

Segundo Azevedo Netto (1991) a disponibilidade de água de chuva para o aproveitamento no abastecimento público, está relacionada à precipitação anual da região, da seguinte forma:

- Baixa – menor que 1000 mm;
- Razoável – entre 1000 e 1500 mm e
- Excelente – acima de 2000 mm.

Em residências unifamiliares, dependendo do consumo e da disponibilidade de área de coleta, a média da economia de água potável gira em torno de 30% a 40%, para um reservatório com capacidade de 4 a 6 m³ (HERRMANN e SCHMIDA, 1999).

A captação de água da chuva pode fornecer opções adicionais de gerenciamento de água para o abastecimento de água rural e urbano, tanto nos países em desenvolvimento quanto nos desenvolvidos. Aplicações em todo o mundo demonstram como a captação de água da chuva para o abastecimento doméstico pode abordar positivamente questões relacionadas ao abastecimento de água seguro e confiável, à saúde e até à segurança alimentar e financeira, reduzindo os impactos aos ecossistemas, como a captação excessiva de águas superficiais e subterrâneas ou no aumento da incidência de inundações urbanas. Além disso, a

implantação pode ser menos onerosa, quando comparada aos projetos tradicionais de infraestrutura de abastecimento público de água. O fornecimento de água, sobretudo em grandes metrópoles, continua sendo um desafio, devido aos investimentos limitados e a falta de capacidade de operação e gerenciamento dos sistemas de abastecimento convencionais (UNEP, 2009).

1.6 Sistemas de aproveitamento de águas pluviais

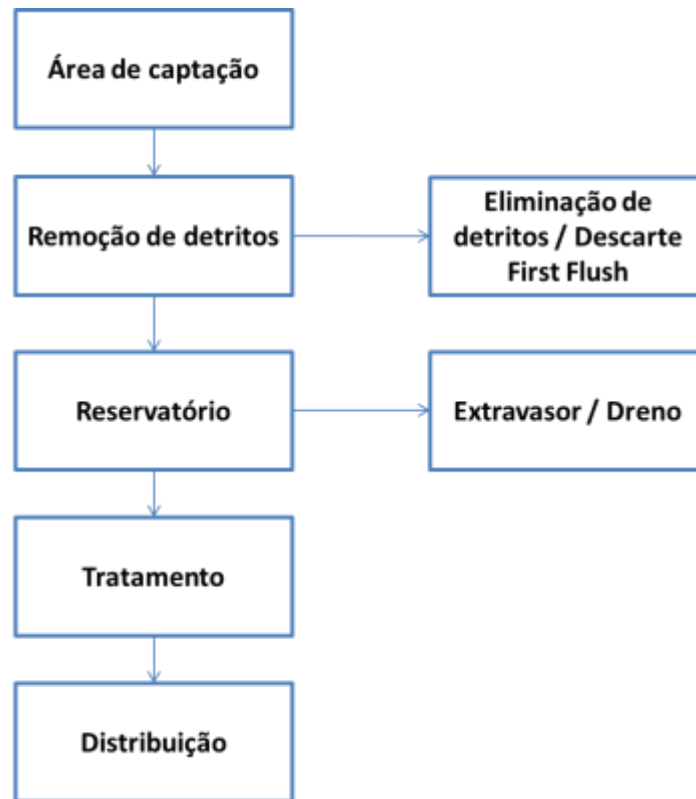
Um sistema de aproveitamento de água de chuva é um sistema descentralizado e alternativo de suprimento de água, visando entre outros, a conservação dos recursos hídricos, a redução da demanda e do consumo de água potável (GONÇALVES, 2006).

A forma mais comum do aproveitamento das águas pluviais consiste em um sistema simples que coleta a água da chuva precipitada sobre os telhados ou coberturas de edificações. A água da chuva precipitada é captada no telhado e destinada às calhas horizontais e direcionada condutores verticais até um reservatório, passando ou não por filtros e sistemas de tratamento. O reservatório pode ser construído a partir de diferentes materiais, como: concreto armado, aço, polietileno ou fibra de vidro.

Segundo Kraai et al. (2016) os sistemas de captação de água da chuva começam no ponto de coleta e terminam no ponto de uso de uma instalação hidráulica. Um sistema de captação de água da chuva normalmente consiste em seis componentes básicos (Figura 12):

- Área de captação: a superfície de coleta da chuva;
- Transporte: calhas e tubulações que transportam a água da chuva da área de captação ao sistema de armazenamento;
- Filtração preliminar: dispositivos de filtração e remoção de contaminantes e detritos dos volumes iniciais da precipitação;
- Armazenamento: cisternas ou tanques de reservação da água da chuva coletada;
- Tratamento secundário: filtragem e/ou outro tratamento físico-químico até alcançar o nível de pureza necessário ao uso pretendido e
- Distribuição: o sistema que entrega a água da chuva, por gravidade ou bomba, ao aparelho sanitário ou ponto de consumo.

Figura 12 – Componentes de um sistema de aproveitamento de águas pluviais.



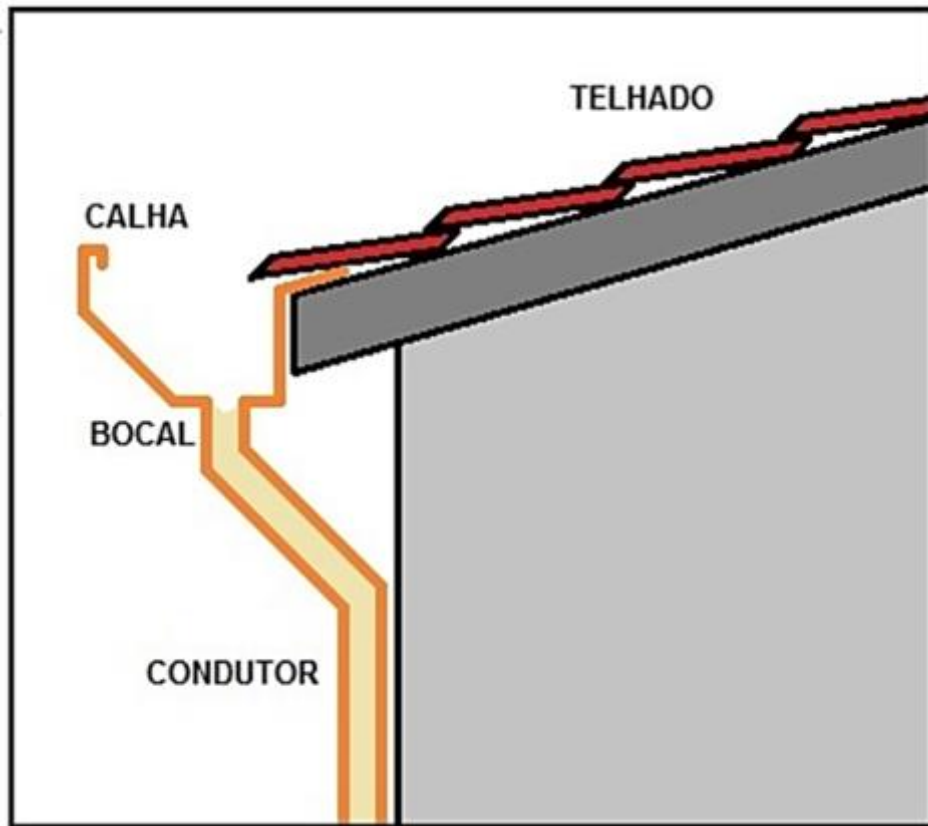
Fonte: Adaptado de KRAAI et al., 2016.

1.6.1 Área de captação

A área de captação, em um sistema de aproveitamento de águas pluviais, refere-se à área, como um telhado ou outra superfície, em que a chuva incidente é drenada e enviada para o local de armazenamento.

A Figura 13 mostra uma forma muito utilizada para a captação da água da chuva em telhados.

Figura 13 – Captação da água de chuva em telhados.



Fonte: OLIVEIRA et al., 2013.

As superfícies de captação e os dispositivos de coleta devem ser limpos regularmente para remoção de poeiras, folhas e excrementos de pássaros, a fim de eliminar a contaminação bacteriana e manter a qualidade da água coletada. É recomendado também que os telhados estejam livres de árvores próximas, pois podem atrair pássaros e outros animais (UNEP, 2009).

Segundo Kraai et al. (2016) a qualidade da água da chuva captada depende, em parte, da textura do material utilizado no telhado: a mais alta qualidade da água vem de superfícies de captação lisas e impermeáveis. Materiais impermeáveis melhoram a eficiência dos sistemas de captação de água da chuva, absorvendo menos água e reduzindo a chance de proliferação de microorganismos e acúmulo de detritos nos poros e / ou emendas na superfície de captação. As superfícies mais lisas também permitem que a água da chuva flua mais rapidamente e, assim, "limpam" a área de captação com maior eficiência. Coberturas de metal, argila e telha de concreto facilitam a geração de água de melhor qualidade. A água da chuva não deve ser captada em telhados tratados com fungicidas ou herbicidas, além disso, os

telhados de metal, como os galvanizados, não devem ser usados na captação da água da chuva para posterior aproveitamento, sem o devido tratamento para remoção do zinco, utilizado no processo de galvanização (o zinco é usado para matar o musgo nos telhados), que pode prejudicar a qualidade da água. Como a água da chuva é levemente ácida (pH entre 5,0 e 6,5), são dissolvidos os minerais da superfície de captação até o sistema de armazenamento.

Gould e Nissen-Petersen (1999) afirmam que em circunstâncias normais, é rara a contaminação química severa da água da chuva proveniente de materiais utilizados em coberturas. No entanto, em certas circunstâncias, como em áreas de poluição atmosférica elevada ou onde foram utilizados tintas à base de chumbo ou outros materiais de construção potencialmente tóxicos, a contaminação química da água da chuva pode representar uma ameaça à saúde e a manutenção do sistema.

1.6.2 Sistema de transporte das águas pluviais por calhas e condutores

De acordo com o UNEP (2009) os sistemas de transporte em um sistema de aproveitamento de águas pluviais são responsáveis por transferir a água da chuva coletada nas superfícies de captação do telhado para os tanques de armazenamento. Isso geralmente é realizado através da conexão de tubos aos dispositivos de coleta, como calhas e condutores. Os tubos ou condutores usados para transportar água da chuva, sempre que possível, devem ser feitos de PVC ou outro material inerte, pois o pH da água da chuva pode ser baixo (ácido) e causar corrosão em tubos metálicos, e posterior contaminação da água armazenada.

As calhas podem ser feitas de uma variedade de materiais, sendo os mais comuns o PVC e metal galvanizado. As calhas de PVC são recomendadas, pois não enferrujam e a qualidade da água pode ser mantida por um longo período de tempo. A instalação correta das calhas é fundamental, pois não deve haver áreas onde água e detritos possam acumular, possibilitando a proliferação de mosquitos. A NBR 10844/1989 (ABNT, 1989) normatiza o dimensionamento de calhas e condutores para captação de águas pluviais.

A Figura 14 mostra a localização de calhas e condutores em um sistema de aproveitamento de águas pluviais.

Figura 14 – Calhas e condutores em um sistema de aproveitamento de águas pluviais.



Fonte: O autor, 2020.

1.6.3 Grades e filtros

A qualidade da água armazenada pode ser melhorada se folhas de árvores e detritos forem mantidos fora do sistema pelo uso de um filtro para sólidos grosseiros ou tela na entrada do tanque. Na ausência de telas, materiais como folhas e galhos podem entrar nos tanques e fornecer alimentos e nutrientes para os microorganismos se multiplicarem. O filtro deve ser durável, de fácil limpeza e substituição, e sem bloqueios das vazões afluentes ao sistema de armazenamento.

As telas de filtragem grossa de aço inoxidável ou malha sintética são consideradas tecnologias simples, barata e amplamente utilizada.

A Figura 15 apresenta dois exemplos de filtros de sólidos grosseiros disponíveis no mercado.

Figura 15 – Exemplos de filtros para sólidos grosseiros (Folhas).

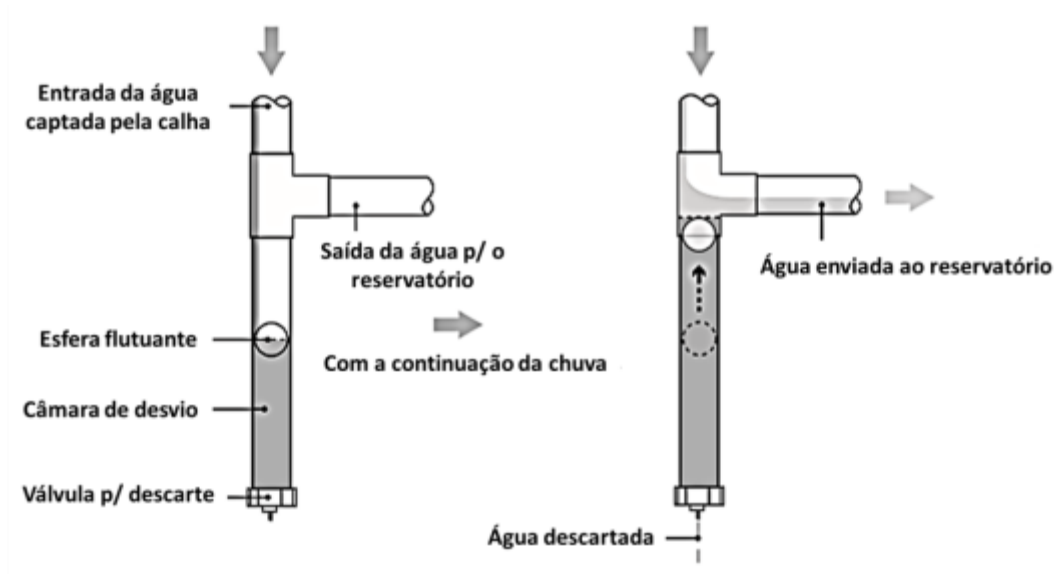


Fonte: RAINHEAD SCREENS, 2020.

1.6.4 Dispositivo de descarte da primeira chuva ou *First Flush*

O *First Flush* é um dispositivo responsável por descartar o volume inicial da chuva, eliminando parte dos poluentes carregados do telhado por esse primeiro fluxo de água, melhorando a qualidade da água captada. De acordo com Kraai et al. (2016) o *first flush* usa um sistema simples, automático e sem peças metálicas, fazendo com que este dispositivo tenha uma exigência de manutenção reduzida. O seu funcionamento (Figura 16) consiste em uma esfera flutuante que acompanha a subida da água no interior do tubo vertical do *first flush* até o dispositivo estar cheio, altura em que a esfera encaixa em um redutor, impedindo que entre mais água no tubo, selando-o. O restante da água segue automaticamente para o reservatório, através dos tubos condutores.

Figura 16 – Funcionamento do *First Flush*.



Fonte: Adaptado de KRAAI et al., 2016.

A determinação do volume de água da primeira chuva a ser descartado, antes que a água seja segura para uso, varia entre os diferentes estudos. Yaziz et al. (1989) descobriram que 0,5 mm de chuva eram suficientes para reduzir a contagem de coliformes termotolerantes a zero. Coombes et al. (2000) afirmam que, mesmo após o descarte de 2 mm, ainda havia coliformes termotolerantes significativos na água captada em um telhado de um prédio localizado próximo a uma estação de ônibus na Austrália. Os estudos de campo em Uganda mostraram turbidez elevada após a ocorrência de 2 mm de chuva, embora a contagem de coliformes termotolerantes estivesse na categoria de "baixo risco" da OMS. Apesar da variabilidade do volume de descarte da chuva inicial observado em diferentes estudos, o sistema de descarte da precipitação inicial é considerado um método adequado para melhorar a qualidade da água de chuva captada em telhados, antes do armazenamento (FAISST; FUJIOKA, 1994).

1.6.5 Reservatórios

Os reservatórios são responsáveis pelo armazenamento da água de chuva captada para posterior utilização. Segundo Kraai et al. (2016) a capacidade e o tipo de reservatório são determinados por variáveis, como: quantidade de chuva, demanda de uso de água, duração entre eventos de chuva, coeficiente de escoamento superficial da área de captação, estética do tanque, disponibilidade de espaço e orçamento disponível. Além disso, os reservatórios

devem possuir: uma entrada de água, saída de água, tubo extravasor, escotilha de inspeção e meios de drenagem (Figura 17). Os reservatórios podem ser de aço, concreto, ferrocimento (cimento reforçado com aço), polietileno, fibra de vidro ou outro material inerte.

O dimensionamento do reservatório, de forma apropriada ao uso do volume armazenado, tem sido um desafio aos projetistas, na medida em que buscam otimizar o aproveitamento das águas pluviais, sobretudo por se tratar, normalmente, do item mais caro do sistema (COHIM *et al.*, 2009; MIERZWA *et al.*, 2007).

Segundo Mierzwa et al. (2007) os métodos atuais para cálculo de reservatório de aproveitamento de águas pluviais estão associados ao acúmulo de água para regularização de vazões, o que resulta em reservatórios de grandes volumes e inviáveis do ponto de vista econômico. Assim, quando houver outra fonte de abastecimento, pode ser mais vantajoso financeiramente aproveitar ao máximo a água de chuva em períodos em que ela ocorre, reduzindo o consumo de água de outras fontes.

Figura 17 – Reservatório para captação de água da chuva.



Fonte: Adaptado de RODRIGUES, 2009.

1.7 Qualidade da água da chuva

As águas de chuva são consideradas águas limpas e de boa qualidade para aproveitamento doméstico, todavia estas podem ser contaminadas por impurezas e microorganismos presentes nas superfícies de captação, bem como através da degradação dos materiais constituintes dos telhados (COSTA et al., 2020; LEONG et al., 2017; MAHMOOD et al., 2017; NOSRATI, 2017; SANTOS et al., 2017).

Para garantir o aproveitamento da água pluvial coletada são imprescindíveis instalação e manutenção adequadas do sistema de captação, bem como a verificação da necessidade de tratamento da água armazenada, visto que deficiências desses fatores podem ocasionar um risco à saúde pública (UNITED KINGDOM ENVIRONMENT AGENCY, 2008).

Gonçalves et al. (2006) afirmam que se deve considerar a qualidade da água em três momentos distintos de um sistema de aproveitamento de águas pluviais: na atmosfera, ao passar pela superfície de captação, e no reservatório de armazenamento.

Segundo o UNEP (2009), a água da chuva é relativamente limpa e a qualidade geralmente é aceitável no atendimento à determinadas demandas, com pouco ou mesmo nenhum tratamento. As propriedades físico-químicas da água da chuva são geralmente superiores às fontes de água subterrânea que podem ter sido sujeitas à contaminação.

No passado, acreditava-se que a água da chuva era pura e poderia ser consumida sem pré-tratamento. Embora esta condição possa ser atribuída em áreas, sobretudo de pouca urbanização, a água da chuva coletada em muitos locais contém impurezas e contaminantes atmosféricos. Particularmente nas últimas três décadas, a “chuva ácida” afetou a qualidade da água coletada, na medida em que têm sido observadas condições inapropriadas para o uso, de modo a exigir tratamento específico da água a ser distribuída aos pontos de consumo (UNEP, 2009).

A qualidade da água de chuva coletada e armazenada depende das características da área, como condições climáticas, presença de vegetação, proximidade das fontes de poluição, tipo de área de captação, tipo de reservatório d'água, manejo e gestão da água (WILBERS et al., 2013).

Segundo Lee et al. (2011) a água de chuva coletada em telhados pode ser contaminada por patógenos microbianos, originários da contaminação fecal por aves e pequenos animais que tem acesso às áreas de captação e reservatórios.

Sobsey e Pfaender (2002) afirmam que a adição de pequenas quantidades de cloro ao tanque de água é o meio mais barato e eficaz de desinfecção, recomendado principalmente onde os sistemas de captação de água da chuva não são bem construídos ou mantidos.

Um ponto de grande importância para coletar a água de chuva com melhor qualidade deve-se ao fato de descartar o volume dos primeiros minutos da precipitação, pois o primeiro volume de água escoado do telhado pode conter poluentes em concentração relativamente aumentada. Desta forma, deve-se instalar um dispositivo para eliminar o volume inicial de chuva (*first flush*), também denominado de dispositivo de autolimpeza da água de chuva (GIKAS et al., 2012).

Sazakli et al. (2007) alertam para a importância do tipo de material de cobertura utilizado para captação, pois pode afetar a qualidade físico-química da água de chuva.

Barret et al. (2011) examinaram o efeito do material da superfície de captação na qualidade da água de chuva coletada e os resultados obtidos mostram a necessidade de tratamento para qualquer tipo de cobertura.

Segundo Group Raindrops (2002) a superfície de coleta determina o nível de qualidade exigido da água. Contudo é possível alcançar o nível de qualidade desejado ao se aplicar formas de tratamento, como filtração e desinfecção.

A Tabela 2 apresenta possíveis utilizações da água de acordo com área utilizada para a coleta.

Tabela 2 – Qualidade da água da chuva em função da área de coleta.

Grau de purificação	Área de coleta de chuva	Observações
A	Telhados e lugares não ocupados por pessoas e animais	Se a água for purificada pode ser consumida
B	Telhados e lugares frequentados por pessoas e animais	Usos não potáveis
C	Terraços e terrenos impermeabilizados, áreas de estacionamento	Usos não potáveis, necessita tratamento
D	Estradas	Usos não potáveis, necessita tratamento

Fonte: GROUP RAINDROPS, 2002.

De acordo com Group Raindrops (2002), os requisitos de qualidade da água da chuva consideram as aplicações pretendidas ao uso, como apresentado na Tabela 3.

Tabela 3 – Requisitos de tratamento da água da chuva para os diferentes usos pretendidos.

Uso requerido pela água	Tratamento necessário
Irrigação de jardins	Nenhum tratamento
Prevenção de incêndio, torre de resfriamento de condicionador de ar	Cuidados para manter o equipamento de estocagem e distribuição em condições de uso
Fontes e lagoas, descargas de banheiros, lavação de roupas e lavação de carros	Tratamento higiênico, devido o possível contato do corpo humano com a água
Piscina/banho, consumo humano e no preparo de alimentos	Desinfecção, para a água ser consumida direta ou indiretamente

Fonte: GROUP RAINDROPS, 2002.

Na utilização da água de chuva para o consumo humano ou em situações em que houver a possibilidade de consumo indireto, como por exemplo, no banho ou na piscina, é necessário garantir que este recurso não cause danos à saúde do usuário, devendo atender aos requisitos da Portaria de Consolidação nº05/2017 do Ministério da Saúde.

Segundo o *Texas Guide to Rainwater Harvesting* (1997) são necessárias medidas de proteção para o uso da água da chuva antes de sua utilização, sendo a filtração e a desinfecção, o mínimo necessário quando esta água for utilizada para consumo humano direto ou indireto, ou seja, beber, escovar os dentes, cozinhar ou tomar banho.

A Tabela 4 apresenta os métodos que podem ser adotados em um sistema de aproveitamento de águas pluviais.

Tabela 4 - Métodos de tratamento da água da chuva.

Método	Local	Resultado
Telas e grades	Calhas e condutor vertical	Previne entrada de folhas e galhos no sistema
Sedimentação	No reservatório	Sedimenta matéria particulada
Filtração na linha d'água	Após bombeamento	Filtra sedimentos
Carvão ativado	Na torneira	Remove cloro
Osmose reversa	Na torneira	Remove contaminantes
Filtro de camadas mistas	Tanque separado	Captura material particulado
Filtro lento	Tanque separado	Captura material particulado
Fervura	Antes do uso	Elimina microorganismos
Cloração	No reservatório ou no bombeamento (líquido, pastilha ou granulado)	Elimina microorganismos
Radiação ultravioleta	Sistemas de luz ultravioleta devem estar localizados após passagem por filtro	Elimina microorganismos
Ozonização	Antes da torneira	Elimina microorganismos

Fonte: TEXAS GUIDE TO RAINWATER HARVESTING, 1997.

1.7.1 Parâmetros de qualidade da água

No aproveitamento da água da chuva é necessário estabelecer os padrões de qualidade em atendimento aos usos pretendidos (GONÇALVES, 2006).

A utilização da água da chuva requer um controle de sua qualidade e a verificação da necessidade de tratamento, a fim de propiciar segurança à saúde do usuário e o não comprometimento da vida útil dos componentes do sistema de aproveitamento.

A NBR 15527/2019 (ABNT, 2019) define os parâmetros de qualidade da água da chuva para usos não potáveis como a lavagem de veículos, descarga em bacias sanitárias, lavagem de pisos, entre outros.

A Tabela 5 apresenta os parâmetros mínimos definidos pela Norma.

Tabela 5 – Parâmetros mínimos de qualidade para usos não potáveis.

Parâmetro	Valor
<i>Escherichia coli</i>	< 200 NMP/100 mL
Turbidez	< 5 UT
pH	6,0 – 9,0

Fonte: ABNT NBR 15527, 2019.

A Portaria de Consolidação nº 05/2017 do Ministério da Saúde estabelece padrões de qualidade para a água tratada e destinada ao consumo humano, definida como: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem.

A Tabela 6 apresenta parâmetros físico-químicos e biológicos de qualidade da água, presentes na Portaria nº05/2017 do Ministério da Saúde.

Tabela 6 - Parâmetros físico-químicos e biológicos de qualidade da água para consumo humano conforme a Portaria n°05/2017 do Ministério da Saúde.

Parâmetro	Portaria n° 5/2017
pH	6,0 – 9,5
Cor aparente	15 uH
Turbidez	5 UT
Dureza total	500 mg/L
Cloreto	250 mg/L
Coliformes totais	Ausência em 100 mL
<i>Escherichia coli</i>	Ausência em 100 mL

pH (adimensional).

Fonte: Adaptado de MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017.

Segundo o UNEP (2002) os parâmetros físico-químicos da água da chuva coletada em telhados tendem a exibir níveis de qualidade geralmente comparáveis aos valores das diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS) para água potável. No entanto, frequentemente as amostras de água da chuva coletadas em telhados excedem os valores da OMS para coliformes totais e coliformes termotolerantes. As proporções dessas amostras indicam que as fontes de contaminação são excrementos de aves, roedores, etc.

O pH é um parâmetro muito importante nos estudos ambientais, principalmente pelo fato de influenciar no equilíbrio químico de diversas reações que ocorrem naturalmente ou em processos unitários de tratamento de água sendo frequentemente utilizado na caracterização destas águas (CESTESB, 2015; SPERLING, 2005). Valores baixos de pH fazem com que a água apresente certo grau de corrosividade e agressividade nas tubulações e peças de abastecimento, enquanto que valores elevados possibilitam incrustações nestas estruturas (SPERLING, 2005).

Turbidez é um parâmetro físico e representa o grau com que os sólidos em suspensão presentes na água atenuam a passagem de luz no meio líquido, proporcionando aparência turva à água (CETESB, 2015). Segundo Sperling (2005) este é um parâmetro muito utilizado na caracterização de águas de abastecimento brutas e tratadas, podendo servir de abrigo para organismos patogênicos e assim reduzir a eficiência da desinfecção.

A dureza da água, originalmente era entendida como uma medida da capacidade da água de precipitar o sabão. O sabão é precipitado pelos íons cálcio e magnésio presentes. Outros cátions polivalentes também podem precipitar o sabão, mas geralmente estão em formas complexas, frequentemente com constituintes orgânicos, e seu papel na dureza da

água pode ser mínimo e difícil de definir. De acordo com a prática atual, a dureza total é definida como a soma das concentrações de cálcio e magnésio, ambas expressas em carbonato de cálcio, em miligramas por litro (APHA, 2017).

A cor nas águas superficiais e subterrâneas resulta principalmente da presença de matéria orgânica natural, particularmente matéria húmica aquática. A matéria húmica consiste em ácidos húmicos e fúlvicos; ambos causam uma cor marrom-amarela. Os materiais húmicos e a cor causada por esses materiais são removidos dos suprimentos de água potável por razões estéticas e por motivos de saúde, porque são precursores na formação de subprodutos da desinfecção (APHA, 2017).

Libânio (2005) afirma que a cor da água é produzida pela reflexão da luz em partículas solúveis dispersas, de origem predominantemente orgânica, com dimensões inferiores a 1 µm.

De acordo com APHA (2017) o cloreto, na forma de íon cloreto (Cl⁻), é um dos principais ânions inorgânicos na água e nas águas residuais. O sabor salgado produzido pelas concentrações de cloreto é variável e depende da composição química da água. O sabor salgado típico pode estar ausente em águas contendo até 1000 mg/L quando os cátions predominantes são cálcio e magnésio. Um alto teor de cloreto pode danificar tubos e estruturas metálicas, bem como o crescimento de plantas.

As bactérias do grupo coliformes têm sido usadas como indicadores de qualidade da água com base na premissa de que, como esses organismos estão presentes no intestino de animais de sangue quente, sua presença na água pode indicar que ocorreu contaminação fecal recente. Historicamente, esse grupo de organismos foi definido por sua capacidade de fermentar a lactose, e não pelos princípios da bacteriologia sistemática, de modo que o grupo consiste em bactérias de vários gêneros pertencentes à família *Enterobacteriaceae*. Os resultados dos testes coliformes, juntamente com outras informações obtidas em pesquisas sanitárias ou de engenharia, fornecem a melhor avaliação da eficácia do tratamento da água e da qualidade sanitária da fonte de água (APHA, 2017).

Escherichia coli são bactérias em forma de bastonete curto, são Gram-negativas, não esporuladas, medindo entre 1,1 a 1,5 µm por 2 a 6 µm, sendo que em sua grande maioria são móveis, devido à existência de flagelos peritríqueos (CORRÊA, 2012). A *Escherichia coli* é um dos principais representantes do grupo de coliformes termotolerantes, diferenciando-se dos demais microorganismos deste grupo pelo fato de somente a *Escherichia coli* ser proveniente exclusivamente de fezes humanas e de outros animais de sangue quente, apresentando-se nestes indivíduos em altas concentrações, sendo dificilmente encontrada na água ou no solo que não tenha recebido contaminação fecal (CETESB, 2015).

De acordo com a UNEP (2009) o foco principal de qualidade da água deve ser o teste microbiológico, usando testes como contagem de coliformes termotolerantes (também conhecido como coliformes fecais), contagem de *Escherichia coli* (*E. coli*) ou o teste simples de H₂S. As diretrizes da Organização Mundial da Saúde (OMS, 2004) afirmam que os indicadores de poluição fecal, *Escherichia coli* ou coliformes termotolerantes não devem ser detectáveis por 100 mL de amostra.

1.8 Análise de Componentes Principais (ACP)

A análise de componentes principais (ACP) é uma técnica multivariada de modelagem da estrutura de covariância. A técnica foi inicialmente descrita por Pearson (1901), e uma descrição de métodos computacionais práticos, veio muito mais tarde com Hotelling (1933-1936), que usou com o propósito determinado de analisar as estruturas de correlação.

A ACP transforma linearmente um conjunto original de variáveis, inicialmente correlacionadas entre si, num conjunto substancialmente menor de variáveis não correlacionadas que contém a maior parte da informação do conjunto original. Trata-se da técnica mais conhecida e está associada à ideia de redução de massa de dados, com menor perda possível da informação. Procura-se redistribuir a variação observada nos eixos originais de forma a se obter um conjunto de eixos ortogonais não correlacionados (MANLY, 1986; HONGYU, 2015).

O objetivo principal da análise de componentes principais é o de explicar a estrutura da variância e covariância de um vetor aleatório, composto de p-variáveis aleatórias, por meio de combinações lineares das variáveis originais. Essas combinações lineares são chamadas de componentes principais e são não correlacionadas entre si (SANDANIELO, 2008).

Em geral, utilizam-se os componentes que conseguem sintetizar uma variância acumulada em torno de 70% da variância total dos dados (MARDIA et al., 1979).

Na ACP uma variável é cada vez mais bem representada por um componente à medida que o cosseno quadrado correspondente se aproxima da unidade. No gráfico isso é representado como a variável que mais se aproxima da borda do círculo (VIALLE et al., 2011).

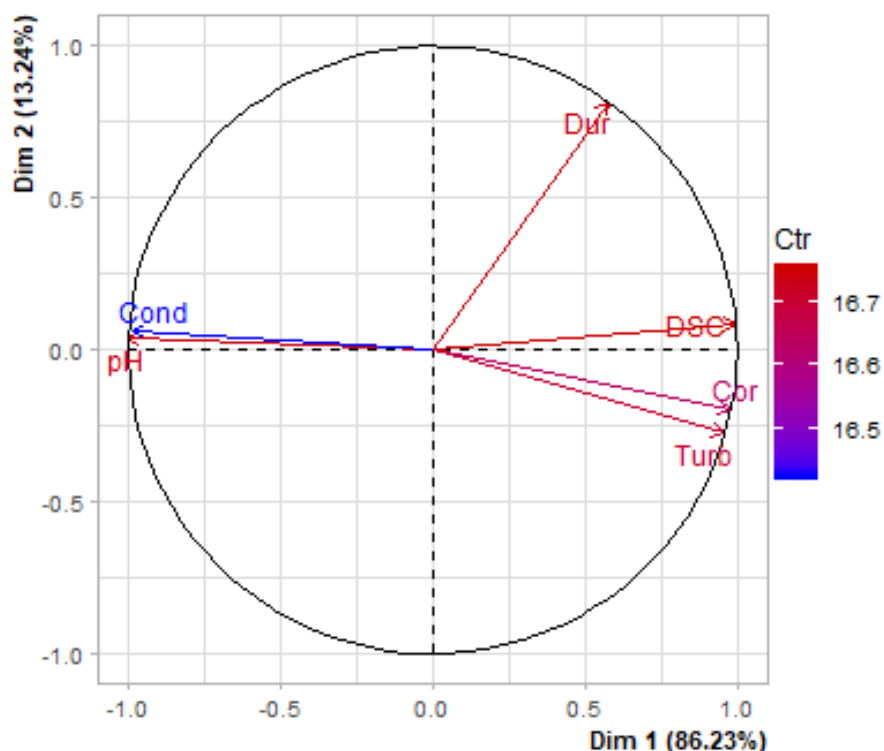
O método dos componentes principais é um dos mais usados para resolver problemas clássicos de análise fatorial. Esta análise permite a redução do número de variáveis facilitando a extração de informações de relevância na avaliação da qualidade das águas (ANDRADE et al., 2007a).

Segundo Helena et al. (2000) a Análise de Componente Principal é empregada em diversas áreas, como para estudar os fenômenos hidrológicos, hidrometeorológicos e hidroquímicos.

Estudos indicam a análise de componentes principais como uma técnica estatística bastante interessante em estudos físico-químicos de águas, pois possibilita a investigação das inter-relações entre as variáveis consideradas (ZIMMERMANN et al., 2008; BERNARDI et al., 2009; MOURA et al., 2010; LEE et al., 2011).

Conforme reportado por Smith et al. (2002), considerações podem ser feitas em função do ângulo entre os vetores. Se próximo à zero, a correlação é muito alta e positiva; se for próximo a 180°, a correlação é também alta, porém negativa; finalmente, se o ângulo é cerca de 90°, as variáveis estão pouco relacionadas. A Figura 18 mostra um exemplo de gráfico utilizado na análise de componentes principais. Há uma forte correlação positiva entre variáveis DSC, Cor e Turbidez e entre as variáveis pH e Condutividade, sendo forte também, porém negativa, a correlação entre estes dois agrupamentos de variáveis, já que estão em quadrantes opostos. Presume-se, por exemplo, que quanto maior for DSC, maiores serão os valores de Cor e Turbidez e menores os valores de pH e Condutividade. Já a variável Dureza possui menor correlação com ambos os grupos, em função do maior afastamento dos vetores (maior ângulo) e seria, por exemplo, menos afetada pela variação de DSC.

Figura 18 – Exemplo de gráfico utilizado na análise de componentes principais (ACP).



Fonte: O autor, 2020.

1.9 Legislações sobre aproveitamento de água da chuva

Em 1937, o Decreto Federal nº 24.643, conhecido como o Código das Águas, consubstanciou a base da legislação voltada para a temática água. O instrumento legisla sobre o conceito de águas pluviais e acerca do direito de uso. O artigo 118 menciona a construção de reservatórios para aproveitamento da água da chuva em áreas públicas (VELOSO; MENDES, 2013).

Segundo Tavares et al. (2019) a Lei Federal nº 9.433/1997 institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, que busca, entre outros objetivos, incentivar e promover a captação, a preservação e o aproveitamento de água pluviais. Objetivo esse incluído no ano de 2017, 20 anos após a implementação da lei. Nesse sentido, nota-se avanço no país sobre as possíveis vantagens da introdução de leis e políticas que incentivem a instalação de sistemas de captação de águas pluviais.

Existem ainda, legislações municipais e estaduais que regulamentam a captação e o aproveitamento da água da chuva, apresentados nas Tabelas 7 e 8 respectivamente.

Tabela 7 – Legislações municipais sobre aproveitamento da água da chuva.

Cidade	Estado	Tipo de legislação	Número da lei	Ano	Objetivo
Curitiba	PR	Lei municipal	10.785	2003	Cria no município de Curitiba, o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE.
São Paulo	SP	Lei municipal	14.018	2005	Institui o programa municipal de conservação e uso racional da água em edificações.
Rio de Janeiro	RJ	Lei municipal	3.899	2005	Estabelece nova destinação para as águas de chuva e servidas dos edifícios residenciais.
Blumenau	SC	Lei municipal	691	2006	Institui o “Programa de Conservação e Uso racional de Água” no município de Blumenau.
Camboriú	SC	Lei municipal	2.544	2013	Institui o programa de incentivo e desconto, denominado “IPTU verde” no âmbito do município de Camboriú e dá outras providências.
Joinville	SC	Lei municipal	220	2007	Dispõe sobre o aproveitamento das águas pluviais nos casos que especifica e dá outras providências.
Vitória	ES	Lei municipal	7.073	2008	Caberá ao proprietário do imóvel promover medidas que visem à sustentabilidade dos recursos hídricos, sob a orientação e incentivo do Poder Público Municipal.
Porto Alegre	RS	Decreto municipal	16.305	2009	Regulamenta a Lei nº 10.506/2008, que institui o Programa de Conservação, Uso Racional e Reaproveitamento das Águas.
Manaus	AM	Lei municipal	1.192	2009	Cria no município de Manaus, o Programa de Tratamento e Uso Racional das Águas nas Edificações – Pro-Águas.
Goiânia	GO	Lei municipal	17.128	2010	Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de equipamento reutilização da água utilizada na lavagem de veículos, e de equipamento para aproveitamento de água das chuvas.
Rio de Janeiro	RJ	Lei municipal	5.279	2011	Cria no Município do Rio de Janeiro o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações.
João Pessoa	PB	Lei municipal	12.515	2013	Institui a “Política Municipal de Apoio a Agricultura Urbana”, e dá outras providências.
Distrito Federal	DF	Lei complementar	929	2017	Dispõe sobre dispositivos de captação de águas pluviais para fins de retenção, aproveitamento e recarga artificial de aquíferos em unidades imobiliárias localizadas no DF.

Fonte: Adaptado de GANEM, 2019.

Tabela 8 – Legislações estaduais sobre aproveitamento da água da chuva.

Estado	Tipo de legislação	Número da lei	Ano	Objetivo
AC	Lei	2.540	2012	Determina a inserção de sistema de captação e armazenamento de água da chuva nos projetos arquitetônicos das unidades escolares estaduais.
AP	Lei Ordinária	2.003	2016	Dispõe sobre o Poder Executivo, através do órgão responsável, inserir nos projetos arquitetônicos dos órgãos do Estado do Amapá a instalação de sistema de coleta para captação da água de chuva.
BA	Lei Ordinária	13.581	2016	Dispõe sobre a instalação de um sistema de reaproveitamento da água da chuva nas unidades habitacionais construídas pelo Governo do Estado da Bahia, na forma que indica.
ES	Lei Ordinária	10.624	2017	Obriga a instalação de sistema e de equipamentos para aproveitamento da água da chuva em postos de serviços e abastecimento de veículos e assemelhados no Estado, e dá outras providências.
MT	Lei	9.674	2011	Autoriza o Poder Executivo a criar mecanismos de incentivo e captação da água de chuva.
MT	Lei	10.799	2019	Dispõe sobre a instalação de sistemas de conservação e uso racional da água nos edifícios públicos do Estado de Mato Grosso.
MS	Lei	4.699	2015	Institui a Campanha de Conscientização da Utilização da Água no âmbito do Estado de Mato Grosso do Sul.
PB	Lei	9.130	2010	Cria o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações Públicas da Paraíba, conforme especifica e adota outras providências.
PR	Lei	18.730	2016	Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de cisternas em todos os estabelecimentos que especifica.
PE	Lei	15.630	2015	Torna obrigatória a instalação de sistema de captação de água de chuva para tratamento e reutilização da água empregada na lavagem de veículos pelos estabelecimentos comerciais que prestem este serviço.
PI	Lei Ordinária	6.280	2012	Cria o Programa de Captação de Água de Chuva.
PI	Lei	6.888	2016	Dispõe sobre a obrigatoriedade da adoção de práticas e métodos sustentáveis na construção civil.
RJ	Lei	4.248	2003	Institui o Programa de Captação de Águas Pluviais no âmbito do Estado do Rio de Janeiro.
RJ	Lei	4.393	2004	Dispõe sobre a obrigatoriedade das empresas projetistas e de construção civil a prover os imóveis residenciais e comerciais de dispositivo para captação de águas da chuva e dá outras providências.
RS	Lei Ordinária	14.270	2013	Determina que todos os prédios do Corpo de Bombeiros, localizados no Estado do Rio Grande do Sul, mantenham sistema de captação e armazenagem de água da chuva e dá outras providências.
RO	Lei Ordinária	2.425	2011	Dispõe sobre a obrigatoriedade de instalação de sistema de captação e uso da água de chuva em prédios públicos novos.
TO	Lei	3.261	2017	Estabelece a Política Estadual de Captação, Armazenamento e Aproveitamento de Águas Pluviais e define normas gerais para sua promoção.

Fonte: Adaptado de TAVARES et al., 2019.

A NBR 15527/2019 (ABNT, 2019) define os parâmetros de qualidade da água da chuva para usos não potáveis como a lavagem de veículos, descarga em bacias sanitárias, lavagem de pisos, e outros. A sua utilização não é obrigatória, sendo uma recomendação para a instalação e monitoramento do sistema de águas pluviais.

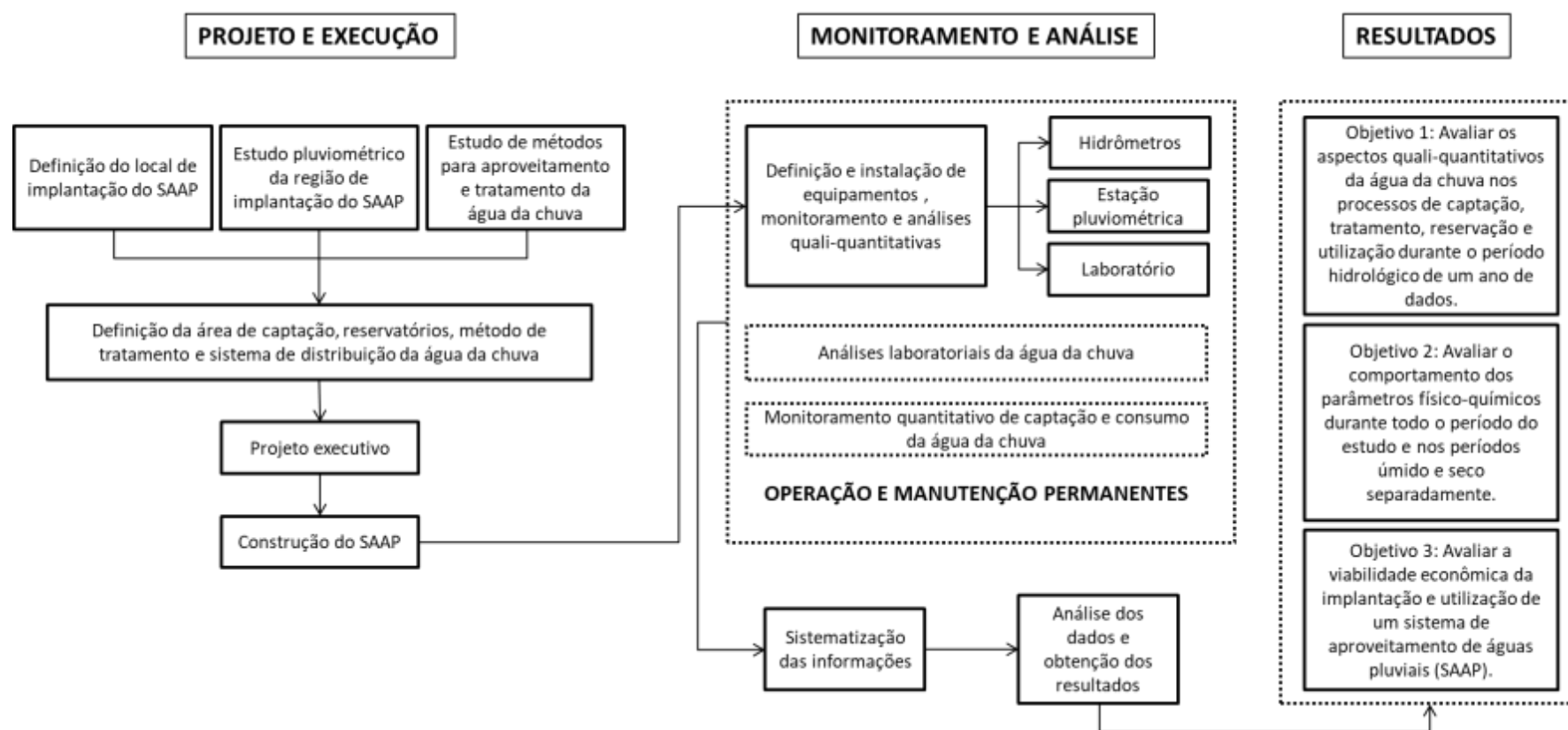
Silva (2019) afirma que a utilização de águas pluviais no Brasil, apesar do crescente uso para fins menos nobres e para o consumo humano em áreas onde a chuva é a principal fonte de abastecimento, não possui uma legislação específica capaz de definir um padrão único para cada uso. As cidades de Tóquio, Sidney e Berlim, assim como os estados da Califórnia, Flórida e Texas ou ainda países como Reino Unido, Alemanha e Austrália têm adotado legislação específica para o aproveitamento da água da chuva (GONÇALVES, 2006).

2 METODOLOGIA

2.1 Fluxograma metodológico da pesquisa

Na Figura 19 estão dispostas em forma de fluxograma as etapas metodológicas necessárias para atingir os objetivos deste trabalho.

Figura 19 – Fluxograma metodológico da pesquisa.



Fonte: O autor, 2020.

2.2 Local de estudo

O estudo foi realizado em uma residência unifamiliar com quatro moradores, localizada na rua M, casa 19, Jardim Sulacap - Rio de Janeiro – RJ, nas coordenadas geográficas 22°52'39"S / 43°22'40"W (Figura 20).

O bairro Jardim Sulacap está localizado na zona oeste da cidade do Rio de Janeiro em uma região tipicamente residencial composta por condomínios de casas planas com único pavimento. A região é arborizada e possui baixo tráfego de veículos, quando comparado com outras regiões da cidade, e apenas duas linhas de ônibus urbano.

Figura 20 - Local do estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor com imagens do GOOGLE, 2020.

2.3 Sistema de aproveitamento de águas pluviais (SAAP) na edificação unifamiliar

Para a realização do estudo foi instalado um sistema experimental de aproveitamento de águas pluviais na residência, projetado com a finalidade de complementar o abastecimento de água fornecido pela concessionária aproveitando parte das instalações hidráulica existentes, reduzindo o custo de implantação. Segundo Mierzwa et al. (2007) os métodos atuais de aproveitamento de águas pluviais estão associados ao acúmulo de água para os dias de seca, o que resulta em reservatórios com grandes volumes e praticamente inviáveis do ponto de vista econômico. Estes métodos para o cálculo do volume dos reservatórios para águas pluviais eram sugeridos na NBR 15527/2007 e foram suprimidos em sua atualização

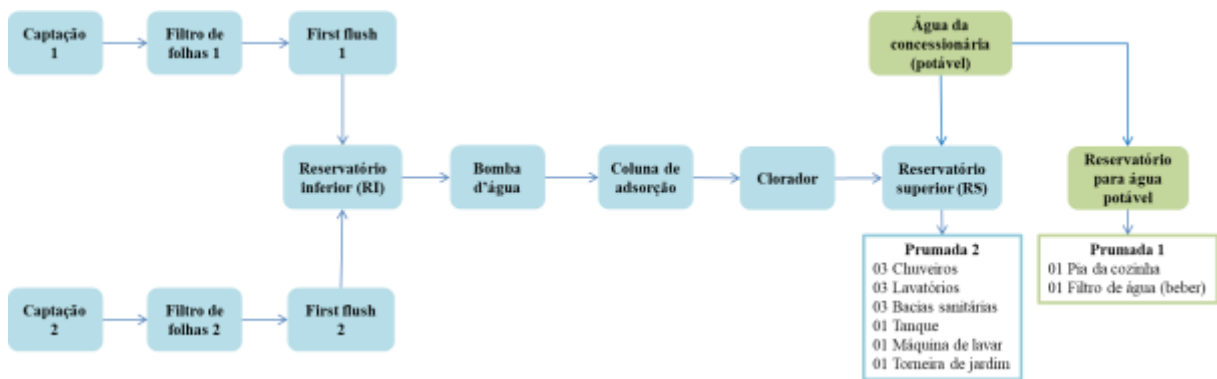
ocorrida em 2019, provavelmente pelo entendimento de que são inviáveis, seja do ponto de vista econômico, como em função das reduzidas áreas disponíveis para a instalação de grandes reservatórios em moradias urbanas.

O sistema de aproveitamento de águas pluviais instalado na residência ocupa um pequeno espaço na parede externa da edificação, com o aproveitamento das instalações hidráulicas existentes, e de forma adaptada, possui quatro componentes principais: captação, tratamento, reservação e distribuição aos pontos de consumo.

Parte dos componentes do SAAP possuem conexões ao sistema convencional de abastecimento de água, de forma automatizada.

A Figura 21 mostra o percurso da água desde sua captação até a distribuição para consumo.

Figura 21 - Fluxograma do sistema de aproveitamento de águas pluviais.

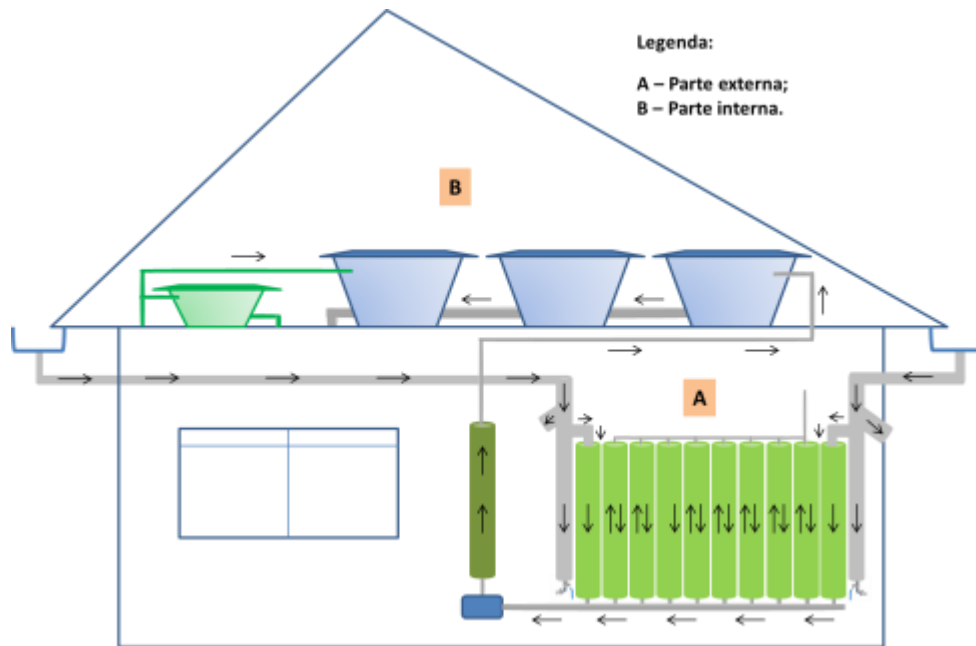


Fonte: O autor, 2020.

O sistema possui duas partes principais, sendo uma externa, composta por: área de captação, calhas, condutores, filtro de folhas, *first flush*, reservatório inferior, sistema de bombeamento e coluna de adsorção. E outra parte interna, localizada sob o telhado, sendo composta por reservatórios para água de chuva, água potável, além do sistema de cloração automático.

A Figura 22 apresenta um esquema geral do sistema de aproveitamento de águas pluviais.

Figura 22 - Esquema geral do sistema de aproveitamento de águas pluviais.

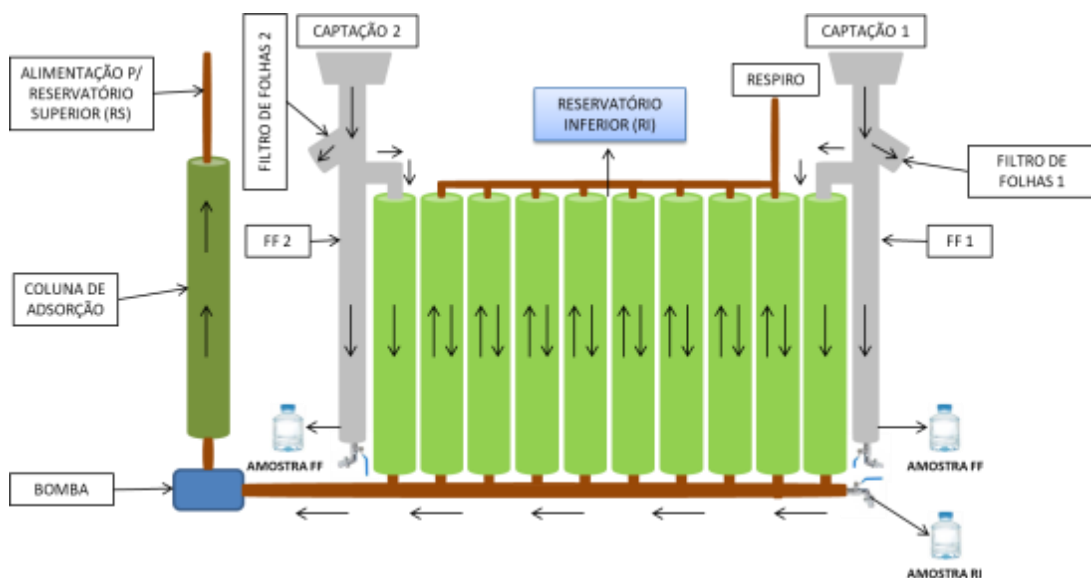


Fonte: O autor, 2020.

2.3.1 Parte externa do sistema

A parte externa do sistema (Figura 23) é responsável pela captação, remoção de sólidos grosseiros/folhas, descarte das águas da primeira chuva (*First flush*), reservação de um pequeno volume de água (300 litros), adsorção e sistema de recalque ao reservatório superior.

Figura 23 - Esquema da parte externa do sistema de aproveitamento de águas pluviais.

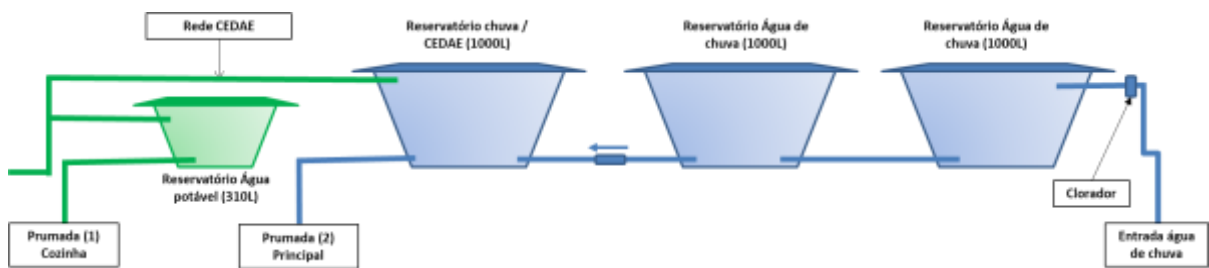


Fonte: O autor, 2020.

2.3.2 Parte interna do sistema

A parte interna do sistema (Figura 24) é composta por dois reservatórios de 1000 litros cada, destinados exclusivamente ao armazenamento da água de chuva, um terceiro reservatório de 1000 litros abastecido prioritariamente pela água da chuva, e suprido pela água da concessionária em épocas de estiagem (tempo seco), a fim de garantir o abastecimento da residência, além de um clorador automático para a água da chuva. Há ainda um quarto reservatório de 310 litros, suprido com água potável fornecida exclusivamente pela concessionária, que é responsável pelo abastecimento da prumada da cozinha.

Figura 24 - Esquema da parte interna do sistema de aproveitamento de águas pluviais.



Fonte: O autor, 2020.

2.3.3 Captação

A captação da água da chuva é realizada em parte do telhado da residência (Figura 25) composta por duas águas com áreas de 33,00 m² e 48,75 m², totalizando 81,75 m².

Figura 25 - Área de captação.



Fonte: Elaborado pelo autor com imagens do GOOGLE, 2020.

A água da chuva interceptada pelo telhado é coletada por calhas instaladas nas duas águas (captação 1 e 2) e conduzida pelos condutores verticais para a etapa de tratamento. A Figura 26 mostra os dois pontos de captação do sistema de aproveitamento de águas pluviais.

Figura 26 - Pontos de captação do sistema de aproveitamento de águas pluviais.



Fonte: O autor, 2020.

2.3.4 Tratamento

O tratamento da água da chuva consiste em: remoção de sólidos grosseiros e folhas (filtro de folhas), descarte do volume inicial da chuva (*first flush*), filtração e adsorção através da coluna de adsorção e cloração por meio de um clorador automático.

A água captada no telhado é conduzida por gravidade para o filtro de folhas instalado na parte superior do dispositivo de descarte do volume inicial da chuva (*first flush*), após completar o volume disponível para descarte, a água é desviada para o reservatório inferior (RI), formado por um conjunto de 10 tubos de PVC (150 mm) conectados, com capacidade total para 300 litros. A água ao chegar ao RI aciona a bomba d'água, por meio de uma eletroboia, sendo então conduzida à coluna de adsorção e enviada ao reservatório superior (RS), onde é clorada para a distribuição e consumo. Cada um dos dois pontos de captação possui o filtro de folhas e o *first flush* independentes.

A Figura 27 apresenta os componentes responsáveis pelo tratamento da água da chuva localizados na parte externa do SAAP.

Figura 27 - Componentes envolvidos no tratamento da água da chuva localizados na parte externa do SAAP.



Fonte: O autor, 2020.

2.3.4.1 Filtro de folhas

O filtro de folhas consiste em um “Tê” de 100 milímetros de diâmetro (DN 100) com uma tela instalada em seu interior em um ângulo de 45° (Figura 28), responsável por reter e expulsar automaticamente folhas e sólidos grosseiros carreados do telhado.

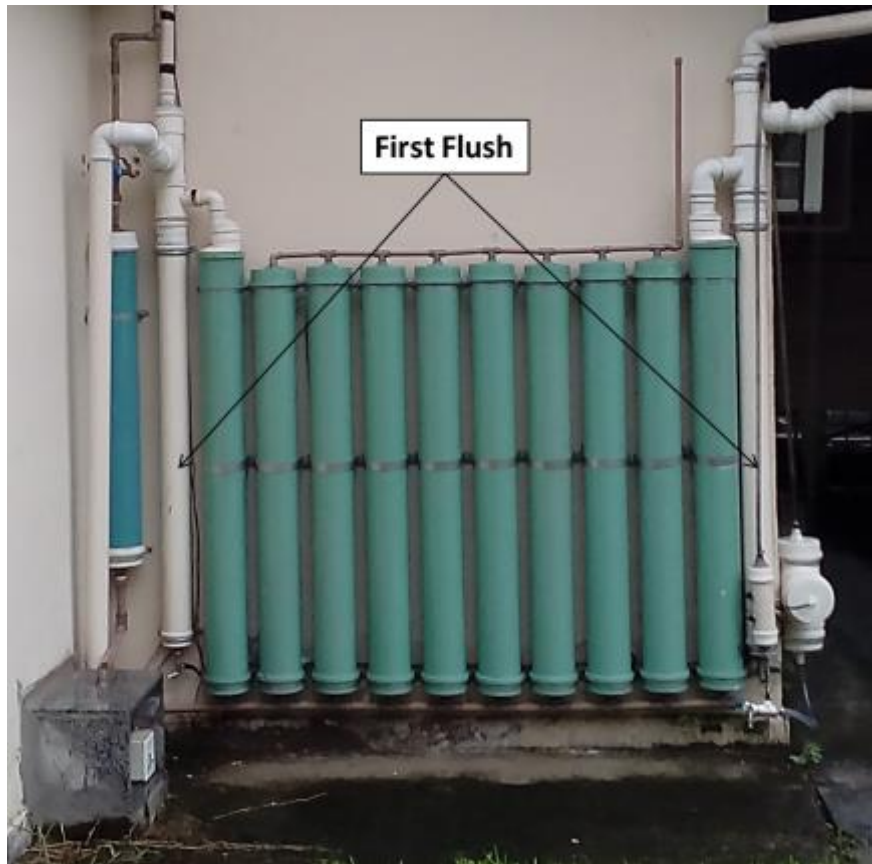
Figura 28 - Filtro de folhas.



Fonte: O autor, 2020.

2.3.4.2 *First flush*

O SAAP possui dois dispositivos responsáveis pelo descarte do volume inicial da chuva captada (Figura 29). Estes dispositivos são fundamentais em um sistema de aproveitamento de águas pluviais, pois descartam grande parte dos poluentes e particulados finos depositados no telhado durante os dias sem chuva, melhorando significativamente a qualidade da água captada e aumentando a vida útil da coluna de adsorção e demais componentes do sistema. Os dispositivos foram confeccionados utilizando tubos de 100 milímetros de diâmetro (DN 100) e possuem 1,6 metros de altura, resultando em um volume útil de 12,6 litros cada, o que representa uma capacidade de descarte de 0,3 mm da precipitação efetivamente captada.

Figura 29 - *First flush*.

Fonte: O autor, 2020.

2.3.4.3 Reservatório inferior (RI)

O reservatório inferior é formado por um conjunto de 10 tubos de 150 mm de diâmetro conectados em série, resultando em uma capacidade total de 300 litros. Sua função é receber a água após o descarte do volume inicial pelo *first flush*, para ser enviada ao reservatório superior (RS) pela bomba d'água, acionada automaticamente. A bomba d'água possui a capacidade de recalque de 1,2 m³/h, sendo assim, em caso de um volume de chuva superior a esta capacidade de recalque, o reservatório inferior (RI) atua ainda amortecendo o volume de chuva captado, evitando o extravasamento. Após o preenchimento do reservatório superior, a bomba é desligada automaticamente e o reservatório inferior passa a ser preenchido até que extravase ou cesse a chuva. Quando parte da água for consumida na residência, o nível do RS se reduz e a eletroboia instalada no RS aciona a bomba, que recalca a água remanescente do RI para o RS, liberando o RI para receber o volume referente a próxima chuva.

A Figura 30 apresenta a localização do reservatório inferior (RI) no SAAP.

Figura 30 - Localização do reservatório inferior no SAAP.



Fonte: O autor, 2020.

2.3.4.4 Sistema elevatório

O sistema de aproveitamento de águas pluviais utiliza uma bomba hidráulica periférica modelo MPS 35 de 0,5 CV da marca Schulz (Figura 31) com a finalidade de recalque da água da chuva armazenada no reservatório inferior para o reservatório superior, passando pela coluna de adsorção e pelo clorador automático, antes de chegar ao reservatório superior, completando assim o tratamento da água.

O acionamento da bomba é realizado de forma automatizada por meio de duas eletroboias, sendo uma instalada no reservatório superior, impedindo seu extravasamento quando o nível chega ao limite superior. A outra é acoplada ao reservatório inferior, sendo responsável pelo acionamento da bomba quando o nível d'água no RI atinge seu nível de partida, após o início das chuvas, e também desligando a bomba quando o nível retorna ao mínimo. O conjunto formado pelas duas eletroboias e a bomba controla o funcionamento automático do SAAP, essencial para eficiência do sistema e comodidade em sua utilização.

Figura 31 - Bomba d'água periférica de 0,5 CV.



Fonte: O autor, 2020.

A água da chuva captada pelo SAAP age em uma eletroboia localizada no interior de um dispositivo ligado hidraulicamente ao reservatório inferior, controlando o funcionamento da bomba d'água.

A Figura 32 apresenta o dispositivo responsável pelo acionamento da bomba d'água e a eletroboia localizada em seu interior.

Figura 32 - Dispositivo de acionamento da Bomba d'água e eletroboia.



Fonte: O autor, 2019.

O SAAP possui elementos hidráulicos não convencionais, como a coluna de adsorção e o clorador, que dificultaram o dimensionamento técnico da bomba necessária ao funcionamento do sistema. A solução adotada foi instalar uma bomba adequada à altura a ser recalçada e realizar testes de vazão no sistema com a utilização de um hidrômetro. Para isso, foram realizados três testes de funcionamento com duração de uma hora cada, para verificação da capacidade de recalque da água do RI para o RS, passando por todos os elementos do sistema.

2.2.4.5 Coluna de adsorção

Trata-se de um dispositivo experimental (Figura 33) desenvolvido com a finalidade de reter os sólidos finos, não eliminados pelo filtro de folhas e pelo *first flush*, e adsorver substâncias orgânicas presentes na água.

Figura 33 – Coluna de adsorção experimental para a água da chuva.



Fonte: O autor, 2020.

A coluna de adsorção foi confeccionada com a utilização de um tubo de 150 milímetros de diâmetro (DN 150) e 1,5 metros de altura. Como elementos filtrantes/adsorventes foram utilizados mídias porosas de vidro sinterizado (Figura 34-b) com diâmetro interno dos poros variando entre 60 e 300 μm e carvão ativado granulado (Figura 34-a) com diâmetro máximo do poro de 10 μm .

A sinterização é um processo que pode ser definido como a união de partículas à temperaturas elevadas sem que estas se fundam, ou seja, à uma temperatura abaixo do ponto de fusão destas partículas (GERMAN, 1984). Segundo Gomes et al. (2014) as cerâmicas porosas para utilização em filtragens são obtidas pela adição de um sal (NaCl) ao vidro moído e então sinterizado. O sal atua como fase não-sinterizável, solúvel, como objetivo da formação e controle da porosidade e dos tamanhos de poros do material. Nas últimas décadas o interesse por cerâmicas celulares tem crescido devido às suas propriedades, tais como, baixas densidade, estabilidade térmica, elevada área superficial e elevada permeabilidade.

O primeiro registro do uso de Carvão Ativado para fins de tratabilidade da água foi por volta de 1910 na Inglaterra, com a instalação de um filtro de carvão ativado a base de lignita visando remoção de subprodutos do cloro na água. Por volta do ano de 1960, países como Alemanha, Holanda, Dinamarca, Inglaterra e Estados Unidos utilizaram a filtração em carvão ativado em suas instalações de tratamento de água (MASSCHELEIN, 1992).

A adsorção em Carvão Ativado tem sido usada como uma etapa complementar ao tratamento de água convencional, com o intuito de remover substâncias causadoras de cor, odor e gosto, como 2-metil-isoborneol (2-MIB), agrotóxicos e cianotoxinas (DI BERNARDO e DANTAS, 2005; DRIKAS et al., 2009).

Figura 34 – Elementos filtrantes/adsorventes utilizados na coluna de adsorção para água da chuva.



(a)



(b)

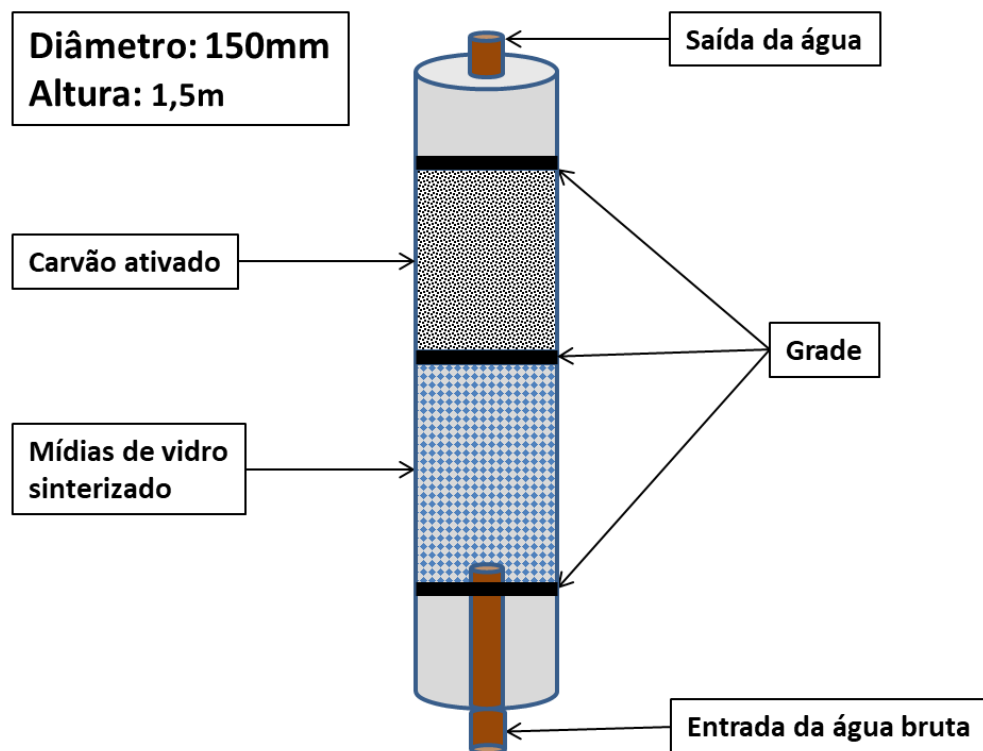
Legenda: (a) – carvão ativado granulado; (b) – mídias porosas de vidro sinterizado.

Fonte: O autor, 2019.

A coluna de adsorção funciona com o fluxo de água ascendente e taxa de filtração/adsorção de 1,2 m³/h, onde após ser captada e passar pelo filtro de folhas e pelo descarte do volume inicial da chuva no *first flush*, a água da chuva segue para o reservatório inferior, acionando a bomba hidráulica responsável pelo seu envio à coluna. A água entra pela parte inferior da coluna, passando primeiramente pelas mídias porosas, onde há a retenção do material particulado e em seguida pelo carvão ativado, responsável pela adsorção de matéria orgânica dissolvida.

A Figura 35 apresenta o esquema da coluna de adsorção experimental.

Figura 35 - Esquema da coluna de adsorção experimental para água da chuva.



Fonte: O autor, 2019.

2.3.4.6 Clorador automático

Assim como a coluna de adsorção, o sistema automático de cloração utilizado no SAAP foi desenvolvido de maneira experimental, com o objetivo de promover a desinfecção da água da chuva, utilizando pastilhas de hipoclorito de cálcio.

O clorador consiste de uma carcaça de filtro de água comercial, capaz de abrigar duas pastilhas de hipoclorito de cálcio de 200 g cada, sem contato com o ambiente.

Seu funcionamento consiste na passagem de um pequeno fluxo de água, cerca de 5% da vazão de recalque pelo clorador durante o abastecimento do reservatório superior, formado por três reservatórios como capacidade para 1 m³ cada. A fim de aumentar o tempo de contato do cloro com a água antes do uso, a cloração é feita no reservatório oposto ao ponto de coleta para a distribuição (Figura 37).

A Figura 36 mostra o clorador automático instalado na entrada do reservatório superior.

Figura 36 - Clorador automático utilizado no SAAP.



Fonte: O autor, 2019.

2.3.5 Reservação e distribuição

A residência possuía inicialmente dois reservatórios interligados de 1000 litros cada que distribuíam a água por meio de duas prumadas. A primeira prumada abastecia a cozinha e a outra o restante da casa: três banheiros e lavanderia.

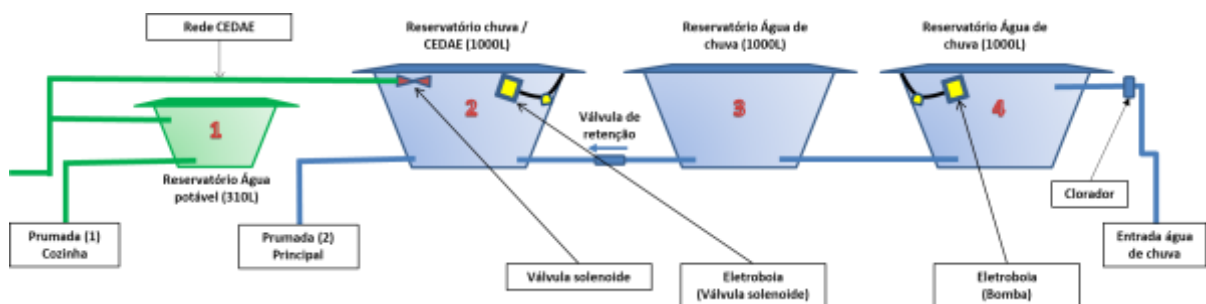
Para a adaptação do sistema de aproveitamento de águas pluviais foi acrescentado um reservatório de 1000 litros ligado aos dois já existentes, totalizando 3000 litros, destinados a reservação da água de chuva e ao abastecimento da prumada que atende aos banheiros e a lavanderia. Durante os períodos de estiagem apenas o reservatório 2 é abastecido com água da concessionária, para isso, utilizou-se uma válvula solenoide ligada a uma eletroboia que controlam o fornecimento de água. Foi utilizada ainda, uma válvula de retenção, instalada

entre os reservatórios 2 e 3, o que impede a passagem da água fornecida pela concessionária durante o período sem chuvas para os reservatórios 3 e 4, deixando sempre um volume mínimo livre de 2000 litros para receber a água da chuva. Nos períodos chuvosos os três reservatórios estarão disponíveis para receber a água da chuva.

Foi acrescentado ainda, um reservatório de 310 litros (reservatório 1) destinado ao abastecimento da cozinha com água potável fornecida exclusivamente pela concessionária, sendo este, totalmente independente dos anteriores. Cabe enfatizar que este reservatório não possui ligações com os reservatórios que recebem água da chuva, a fim de evitar a conexão cruzada.

A Figura 37 apresenta o esquema de reservação e abastecimento de água da residência. A prumada 1 abastece a cozinha e a prumada 2 (principal) abastece os banheiros, lavanderia e área externa.

Figura 37 - Esquema de reservação e abastecimento de água na residência.



Fonte: O autor, 2019.

2.4 Qualidade da água

Durante o estudo foram realizadas 12 (doze) coletas de amostras da água da chuva para a análise de parâmetros físico-químicos e biológicos em 4 (quatro) pontos distintos do sistema de aproveitamento de águas pluviais: reservatório superior (RS); reservatório inferior (RI); *first flush* (FF) e precipitação direta (PD). Os resultados obtidos são analisados de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5 do Ministério da Saúde, de 03 de outubro de 2017, que trata do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e com a Norma Brasileira (NBR) 15527 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), de 15 de abril de 2019, que trata do aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis - requisitos. A Portaria de Consolidação

nº 5 do Ministério da Saúde foi utilizada para a discussão dos resultados das análises de qualidade da água da chuva por abranger maior quantidade de parâmetros e ser mais restritiva.

As datas das coletas e os parâmetros analisados estão descritos na Tabela 9.

Tabela 9- Datas das coletas das amostras de água de chuva e os parâmetros analisados.

Data da coleta	Parâmetro analisado									
	pH	Cor	Turbidez	Condutividade	Alcalinidade	Dureza	Cloreto	Coliformes totais	Coliformes termotolerantes	<i>Escherichia coli</i>
14/02/2019	X	X	X	X	X	X	X			
14/03/2019	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
10/04/2019	X	X	X	X	X	X	X			
16/05/2019	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
17/06/2019	X	X	X	X	X	X	X			
19/07/2019	X	X	X	X	X	X	X			
21/08/2019	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
18/09/2019	X	X	X	X	X	X	X			
12/10/2019	X	X	X	X	X	X	X			
19/11/2019	X	X	X	X	X	X	X			
19/12/2019	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
19/01/2020	X	X	X	X	X	X	X			

Fonte: O autor, 2020.

2.4.1 Parâmetros físico-químicos

Foram realizadas 12 (doze) coletas de amostras da água de chuva para análise dos parâmetros físico-químicos, entre 14 de fevereiro de 2019 e 19 de janeiro de 2020. As nomenclaturas utilizadas para a identificação dos locais de coleta e parâmetros analisados estão descritos na Tabela 10.

Tabela 10- Nomenclaturas utilizadas para a identificação dos parâmetros físico-químicos do sistema de aproveitamento de águas pluviais

Sigla	Descrição	Sigla	Descrição
pH_RS	pH do reservatório superior	Cond_FF	Condutividade do <i>first flush</i>
pH_RI	pH do reservatório inferior	Cond_PD	Condutividade da precipitação direta
pH_FF	pH do <i>first flush</i>	Alc_RS	Alcalinidade do reservatório superior
pH_PD	pH da precipitação direta	Alc_RI	Alcalinidade do reservatório inferior
Cor_RS	Cor aparente do reservatório superior	Alc_FF	Alcalinidade do <i>first flush</i>
Cor_RI	Cor aparente do reservatório inferior	Alc_PD	Alcalinidade da precipitação direta
Cor_FF	Cor aparente do <i>first flush</i>	Dur_RS	Dureza do reservatório superior
Cor_PD	Cor aparente da precipitação direta	Dur_RI	Dureza do reservatório inferior
Turb_RS	Turbidez do reservatório superior	Dur_FF	Dureza do <i>first flush</i>
Turb_RI	Turbidez do reservatório inferior	Dur_PD	Dureza da precipitação direta
Turb_FF	Turbidez do <i>first flush</i>	Clor_RS	Cloreto do reservatório superior
Turb_PD	Turbidez da precipitação direta	Clor_RI	Cloreto do reservatório inferior
Cond_RS	Condutividade do reservatório superior	Clor_FF	Cloreto do <i>first flush</i>
Cond_RI	Condutividade do reservatório inferior	Clor_PD	Cloreto da precipitação direta

Fonte: O autor, 2020.

A metodologia para as análises foi baseada no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017). O método utilizado para a análise de cada parâmetro físico-químico e os limites contidos na Portaria de Consolidação nº 05/2017 do Ministério da Saúde e na NBR 15527/2019 da ABNT são descritos na Tabela 11.

Tabela 11 - Parâmetros físico-químicos conforme a Portaria de Consolidação nº 05/2017 do Ministério da Saúde, NBR 15527/2019 (ABNT) e métodos utilizados nas análises.

Parâmetro	Método	Portaria nº 05/2017	NBR 15527/2019
pH	4500 H ⁺ B	6,0 – 9,5	6,0 – 9,0
Cor aparente	2120 C	15 uH	ND
Turbidez	2130 B	5 UT	5 UT
Condutividade elétrica	2510 B	ND	ND
Alcalinidade	2320 B	ND	ND
Dureza total	2340 C	500 mg/L	ND
Cloreto	4500 Cl ⁻ B	250 mg/L	ND

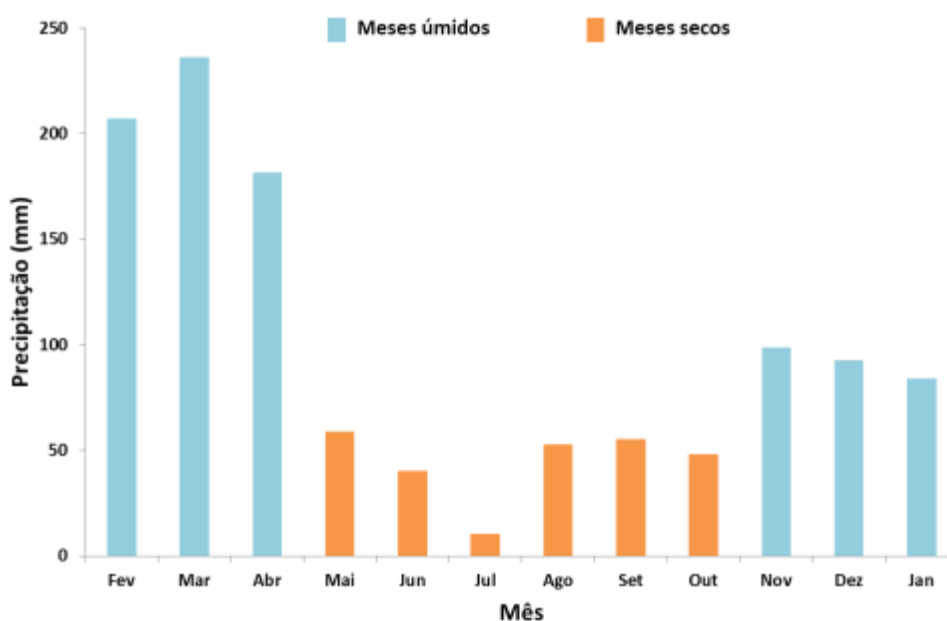
ND – não definido, pH (adimensional).

Fonte: MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017; APHA, 2017; ABNT, 2019.

O estudo considera os resultados obtidos em cada parâmetro nos quatro pontos de coleta analisados. Foi realizada ainda, a correlação entre os resultados aferidos nos períodos úmido e seco.

Para a definição dos meses úmidos e secos, foi obtida a mediana dos valores de precipitação dos doze meses analisados, resultando em seis meses úmidos e seis secos, conforme demonstrado na Figura 38.

Figura 38 – Meses úmidos e secos durante o período do estudo, de acordo com a pluviometria no bairro Jardim Sulacap, Rio de Janeiro-RJ.



Fonte: Elaborado pelo autor com dados do ALERTA RIO, 2020.

2.4.2 Parâmetros biológicos analisados na água da chuva

Durante o estudo foram realizadas quatro análises biológicas dos parâmetros coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*. Foram analisadas as amostras dos quatro pontos de coleta do sistema de aproveitamento de águas pluviais (PD, FF, RI e RS) nos meses de março, maio, agosto e dezembro de 2019.

A metodologia utilizada para as análises foi a de teste de fermentação em tubos múltiplos, baseada no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2017). O método utilizado para a análise de cada parâmetro biológico e os limites contidos na Portaria de Consolidação n° 05/2017 do Ministério da Saúde e na NBR 15527/2019 (ABNT) são descritos na Tabela 12.

Tabela 12 - Parâmetros biológicos conforme a Portaria de Consolidação nº 05/2017 do Ministério da Saúde, NBR 15527/2019 (ABNT) e métodos utilizados nas análises.

Parâmetro	Método	Portaria nº 05/2017	NBR 15527/2019
Coliformes totais	SMWW 9221 B	Ausência em 100 mL	ND
Coliformes termotolerantes	SMWW 9221 E	ND	ND
<i>Escherichia Coli</i>	SMWW 9223 B	Ausência em 100 mL	200 NMP

ND – não definido.

Fonte: MINISTÉRIO DA SAÚDE, 2017; APHA, 2017; ABNT, 2019.

2.4.3 Avaliação da eficácia do sistema de tratamento

O sistema de tratamento da água da chuva utilizado no SAAP consiste de 4 (quatro) etapas sequenciais: eliminação de sólidos grosseiros e folhas; descarte do volume inicial de chuva; adsorção e desinfecção. O estudo avaliou a qualidade da água do first flush (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS), em conformidade com os limites da Portaria de consolidação nº 05/2017 do Ministério da Saúde e da NBR 15527/2019 (ABNT).

Foram utilizadas as médias dos resultados de 12 (doze) análises realizadas em cada ponto de coleta e calculado o percentual de variação dos parâmetros de qualidade da água após cada etapa do tratamento em relação aos resultados encontrados na etapa anterior. Obteve-se também a variação entre a qualidade da água no RS e a da água descartada no FF, ou seja, entre a água pronta para a utilização e a água da chuva bruta captada do telhado.

O sinal da variação é positivo quando o valor do parâmetro analisado aumenta e negativo quando diminui, a partir da relação entre:

- RI/FF – como o percentual de variação dos parâmetros da água do RI em relação aos parâmetros da água do FF;
- RS/RI – como o percentual de variação dos parâmetros da água do RS em relação aos parâmetros da água do RI e
- RS/FF - como o percentual de variação dos parâmetros da água do RS (água pronta para utilização) em relação aos parâmetros da água do FF (água bruta).

A água coletada em cada ponto do sistema representa a qualidade em diferentes fases do tratamento, desta forma, a água coletada no RS é a única que passou por todas as etapas. A água em cada ponto de coleta passou pelas etapas de tratamento, de montante para jusante do sistema: (i) FF – Eliminação de sólidos grosseiros e folhas (filtro de folhas); (ii) RI – Eliminação de sólidos grosseiros e folhas (filtro de folhas) e descarte do volume inicial de chuva (FF); e (iii) RS - Eliminação de sólidos grosseiros e folhas (filtro de folhas), descarte do volume inicial de chuva (FF), filtração e adsorção (coluna de adsorção) e desinfecção (clorador).

A Figura 39 apresenta os pontos de coleta e o fluxo da água da chuva através do sistema de tratamento.

Figura 39 - Fluxo da água no sistema de tratamento.



Fonte: O autor, 2020.

2.4.4 Análise de Componentes Principais (ACP)

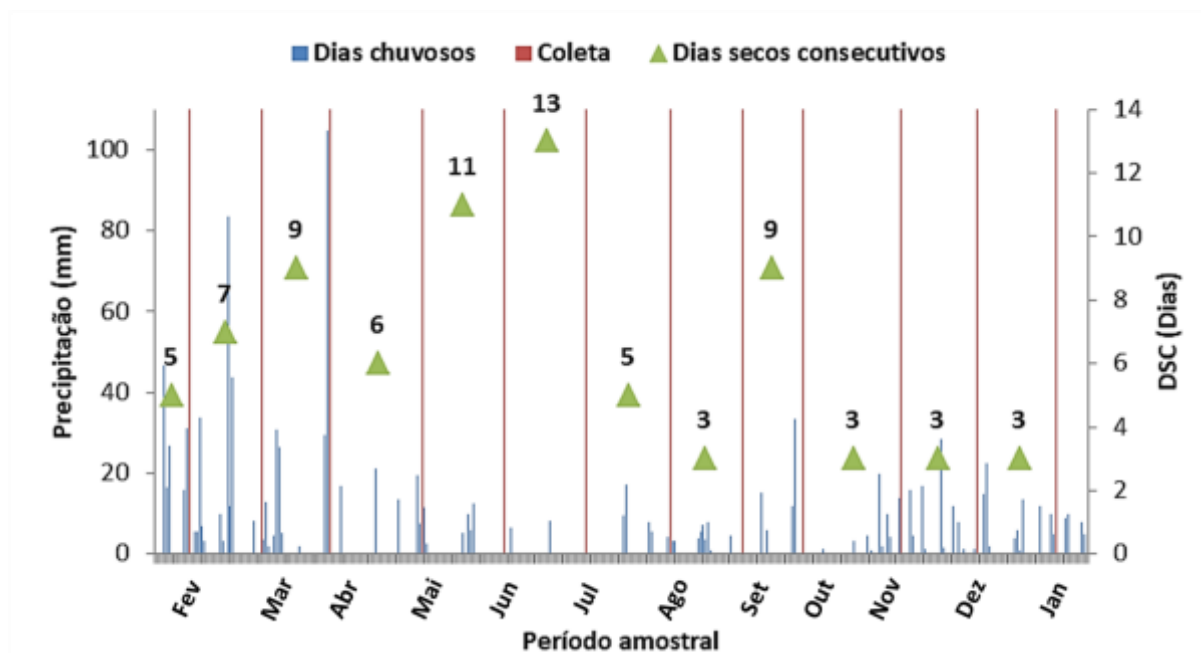
A associação entre as variáveis físico-químicas que influenciam a qualidade da água da chuva foi identificada mediante o uso de análise estatística multivariada - Análise de Componente Principal (ACP). Para a análise dos dados utilizou-se o *software* livre RStudio versão 1.2.5033.

Foram analisados os parâmetros pH, cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, alcalinidade, dureza total e cloreto dos 4 (quatro) pontos de coleta (PD, FF, RI e RS), referentes às amostras mensais realizadas entre 14 de fevereiro de 2019 e 19 de janeiro de 2020, totalizando 12 (doze) amostras para cada ponto de coleta.

Além dos parâmetros analisados nos quatro pontos de coleta, foi inserido na análise a quantidade de dias secos consecutivos (DSC) que antecederam a data de cada coleta de amostras. Os valores de DSC que antecederam cada coleta são demonstrados na Figura 40.

Para a obtenção dos dias secos consecutivos que antecederam cada evento de coleta de amostras foram utilizados os dados diários de precipitação da estação pluviométrica de Madureira pertencente ao Sistema Alerta Rio.

Figura 40 – Dias secos consecutivos antecedentes às coletas das amostras de água da chuva.



Fonte: O autor, 2020.

Para extração das componentes principais, utilizou-se uma matriz de correlação com o objetivo de eliminar os problemas de escalas e unidades diferenciadas em que as variáveis foram medidas.

Com o objetivo de identificar as variáveis explicativas e a possível eliminação das variáveis não significativas, foi realizada a análise fatorial, que consiste na extração dos fatores comuns e a possível redução de variáveis explicativas.

O estudo analisou separadamente o período total (12 meses), o período úmido (6 meses) e o período seco (6 meses). O método utilizado para a definição dos períodos úmido e seco foi descrito anteriormente no item 2.3.1.

2.5 Aproveitamento da água da chuva

O estudo analisou os aspectos quantitativos que envolvem a utilização de um sistema de aproveitamento de águas pluviais, como: regime pluviométrico, consumo, quantidade de água de chuva aproveitada, percentual de economia de água fornecida pela concessionária e economia financeira. Os dados quantitativos foram coletados entre fevereiro de 2019 e janeiro de 2020, totalizando 12 (doze) meses.

2.5.1 Oferta de água da chuva

Todo estudo sobre aproveitamento de água da chuva requer um conhecimento do comportamento pluviométrico da região, sendo essencial para o projeto e operação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais. De um modo geral, define-se um sistema de coleta de água de chuva e o seu rendimento de acordo com os dados históricos de precipitação (HAQUE et al., 2016). No presente estudo foram utilizados os dados da Estação Telepluviométrica de Madureira (Figura 41), pertencente ao Sistema Alerta Rio da Prefeitura Municipal do Rio de Janeiro. A Estação está instalada no edifício Polo I, Estrada do Portela, 99, nas coordenadas geográficas 22°53'24"S / 43°20'20"W e faz parte de um conjunto de 33 estações remotas automáticas que realizam a medição dos índices pluviométricos e o envio dos dados coletados em intervalos regulares de 15 minutos.

Figura 41 – Estação Telepluviométrica de Madureira, próximo ao local do sistema de aproveitamento de águas pluviais no Jardim Sulacap, Rio de Janeiro.



Fonte: SISTEMA ALERTA RIO, 2020.

A estação pluviométrica de Madureira está localizada a uma distância de 4 Km do local de implantação do Sistema de Aproveitamento de Águas Pluviais utilizado no estudo, no bairro Jardim Sulacap, sendo a Estação mais próxima disponível.

A Figura 42 apresenta a localização da estação pluviométrica, sua área de abrangência e o local do estudo.

Figura 42 – Localização da estação pluviométrica Madureira, área de abrangência e o local do estudo de implantação do sistema de águas pluviais no bairro Jardim Sulacap.



Fonte: Adaptado de ALERTA RIO, 2020.

2.5.2 Coleta de dados de captação e consumo

Para a coleta dos dados referentes ao aproveitamento de água da chuva e ao consumo de água na residência, foram instalados três hidrômetros analógicos convencionais, modelo Saga US - 3.0, com capacidade de vazão máxima de 3 m³/h, semelhantes aos utilizados pela concessionária da cidade do Rio de Janeiro, da Companhia Estadual de Águas e Esgotos (CEDAE-RJ).

Os hidrômetros foram instalados de maneira a possibilitar a medição abrangendo todo o fornecimento de água para a residência da seguinte forma:

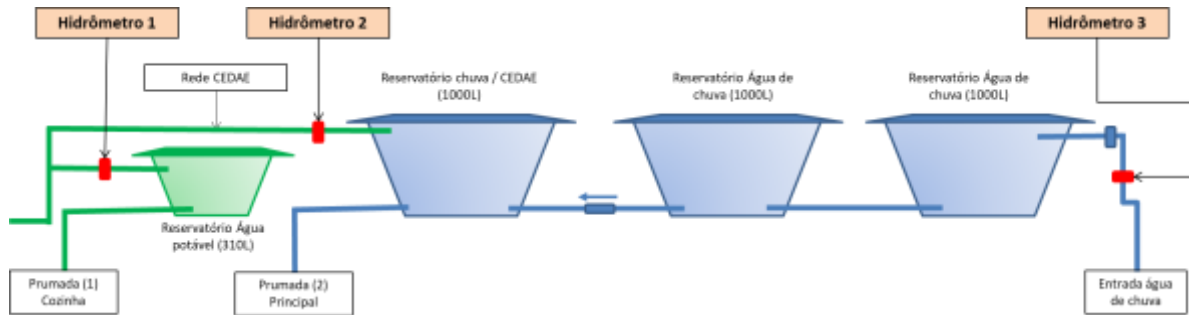
Hidrômetro 1 – Reservatório para abastecimento da cozinha (concessionária);

Hidrômetro 2 – Abastecimento do reservatório em tempo seco (concessionária) e

Hidrômetro 3 – Água de chuva captada.

A Figura 43 apresenta a localização dos hidrômetros adotados na pesquisa.

Figura 43 – Localização dos hidrômetros.



Fonte: O autor, 2019.

2.5.3 Análise da economia de água

O estudo buscou explorar a possibilidade de utilização da água de chuva para fins do que os empregados normalmente como lavagem de veículos, pisos e rega de jardins, de modo a suprir a maioria dos usos em uma moradia urbana típica, inclusive alguns mais nobres como água para higiene pessoal (banhos, abluções).

Toda a água de chuva captada e tratada abastece o reservatório responsável pelo suprimento de água aos banheiros, área de serviço e área externa, ficando apenas a cozinha abastecida exclusivamente com a água da concessionária.

A Tabela 13 apresenta a descrição dos pontos de consumo de água da residência e respectivas fontes de abastecimento.

Tabela 13- Descrição dos pontos de consumo de água e fontes de abastecimento na residência.

Prumada	Local	Equipamento hidráulico	Fonte de água
1	Cozinha	Torneira da pia Filtro (Água potável)	Concessionária
2	Banheiro 1	Lavatório Chuveiro Bacia sanitária	Chuva/Concessionária
	Banheiro 2	Lavatório Chuveiro Bacia sanitária	Chuva/Concessionária
	Banheiro 3	Lavatório Chuveiro Bacia sanitária	Chuva/Concessionária
	Área de serviço	Máquina de lavar Tanque	Chuva/Concessionária
	Área externa	Chuveiro Torneira de jardim	Chuva/Concessionária

Fonte: O autor, 2020.

Foi realizado o acompanhamento mensal do consumo de água na residência com a utilização de três hidrômetros responsáveis pela medição do fornecimento de água para uso na cozinha (concessionária), água de chuva captada e água da concessionária para suprimento dos reservatórios de água de chuva nos períodos secos.

As leituras foram realizadas sempre no dia primeiro de cada mês, no período de fevereiro de 2019 a janeiro de 2020, totalizando um ano de dados de consumo. O somatório das leituras dos três hidrômetros representa o total de água consumida na residência.

2.5.4 Comportamento do atendimento à demanda diante de variações pluviométricas

O comportamento do atendimento à demanda diante de variações no regime pluviométrico é verificado em simulações do percentual de atendimento à demanda de água da residência (D_{At}), com base na série histórica de precipitação. O cálculo do D_{At} para um determinado ano consiste no somatório dos percentuais de atendimento mensais verificados durante os doze meses do ano (Equação 1).

A precipitação total (P_{Tot}) considera o acumulado mensal de precipitação registrada pela Estação Pluviométrica, calculando-se o aproveitamento efetivo da água de chuva como o produto da precipitação total (P_{Tot}), área de captação (A_{Cap}) e o fator de aproveitamento (F_{Ap}). O fator de aproveitamento refere-se a razão, verificada durante o estudo, entre a precipitação efetivamente captada no SAAP e a precipitação total registrada em cada mês. Na simulação realizada, o fator de aproveitamento (F_{Ap}) considera as perdas ocorridas em função do coeficiente de escoamento superficial e de eventuais intensidades de precipitação que superem a capacidade de recalque da água captada ou de reservação do sistema. Já o volume não aproveitado ou excedente (V_{Nap}) refere-se ao volume de precipitação que excede a demanda mensal (D_M). Quando o volume de água de chuva efetivamente aproveitado for menor que a demanda mensal (D_M) para o mês considerado, o volume não aproveitado (V_{Nap}) será nulo, pois as perdas já foram consideradas pelo fator de aproveitamento (F_{Ap}). As demandas anuais (D_A) e mensais (D_M) utilizadas na simulação foram apuradas durante o período do estudo.

$$D_{At} = \sum_{i=1}^{12} \left[\frac{(P_{Tot} \times 10^{-3} \times A_{Cap} \times F_{Ap}) - V_{Nap}}{D_A} \right] \times 10^2 \quad \text{Equação (1)}$$

Quando $(P_{Tot} \times 10^{-3} \times A_{Cap} \times F_{Ap}) < D_M$, então o $V_{Nap} = 0$

Sendo:

D_{At} = percentual de atendimento à demanda anual (%);

i = mês considerado;

P_{Tot} = precipitação total acumulada no mês considerado, em mm;

A_{Cap} = área de captação considerada, em m^2 ;

F_{Ap} = fator de aproveitamento para o mês considerado (adimensional);

V_{Nap} = volume não aproveitado (excesso), em m^3 ;

D_A = demanda anual, em m^3 e

D_M = demanda mensal para o mês considerado, em m^3 .

Foram realizadas ainda, simulações com diferentes tamanhos de áreas de captação, variando entre 50 e 200 m^2 , para a verificação do potencial de atendimento à demanda de acordo com a disponibilidade dessas áreas, sem alterar o restante do SAAP.

Para a realização das simulações foram utilizados dados mensais da série histórica de precipitação entre 1997 e 2019.

2.5.5 Análise de viabilidade econômica e período de retorno do investimento

A análise de viabilidade econômica tem com objetivo determinar o período de retorno dos gastos com a implantação dos sistemas de aproveitamento de água de chuva, ou seja, determinando-se o período de retorno do investimento realizado.

Para isso é preciso contabilizar os custos de implantação, incluindo material e mão de obra, e custos com despesas de operação e manutenção do sistema, incluindo, dentre outros o custo de energia elétrica para o bombeamento da água. Em contrapartida contabiliza-se também o benefício gerado pela economia de água potável na edificação (GONÇALVES, 2006).

O tempo de vida útil do sistema de aproveitamento de águas pluviais adotado foi de vinte anos (PROSAB, 2006).

Para facilitar a comparação com trabalhos em âmbito mundial, todos os valores da análise econômica foram convertidos para o Dólar (US\$), com base na cotação do dia 1º de fevereiro de 2019 (1 US\$ = R\$ 3,6688), data do início da operação do SAAP.

Para o cálculo do período de retorno do investimento foram considerados basicamente:

- a) A economia financeira anual média gerada pela utilização da água da chuva em substituição a água da CEDAE, estimada com base na aplicação da simulação do percentual de atendimento à demanda (D_{At}), também para um período de 20 anos e
- b) os custos totais de implantação do SAAP e os custos mensais de manutenção e operação, trazidos ao valor presente (P).

Para o cálculo da economia financeira total gerada pelo SAAP, utilizou-se a medição dos volumes economizados a cada mês em virtude da substituição da água fornecida pela concessionária pela água da chuva, associados aos dados da estrutura tarifária referente ao fornecimento de água e coleta de esgoto para consumidores residenciais da região do estudo (Tarifa B) (Tabela 14).

Tabela 14 – Estrutura tarifária domiciliar da concessionária (CEDAE) de água e esgotos praticada na cidade do Rio de Janeiro.

Consumo (m³)	Tarifa Água (US\$/m³)	Tarifa Esgoto (US\$/m³)
0-15	1,11645	1,11645
16-30	2,45619	2,45619
31-45	3,34936	3,34936
46-60	6,69871	6,69871
> 60	8,93161	8,93161

Fonte: Adaptado de CEDAE, 2019.

Os custos com a mão de obra necessária foram estimados, já que a implantação do sistema foi realizada pelo autor, com base no valor da hora de trabalho de um bombeiro hidráulico, definido pelo Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias da Construção Civil do Município do Rio de Janeiro, acrescido de encargos trabalhistas.

Para a definição do custo mensal de manutenção do sistema, quantificou-se o número/consumo de pastilhas de hipoclorito de cálcio utilizadas durante o período do estudo, além do custo da energia elétrica utilizada para o funcionamento da bomba.

Para o cálculo dos custos da energia elétrica utilizou-se o valor do KWh/Mês cobrado pela concessionária de energia e a quantidade de horas de funcionamento da bomba necessárias para realizar o recalque da água da chuva captada do reservatório inferior para o reservatório superior.

Outros custos como manutenção dos demais equipamentos e dispositivos não foram considerados por serem desprezíveis quando comparados aos demais.

Utilizou-se a equação (2) descrita por Gomes (2005) para o cálculo do valor presente (P) dos custos mensais, que foi aplicado aos custos dos investimentos (OPEX + CAPEX) no sistema.

$$P = A \cdot \left[\frac{(1 + i)^n - 1}{i \cdot (1 + i)^n} \right] \quad \text{Equação (2)}$$

Onde,

P: Valor presente (US\$);

A: Custo mensal com a manutenção (US\$);

n: Vida útil do sistema (anos) e

i: Taxa de juros (% aa.).

Para a verificação da viabilidade econômica e do tempo de amortização do investimento de implantação do SAAP, foram realizadas simulações com áreas de captação variando entre 50 e 200 m², estimando-se o custo do metro quadrado com base nos preços dos materiais necessários e no percentual equivalente do valor da mão de obra.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Qualidade da água da chuva obtida de amostras do SAAP

Para a verificação da qualidade da água de chuva coletada e a eficácia do tratamento aplicado, analisaram-se os parâmetros físico-químicos e biológicos nos quatro pontos de coleta do SAAP: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS). Os resultados obtidos são discutidos de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 05 do Ministério da Saúde de 03 de outubro de 2017, que trata do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e padrão de potabilidade e com a Norma Brasileira (NBR) 15527 da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), de 15 de abril de 2019, que trata do aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis - requisitos.

3.1.1 Parâmetros físico-químicos de amostras coletadas no SAAP

Durante o estudo, foram realizadas 12 (doze) coletas de amostras da água de chuva para análise dos parâmetros físico-químicos entre 14 de fevereiro de 2019 e 19 de janeiro de 2020. Foram analisados os parâmetros pH, cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, alcalinidade, dureza total e cloreto para os quatro pontos de coleta (PD, FF, RI e RS). Para as análises dos parâmetros físico-químicos foram considerados os resultados das amostras em relação ao período total do estudo, período úmido e período seco.

3.1.1.1 Potencial de hidrogeniônico (pH)

Os resultados de pH para o reservatório superior (RS), responsável pela reservação da água que é efetivamente utilizada, ficaram dentro dos parâmetros estabelecidos pela Portaria nº 5/2017 e pela NBR 15527/2019 em 100% das amostras analisadas. No reservatório inferior (RI), responsável por receber a água bruta após o descarte realizado pelo *first flush*, os valores de pH variaram de 5,33 a 7,34, ficando abaixo dos parâmetros em 33,3% das amostras. A água descartada pelo *first flush* apresentou pH entre 5,0 e 7,7 com resultados abaixo dos parâmetros em 41,7% das amostras. Foram coletas também, amostras de precipitação direta (PD) com o objetivo de avaliar os valores de pH da água da chuva sem o contato com a superfície do telhado. Os resultados da PD ficaram dentro dos parâmetros estabelecidos em 100% das amostras, variando entre 7,2 e 8,0. A água de chuva coletada diretamente da

atmosfera deveria assemelhar-se a água destilada, sendo livre de impurezas, como íons dissolvidos, e o seu pH tenderia à neutralidade. No entanto, tal fato não ocorre em centros urbanos, devido à poluição e emissão de gases presentes na atmosfera (SOUZA et al., 2016).

Estudos realizados por outros autores encontraram valores entre 5,13 e 7,48 para o pH das águas pluviais coletadas nos reservatórios (JAQUES, 2005; VACCARI, 2005; ANNECCHINI, 2005; PETERS, 2006; HAGEMANN, 2009; SILVA, 2018).

O presente estudo comparou o comportamento do pH entre os períodos úmido e seco. De maneira geral, os valores de pH foram menores no período seco, com destaque para o RI, que apresentou 25% das amostras abaixo dos parâmetros contra 8,3% no período úmido.

A estatística descritiva da análise de pH, considerando-se todo o período do estudo, período úmido e período seco é apresentada na Tabela 15.

Tabela 15 - Estatística descritiva do parâmetro pH para todo o período do estudo, período úmido e período seco dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).

Período	Portaria 5/2017	NBR 15527/2019	Amostra	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Todo o período	6,0 – 9,5	6,0 – 9,0	PD	7,49	7,37	0,34	7,16	8,01
			FF	6,21	6,39	0,80	5,02	7,65
			RI	6,07	6,01	0,52	5,33	7,34
			RS	6,95	6,91	0,51	6,15	7,68
Período úmido	6,0 – 9,5	6,0 – 9,0	PD	7,69	7,76	0,34	7,23	8,01
			FF	6,22	6,24	1,11	5,02	7,65
			RI	6,23	6,09	0,69	5,61	7,34
			RS	7,01	6,94	0,57	6,37	7,68
Período seco	6,0 – 9,5	6,0 – 9,0	PD	7,28	7,25	0,12	7,16	7,46
			FF	6,21	6,39	0,50	5,40	6,69
			RI	5,92	5,94	0,38	5,33	6,37
			RS	6,90	6,91	0,52	6,15	7,43
Médias	Total			6,68	6,67	0,54	5,92	7,56
	Úmido			6,79	6,76	0,68	6,06	7,67
	Seco			6,58	6,62	0,38	6,01	6,99

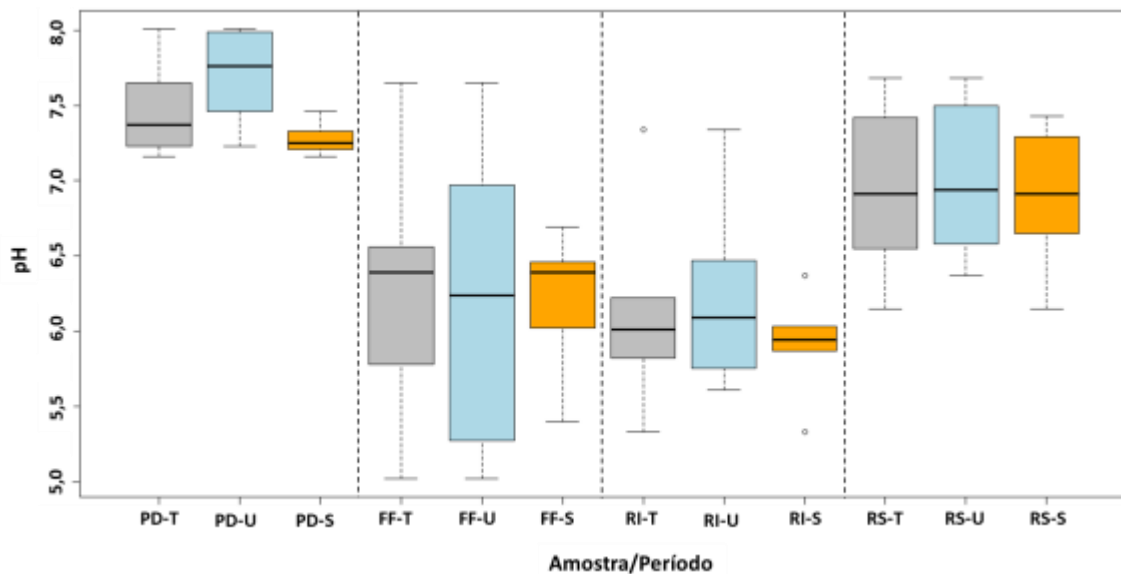
Legenda: Todo o período: fev/2019 a jan/2020; Período úmido: fev a abr/2019 e nov/2019 a jan/2020; Período seco: maio a out/2019; pH: adimensional.

Fonte: O autor, 2020.

A Figura 44 apresenta graficamente o pH nos quatro pontos de coleta. Observou-se uma melhora significativa do pH no RS em relação ao RI, após a passagem da água pela coluna de adsorção e desinfecção por hipoclorito de cálcio. Na comparação entre a água da chuva coletada na PD e os outros pontos de coleta, observou-se claramente a influência dos poluentes depositados e carregados do telhado durante a chuva no pH da água captada em

todos os períodos. Observou-se ainda, o pH mais elevado no período úmido em todos os pontos de coleta, sugerindo uma concentração maior de poluentes na atmosfera e depositados no telhado durante o período seco.

Figura 44 - Gráfico de pH para todo o período do estudo (T), período úmido (U) e período seco (S) dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).



Fonte: O autor, 2020.

3.1.1.2 Cor aparente

De forma geral, as amostras analisadas ficaram acima dos parâmetros estabelecidos para cor aparente, tal fato pode ser inferido as telhas cerâmicas antigas do telhado e a uma árvore de aroeira que deposita folhas no telhado e nas calhas, apesar da limpeza e podas mensais. Costa et al. (2020) verificaram valores médios de 33,89 μH nas amostras de água da chuva coletadas em telhados de telhas cerâmicas contra 17,35 μH em telhados com telhas de fibrocimento. Segundo Nakada (2012) o parâmetro cor aparente é responsável pela coloração da água, sendo sólidos dissolvidos seus constituintes responsáveis pela coloração aparente da água. De origem natural, a cor pode ser proveniente da decomposição de matéria orgânica, principalmente vegetais, como ácidos húmicos e fúlvicos. Quando de origem natural, a cor não representa risco direto à saúde, porém, consumidores podem questionar a qualidade da água devido cores acentuadas e aparentes e buscar outras fontes, que podem oferecer mais riscos à saúde.

As amostras coletadas no RS apresentaram valores entre 5 e 36 μH , acima do limite estabelecido em 58,3% dos casos. No RI os valores variaram entre 1 e 62 μH com 75% das amostras acima do limite. O FF apresentou os piores resultados com valores entre 11 e 211 μH e apenas 16,7% das amostras atenderam aos requisitos. Os melhores resultados foram observados no PD, com valores entre 10 e 24 μH e 58,3% das amostras dentro do limite estabelecido.

Estudos realizados por outros autores encontraram valores entre 5 e 35 μH para cor aparente das águas pluviais coletadas nos reservatórios (JAQUES, 2005; ANNECCHINI, 2005; PETERS, 2006; HAGEMANN, 2009; SILVA, 2018).

De maneira geral, os valores do parâmetro cor aparente foram menores no período úmido. A maior diferença foi encontrada na média no RS, que apresentou o valor médio de 12,50 μH no período úmido e 23,17 μH no seco. Observou-se ainda, valores significativamente menores na concentração de cor aparente no período úmido no RS e FF. No RI e na PD ocorreu pouca variação, sendo observados os menores valores para cor aparente no período seco.

A estatística descritiva para o parâmetro cor aparente é apresentada na Tabela 16.

Tabela 16- Estatística descritiva do parâmetro cor aparente para todo o período do estudo, período úmido e período seco dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).

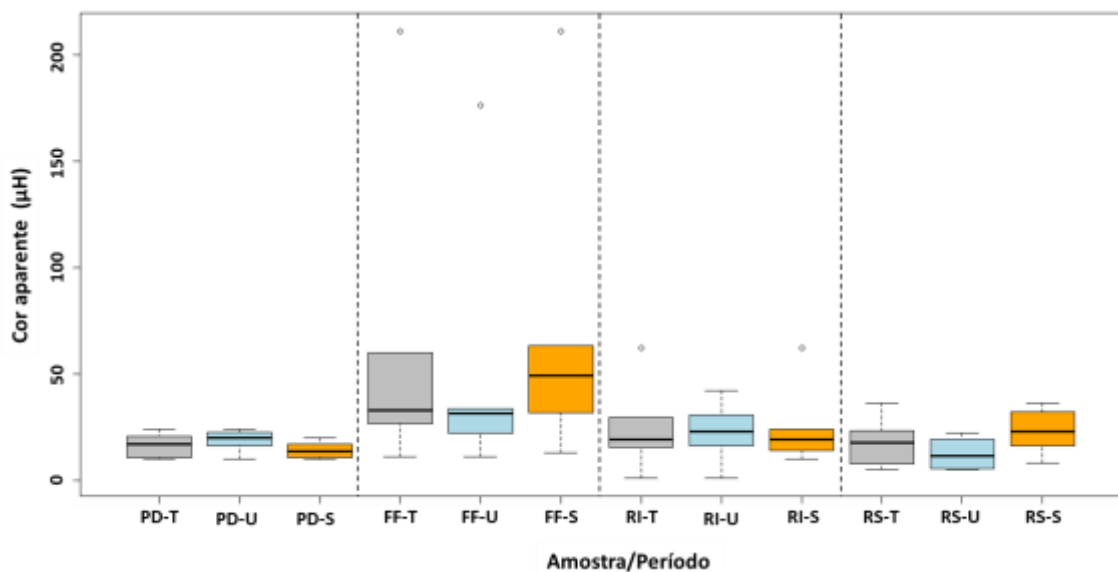
Período	Portaria 5/2017	NBR 15527/2019	Amostra	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Todo o período	15 μH	ND	PD	16,38	17,00	5,55	10,00	24,00
			FF	59,92	33,00	64,83	11,00	211,00
			RI	23,67	19,00	16,12	1,00	62,00
			RS	17,83	17,50	10,68	5,00	36,00
Período úmido	15 μH	ND	PD	18,50	20,00	5,63	10,00	24,00
			FF	50,50	31,50	68,34	11,00	176,00
			RI	22,67	23,00	15,38	1,00	42,00
			RS	12,50	11,50	7,72	5,00	22,00
Período seco	15 μH	ND	PD	14,25	13,50	4,23	10,00	20,00
			FF	69,33	49,00	79,08	13,00	211,00
			RI	24,67	19,00	20,91	10,00	62,00
			RS	23,17	23,00	11,50	8,00	36,00
Médias	Todo o período			29,45	21,63	24,30	6,75	83,25
	Período úmido			26,04	21,50	24,27	6,75	66,00
	Período seco			32,86	26,13	28,93	10,25	103,00

Legenda: ND: não definido; Todo o período: fev/2019 a jan/2020; Período úmido: fev a abr/2019 e nov/2019 a jan/2020; Período seco: maio a out/2019.

Fonte: O autor, 2020.

A análise da Figura 45 mostrou que na PD ocorreu pouca variação na cor aparente em função dos períodos avaliados. Houve melhora significativa nas amostras do RI em relação ao FF, principalmente no período seco, onde ocorre maior concentração de poluentes. As amostras do RS também se mostraram melhores em relação ao RI, demonstrando uma significativa contribuição da coluna de adsorção na remoção da cor aparente.

Figura 45 - Gráfico de cor aparente para todo o período do estudo (T), período úmido (U) e período seco (S) dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).



Fonte: O autor, 2020.

3.1.1.3 Turbidez

A turbidez obteve resultados dentro dos parâmetros estabelecidos em 100% das amostras coletadas no RS, RI e na PD com variação entre zero e 2,80 UT. No FF as amostras variaram entre 0,83 e 14,50 UT, com 41,7% das amostras acima do limite máximo permitido.

Estudos realizados por outros autores encontraram valores entre 0,7 e 35 UT para turbidez nas águas pluviais coletadas nos reservatórios (JAQUES, 2005; VACCARI, 2005; ANNECCHINI, 2005; PETERS, 2006; HAGEMANN, 2009; SILVA, 2018).

De maneira geral, os menores valores de turbidez foram verificados no período seco com exceção do RS que apresentou valores ligeiramente menores no período úmido. No RS, RI e na PD as variações foram pequenas e ficaram dentro dos limites estabelecidos. A maior

variação ocorreu no FF durante o período úmido, apresentando valores acima do permitido em 66,7% das amostras.

Observou-se valores muito elevados no desvio padrão entre as amostras do FF, tanto no período úmido quanto no seco, quando analisados os desvios apurados nos demais pontos de coleta, indicando variabilidade na qualidade da água descartada e corroborando a importância do dispositivo do *first flush* nos sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

A Tabela 17 apresenta a estatística descritiva para o parâmetro turbidez.

Tabela 17- Estatística descritiva do parâmetro turbidez para todo o período do estudo, período úmido e período seco dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).

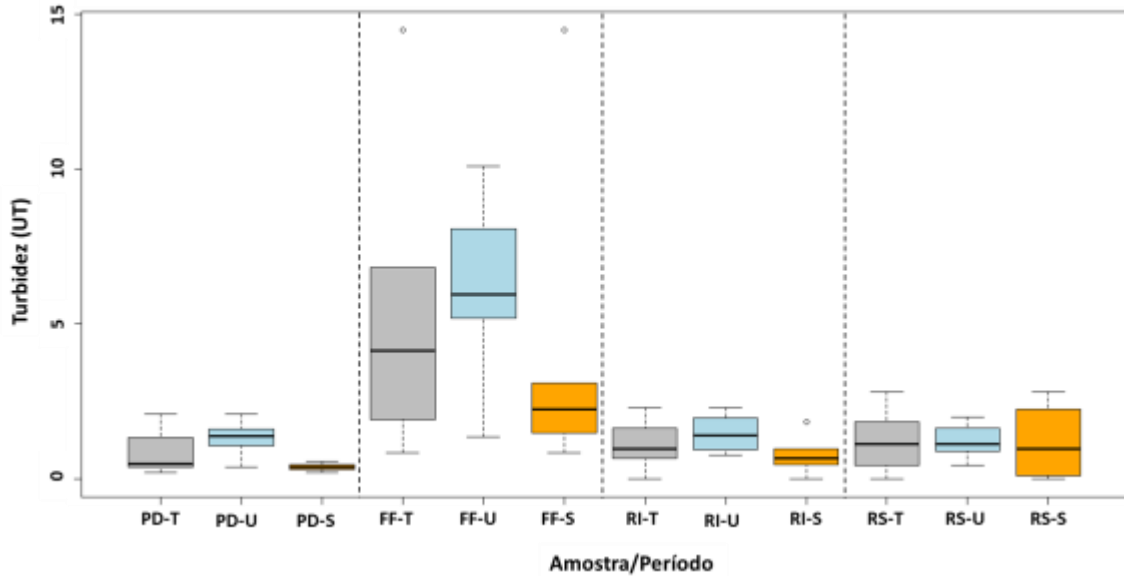
Período	Portaria 5/2017	NBR 15527/2019	Amostra	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Todo o período	5 UT	5 UT	PD	0,84	0,49	0,68	0,20	2,10
			FF	5,12	4,15	4,20	0,83	14,50
			RI	1,12	0,96	0,71	0,00	2,30
			RS	1,21	1,12	0,94	0,00	2,80
Período úmido	5 UT	5 UT	PD	1,30	1,60	0,64	0,38	2,10
			FF	6,18	8,08	3,29	1,36	10,10
			RI	1,47	1,97	0,66	0,76	2,30
			RS	1,21	1,63	0,62	0,43	2,00
Período seco	5 UT	5 UT	PD	0,38	0,38	0,14	0,20	0,56
			FF	4,07	2,25	5,69	0,83	14,50
			RI	0,77	0,67	0,68	0,00	1,83
			RS	1,20	0,96	1,26	0,00	2,80
Médias	Todo o período			2,07	1,68	1,63	0,26	5,43
	Período úmido			2,54	3,32	1,30	0,73	4,13
	Período seco			1,61	1,07	1,94	0,26	4,92

Legenda: Todo o período: fev/2019 a jan/2020; Período úmido: fev a abr/2019 e nov/2019 a jan/2020; Período seco: maio a out/2019.

Fonte: O autor, 2020.

A análise da Figura 46 mostra uma grande eficácia na remoção da turbidez pelo *first flush*, principalmente no período úmido, reduzindo consideravelmente os valores verificados no RI. As amostras do RS apresentaram-se ligeiramente mais altas que as verificadas no RI, com exceção do período úmido, tal fato pode ser inferido a resíduos de carvão ativado presentes na coluna de adsorção.

Figura 46 - Gráfico de turbidez para todo o período do estudo (T), período úmido (U) e período seco (S) dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).



Fonte: O autor, 2020.

3.1.1.4 Condutividade elétrica

A condutividade encontrada nas amostras do RS foram em média 44,7% maiores que as do RI, fato possivelmente explicado pela presença do íon cloreto nas mídias de vidro sinterizado, utilizadas na fabricação da coluna de adsorção. As mídias são produzidas com vidro moído e recebe a adição de cloreto de sódio, responsável pela formação dos poros. A condutividade elétrica é uma medida da capacidade de uma solução aquosa de transportar uma corrente elétrica. Essa habilidade depende da presença de íons; em sua concentração total, mobilidade e valência; e na temperatura de medição. As soluções da maioria dos compostos inorgânicos são condutores relativamente bons (APHA, 2017). Outro indicativo da influência de resíduos de cloreto de sódio presente nas mídias utilizadas na coluna de adsorção está no aumento médio de 16,6% na concentração de cloreto no RS em relação ao encontrado no RI. O estudo analisou 48 amostras nos quatro pontos de coleta, sendo o maior valor apurado de 193,10 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e o menor 19,75 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ambos no RI. Estudos realizados por outros autores encontraram valores entre 55,16 e 115 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para condutividade elétrica nas águas pluviais (VACCARI, 2005; ANNECCHINI, 2005; HAGEMANN, 2009).

Na análise entre as amostras dos períodos úmido e seco observou-se um valor médio da condutividade elétrica da PD, no período seco, 18,03% maior que no período úmido, sugerindo a contribuição dos poluentes atmosféricos nos resultados. No RS houve pouca variação entre os dois períodos, justificando a hipótese da influência de resíduos de cloreto de sódio no material utilizado na coluna de adsorção.

A Tabela 18 apresenta a estatística descritiva para o parâmetro condutividade elétrica.

Tabela 18- Estatística descritiva do parâmetro condutividade elétrica ($\mu\text{s}/\text{cm}$) para todo o período do estudo, período úmido e período seco dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).

Período	Portaria 5/2017	NBR 15527/2019	Amostra	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Todo o período	ND	ND	PD	74,09	79,35	18,91	43,70	93,60
			FF	66,26	56,05	38,42	25,30	160,60
			RI	55,16	44,15	46,26	19,75	193,10
			RS	99,77	105,40	36,57	40,10	151,40
Período úmido	ND	ND	PD	66,75	77,63	19,60	43,70	93,60
			FF	49,63	59,23	14,62	25,30	62,70
			RI	65,51	66,30	71,34	19,75	193,10
			RS	96,27	131,38	47,34	40,10	151,40
Período seco	ND	ND	PD	81,43	87,30	13,50	58,80	92,30
			FF	82,88	64,55	50,71	37,20	160,60
			RI	44,82	44,15	13,15	27,30	60,10
			RS	103,27	105,40	31,18	54,60	141,70
Médias	Todo o período			73,82	71,24	35,04	32,21	149,68
	Período úmido			69,54	83,64	38,23	32,21	125,20
	Período seco			78,10	75,35	27,14	44,48	113,68

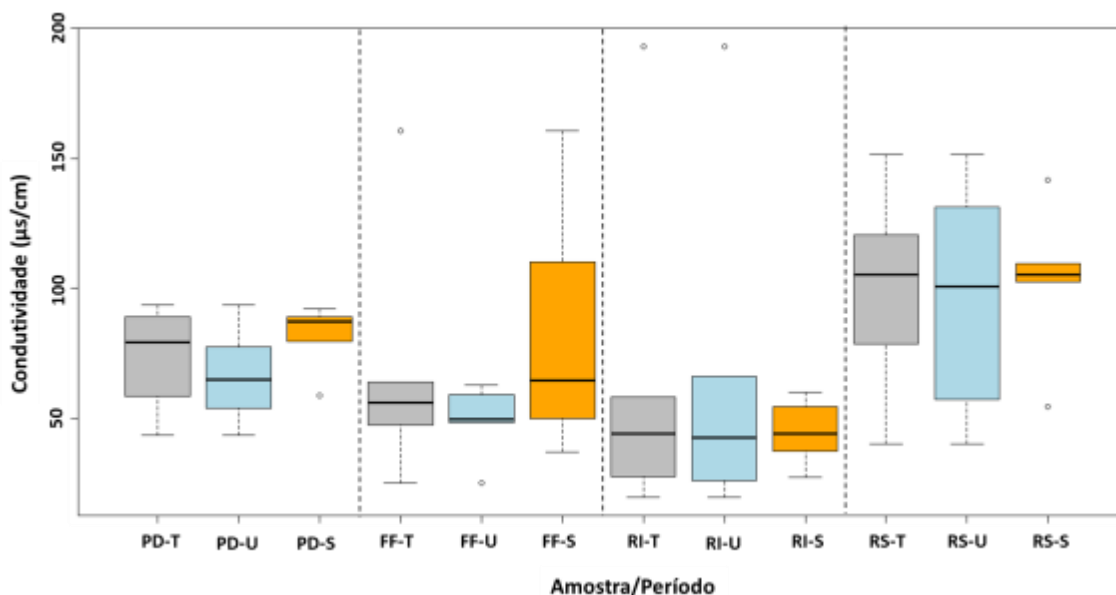
Legenda: Todo o período: fev/2019 a jan/2020; Período úmido: fev a abr/2019 e nov/2019 a jan/2020; Período seco: maio a out/2019; ND: não definido.

Fonte: O autor, 2020.

A análise da Figura 47 mostrou valores mais elevados da condutividade elétrica na PD em relação aos verificados no FF e RI, caracterizando a diminuição da condutividade da água pelo contato com o telhado e calhas. Os valores no RS foram mais altos pelos motivos já descritos anteriormente.

De maneira geral, os valores da condutividade foram maiores durante o período seco na PD e FF, menores no RI e tiveram maior variação (amplitude) no RS durante o período úmido.

Figura 47 - Gráfico de condutividade elétrica para todo o período do estudo (T), período úmido (U) e período seco (S) dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).



Fonte: O autor, 2020.

3.1.1.5 Alcalinidade

O estudo verificou valores baixos de alcalinidade em todas as amostras analisadas, variando entre 0,06 e 1,84 mg/L. Estudos realizados por outros autores encontraram valores mais elevados, variando entre 15,6 e 40,3 mg/L para alcalinidade das águas pluviais coletadas nos reservatórios (VACCARI, 2005; ANNECCHINI, 2005; PETERS, 2006; HAGEMANN, 2009). A alcalinidade em águas superficiais raramente excedem os 500 mg/L (BITTENCOURT; HINDI, 2000).

Notou-se que a média de alcalinidade no RS foi 56,52% maior que no RI. Tal fato pode ser atribuído à adição de hipoclorito de cálcio durante a desinfecção da água. Mendonça et al. (2008) afirmam que o hipoclorito de cálcio a 65% usado como desinfetante no processo de tratamento da água, possui, além do hipoclorito de cálcio, 35% de carbonato de cálcio, cloreto de cálcio, hidróxido de cálcio, cloreto de cálcio e cloreto de sódio, contribuindo para o aumento do cálcio na água. A presença de componentes como Mg e Ca adiciona maior alcalinidade à água da chuva e podem formar crostas internas nas canalizações de distribuição (ASIA et al., 2003).

Observou-se valores menores de alcalinidade no FF e no RI em relação à água de chuva captada diretamente na PD, possivelmente ocasionado pela neutralização de elementos

ácidos carregados do telhado. No RS a alcalinidade volta a aumentar e ter valores semelhantes aos encontrados na PD, devido aos motivos citados anteriormente.

A alcalinidade média no RS foi a mesma para os períodos úmido e seco, corroborando com a tese de que o cálcio contido no hipoclorito de cálcio, utilizado para a desinfecção da água, influencia e tende a homogeneizar este parâmetro. A maior diferença média foi observada no FF, onde a alcalinidade média no período seco foi 157,5% superior à verificada no período úmido, possivelmente ocasionado pela maior concentração de poeira depositada no telhado durante o período seco. Ali et al. (2004) afirmam existir fontes possíveis de cálcio na atmosfera, como os aerossóis marinhos, ressuspensão de partículas de solo e a poeira de estrada na baixa troposfera devido à convecção diurna.

A Tabela 19 apresenta a estatística descritiva para o parâmetro alcalinidade.

Tabela 19- Estatística descritiva do parâmetro alcalinidade (mg/L) para todo o período do estudo, período úmido e período seco dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).

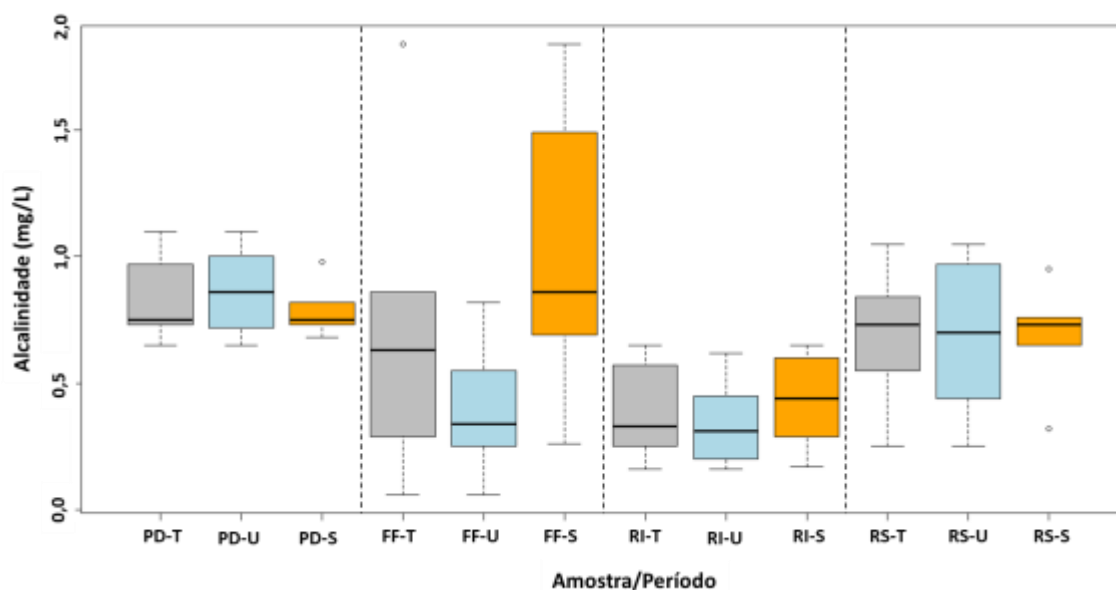
Período	Portaria 5/2017	NBR 15527/2019	Amostra	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Todo o período	ND	ND	PD	0,83	0,75	0,17	0,65	1,10
			FF	0,71	0,63	0,56	0,06	1,84
			RI	0,39	0,33	0,19	0,16	0,65
			RS	0,69	0,73	0,26	0,25	1,05
Período úmido	ND	ND	PD	0,87	1,00	0,19	0,65	1,10
			FF	0,40	0,55	0,29	0,06	0,82
			RI	0,34	0,45	0,19	0,16	0,62
			RS	0,69	0,97	0,34	0,25	1,05
Período seco	ND	ND	PD	0,79	0,75	0,12	0,68	0,98
			FF	1,03	0,86	0,63	0,26	1,84
			RI	0,43	0,44	0,20	0,17	0,65
			RS	0,69	0,73	0,23	0,32	0,95
Médias	Todo o período			0,66	0,61	0,30	0,28	1,18
	Período úmido			0,58	0,74	0,25	0,28	0,90
	Período seco			0,74	0,70	0,30	0,36	1,11

Legenda: Todo o período: fev/2019 a jan/2020; Período úmido: fev a abr/2019 e nov/2019 a jan/2020; Período seco: maio a out/2019; ND: não definido.

Fonte: O autor, 2020.

A Figura 48 apresenta graficamente a alcalinidade, destacando-se os valores elevados da alcalinidade no FF no período seco. O FF é responsável pelo descarte da precipitação inicial que carrega os poluentes depositados no telhado, sugerindo um acúmulo maior de poeira e outras partículas durante o período seco, resultado do maior intervalo entre as chuvas e menor volume precipitado, aumentando a concentração.

Figura 48 - Gráfico de alcalinidade para todo o período do estudo (T), período úmido (U) e período seco (S) dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).



Fonte: O autor, 2020.

3.1.1.6 Dureza total

De maneira geral, os valores encontrados na água da chuva para o parâmetro dureza total foram extremamente baixos, quando comparados com o limite estabelecido pela portaria 5/2017 (500 mg/L), variando entre 0,50 e 2,50 mg/L. Estudos realizados por outros autores encontraram valores bem mais altos para o parâmetro dureza total, variando entre 11,8 e 52,1 mg/L nas águas pluviais coletadas nos reservatórios (JAQUES, 2005; VACCARI, 2005; ANNECCHINI, 2005; PETERS, 2006; HAGEMANN, 2009).

A dureza total é definida como a soma das concentrações de cálcio e magnésio, ambas expressas em carbonato de cálcio, em miligramas por litro (APHA, 2017). Altas concentrações de dureza total causam excessivo consumo de sabão nas lavagens domésticas, podendo acarretar aumento na incidência de cálculo renal em cidades abastecidas com águas duras (GOMES et al., 2015). Assim como ocorreu com a alcalinidade, o maior valor médio de dureza ocorreu no RS devido ao cálcio contido no hipoclorito de cálcio utilizado na desinfecção da água.

Na comparação entre os períodos úmido e seco, foram verificados resultados idênticos na média, máximo e mínimo na PD nos dois períodos, reforçando o comportamento homogêneo deste parâmetro durante todo o ano. Na água descartada no FF, observou-se um

pico no período seco correspondente ao dobro do valor máximo no período úmido, provavelmente devido ao maior acúmulo de particulados no telhado, resultado de maiores períodos de estiagem.

A Tabela 20 apresenta a estatística descritiva para o parâmetro dureza total.

Tabela 20- Estatística descritiva do parâmetro dureza total para todo o período do estudo, período úmido e período seco dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).

Período	Portaria 5/2017	NBR 15527/2019	Amostra	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Todo o período	500 mg/L	ND	PD	1,20	1,20	0,15	1,00	1,40
			FF	0,85	0,70	0,38	0,60	1,80
			RI	0,93	0,85	0,53	0,50	2,50
			RS	1,57	1,55	0,59	0,60	2,50
Período úmido	500 mg/L	ND	PD	1,20	1,25	0,15	1,00	1,40
			FF	0,67	0,68	0,13	0,60	0,90
			RI	1,12	1,13	0,78	0,60	2,50
			RS	1,72	2,35	0,80	0,60	2,50
Período seco	500 mg/L	ND	PD	1,20	1,20	0,15	1,00	1,40
			FF	1,03	0,85	0,50	0,60	1,80
			RI	0,75	0,75	0,16	0,50	0,90
			RS	1,42	1,45	0,33	0,90	1,80
Médias	Todo o período			1,14	1,08	0,41	0,68	2,05
	Período úmido			1,18	1,35	0,47	0,70	1,83
	Período seco			1,10	1,06	0,29	0,75	1,48

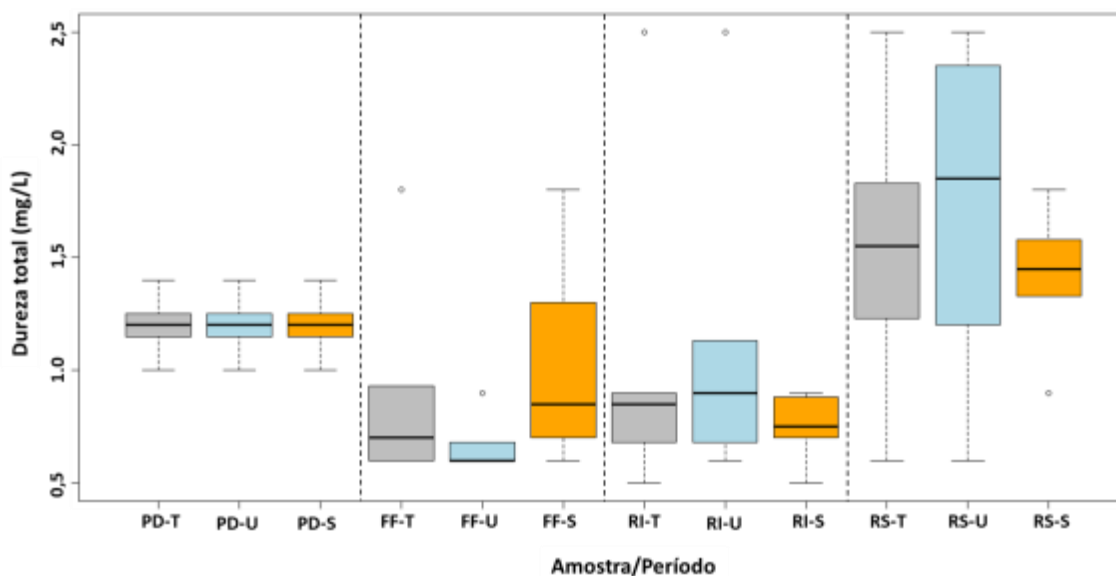
Legenda: Todo o período: fev/2019 a jan/2020; Período úmido: fev a abr/2019 e nov/2019 a jan/2020; Período seco: maio a out/2019; ND: não definido.

Fonte: O autor, 2020.

A Figura 49 apresenta graficamente a dureza total nos quatro pontos de coleta, com destaque para o aumento considerável no RS com a utilização do hipoclorito de cálcio para a desinfecção e o comportamento semelhante na PD em todos os períodos, com pequena amplitude entre os limites superior e inferior, demonstrando pouca influência sazonal para este parâmetro.

Observou-se concentrações mais altas no FF durante o período seco, devido a maior concentração de poluentes e menor fluxo de água, demonstrando a importância do descarte do volume inicial de chuva, principalmente neste período.

Figura 49 - Gráfico de dureza total para todo o período do estudo (T), período úmido (U) e período seco (S) dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).



Fonte: O autor, 2020.

3.1.1.7 Cloreto

Todas as análises realizadas ficaram muito abaixo do limite estabelecido pela Portaria 5/2017 (250 mg/L). Em baixas concentrações, o cloreto não representa risco à saúde, mas pode acarretar gosto salgado à água, provocando recusa ou repulsa ao consumo, também pode acelerar o processo de corrosão em tubulações de aço ou alumínio (QUEIROZ et al., 2018). Na PD observaram-se os valores mais baixos, variando entre 0,50 e 1,20 mg/L e desvio padrão de 0,25. A maior média foi observada no RS, possivelmente em função da liberação de íons cloreto durante a desinfecção com hipoclorito de cálcio.

A maioria dos resultados encontrados nas amostras da água da chuva coletadas sem o contato com o telhado (PD) ficaram abaixo de 1 mg/L (87,5%). A água descartada no FF apresentou concentrações superiores de cloreto em 100% das amostras quando comparadas as da PD, em média 58% maiores, comprovando a influência das partículas depositadas no telhado nas concentrações de cloreto e a importância do descarte do volume inicial de chuva.

Também para o parâmetro cloreto, estudos realizados por outros autores encontraram concentrações mais elevadas, variando entre 5,3 e 14,5 mg/L nas águas pluviais coletadas nos reservatórios (JAQUES, 2005; VACCARI, 2005; ANNECCHINI, 2005; PETERS, 2006; HAGEMANN, 2009).

De maneira geral, observaram-se as maiores concentrações de cloreto durante os meses mais chuvosos, provavelmente pela influência de aerossóis marinhos, contendo cloreto de sódio, provocados pela predominância dos ventos provenientes do oceano neste período na região metropolitana do Rio de Janeiro. Martins et al. (2004) afirmam que os ventos na região metropolitana do Rio de Janeiro predominam de sul e sudeste durante o verão e a primavera e de norte no outono e inverno.

A Tabela 21 apresenta a estatística descritiva para o parâmetro cloreto.

Tabela 21- Estatística descritiva do parâmetro cloreto para todo o período do estudo, período úmido e período seco dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).

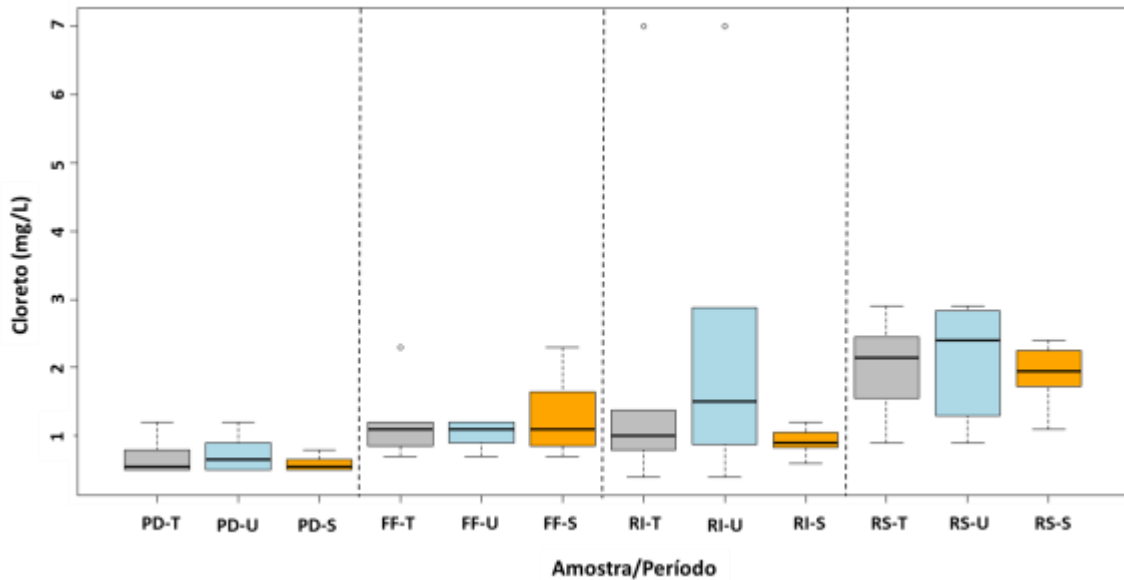
Período	Portaria 5/2017	NBR 15527/2019	Amostra	Média	Mediana	Desvio padrão	Mínimo	Máximo
Todo o período	250 mg/L	ND	PD	0,68	0,55	0,25	0,50	1,20
			FF	1,17	1,10	0,49	0,70	2,30
			RI	1,66	1,00	1,84	0,40	7,00
			RS	1,99	2,15	0,70	0,90	2,90
Período úmido	250 mg/L	ND	PD	0,75	0,90	0,30	0,50	1,20
			FF	1,02	1,20	0,22	0,70	1,20
			RI	2,40	2,88	2,67	0,40	7,00
			RS	2,08	2,83	0,91	0,90	2,90
Período seco	250 mg/L	ND	PD	0,60	0,55	0,13	0,50	0,80
			FF	1,30	1,10	0,66	0,70	2,30
			RI	0,92	0,90	0,23	0,60	1,20
			RS	1,90	1,95	0,51	1,10	2,40
Médias	Todo o período			1,38	1,20	0,82	0,63	3,35
	Período úmido			1,56	1,95	1,03	0,63	3,08
	Período seco			1,18	1,13	0,38	0,73	1,68

Legenda: Todo o período: fev/2019 a jan/2020; Período úmido: fev a abr/2019 e nov/2019 a jan/2020; Período seco: maio a out/2019; ND: não definido.

Fonte: O autor, 2020.

A Figura 50 apresenta graficamente a variação da concentração de cloreto nos pontos de coleta. As maiores concentrações de cloreto ocorreram no período úmido, com exceção do FF que apresentou valores menores. Observou-se redução nas concentrações do RI no período seco em relação aos valores encontrados no FF e um aumento considerável no período úmido, tal fato pode estar relacionado à reações químicas devido a maior ocorrência de aerossóis marinhos ocasionados pela direção predominante dos ventos neste período.

Figura 50 - Gráfico de cloreto para todo o período do estudo (T), período úmido (U) e período seco (S) dos pontos de amostragem: precipitação direta (PD), *first flush* (FF), reservatório inferior (RI) e reservatório superior (RS).



Fonte: O autor, 2020.

3.1.2 Parâmetros biológicos de amostras coletadas no SAAP

Durante o período do estudo foram realizadas quatro análises de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* nos pontos de coleta PD, FF, RI e RS.

Tabela 22 apresenta os resultados das análises biológicas realizadas durante o estudo.

Tabela 22 – Resultado das análises para Coliformes totais, Termotolerantes e *Escherichia coli* dos pontos Precipitação Direta (PD), *First Flush* (FF), Reservatório Inferior (RI) e Reservatório Superior (RS).

AMOSTRA 1 (14/3/2019)								
Parâmetros	Portaria 05/2017	NBR 15527/2019	Unidade	LQ	Resultados			
					PD	FF	RI	RS
Coliformes totais	Ausência/100 mL	ND	NMP	1,8/1600	NA	> 1600	> 1600	< 1,8
Coliformes termotolerantes	ND	ND			NA	> 1600	> 1600	< 1,8
<i>Escherichia coli</i>	Ausência/100 mL	< 200/100 ml			NA	> 1600	> 1600	< 1,8
AMOSTRA 2 (16/5/2019)								
Parâmetros	Portaria 05/2017	NBR 15527/2019	Unidade	LQ	Resultados			
					PD	FF	RI	RS
Coliformes totais	Ausência/100 mL	ND	NMP	1,8/1600	13,0	23,0	23,0	< 1,8
Coliformes termotolerantes	ND	ND			< 1,8	23,0	23,0	< 1,8
<i>Escherichia coli</i>	Ausência/100 mL	< 200/100 ml			< 1,8	23,0	23,0	< 1,8
AMOSTRA 3 (21/8/2019)								
Parâmetros	Portaria 05/2017	NBR 15527/2019	Unidade	LQ	Resultados			
					PD	FF	RI	RS
Coliformes totais	Ausência/100 mL	ND	NMP	1,8/1600	< 1,8	> 1600	> 1600	< 1,8
Coliformes termotolerantes	ND	ND			< 1,8	> 1600	> 1600	< 1,8
<i>Escherichia coli</i>	Ausência/100 mL	< 200/100 ml			< 1,8	> 1600	> 1600	< 1,8
AMOSTRA 4 (19/12/2019)								
Parâmetros	Portaria 05/2017	NBR 15527/2019	Unidade	LQ	Resultados			
					PD	FF	RI	RS
Coliformes totais	Ausência/100 mL	ND	NMP	1,8/1600	< 1,8	240,0	> 1600	< 1,8
Coliformes termotolerantes	ND	ND			< 1,8	79,0	< 1,8	< 1,8
<i>Escherichia coli</i>	Ausência/100 mL	< 200/100 ml			< 1,8	79,0	< 1,8	< 1,8

Legenda: LQ: limite de quantificação; NA: não avaliado; ND: não definido.

Fonte: O autor, 2020.

Na precipitação direta (PD) foi detectada uma quantidade reduzida de coliformes totais (13 NMP) em apenas uma das amostras (Amostra 2), apresentando porém, para coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*, resultados abaixo do limite de quantificação (< 1,8 NMP). Não era esperada a presença de coliformes na PD, tal ocorrência pode ser inferida ao contato de pássaros, insetos e/ou deposição atmosférica de microorganismos no dispositivo de coleta (EVANS, 2006).

As demais amostras referentes à PD apresentaram valores abaixo do limite de quantificação para todos os parâmetros. Apesar do tratamento se demonstrar eficiente na redução dos indicadores adotados em todas as amostras, o limite de quantificação do método adotado não possibilita se concluir quanto à ausência ou não de coliformes nesses casos. O teste de fermentação em tubos múltiplos, utilizado no estudo, não é muito preciso, a menos que muitas partes da amostra sejam examinadas; portanto, deve-se ter cuidado ao interpretar a importância sanitária de qualquer resultado único para coliformes. A precisão melhora muito

quando várias amostras de um determinado ponto de amostragem são analisadas separadamente e sua média geométrica é calculada (APHA, 2017).

No FF foram encontrados coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* em 100% das amostras, com valores variando entre 23 NMP e > 1600 NMP (limite superior de quantificação), depreendendo-se dessa constatação a necessidade de tratamento da água de chuva captada.

Já na água armazenada no RI foi constatada a presença de coliformes totais nas quatro amostras, enquanto que coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* foram verificados nas amostras n. 1 (março), 2 (maio) e 3 (agosto). Pode ser inferido, portanto, que a não ocorrência de coliformes termotolerantes e *Escherichia coli* obtidas de amostras coletadas no RI, apenas na amostra 4 (dezembro) está associada ao descarte do volume inicial de chuva pelo FF.

No RS, as quatro amostras (100%) apresentaram valores abaixo do limite de quantificação, demonstrando a eficiência do tratamento realizado com a adsorção e a desinfecção por hipoclorito de cálcio na redução/eliminação dos patógenos. A associação de um sistema de desinfecção para a melhora da qualidade microbiológica da água captada de um SAAP foi sugerida por Costa et al. (2020), em estudo realizado na região metropolitana de Belém, no qual foram encontrados valores de *E.coli* em desacordo com a legislação nacional em todas as amostras de água de chuva coletadas.

3.1.3 Comparação dos resultados obtidos com outros estudos

A Tabela 23 apresenta a comparação dos resultados médios das análises dos parâmetros físico-químicos e biológicos da água da chuva coletada na presente pesquisa nos reservatórios inferior (RI) e superior (RS) com os valores médios das análises da água dos reservatórios de outros estudos similares de distintos autores (JAQUES, 2005; VACCARI, 2005; ANNECCHINI, 2005; PETERS, 2006; HAGEMANN, 2009; SILVA, 2018). Os referidos trabalhos foram selecionados para essa comparação devido à semelhança no método de captação e armazenamento da água da chuva.

As maiores diferenças encontradas estão relacionadas aos parâmetros turbidez, dureza, alcalinidade e cloreto, que apresentaram resultados significativamente menores nos resultados obtidos pelo presente estudo.

Vale destacar que em todos os trabalhos dos outros autores que realizaram análises biológicas pode ser verificada a presença de Coliformes na água da chuva, sendo que, nos resultados apresentados, a água não passou por processo de desinfecção. Apenas a água

coletada no RS, no presente estudo, foi tratada com hipoclorito de cálcio, apresentando valores de Coliformes totais, termotolerantes e *E. coli* abaixo do limite de quantificação (< 1,8 NMP).

Tabela 23 – Comparação dos resultados físico-químicos e biológicos da água da chuva coletada nos reservatórios inferior (RI) e superior (RS) com outros autores.

Parâmetro	Jaques (2005)	Vaccari (2005)	Annechini (2005)	Peters (2006)	Hagemann (2009)	Silva (2018)	Este trabalho (RI)	Este trabalho (RS)
pH	5,13	6,87	6,52	7,48	7,31	7,20	6,07	6,95
Turbidez (µT)	4,70	12,30	37,00	4,60	35,00	0,70	1,12	1,21
Cor (µH)	5,00	NA	7,10	24,90	31,30	35,00	23,67	17,83
Dureza (mg/L)	11,78	25,10	26,40	41,15	52,1	NA	0,93	1,57
Alcalinidade (mg/L)	NA	18,50	15,60	31,20	40,30	NA	0,39	0,69
Condutividade (µs/cm)	NA	98,20	56,30	NA	115,00	NA	55,16	99,77
Cloreto (mg/L)	13,95	14,50	8,00	5,30	7,40	NA	1,66	1,99
Coliformes totais (NMP/100mL)	2490	38,00	NA	NA	NA	121,2	> 1600	< 1,8
Coliformes termotolerantes (NMP/100mL)	NA	9,10	NA	NA	NA	9,6	> 1600	< 1,8
<i>Escherichia coli</i> (NMP/100mL)	1310	0,33	NA	15,40	55,80	4,7	> 1600	< 1,8

Legenda: pH: adimensional; NA: não avaliado.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

3.1.4 Avaliação da eficácia do tratamento

O estudo também analisou o percentual de variação dos parâmetros de qualidade da água em cada fase do tratamento a partir dos resultados das análises das amostras retiradas nos pontos de coleta e amostragem do SAAP. A variação RS/FF pode ser considerada como a eficiência total do sistema.

Para os parâmetros físico-químicos foram utilizadas as médias dos resultados das doze amostras analisadas.

Nas análises biológicas foram considerados os valores extremos, devido aos resultados serem apresentados em intervalos, variando de < 1,8 NMP a > 1600 NMP, ou seja, seus limites de quantificação mínimo e máximo nas análises de laboratório (Tabela 24).

Tabela 24 – Variação percentual nos parâmetros analisados em cada fase do tratamento.

Parâmetro	Portaria 05/2017	NBR 15527/2019	FF	RI	RS	Varição RI/FF (%)	Varição RS/RI (%)	Varição RS/FF (%)
pH	6,0 – 9,5	6,0 – 9,0	6,21	6,07	6,95	-2,25	14,50	11,92
Cor aparente	15 uH	ND	59,92*	23,67*	17,83*	-60,50	-24,67	-70,24
Turbidez	5 UT	5 UT	5,12*	1,12	1,21	-78,13	8,04	-76,37
Condutividade	ND	ND	66,26	55,16	99,77	-16,75	80,87	50,57
Alcalinidade	ND	ND	0,71	0,39	0,69	-45,07	76,92	-2,82
Dureza total	500 mg/L	ND	0,85	0,93	1,57	9,41	68,82	84,71
Cloreto	250 mg/L	ND	1,17	1,66	1,99	41,88	19,88	70,09
Coliformes totais	Ausência/ 100 mL	ND	> 1600*	> 1600*	< 1,8	0,00	ALQ	ALQ
Coliformes Termotolerantes	ND	ND	> 1600*	> 1600*	< 1,8	0,00	ALQ	ALQ
<i>Escherichia coli</i>	Ausência/ 100 mL	< 200 NMP/ 100 mL	> 1600*	> 1600*	< 1,8	0,00	ALQ	ALQ

(*) valores acima dos limites estabelecidos pela Portaria 5/2017 e/ou NBR 15527/2019.

Legenda: RS: reservatório superior; RI: reservatório inferior; FF: *first flush*; ND: não definido; ALQ: abaixo do limite de quantificação (< 1,8 NMP) pelo método de fermentação em tubos múltiplos.

Fonte: O autor, 2020.

pH – Apresentou um ligeiro decréscimo no RI em relação à água descartada pelo FF, apresentando uma variação positiva (aumento) de 14,5% no RS, após a adsorção e desinfecção, alcançando valor médio próximo à neutralidade. A variação positiva acumulada durante o processo de tratamento foi de 11,9%.

Cor aparente – O descarte da primeira chuva pelo FF proporcionou uma redução de 60,5% na concentração de cor aparente da água armazenada no RI, demonstrando a importância do descarte inicial para a melhoria desse parâmetro. Houve também uma redução de mais 24,7% pela adsorção, gerando uma redução acumulada de 70,2%. Apesar dessa significativa redução, o valor médio do parâmetro ficou ligeiramente acima do limite da Portaria 05/2017 do Ministério da Saúde.

Turbidez – O FF foi responsável por uma redução média de 78,1% na turbidez da água enviada ao RI, mostrando-se suficiente para a adequação do parâmetro ao limite da Portaria 05/2017 e da NBR 15527/2019. Após a adsorção houve pequeno aumento da turbidez média, porém mantendo-se bem abaixo do limite estabelecido. A redução total da turbidez pelo sistema de tratamento alcançou 76,4%.

Condutividade elétrica – O FF foi responsável por uma redução média de 16,8% na condutividade. Porém, apresentou um aumento de 80,9% no RS em relação ao RI, devido aos componentes da coluna de adsorção já citados anteriormente (3.1.1.4). No geral houve um incremento global de 50,6% após todo o tratamento.

Alcalinidade – O FF removeu 45,1% da concentração média de alcalinidade em relação à água enviada ao RI. As amostras no RS apresentaram um aumento de 76,9%, possivelmente devido à desinfecção com hipoclorito de cálcio, como citado anteriormente. A variação global no tratamento representou uma redução de 2,8%.

Dureza total – A água da chuva apresentou valores extremamente baixos de dureza em todos os pontos de coleta. Durante o tratamento houve um pequeno aumento 9,4% na concentração média das amostras do RI em relação às do FF e um aumento significativo de 68,8% da concentração no RS, provavelmente devido ao cálcio contido no hipoclorito de cálcio. A variação total resultou em um incremento de 84,7%, com um valor médio final de 1,57 mg/L, bem distante do limite de 500 mg/L definido pela Portaria 05/2017 do Ministério da Saúde.

Cloreto – Foram verificadas baixas concentrações de cloreto em todas os pontos de amostragem do sistema de aproveitamento de águas pluviais, com valores variando de 1,17 a 1,99 mg/L, distante dos 250 mg/L permitidos. Houve um acréscimo de 41,9% na concentração no RI em relação ao FF e de 19,9% no RS em relação ao RI, resultando em um aumento global de 70,1%.

Coliformes totais, termotolerantes e *E. coli* – Através das análises biológicas foi constatada a contaminação da água da chuva do FF, bem como sua permanência mesmo com o descarte do volume inicial precipitação pelo *first flush*.

Foi possível ainda observar a eficiência do tratamento através da adsorção e da desinfecção por hipoclorito de cálcio na redução significativa dos NMP desses grupos de bactérias. Todas as amostras do RS apresentaram valores abaixo do limite de quantificação (< 1,8 NMP), embora isso não garanta necessariamente que atendem aos limites normativos (ausência/100 mL), devido ao teste de fermentação em tubos múltiplos, utilizado no estudo, não ser muito preciso (APHA, 2017).

3.2 Análise de Componentes Principais (ACP)

A Análise de Componentes Principais (ACP) foi obtida a partir da associação entre os parâmetros de qualidade da água para cada ponto de coleta e o número de dias secos consecutivos (DSC), antecedentes a cada coleta de amostras. A análise foi realizada para todos os parâmetros físico-químicos estudados, em todos os pontos de coleta de amostras, como: Reservatório Superior (RS), Reservatório Inferior (RI), *First Flush* (FF) e Precipitação Direta (PD), e em três períodos: período total do estudo; período úmido e período seco.

3.2.1 Todo o período do estudo

Composta pelos parâmetros físico-químicos analisados e pela quantidade de dias secos consecutivos (DSC) que precederam as coletas das amostras, a matriz de correlação (R), possibilitou a identificação da associação entre as variáveis, as quais podem mostrar a tendência geral dos dados, bem como as variáveis de maior significância para a proposta deste estudo.

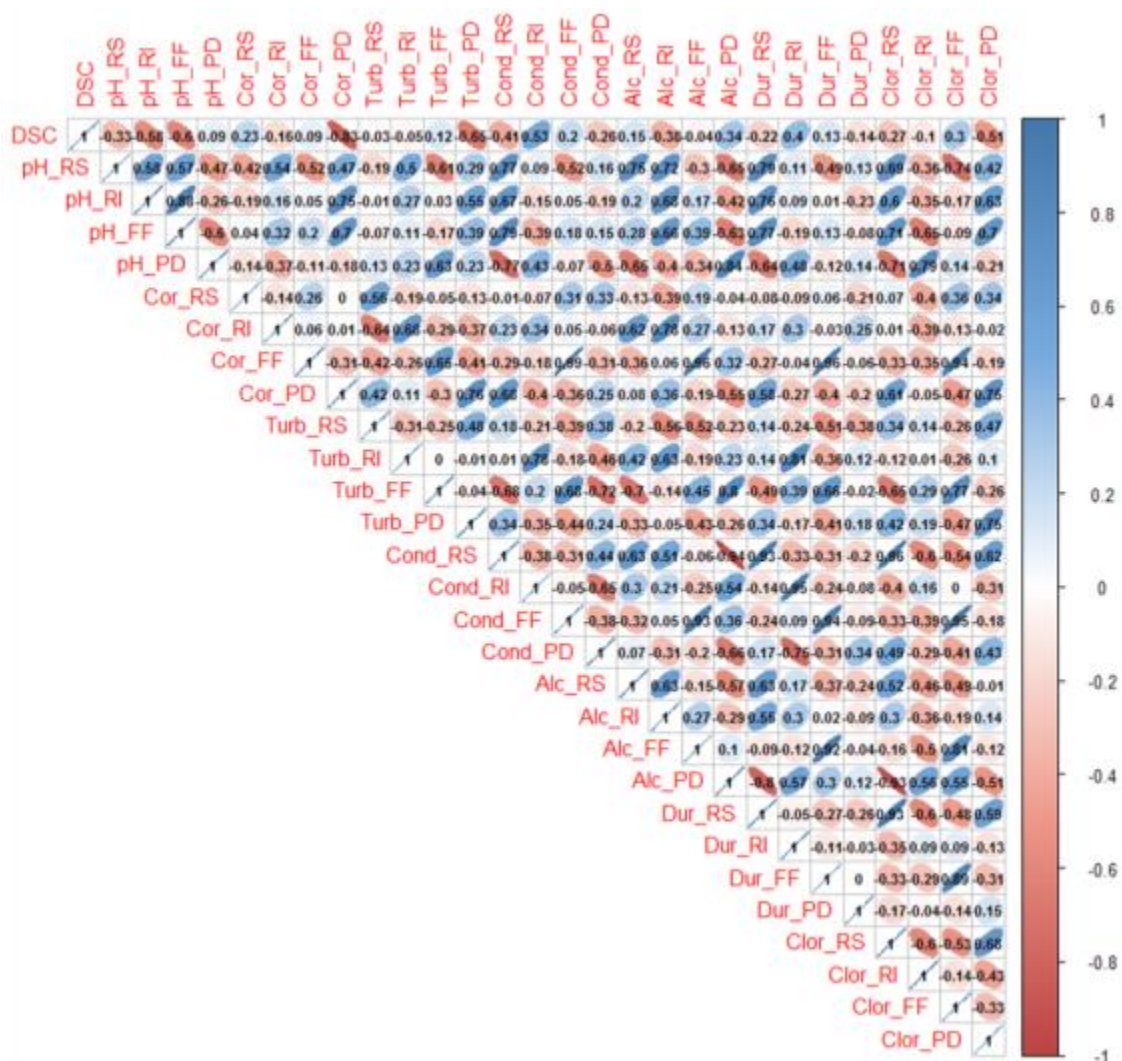
Na correlação entre as 29 variáveis, um total de 112 coeficientes (28,6% do total) foram superiores a 0,5. Segundo Helena et al. (2000) coeficientes de correlação superiores a 0,5 expressam uma forte correlação entre as variáveis de qualidade de água.

Foram constatadas correlações muito fortes e negativas entre as variáveis Cor_PD e DSC ($r = -0,83$), Cond_RS e Alc_PD ($r = -0,94$) e Alc_PD e Clor_RS ($r = -0,93$) (Tabela 10). Constatou-se ainda, correlações muito fortes e positivas entre as variáveis Cor_FF e Cond_FF ($r = 0,99$), Dur_RS e Clor_RS ($r = 0,93$) e Dur_FF e Clor_FF ($r = 0,89$).

Foram também observadas correlações negativas significativas entre DSC e as variáveis: pH_PD; pH_RI; Cor_PD; Turb_PD e Clor_PD, de modo a indicar uma influência deletéria do aumento da quantidade de dias secos consecutivos na qualidade da água da chuva, e ao acúmulo de poluentes no ar e no telhado.

A Figura 51 apresenta as correlações entre as 29 variáveis de qualidade de água para todo o período do estudo.

Figura 51 - Matriz de correlação das variáveis de qualidade de água para todo o período do estudo.



Fonte: O autor, 2020.

Liu et al. (2000) classificam os valores das cargas fatoriais, correspondentes à composição absoluta dos componentes principais (CP), como relevante ($> 0,75$), médio ($> 0,50$ e $< 0,75$) e irrelevante ($< 0,50$). Nesse estudo, como se trata de dados de qualidade de água, os quais apresentam grande variabilidade, consideraram-se na composição de cada CP, variáveis cujas cargas fatoriais sejam superiores a 0,50.

A análise de componentes principais do período total do estudo resultou na redução de 29 para 26 das variáveis originais analisadas (Tabela 25). Três variáveis (Cor_RI, Turb_RS e Dur_PD) não se mostraram significativas na explicação da variância total, podendo ser desconsideradas. Zeng & Rasmussen (2005) afirmam que neste tipo de análise é interessante diminuir o espaço amostral uma vez que, reduzindo o número de variáveis de qualidade da

água, reduz-se também o número de análises laboratoriais, economizando tempo e recursos, sendo que esses recursos poderiam ser alocados em outras fases do monitoramento dos recursos hídricos.

Tabela 25 - Matriz de cargas fatoriais das variáveis originais para todo o período do estudo.

Variável	CP - 1	CP - 2
DSC	-0,76	-0,15
pH_RS	0,90	-0,31
pH_RI	0,81	0,12
pH_FF	0,82	0,37
pH_PD	-0,75	-0,42
Cor_RS	-0,15	0,64
Cor_RI *	0,31	-0,30
Cor_FF	-0,66	0,62
Cor_PD	0,92	0,06
Turb_RS *	0,43	0,09
Turb_RI	0,11	-0,84
Turb_FF	-0,91	0,13
Turb_PD	0,70	-0,06
Cond_RS	0,98	0,14
Cond_RI	-0,50	-0,77
Cond_FF	-0,70	0,57
Cond_PD	0,75	0,34
Alc_RS	0,72	-0,30
Alc_RI	0,57	-0,20
Alc_FF	-0,43	0,68
Alc_PD	-0,96	-0,22
Dur_RS	0,95	0,05
Dur_RI	-0,51	-0,71
Dur_FF	-0,67	0,61
Dur_PD *	-0,12	-0,21
Clor_RS	0,97	0,17
Clor_RI	-0,56	-0,52
Clor_FF	-0,85	0,47
Clor_PD	0,90	0,19
Autovalor	14,81	5,23
% variância explicada	51,07	18,03
% variância acumulada	51,07	69,10

(*) variáveis não significativas na explicação da variância total.

Fonte: O autor, 2020.

Em geral, utilizam-se os componentes que conseguirem sintetizar uma variância acumulada em torno de 70% da variância total dos dados (MARDIA et al., 1979). Com base na análise dos resultados obtidos após a eliminação das variáveis não significativas, selecionaram-se os dois primeiros componentes principais (CP – 1 e CP – 2), responsáveis

por 78,5% da variância total. As variáveis selecionadas e os percentuais da variância explicada por cada CP são apresentados na Tabela 26.

Tabela 26 - Matriz de cargas fatoriais das variáveis selecionadas para todo o período.

Variável	CP - 1	CP - 2
DSC	-0,77	-0,14
pH_RS	0,93	-0,26
pH_RI	0,83	0,13
pH_FF	0,84	0,41
pH_PD	-0,76	-0,50
Cor_RS	-0,20	0,63
Cor_FF	-0,66	0,68
Cor_PD	0,92	0,02
Turb_RI	0,13	-0,80
Turb_FF	-0,91	0,12
Turb_PD	0,73	-0,16
Cond_RS	0,98	0,15
Cond_RI	-0,51	-0,73
Cond_FF	-0,70	0,63
Cond_PD	0,77	0,33
Alc_RS	0,74	-0,22
Alc_RI	0,65	-0,09
Alc_FF	-0,43	0,79
Alc_PD	-0,96	-0,23
Dur_RS	0,96	0,06
Dur_RI	-0,52	-0,68
Dur_FF	-0,67	0,67
Clor_RS	0,98	0,16
Clor_RI	-0,57	-0,62
Clor_FF	-0,85	0,49
Clor_PD	0,91	0,16
Autovalor	14,98	5,43
% variância explicada	57,64	20,89
% variância acumulada	57,64	78,53

Fonte: O autor, 2020.

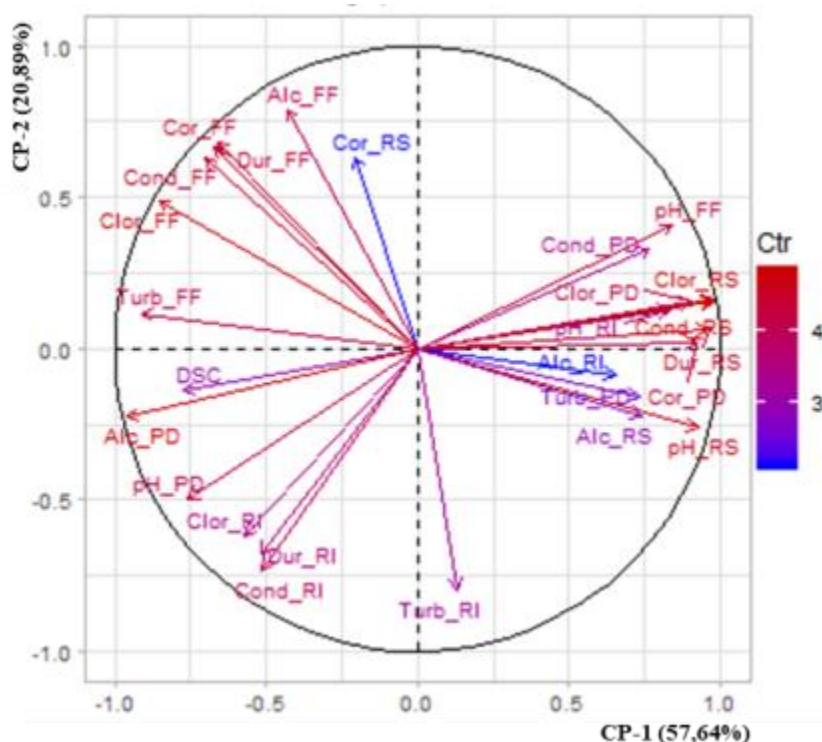
O CP - 1 (Primeiro componente principal) apresentou coeficientes relevantes e positivos ($> 0,75$) para pH_RS, pH_RI, pH_FF, Cor_PD, Cond_RS, Cond_PD, Alc_PD, Dur_RS, Clor_RS e Clor_PD e coeficientes relevantes e negativos ($< - 0,75$) para DSC, pH_PD, Turb_FF e Clor_FF. Basicamente, este fato representa uma forte correlação (positiva ou negativa) entre todas estas variáveis, por exemplo, quanto mais dias secos consecutivos (DSC) menores são os valores de pH_RS, pH_RI, pH_FF, Cor_PD, Cond_RS, Cond_PD, Alc_PD, Dur_RS, Clor_RS e Clor_PD e, maiores os valores de pH_PD, Turb_FF e Clor_FF.

O CP - 2 (Segundo componente principal) apresentou coeficientes significativos (relevantes ou médios) e positivos para: Cor_RS, Cor_FF, Cond_FF e Dur_FF; e negativos para: Turb_RI, Cond_RI, Dur_RI e Clor_RI. Os coeficientes significativos ($> 0,50$ em módulo) demonstram a existência de correlação (positiva ou negativa) entre as variáveis.

A Figura 52 mostra os vetores dos componentes principais das variáveis de qualidade da água. Os vetores das variáveis altamente correlacionadas tendem a ficar próximos e na mesma direção. Vetores localizados no mesmo quadrante possuem correlação positiva, em quadrantes opostos possuem correlação negativa.

Na ACP uma variável é crescentemente melhor representada por um componente à medida que o cosseno quadrado correspondente se aproxima da unidade. No gráfico isso é representado como a variável que mais se aproxima da borda do círculo (VIALLE et al., 2011).

Figura 52 - Análise de componentes principais dos parâmetros físico-químicos para todo o período do estudo.



Fonte: O autor, 2020.

Na Figura 52, observa-se claramente a elevada correlação positiva entre as variáveis localizadas à direita no gráfico e sua forte correlação negativa com a variável DSC, além de outras variáveis localizadas à esquerda.

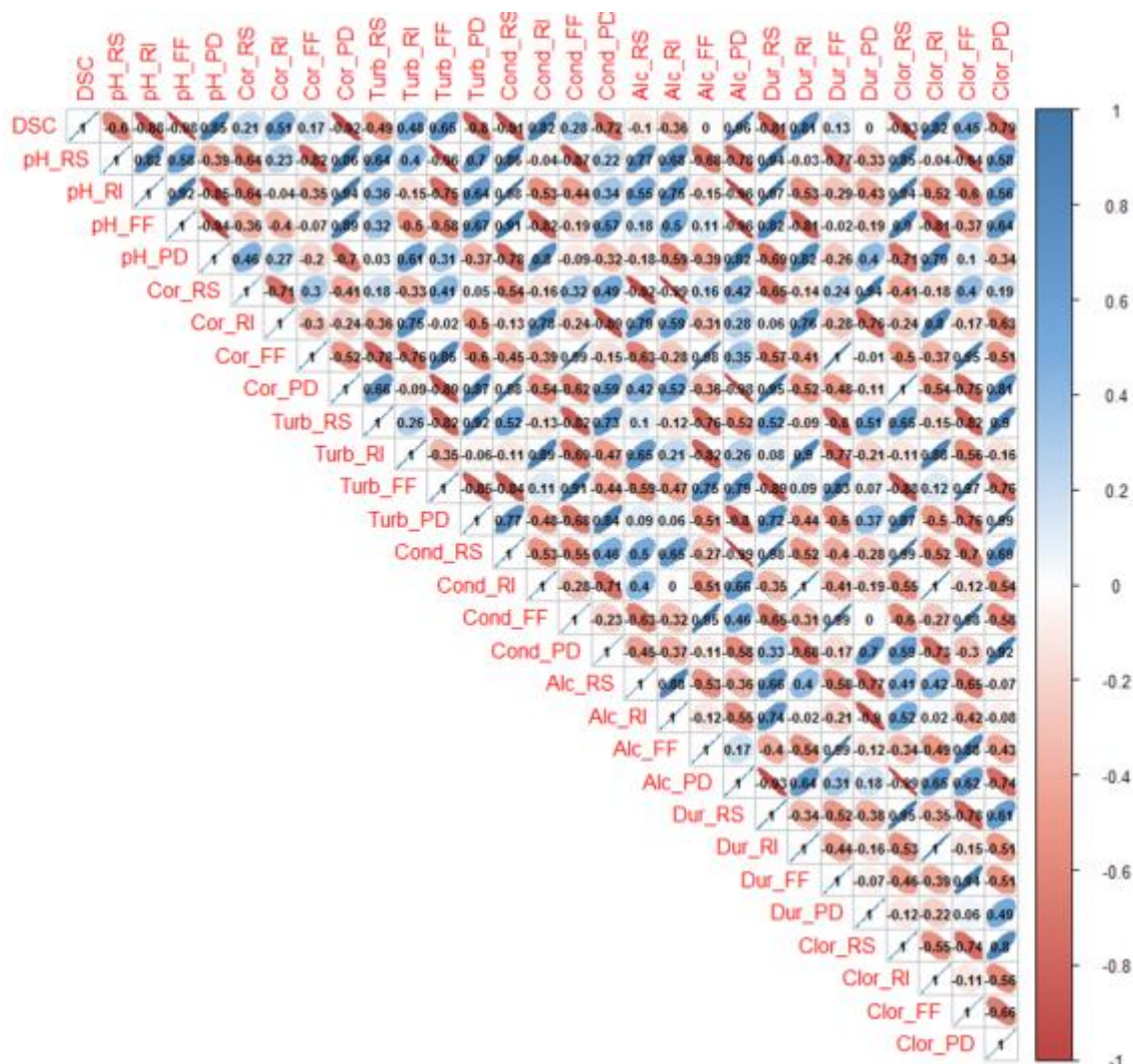
3.2.2 Período úmido

Durante o período úmido, observaram-se diversas correlações (Figura 53) muito fortes e negativas entre variáveis como: DSC e pH_RI ($r = -0,88$), DSC e pH_FF ($r = -0,98$), DSC e Cor_PD ($r = -0,92$), DSC e Cond_RS ($r = -0,91$), DSC e Clor_RS ($r = -0,93$) e pH_RS e Turb_FF ($r = -0,96$).

Constatou-se também, correlações muito fortes e positivas entre as variáveis, tais como: pH_RI e pH_FF ($r = 0,92$), Cor_FF e Dur_FF ($r = 1,00$), Turb_RS e Turb_PD ($r = 0,92$) e Dur_FF e Clor_FF ($r = 0,94$).

De forma semelhante aos resultados encontrados na análise da correlação entre as variáveis durante o período total do estudo, observou-se forte influência da quantidade de dias secos consecutivos na qualidade da água da chuva durante o período úmido.

Figura 53 - Matriz de correlação das variáveis de qualidade de água para o período úmido.



A análise de componentes principais para o período úmido resultou na redução de uma das 29 variáveis originais analisadas (Tabela 27). Assim como ocorreu na análise do período total, a variável Dur_PD também não se mostrou significativa, mostrando-se pouco afetada pela variação no regime pluviométrico.

Tabela 27 - Matriz de cargas fatoriais das variáveis originais para o período úmido.

Variável	CP - 1	CP - 2
DSC	-0.92	0.39
pH_RS	0.94	0.33
pH_RI	0.96	-0.07
pH_FF	0.90	-0.39
pH_PD	-0.76	0.48
Cor_RS	-0.58	-0.53
Cor_RI	-0.23	0.91
Cor_FF	-0.72	-0.62
Cor_PD	1.00	-0.08
Turb_RS	0.85	0.09
Turb_RI	0.01	0.98
Turb_FF	-0.96	-0.24
Turb_PD	0.95	-0.15
Cond_RS	0.99	-0.07
Cond_RI	-0.54	0.83
Cond_FF	-0.80	-0.54
Cond_PD	0.70	-0.59
Alc_RS	0.59	0.74
Alc_RI	0.70	0.39
Alc_FF	-0.57	-0.70
Alc_PD	-0.97	0.19
Dur_RS	0.99	0.09
Dur_RI	-0.52	0.84
Dur_FF	-0.69	-0.63
Dur_PD *	-0.18	-0.50
Clor_RS	0.99	-0.10
Clor_RI	-0.54	0.83
Clor_FF	-0.89	-0.42
Clor_PD	0.90	-0.26
Autovalor	17.61	8.05
% variância explicada	60.74	27.77
% variância acumulada	60.74	88.52

(*) variável não significativa na explicação da variância total.

Fonte: O autor, 2020.

Durante o período úmido o CP - 1 apresentou coeficientes relevantes e positivos ($> 0,75$) para pH_RS, pH_RI, pH_FF, Cor_PD, Turb_RS, Turb_PD, Cond_RS, Dur_RS, Clor_RS e Clor_PD e coeficientes relevantes e negativos ($< - 0,75$) para DSC, pH_PD, Turb_FF, Cond_FF, Alc_PD e Clor_FF. Observaram-se quantidades maiores e correlações mais fortes entre as variáveis observadas no período úmido, como por exemplo, as elevadas

correlações negativas entre a variável DSC e as variáveis: pH_RS, pH_RI, pH_FF, Cor_PD, Turb_RS, Turb_PD, Cond_RS, Dur_RS, Clor_RS e Clor_PD. O CP – 1 foi responsável pela explicação de 63,69 % da variância total, justificando as altas correlações entre as variáveis explicadas por este componente.

O CP - 2 explicou 28,15% da variância total, apresentando coeficientes relevantes e positivos ($> 0,75$) para: Cor_RI, Turb_RI, Cond_RI, Dur_RI e Clor_RI; e médios e negativos ($< - 0,50$) para: Cor_FF, Turb_RI, Cond_FF, Cond_PD, Alc_FF e Dur_FF.

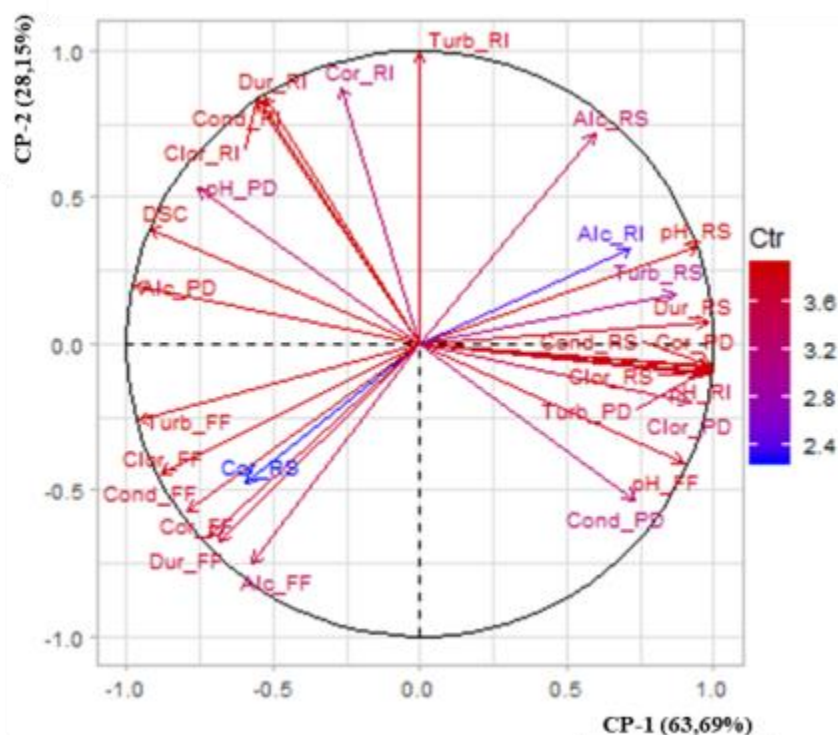
Os componentes principais (CP – 1 e CP – 2) foram responsáveis por pela explicação de 91,84% da variância total. As variáveis selecionadas e os percentuais da variância explicada por cada CP são apresentados na Tabela 28.

Tabela 28 - Matriz de cargas fatoriais das variáveis selecionadas para o período úmido.

Variável	CP - 1	CP - 2
DSC	-0.92	0.39
pH_RS	0.94	0.33
pH_RI	0.97	-0.10
pH_FF	0.90	-0.41
pH_PD	-0.76	0.53
Cor_RS	-0.60	-0.48
Cor_RI	-0.27	0.87
Cor_FF	-0.72	-0.66
Cor_PD	1.00	-0.08
Turb_RS	0.87	0.17
Turb_RI	-0.00	0.99
Turb_FF	-0.96	-0.26
Turb_PD	0.96	-0.10
Cond_RS	0.99	-0.08
Cond_RI	-0.55	0.83
Cond_FF	-0.79	-0.57
Cond_PD	0.73	-0.53
Alc_RS	0.60	0.72
Alc_RI	0.72	0.32
Alc_FF	-0.57	-0.75
Alc_PD	-0.98	0.20
Dur_RS	0.99	0.07
Dur_RI	-0.53	0.84
Dur_FF	-0.68	-0.67
Clor_RS	1.00	-0.09
Clor_RI	-0.55	0.83
Clor_FF	-0.88	-0.44
Clor_PD	0.92	-0.20
Autovalor	17.83	7.88
% variância explicada	63.69	28.15
% variância acumulada	63.69	91.84

A Figura 54 mostra os vetores dos componentes principais das variáveis de qualidade da água para o período úmido, com destaque para importância do componente da variável DSC (próximo à borda) na explicação da variação total dos dados, além de sua alta correlação negativa com as variáveis representadas no quadrante oposto.

Figura 54 - Análise de componentes principais dos parâmetros físico-químicos para o período úmido.



Fonte: O autor, 2020.

3.2.3 Período seco

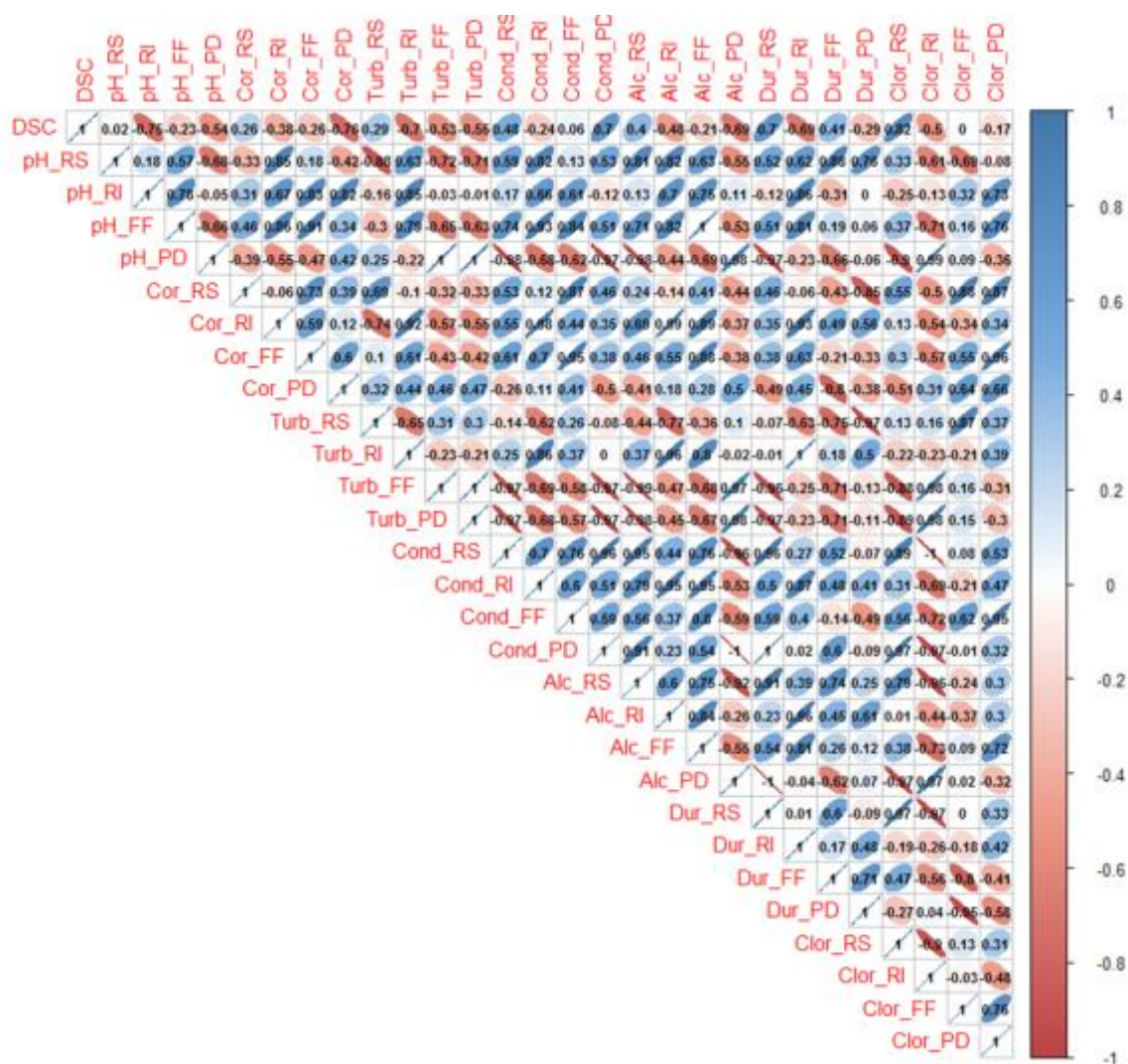
Assim como nos períodos total e úmido, no período seco, também ocorreram diversas correlações muito fortes positivas e negativas entre as variáveis. No entanto, pela quantidade e intensidade, identificou-se as correlações extremamente fortes envolvendo os resultados das variáveis da precipitação direta (PD) com as demais variáveis analisadas.

Observaram-se diversas correlações negativas desta variável com $r > 0,95$ (em módulo), tais como: pH_PD e Cond_RS ($r = - 0,98$), pH_PD e Cond_PD ($r = - 0,97$), pH_PD e Alc_RS ($r = - 0,98$), pH_PD e Dur_RS ($r = - 0,97$), Turb_PD e Cond_RS ($r = - 0,97$), Turb_PD e Cond_PD ($r = - 0,97$), Turb_PD e Alc_RS ($r = - 0,98$), Cond_PD e Alc_PD ($r = - 1,00$), Alc_PD e Dur_RS ($r = - 1,00$) e Alc_PD e Clor_RS ($r = - 0,97$).

Observou-se também, correlações positivas muito fortes envolvendo a PD: pH_PD e Turb_FF ($r = 1,00$), pH_PD e Turb_PD ($r = 1,00$), pH_PD e Alc_PD ($r = 0,98$), pH_PD e Clor_RI ($r = 0,99$), Turb_PD e Alc_PD ($r = 0,98$), Cond_PD e Alc_RS ($r = 0,91$), Cond_PD e Dur_RS ($r = 1,00$), Cond_PD e Clor_RS ($r = 0,97$) e Alc_PD e Clor_RI ($r = 0,97$).

Envolvendo as variáveis de qualidade da água da precipitação direta com um grande número de variáveis dos outros pontos de amostragem, a ocorrência de correlações (Figura 55) tão altas e numerosas pode ser inferido a presença de poluentes atmosféricos, mais abundantes durante o período seco, possibilitando reações químicas e alterando os parâmetros de qualidade da água da chuva.

Figura 55 - Matriz de correlação das variáveis de qualidade de água para o período seco.



Fonte: O autor, 2020.

A análise de componentes principais para o período seco resultou na redução de duas das 29 variáveis originais analisadas (Tabela 29). As variáveis pH_RI e Cor_PD não se mostraram significativas na explicação da variância total e foram desconsideradas.

Tabela 29 - Matriz de cargas fatoriais das variáveis originais para o período seco.

Variável	CP - 1	CP - 2
DSC	0.41	-0.69
pH_RS	0.87	0.42
pH_RI *	0.35	0.37
pH_FF	0.92	0.09
pH_PD	-0.96	0.20
Cor_RS	0.39	-0.79
Cor_RI	0.86	0.48
Cor_FF	0.73	-0.16
Cor_PD *	-0.40	0.09
Turb_RS	-0.53	-0.80
Turb_RI	0.60	0.68
Turb_FF	-0.97	0.16
Turb_PD	-0.96	0.18
Cond_RS	0.96	-0.26
Cond_RI	0.94	0.31
Cond_FF	0.78	-0.40
Cond_PD	0.91	-0.35
Alc_RS	0.98	-0.05
Alc_RI	0.79	0.58
Alc_FF	0.94	0.12
Alc_PD	-0.91	0.33
Dur_RS	0.91	-0.36
Dur_RI	0.62	0.65
Dur_FF	0.77	0.26
Dur_PD	0.29	0.88
Clor_RS	0.81	-0.52
Clor_RI	-0.96	0.25
Clor_FF	-0.24	-0.73
Clor_PD	0.55	-0.40
Autovalor	17.27	6.21
% variância explicada	59.57	21.41
% variância acumulada	59.57	80.98

(*) variáveis não significativas na explicação da variância total.

Fonte: O autor, 2020.

No período seco o CP - 1 apresentou coeficientes relevantes e positivos ($> 0,75$) para pH_RS, pH_FF, Cor_RI, Cor_FF, Cond_RS, Cond_RI, Cond_FF, Cond_PD, Alc_RS, Alc_RI, Alc_FF, Dur_RS, Dur_FF e Clor_RS e coeficientes relevantes e negativos ($< - 0,75$) para Turb_FF, Turb_PD, Alc_PD e Clor_RI. O CP - 1 foi responsável pela explicação de 64,15 % da variância total, justificando as altas correlações entre as variáveis explicadas por este componente.

O CP - 2 explicou 23,51% da variância total, apresentando coeficientes relevantes e positivos ($> 0,75$) para: Cor_RS, Turb_RS, e Clor_FF; e médios e negativos ($< - 0,50$) para: Turb_RI, Alc_RI e Dur_RI.

Os componentes principais (CP – 1 e CP – 2) foram responsáveis pela explicação de 87,66% da variância total. As variáveis selecionadas e os percentuais da variância explicada por cada CP são apresentados na Tabela 30.

Tabela 30 - Matriz de cargas fatoriais das variáveis selecionadas para o período seco.

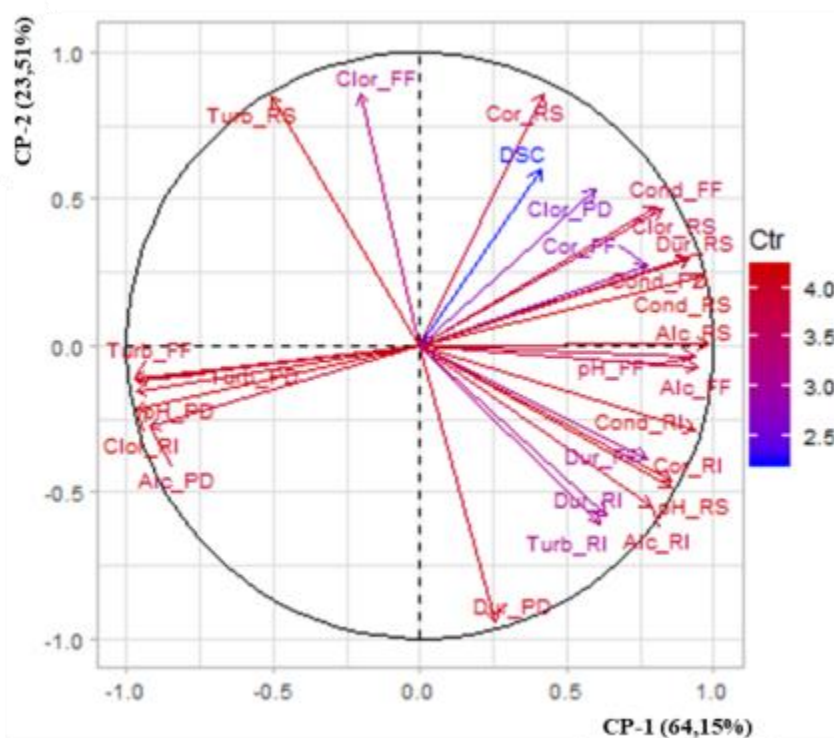
Variável	CP - 1	CP - 2
DSC	0.41	0.60
pH_RS	0.86	-0.48
pH_FF	0.94	-0.03
pH_PD	-0.97	-0.16
Cor_RS	0.42	0.86
Cor_RI	0.86	-0.46
Cor_FF	0.78	0.27
Turb_RS	-0.51	0.85
Turb_RI	0.62	-0.61
Turb_FF	-0.97	-0.11
Turb_PD	-0.97	-0.12
Cond_RS	0.97	0.23
Cond_RI	0.94	-0.29
Cond_FF	0.81	0.47
Cond_PD	0.92	0.29
Alc_RS	0.99	0.00
Alc_RI	0.79	-0.55
Alc_FF	0.95	-0.07
Alc_PD	-0.92	-0.28
Dur_RS	0.91	0.30
Dur_RI	0.64	-0.58
Dur_FF	0.77	-0.39
Dur_PD	0.26	-0.94
Clor_RS	0.83	0.46
Clor_RI	-0.97	-0.22
Clor_FF	-0.20	0.86
Clor_PD	0.60	0.53
Autovalor	17.32	6.35
% variância explicada	64.15	23.51
% variância acumulada	64.15	87.66

Fonte: O autor, 2020.

A Figura 56 mostra os vetores dos componentes principais das variáveis de qualidade da água para o período seco, com destaque para a menor importância do componente da variável DSC neste período na explicação da variação total dos dados, quando comparado aos períodos anteriores. Tal fato, possivelmente deve-se a menor influência da variação da quantidade dos dias secos consecutivos na qualidade da água, já que todo o período é naturalmente mais seco.

Apesar do menor peso na explicação da variância total, a variável DSC apresentou média correlação negativa com as variáveis Turb_FF, Turb_PD, pH_PD, Clor_RI e Alc_PD, que apresentaram alta correlação entre si.

Figura 56 - Análise de componentes principais dos parâmetros físico-químicos para o período seco.



Fonte: O autor, 2020.

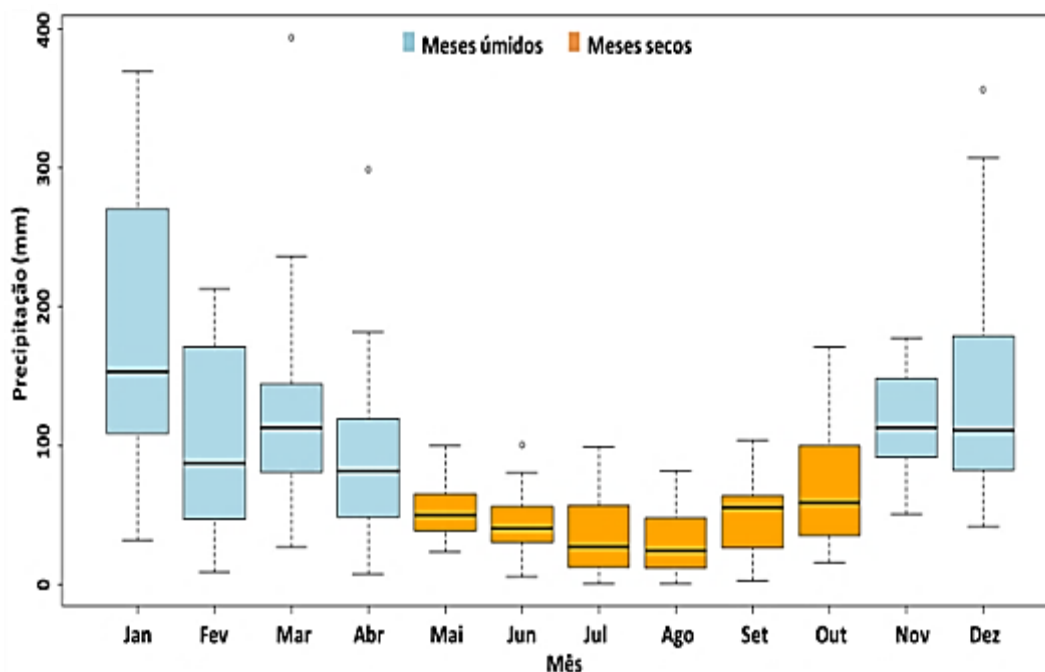
3.3 Aproveitamento da água da chuva

3.3.1 Oferta de água da chuva

Para o aproveitamento de águas pluviais é essencial o conhecimento do padrão pluviométrico da região, de modo a subsidiar o dimensionamento do SAAP, a partir da oferta de chuva ao longo do ano, bem como da demanda de água para atendimento da residência.

Este estudo analisou os dados mensais e anuais da série histórica de precipitação entre os anos de 1997 e 2019, da estação pluviométrica de Madureira, distante 4 Km do sistema implantado. A Figura 57 apresenta a estatística dos volumes acumulados mensais de precipitação no período analisado. Observa-se que o período seco ocorre entre os meses de maio e outubro e os mais chuvosos entre novembro e abril.

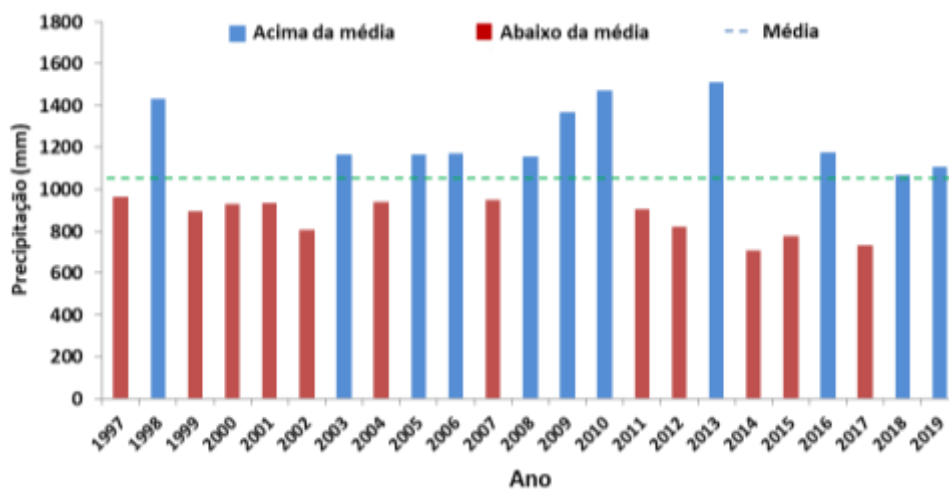
Figura 57 – Dados de precipitação mensal acumulada com base na série histórica da Estação Pluviométrica de Madureira (1997-2019).



Fonte: Elaborado pelo autor com dados do ALERTA RIO, 2020.

Os acumulados anuais de chuva na região, no período entre 1997 e 2019, variaram de 705,4 a 1508,6 mm com um valor médio de 1049,2 mm. Foi observado que o período mais longo abaixo da média ocorreu entre os anos de 1999 e 2002, porém o ano mais seco em 2014. A Figura 58 apresenta os acumulados anuais de precipitação.

Figura 58 – Série histórica anual de precipitação da Estação Pluviométrica de Madureira.

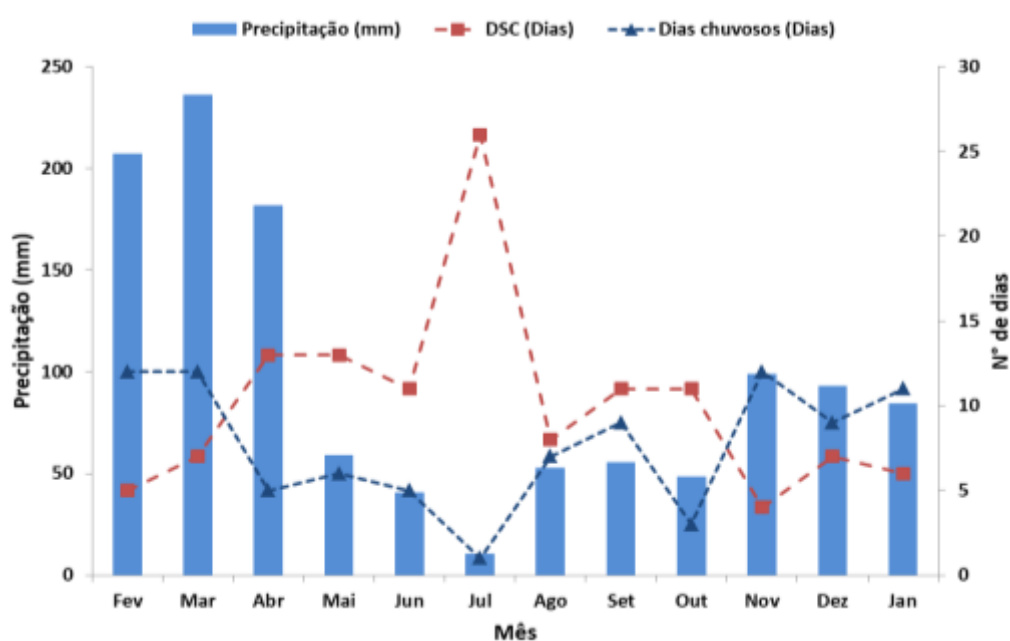


Fonte: Elaborado pelo autor com dados do ALERTA RIO, 2020.

A Figura 59 apresenta o comportamento pluviométrico da região durante o período do estudo (Fev/2019 a Jan/2020), além dos dias secos consecutivos (DSC) e quantidade de dias em que houve precipitação. Foram considerados como dias chuvosos aqueles em que o acumulado em 24 horas foi igual ou maior que 1 mm.

Observa-se um padrão pluviométrico semelhante ao da série histórica, com a ocorrência do período seco entre maio e outubro e o chuvoso entre novembro e abril.

Figura 59 – Precipitação mensal, dias consecutivos secos e dias totais de chuva durante o período do estudo.



Fonte: Elaborado pelo autor com dados do ALERTA RIO, 2020.

3.3.2 Análise da economia de água gerada pelo SAAP

Estima-se que a captação da água de chuva pode ofertar de 12 a 100% do volume de água necessário para a manutenção de uma família (MUSAYEV et al., 2018).

O sistema de aproveitamento de águas pluviais implantado em moradia unifamiliar no bairro de Sulacap, Rio de Janeiro, tem sido capaz de suprir aproximadamente um terço (32,6%) de toda a demanda de água da residência.

O sistema de aproveitamento de águas pluviais utilizou 81,75 m² ou 20,44 m².hab⁻¹ da área do telhado da residência para a captação. Considerando a área de captação e a quantidade de precipitação acumulada no período (1 ano), seria possível a captação máxima de 95,35 m³ de água da chuva.

As perdas médias foram de 14,03% do total aproveitável (oferta de chuva), considerando-se os volumes extravasados, evaporados, abstrações iniciais do processo e o descarte inicial (*first flush*).

O volume efetivamente captado e utilizado em um ano na residência foi de 81,37 m³ ou 55,73 L.hab⁻¹.d⁻¹.

A Tabela 31 apresenta os resultados do consumo de água no período do estudo.

Tabela 31- Descrição mensal do consumo de água na residência.

Mês	Potável (m ³)	Suprimento em tempo seco (m ³)	Água de chuva (m ³)	Consumo total (m ³)
Fev/19	1,29	8,19	14,44	23,92
Mar/19	1,44	5,80	16,29	23,53
Abr/19	1,38	8,63	12,25	22,26
Mai/19	1,13	13,22	4,08	18,42
Jun/19	1,28	14,33	2,97	18,58
Jul/19	1,25	17,19	0,74	19,17
Ago/19	1,19	14,69	3,70	19,58
Set/19	1,39	13,62	3,74	18,75
Out/19	1,21	14,79	3,40	19,39
Nov/19	1,19	12,50	7,03	20,72
Dez/19	1,47	14,49	6,76	22,71
Jan/20	1,54	15,21	5,99	22,74
Total (m³)	15,76	152,65	81,37	249,78
Total (%)	6,31	61,11	32,58	100,00

Fonte: O autor, 2020.

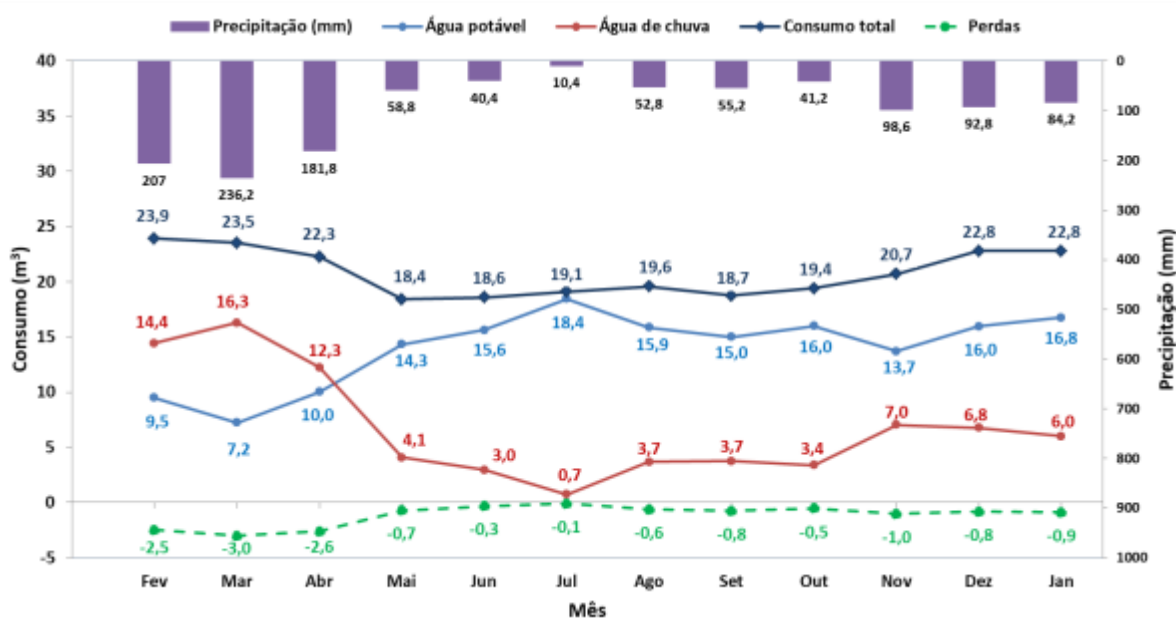
As perdas variaram de 10,0% em junho a 17,6% em abril, sugerindo que parte ocorreu em função de extravasamentos durante os meses mais chuvosos, devido ao volume insuficiente de reservação e/ou a uma intensidade pluviométrica tão elevada a ponto de gerar vazões de captação de água de chuva superiores à capacidade de recalque da bomba.

Outro motivo para as perdas pode estar relacionado ao coeficiente de escoamento superficial ou *runoff* que, segundo Tomaz (2009), varia entre 0,8 a 0,9 para telhados de telhas cerâmicas.

Tomando como exemplo o mês de julho de 2019, ocorreu apenas um dia chuvoso com um volume acumulado de chuva de 10,4 mm, considerado insuficiente para gerar extravasamento do sistema. Porém foi captado apenas 86,7% do volume precipitado, sugerindo que o coeficiente de escoamento real seja de aproximadamente 0,87.

A Figura 60 mostra o consumo total de água na residência, consumo de água fornecida pela concessionária, consumo de água da chuva e perdas na captação em função da quantidade de precipitação.

Figura 60 – Histórico do consumo de água potável, água de chuva e perdas na captação, em função da precipitação total mensal.



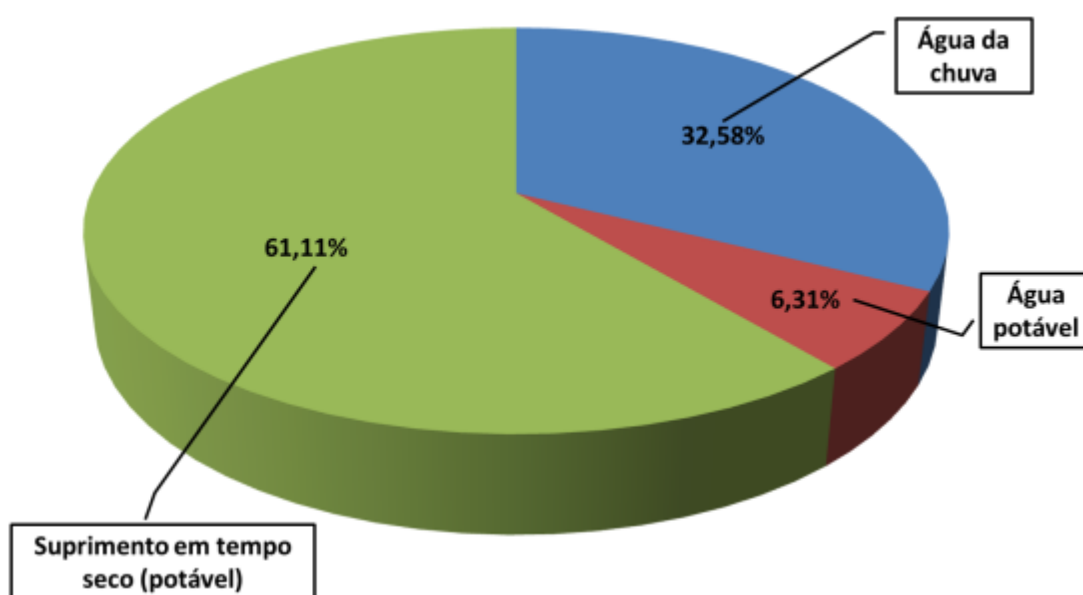
Fonte: O autor, 2020.

A água exclusivamente potável, fornecida pela concessionária, utilizada para beber, preparar alimentos e lavagem de utensílios de cozinha, representou apenas 6,3% do consumo total.

O total de água utilizada para suprir a demanda em tempo seco (61,1%) demonstra elevada capacidade de expansão do sistema, dependendo da disponibilidade de espaço para a instalação de novos reservatórios, maior área de captação e recursos financeiros para a essa implementação.

A Figura 61 apresenta os percentuais de consumo de água na residência durante o período do estudo.

Figura 61 – Demonstrativo do consumo total de água na moradia unifamiliar na cidade do Rio de Janeiro.



Fonte: O autor, 2020.

Foram realizadas simulações com diferentes tamanhos de áreas de captação, variando entre 50 e 200 m², para a verificação do potencial de atendimento à demanda, sem alteração no restante do SAAP e considerando a série histórica de precipitação entre 1997 e 2019.

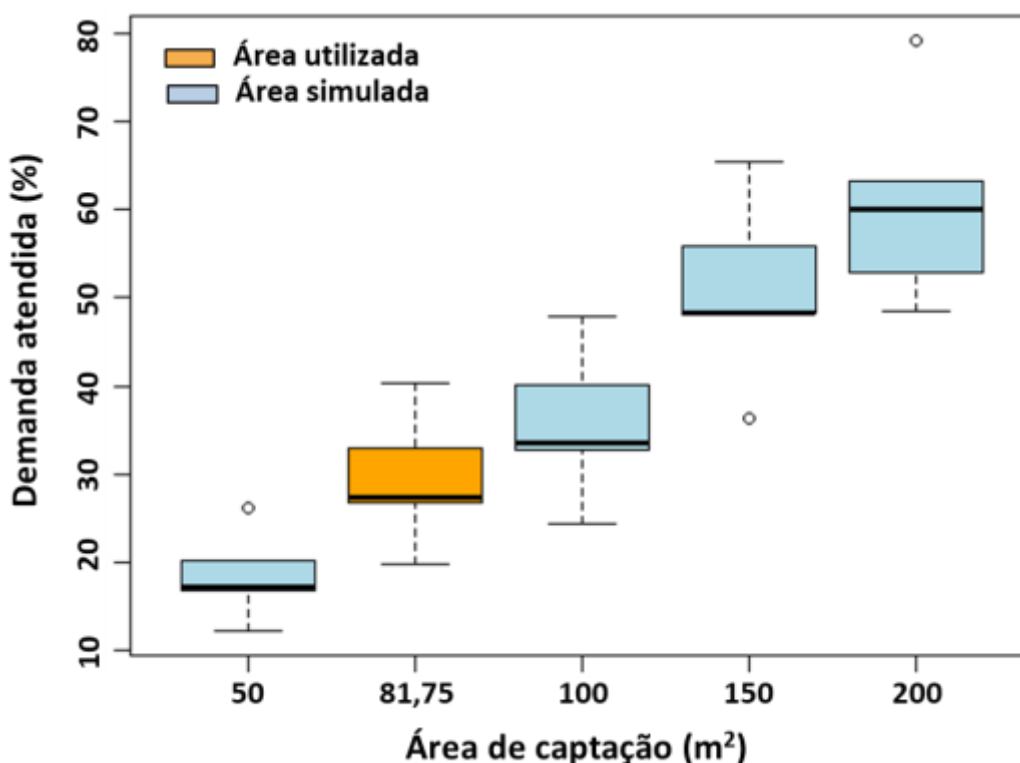
Verificou que, para todas as áreas de captação, os menores percentuais de atendimento à demanda ocorreram no ano de 2014, que apresentou o menor acumulado anual de precipitação da série histórica considerada (705,4 mm).

Porém, os maiores percentuais de atendimento não ocorreram necessariamente no ano em que houve o maior acumulado de precipitação, uma vez que deve ser considerada ainda a influência da distribuição dos volumes de chuva durante o ano sobre esse atendimento.

Verificou-se ainda, ganhos consideráveis no atendimento à demanda com o aumento da área de captação, sendo o maior apurado entre 50 e 100 m² (17,19%) e o menor entre 150 e 200 m² (10,43%).

A Figura 62 apresenta a estatística de atendimento à demanda em função da área de captação, considerando a oferta de chuva entre 1997 e 2019.

Figura 62 – Gráfico do percentual de atendimento à demanda em função da área de captação.



Fonte: O autor, 2020.

3.3.3 Análise da economia financeira gerada com a utilização do SAAP

Para a verificação da economia financeira gerada pela utilização da água da chuva em substituição a parte da água fornecida pela concessionária, realizou-se a apuração mensal do consumo proveniente das duas fontes.

Vale ressaltar, que nem toda a água da chuva aproveitada resulta em economia financeira, devido à estrutura tarifária da concessionária, que cobra um valor mínimo pelo fornecimento de até 15 m³ mensais, havendo ou não consumo.

Sendo assim, apenas havendo consumo mensal maior que esse volume, haverá vantagem ou economia financeira. Tomando-se como exemplo o mês de fevereiro de 2019: ocorreu o aproveitamento de 14,44 m³ de água da chuva, mais 9,49 m³ de água potável utilizada da concessionária, totalizando 23,53 m³. No entanto, somente a parcela acima de 15 m³ de consumo, ou 8,92 m³, gerou economia financeira ao morador (Tabela 32).

Tabela 32 – Economia financeira mensal ⁽¹⁾ gerada pelo sistema de aproveitamento de águas pluviais.

Mês	Consumo CEDAE (m ³)	Consumo Chuva (m ³)	Consumo Total (m ³)	Cobrança Mínima (m ³)	Economia (16-30 m ³) (m ³)	Tarifa (16-30 m ³) (US\$)	Economia Água (US\$)	Economia Esgoto (US\$)	Economia Total (US\$)
Fev/19	9,49	14,44	23,92	15	8,92	2,40	21,37	21,37	42,75
Mar/19	7,24	16,29	23,53	15	8,53	2,40	20,43	20,43	40,86
Abr/19	10,01	12,25	22,26	15	7,26	2,40	17,41	17,41	34,81
Mai/19	14,34	4,08	18,42	15	3,42	2,40	8,20	8,20	16,41
Jun/19	15,61	2,97	18,58	15	2,97	2,40	7,12	7,12	14,24
Jul/19	18,44	0,74	19,17	15	0,74	2,40	1,77	1,77	3,53
Ago/19	15,87	3,70	19,58	15	3,70	2,40	8,87	8,87	17,74
Set/19	15,01	3,74	18,75	15	3,74	2,40	8,96	8,96	17,91
Out/19	16,00	3,40	19,39	15	3,40	2,40	8,14	8,14	16,29
Nov/19	13,69	7,03	20,72	15	5,72	2,40	13,70	13,70	27,41
Dez/19	15,96	6,76	22,71	15	6,76	2,40	16,19	16,19	32,37
Jan/20	16,75	5,99	22,74	15	5,99	2,40	14,35	14,35	28,71
Totais	168,41	81,37	249,78	---	61,15	---	146,51	146,51	293,02

⁽¹⁾ Cotação do dólar em 01 fev 2019: US\$ 1 = R\$ 3,6688 – (BCN, 2020).

Fonte: O autor, 2020.

Para a verificação da viabilidade econômica da utilização do sistema de aproveitamento de águas pluviais, o custo com a mão de obra foi estimado com base no valor da hora de trabalho de um bombeiro hidráulico de US\$ 3,08, definido pelo Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias da Construção Civil do Município do Rio de Janeiro, já incluídos os encargos trabalhistas.

Estimou-se ainda o total utilizado de 44 horas, ou seja, uma semana de trabalho, como o tempo necessário e suficiente para a realização desses serviços.

No que se refere ao material/equipamentos necessário para instalação do Sistema, foram computados os valores dispendidos pelo autor na aquisição dos mesmos em lojas de material de construção.

A Tabela 33 apresenta de forma sintética os custos estimados para, a implantação do sistema.

Tabela 33 – Custo de implantação do sistema de aproveitamento de águas pluviais.

MATERIAIS E INSTALAÇÃO	VALORES (US\$)
Tubos e conexões de PVC	581,43
Calhas e acessórios	107,75
Torneiras e registros	54,61
Material elétrico	83,05
Bomba hidráulica	35,43
Reservatórios	111,70
Filtros de folhas	43,07
Carcaça de filtro (clorador)	17,72
Carvão ativado	16,35
Mídias de vidro sinterizado	15,67
Outros (colas, fitas, etc.)	23,57
Material	1.090,35
Mão de obra	135,71
Custo total	1.226,06

Fonte: O autor, 2020.

3.3.4 Tempo de recuperação do investimento

Segundo Moruzzi et al. (2012) em situações em que a demanda já é totalmente suprida pelo sistema público de abastecimento, o sistema de aproveitamento de águas pluviais pode apresentar falhas de fornecimento. Dessa forma, a maximização da demanda implica na redução do período de amortecimento do investimento. Esse caso constitui um exemplo típico de uma edificação em área urbana que deseja incorporar o aproveitamento de água pluvial, visando atender usos menos nobres.

O cálculo do tempo de recuperação do investimento considera os custos com materiais e mão de obra; a economia financeira gerada pela substituição da água fornecida pela concessionária pela água da chuva (média em 20 anos); a Taxa de juros (Selic) praticada no Brasil (BCN, 2020) e a vida útil do sistema, estimada em 20 anos. Essas informações são utilizadas para gerar o valor presente (P) dos custos mensais de manutenção (Equação 2), adicionados ao custo do investimento total do sistema.

A definição do custo de manutenção do sistema considerou a utilização de três pastilhas de 200 g de hipoclorito de cálcio ao custo de US\$ 2,18 cada, consumidas após a operação do sistema durante os 12 meses, bem como consumo de energia elétrica da bomba para recalque da água do RI ao RS nesse período.

O consumo de energia foi calculado considerando a vazão média real da bomba de 1,2 m³/h, o volume total de água de chuva recalcado anualmente para o reservatório superior de 81,37 m³, a potência da bomba de 375 W e o custo do KW/h da energia elétrica fornecida pela concessionária de US\$ 0,186347/KWh/Mês, resultando em um custo anual de US\$ 4,84.

A Tabela 34 apresenta os dados de análise do cálculo do tempo de recuperação do investimento.

Tabela 34 - Dados utilizados na análise do período de retorno do investimento.

Itens	Dados utilizados
Custo do material (Implantação)	US\$ 1.090,35
Custo da mão de obra (Implantação)	US\$ 135,71
Custo total de implantação	US\$ 1.226,06
Economia financeira gerada pelo sistema	US\$ 254,55 / Ano (*)
Custo hipoclorito de cálcio (Manutenção)	US\$ 6,54 / Ano
Custo de energia elétrica (Manutenção)	US\$ 4,84 / Ano
Custo total de manutenção	US\$ 11,38 / Ano
Taxa de juros (Selic / abril 2020)	3,75 aa.
Vida útil do sistema	20 anos
Período de retorno calculado	5 anos e 9 meses

(*) Economia anual média em vinte anos.

Fonte: O autor, 2020.

Para as diferentes áreas de captação da água de chuva avaliadas, a economia financeira acumulada em 20 anos variou de cerca de US\$ 2500,00 a US\$ 4500,00, com tempo de amortização do investimento entre 5 anos e 3 meses (5,24 anos) e 7 anos e 3 meses (7,21 anos), para áreas de captação de 50 a 200 m² (Tabela 35).

Para a definição do custo de implantação do SAAP com diferentes áreas de captação, estimou-se o custo para a implantação da área de captação em US\$ 1,48/m², com base nos valores do material empregado e da mão de obra necessária.

Tabela 35 – Análise de viabilidade econômica (*) em relação às áreas de captação.

Área de captação (m ²)	Economia total Anual (m ³)	Economia anual Útil (m ³)	Valor do m ³ (16 - 30 m ²) (US\$)	Economia anual de Água (US\$)	Economia anual de esgoto (US\$)	Economia total anual (US\$)	Custo de implantação (US\$)	Tempo de amortização (Anos)	Economia acumulada em 20 anos (US\$)
50	44,86	40,67	2,40	97,61	97,61	195,22	1.406,60	7,21	2.497,78
81,75	72,83	53,03	2,40	127,27	127,27	254,55	1.453,66	5,71	3.637,32
100	87,59	56,94	2,40	136,65	136,65	273,31	1.480,71	5,42	3.985,45
150	123,71	61,87	2,40	148,50	148,50	297,00	1.554,81	5,24	4.385,13
200	149,84	64,22	2,40	154,12	154,12	308,24	1.628,92	5,28	4.535,91

(*) Cotação do dólar em 01 fev 2019. US\$ 1 = R\$ 3,6688 – (BCN, 2020).

Fonte: O autor, 2020.

Foi realizada ainda a análise do custo de implantação do sistema em função da área de captação por morador atendido. Observou-se redução no custo de implantação por metro quadrado de área de captação e no custo médio do metro cúbico de água de chuva aproveitada, além do aumento na economia financeira e de água à medida que amplia-se a área de captação empregada. Os resultados são apresentados na Tabela 36.

Tabela 36 – Análise per capita do custo de implantação do sistema, economia média diária de água, economia financeira média diária (*) e custo médio do metro cúbico de água de chuva aproveitada, em relação às áreas de captação empregadas no SAAP.

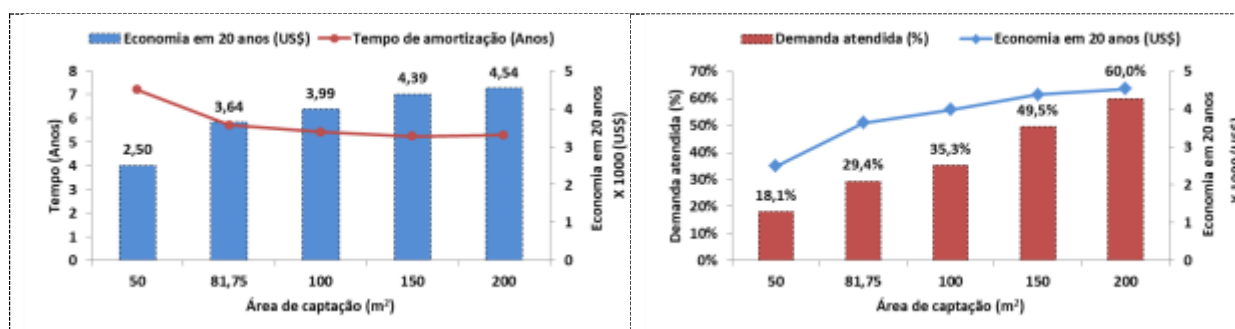
Área de captação (m ²)	Custo de implantação do m ² por habitante (US\$)	Economia média diária de água por habitante (L.hab ⁻¹ .d ⁻¹)	Economia financeira média diária por habitante (US\$)	Custo médio do m ³ de água de chuva aproveitada (US\$)
50	7,03	34,25	0,34	1,57
81,75	4,45	55,99	0,50	1,00
100	3,70	68,49	0,55	0,85
150	2,59	102,74	0,60	0,63
200	2,04	136,99	0,62	0,54

(*) Cotação do dólar em 01 fev 2019. US\$ 1 = R\$ 3,6688 – (BCN, 2020).

Fonte: O autor, 2020.

A Figura 63 demonstra graficamente a economia obtida em um período de vinte anos de funcionamento do sistema de aproveitamento de águas pluviais em substituição ao abastecimento convencional por água potável para diferentes tamanhos de área de captação, associada ao tempo necessário para amortização do investimento e ao percentual da demanda atendida.

Figura 63 - Economia financeira em 20 anos de operação do SAAP, tempo de amortização do investimento e demanda atendida para diferentes tamanhos de área de captação.



Fonte: O autor, 2020.

Pode ser constatado que os tempos de amortização dos investimentos diminuem à medida que se incrementam as áreas de captação, estabilizando e passando a aumentar discretamente a partir de 150 m² devido, sobretudo ao reduzido custo do metro quadrado em relação ao custo total de implantação do sistema.

Os resultados da análise de viabilidade indicam ainda um aumento da economia obtida é significativo até 150 m², a partir do qual os ganhos econômicos auferidos com o aumento da área de captação passam a ser pouco relevantes.

Adotando-se uma área de captação de 150 m² em substituição aos 81,75 m², em 20 anos de operação, estima-se um aumento de 68,59% na demanda atendida, com uma economia acumulada de 20,56% em contrapartida a um aumento do custo de implantação de apenas 6,96%, correspondendo a uma redução de 8,97% no tempo de amortização do investimento.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados quantitativos, qualitativos e econômicos obtidos através do presente estudo, realizado entre fevereiro de 2019 e janeiro de 2020 sobre a possibilidade e a viabilidade do aproveitamento de águas pluviais em uma moradia urbana na cidade do Rio de Janeiro conclui-se que:

- Apenas com a utilização do filtro de sólidos grosseiros e o descarte do volume inicial da chuva pelo *first flush*, a qualidade da água da chuva captada, atendeu aos requisitos físico-químicos (Turbidez e pH) da NBR 15527/2019 (ABNT, 2019) que define os parâmetros de qualidade da água da chuva para usos não potáveis;
- Os resultados dos parâmetros físico-químicos analisados atenderam aos padrões estabelecidos por esta Portaria n° 05/2017 do Ministério da Saúde após o processo de tratamento, com exceção da cor aparente, que ficou ligeiramente acima do limite em algumas amostras. Tal não conformidade pode ser corrigida realizando-se alguns ajustes na operação do sistema, tais como: aumentando-se a frequência da limpeza das calhas e poda de árvores vizinhas, cujas folhas são lançadas no telhado (área de captação) ou inserindo uma nova etapa no processo, que seja mais eficiente na melhoria desse parâmetro;
- Quanto aos aspectos biológicos, a água da chuva, mesmo para uso não potável, necessita de desinfecção para a sua utilização segura. Todas as amostras da água captada no telhado apresentaram níveis elevados de coliformes totais, coliformes termotolerantes e *Escherichia coli*;
- A desinfecção com utilização do hipoclorito de cálcio mostrou-se eficaz na redução/eliminação dessas bactérias em 100% das amostras, superando os requisitos da NBR 15527/2019;
- Não foi possível assegurar a adequação da água da chuva tratada no SAAP à Portaria n° 05/2017 do Ministério da Saúde, com relação aos parâmetros biológicos, devido ao teste de fermentação em tubos múltiplos, utilizado no estudo, não garantir a precisão necessária;
- Com base nas análises da qualidade da água da chuva, obtida após o tratamento no SAAP deste estudo, essa água apresenta-se como fonte promissora para complementar o abastecimento urbano para diversos usos;

- A utilização da técnica de estatística multivariada, por meio da aplicação da análise de componentes principais promoveu a redução no número de variáveis significativas de qualidade da água. Os resultados demonstraram a viabilidade do uso da técnica na obtenção de informações relevantes, a partir de um conjunto de dados, do qual não era possível a verificação das relações existentes entre as variáveis. A análise possibilitou a identificação das correlações entre a quantidade de dias secos consecutivos (DSC) que antecederam às coletas das amostras e as variáveis físico-químicas que mais influenciam a variabilidade da qualidade das águas pluviais, além das inter-relações entre essas variáveis. Com a geração dos gráficos com agrupamentos de variáveis que são fortemente inter-relacionadas, foi possível a visualização e a compreensão do comportamento das variáveis estudadas;
- Mesmo com uma considerável variabilidade sazonal no regime de chuvas, conforme identificada pelo estudo pluviométrico da região, foi possível o aproveitamento da água da chuva durante todo o ano. Ainda que, a utilização de pequenas áreas de captação e de volumes de reservatórios compatíveis com o pouco espaço usualmente disponíveis em moradias urbanas, não sejam suficientes para atender a toda à demanda, sistemas de águas pluviais podem proporcionar uma economia significativa no uso da água fornecida pela concessionária;
- Como forma complementar (alternativa) ao abastecimento pela concessionária, a utilização de SAAP apresentou uma relação custo x benefício favorável, e capaz de gerar economia financeira ao usuário por muitos anos após o retorno do investimento inicial;
- No presente estudo, o retorno do investimento se dará em 5 anos e 9 meses, enquanto estima-se que a vida útil do SAAP seja de 20 anos. Essa viabilidade é crescente quanto maior e mais afastado da tarifa mínima de água (e esgoto) for o consumo residencial em questão e
- As simulações realizadas com áreas de captação distintas mostraram ganhos significativos no percentual de atendimento à demanda, economia financeira e redução do tempo de retorno do investimento, à medida que se incrementam essas áreas, passando a reduzir o incremento nesses ganhos a partir de 150 m².

Para fins de estudos futuros recomenda-se aprofundar as análises de qualidade da água da chuva provenientes de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais, especialmente quanto aos parâmetros biológicos, dosagem de cloro aplicada e teor de cloro residual livre.

REFERÊNCIAS

- AGARWAL A.; S. NARAIN. Dying wisdom: Rise, fall and potential of India's traditional water harvesting systems 4th edition. . Eds., State of Indias Environment, a citizens' report 4, Centre for Science and Environment, New Delhi, (404 pp), 2005.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais. Rio de Janeiro, 1989.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.
- ADHAM, A. et al. Assessing the impact of climate change on rainwater harvesting in the Oum Zessar watershed in Southeastern Tunisia. *Agricultural Water Management*. V. 221, 2019.
- ALERTA RIO. Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro. Centro de Operações Rio. Rio de Janeiro, RJ. Disponível em: <<http://alertario.rio.rj.gov.br/>>. Acesso em 10 fev. 2018.
- AMOS, C. C., RAHMAN, A., GATHENYA, J. M. Economic analysis of rainwater harvesting systems comparing developing and developed countries: a case study of Australia and Kenya. **J. Clean. Prod.** V. 172, 196 e 207, 2018.
- ANA – Agência Nacional de Águas (Brasil). Conjuntura dos recursos hídricos no Brasil 2019: informe anual / Agência Nacional de Águas. -- Brasília: ANA, 2019. 100p. : iL.
- ANDRADE, E. M.; ARAÚJO, L. F. P.; ROSA, M. F.; DISNEY, W.; ALVES, A. B. Seleção dos indicadores da qualidade das águas superficiais pelo emprego da análise multivariada. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.683-690, 2007a.
- ANNECCHINI, K.P.V. Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES). 2005. 150f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
- APHA. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 23rd Ed.: American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation. Washington, DC, 2017.
- ASIA, A. E. I. et al. Estimation of SO₄ contribution by dry deposition of SO₂ onto the dust particles in India. *Atmospheric Environment*, v. 37, p. 3057–3063, 2003.
- AZEVEDO NETO, J. M. Aproveitamento de Águas de chuva para Abastecimento, BIO Ano III, No. 2, ABES, Rio de Janeiro. p 44-48, 1991.
- BAIYEGUNHI, L.J.S. Determinants of rainwater harvesting technology (RWHT) adoption for home gardening in Msinga, KwaZulu-Natal, South Africa. **Water SA**. v. 41, n.1, 2015.

BAMBRAH, G. K., OTIENO, F. O., THOMAS, D. B. (eds.). International Rainwater Catchment Systems Association, Nairobi. pp 393-398, 1993.

BERNARDI, J.V.E.; LACERDA, L.D.; DÓREA, J.G.; LANDIM, P.M.B.; GOMES, J.P.O.; ALMEIDA, R.; MANZATTO, A.G.; BASTOS, W.R. Aplicação da análise das componentes principais na ordenação dos parâmetros físico-químicos no alto rio Madeira e afluentes, Amazônia ocidental. *Geochimica Brasiliensis*, v. 23, n. 1, p. 79 – 90, 2009.

BITTENCOURT, A. V. L.; HINDI, E. C. Tópicos de hidroquímica. In: III CURSO SUDAMERICANO SOBRE EVALUCIÓN Y VULNERABILIDAD DE ACUÍFEROS, Asunción, Itaipu binacional, OEA, 2000.

BRAGA, B.; HESPANHOL, I.; CONEJO, J. G. L.; BARROS, M. T. L.; SPENCER, M.; PORTO, M.; NUCCI, N.; JULIANO, N.; EIGER, S. Introdução à Engenharia Ambiental. São Paulo - SP: Editora Prentice Hall, 2002.

BRASIL. Lei nº 9.433 de 08 de Janeiro de 1997. Institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos, regulamenta o inciso XIX do art. 21 da Constituição Federal, e altera o art. 1º da Lei nº 8.001, de 13 de março de 1990, que modificou a Lei nº 7.990, de 28 de dezembro de 1989. *Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil*, Brasília, DF, 09 jan. 1997.

BRASIL. Ministério do Desenvolvimento Regional. Secretaria Nacional de Saneamento – SNS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: 24º Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2018. Brasília: SNS/MDR, 2019. 180 p.: il.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Do controle e da vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 28 set.

CAMPBELL, D. Asbestos roofing and safety. Raindrop (1st Series, Feb): pp 7 & 12. International Rainwater Catchment Systems Association, Nairobi, 1993.

CASEY, B. N.; CHIRICO, P. G. Topographic and hydrographic GIS datasets for the Afghan Geological Survey and U.S. Geological Survey 2013 mineral areas of interest: U.S. Geological Survey Open-File Report 2013–1124, 16 p, 2013.

CETESB. Relatório de qualidade das águas superficiais. Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade - Apêndice D. São Paulo, SP, 2015.

COHIM, E.; KIPERSTOK, A.; PHILLIPI, L. S.; ALVES, W. C.; GONÇALVES, R. F., Perspectivas futuras: água, energia e nutrientes. In: GONÇALVES, R. F.(Coord.), Conservação de energia em sistemas prediais e públicos de abastecimento de água. PROSAB, Rio de Janeiro: ABES, 2009.

COHIM, E. et al. Captação direta de água de chuva no meio urbano para usos não potáveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24., 2007, Belo Horizonte. Anais. Belo Horizonte: ABES, 2007. p. 13.

COOMBES, P.; KUCZERA, G.; KALMA, J. Rainwater Quality from Roofs Tanks and Hot Water Systems at Fig Tree Place. In: Proceedings of the 3rd International Hydrology and Water Resources Symposium, HYDRO 2000, Perth. The Institution of Engineers Australia, Barton, ACT, 2000.

CORRÊA, F. A. F. Características dos patótipos de E. coli e implicações de E. coli patogênica para aves em achados de abatedouros frigoríficos. Dissertação de mestrado do Programa de Pós Graduação em Ciência Animal da Escola de Veterinária e Zootecnia da Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2012.

COSTA, L.; BARRÊTO, S. R. Livro das Águas – Água para a Vida, Água para Todos. Editora Laborprint, Brasília, 2006.

COSTA, K. A. D. et al. Influência do tipo de telhado na qualidade da água de chuva coletada em comunidades ribeirinhas. Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais, v.11, n.3, p.384-391, 2020.

DEITCH, M.J.; FEIRER, S.T. Cumulative impacts of residential rainwater harvesting on stormwater discharge through a peri-urban drainage network. **Journal of Environment Management**. V. 243, 2019.

EMPINOTTI, V.L.; BUDDS, J.; AVERSA, M. Governance and water security: The role of the water institutional framework in the 2013–15 water crisis in São Paulo, Brazil. V. 98. Jan, 2019.

ENNENBACH, M. W.; LARRAURI, P. C.; LALL, U. County-scale rainwater harvesting feasibility in the United States: climate, collection area, density, and reuse considerations. Journal of the American Water Resources Association (JAWRA), v. 54, n. 1: p. 255274, 2018.

EVANS, C.A.; COOMBES, P.J.; DUNSTAN, R.H. Wind, rain and bacteria: The effect of weather on the microbial composition of roof-harvested rainwater. Water Research, v. 40, p. 37-44, 2006.

FAISST, E. W.; FUJIOKA, R. S. Assessment of four rainwater catchment designs on cistern water quality. In: Proceedings of the 6th international conference on rainwater catchment systems, Nairobi, Kenya. Bambrah, G. K., Otieno, F. O., Thomas, D. B. (eds.). International Rainwater Catchment Systems Association, Nairobi, 1994.

FUJIOKA, R. S. Guidelines and Microbial Standards for Cistern Waters. In: Proceedings of the 6th international conference on rainwater catchment systems, Nairobi, Kenya, 1994.

GANEM, L. O. Sistemas de aproveitamento de águas pluviais em comunidades de assentamentos informais. 2019. 189f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

GOMES, F. B. M.; COSTA, J. S.; SILVA, A. K. M.; PAULA, D. P. Análise da qualidade ambiental das águas armazenadas em cisternas no semiárido cearense: Uma abordagem multidisciplinar, XI Encontro Nacional da Anpege, 2015.

GOMES, H. P. Eficiência hidráulica e energética em saneamento: análise econômica de projetos. Rio de Janeiro: ABES, 2005.

GÓMEZ, Y.D.; TEIXEIRA, L.G. Residential rainwater harvesting: Effects of incentive policies and water consumption over economic feasibility. V. 127. Dec, 2017.

GONÇALVES, R. F. (Coord.). Uso Racional da Água em Edificações. 1 ed. Vitória, ES: ABES, 2006.

GONELA, V.; et al. Decentralized rainwater harvesting program for rural cities considering tax incentive schemes under stakeholder interests and purchasing power restrictions. *Journal of Cleaner Production*. V. 252, 2020.

GOULD, J.; NISSEN-PETERSEN, E. Rainwater catchment systems for domestic supply: design, construction and implementation. Intermediate Technology Publications, London. 335 pp, 1999.

GROUP RAINDROPS. Aproveitamento da Água da Chuva. In: KOBIYAMA, M.; USHIWATA, C. T.; AFONSO, M. A.. Editora Organic Trading – Curitiba/PR, 2002.

GUIMARÃES, R. M. 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.

HAIR, J. J. F.; ANDERSON, R. E.; TATHAM, R. L.; BLACK, W. C. Análise multivariada de dados. 5.ed. Porto Alegre: Bookman, 2005. 593 p.

HAQUE, M.; RAHMAN, A.; SAMALI, B. Evaluation of climate change impacts of rainwater harvesting. *Journal of cleaner production*, Sidney, v.137, p. 60-69, 2016.

HELENA, B.; PARDO, R.; VEGA, M.; BARRADO, E.; FERNÁNDEZ, J. M.; FERNÁNDEZ, L. Temporal evolution of groundwater composition in an alluvial aquifer (Pisuerga River, Spain) by principal component analysis. *Water Research*, v.34, p.807816, 2000.

HERRMANN, T.; SCHMIDA, U. Rainwater utilization in Germany: efficiency, dimensioning, hydraulic and environmental aspects. *Urban Water*, 1(4), 308-316, 1999.

HONGYU, K. Comparação do GGE biplot ponderado e AMMI - ponderado com outros modelos de interação genótipo × ambiente. 2015. 155p. Tese (Doutorado em Estatística e Experimentação Agronômica) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2015.

IBGE. Censo Demográfico – 2010: Características da população e dos domicílios. Resultados do universo. Rio de Janeiro: IBGE, 2011. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/93/cd_2010_caracteristicas_populacao_domicilios.pdf. Acesso em: 09/10/2019.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em: 16/12/2019.

JAQUES, R. C.; RIBEIRO, L. F.; LAPOLLI, F. R. Avaliação da qualidade da água de chuva da cidade de Florianópolis - SC. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2005.

KAISER, H. F. The varimax criterion for analytic rotation in factor analysis. *Psychometrika*, v. 23, n. 03, p. 187-200, 1958.

KRAAI, R.; MINICK, S.; SCARPULLA, J.; FERRY, E.; MITCHELL, M.; UNCAPHER, A. San Francisco Rainwater Harvesting Manual for Non-Potable Residential Uses. San Francisco Public Utilities Commission, San Francisco, CA, 2016.

LEE, J. Y.; KIM, H. J.; HAN, M. Y. Quality assessment of rooftop runoff and harvested rainwater from a building catchment. *Water Science and Technology*, v. 63, n. 11, p. 2725 - 2731, 2011.

LEONG, et al. Life-cycle assessment and life-cycle cost analysis of decentralised rainwater harvesting, greywater recycling and hybrid rainwater-greywater systems. *Journal of Cleaner Production*. V. 229, 2019.

LEONG, J. Y. C.; CHONG, M. N.; POH, P. E.; HERMAWAN, A.; TELEI, A.. Longitudinal assessment of rainwater quality under tropical climatic conditions in enabling effective rainwater harvesting and reuse schemes. *Journal of Cleaner Production*, v.143, p.64-75, 2017.

LI, Z.; BOYLE, F.; REYNOLDS, A. Rainwater harvesting and greywater treatment systems for domestic application in Ireland. *Desalination*, v. 260, p. 1-8, 2010.

LIBÂNIO, M. Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Campinas, SP: Ed. Átomo, 2005.

MAHMOOD, A.; HOSSAIN, F.. Feasibility of managed domestic rainwater harvesting in South Asian rural areas using remote sensing. *Resources, Conservation and Recycling*, v.125, n.2016, p.157-168, 2017.

MANLY, B. F. J. Multivariate statistical methods. New York, Chapman and Hall, 1986. 159 p.

MARDIA, K. V.; KENT, J. T.; BIBBY, J. Multivariate analysis. London: Academic, 1979.

MARTINS, N. S. F.; MARQUES, F. A.; SILVA CUNHA, A. E.; MAIA, L. F. P. G. Indicações Observacionais de Ocorrências de Brisas Marítimas na Cidade do Rio de Janeiro. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza, p.1-10, 2004.

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

MAY, S. Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária. - São Paulo. 222 p, 2009.

MENDONÇA, L. A. R.; SANTIAGO, M. O; FRISCHKORN, H; SASAKI, J. M. Problemas de cálcio na água de abastecimento de Nova Olinda – CE. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. v.13, n. 3, p. 298-305, 2008.

MIERZWA, J. C. et al. Águas pluviais: método de cálculo do reservatório e conceitos para um aproveitamento adequado. REGA. Revista de Gestão de Águas da América Latina, v. 4, p. 29-37, 2007.

MORUZZI, R. B.; OLIVEIRA, S. C.; GARCIA, M. L. A proposal for reservoir volume calculation in rainwater harvesting systems. Journal of Civil Engineering and Architecture, v.6, n.6, p.707-714, jun. 2012.

MOURA, L.H.A.; BOAVENTURA, G.R.; PINELLI, M.P. A qualidade de água como indicador de uso e ocupação do solo: Bacia do Gama – Distrito Federal. Química Nova, v. 33, n. 1, p. 97 – 103. 2010.

MURÇA, M.C.R.; DE JULIO, M.; MORUZZI, R.B. (2014) Metodologia de Otimização para o Dimensionamento de Reservatórios de Águas Pluviais. Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 19, n. 2, p. 29-40.

MUSAYEV, S.; BURGESS, E.; MELLOR, J.. A global performance assessment of rainwater harvesting under climate change. Resources, Conservation and Recycling, v.132, n.1, p.62-70, 2018.

NAKADA, L. Y. K. Avaliação da qualidade de águas pluviais armazenadas e estudos de tratabilidade empregando filtro de pressão com diferentes meios filtrantes visando ao aproveitamento para fins não potáveis. Dissertação (Mestrado)–Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Engenharia, Bauru, 2012. 142 f.

NOSRATI, K.. Identification of a water quality indicator for urban roof runoff. Sustainability of Water Quality and Ecology, v.9-10, p.78-87, 2017.

OLIVEIRA, P. A. et al. Aproveitamento da água da chuva na produção de suínos e aves. EMBRAPA, Concórdia, 2013.

OHNUMA JR., A. A. et al. Influência da poluição atmosférica na qualidade das águas pluviais. Hydro (São Paulo), v. IX, p. 60-65, 2014.

PAIVA, A.C.E.; NASCIMENTO, N.; RODRIGUEZ, D.A.; TOMASELLA, J.; CARRIELLO, F.; REZENDE, F.S. Urban expansion and its impact on water security: The case of the Paraíba do Sul River Basin, São Paulo, Brazil. Science of the Total Environment. V. 720. Jun, 2020.

PETERS, M.R. Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial. 2006. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2006.

- PHILLIPPI, L. S.; VACCARI, K. P.; PETERS, M. R.; GONÇALVES, R. F. Aproveitamento de água de chuva. In: GONÇALVES, Ricardo Franci (Coord.). Uso racional da água em edificações. Rio de Janeiro: ABES, 2006. p.73-152.
- PRISTO, M. V.; DEREZYNSKI, C. P.; SOUZA, P. R.; MENEZES, W. F. Climatologia de Chuvas Intensas no Município do Rio de Janeiro. Departamento de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2018.
- PROSAB. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Ministério da Ciência e Tecnologia. FINEP, 2006.
- QUEIROZ, T. M.; OLIVEIRA, L. C. P. Qualidade da água em comunidades quilombolas do Vão Grande, município de Barra do Bugres (MT). Engenharia Ambiental e Sanitária, v.23, n. 1, p. 173180, 2018.
- RAINHEAD SCREENS. Rainwater Harvesting for Drylands and Beyond by Brad Lancaster. 2014. Disponível em: <https://www.harvestingrainwater.com/imagesvideoaudio/image-gallery/rainhead-screens/>. Acesso em: 28/04/2020.
- ROCHA, A. L.; BARRETO, D. et IOSHIMOTO, E. Caracterização e Monitoramento do Consumo Predial de Água - Documento Técnico de Apoio DTA E1 – Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. PNCDA, 1999.
- RODRIGUES, J. C. M. R. Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais - Dimensionamento e Aspectos Construtivos. Dissertação (Mestrado) - Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto. Departamento de Engenharia Civil. Porto, Portugal, 2009.
- ROSTAD, N.; FOTI, R.; MONTALTO, F. Harvesting Rooftop Runoff to Flush Toilets: Drawing Conclusions from Four Major US Cities. Resources, Conservation and Recycling. V. 108, p. 97-106, 2016.
- SANDANIELO, V. L. M. Emprego de técnicas estatísticas na construção de índices de desenvolvimento sustentável aplicados a assentamentos rurais. 2008. 165 f. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.
- SANTOS, C.; INTEAZ, M.A.; GHISI, E.; MATOS, C. The effect of climate change on domestic Rainwater Harvesting. Science of the Total Environment. V. 729, 2020.
- SANTOS, S. M.; FARIAS, M. M. M. W. E. C.. Potential for rainwater harvesting in a dry climate: Assessments in a semiarid region in northeast Brazil. Journal of Cleaner Production, v.164, p.1007-1015, 2017.
- SEMAAN, M; DAY, S.D.; GARVIN, M.; RAMAKRISHNAN, N.; PEARCE, A. Optimal sizing of rainwater harvesting systems for domestic water usages: A systematic literature review. **Resources, Conservation & Recycling: X**. V. 6, 2020.
- SICILIANO, W. C. et al. Variabilidade espacial e temporal da precipitação pluvial no município do Rio de Janeiro. Revista Internacional de Ciências, v. 8, n. 2, p. 221–233, 2018.

SILVA, F. A.; TEIXEIRA, C. A.; CARVALHO, K. Q.; PASSIG, F. H. Avaliação de um sistema composto por filtração ascendente e radiação ultravioleta no tratamento da água de chuva. *Revista Ibero Americana de Ciências Ambientais*, v.9, n.4, p.177-191, 2018.

SILVA, G. N. Avaliação localizada de metais em águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro. 2019. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

SMITH, R.R.; MOREIRA, L.V.H.; LATRILLE, L.L. Characterization of dairy productive systems in the Tenth Region of Chile using multivariate analysis. *Agricultura Técnica*, v.62, n.3, p.35-395, 2002.

Sindicato dos Trabalhadores nas Indústrias da Construção Civil do Município do Rio de Janeiro. Disponível em: <http://www.sintraconstrio.org.br/portal/images/tabelas2019/construcao-civil2019.jpg>. Acesso em 10 de janeiro de 2020.

SOBSEY, M.; PFAENDER, F. Evaluation of the H₂S Method for Detection of Fecal Contamination of Drinking Water. World Health Organization, Geneva, 2002.

SOUZA, G.; SILVA, R. A.; OLIVEIRA JUNIOR, J. M; MENDONÇA, N. M. Chuva Ácida: Estudo de Caso Na Região Metropolitana de Belém/PA. V Simpósio de Estudos e Pesquisas em Ciências Ambientais na Amazônia, Vol 4. 2016.

STEINER A. V. In: KÖNIG K. W., Ratgeber Regenwasser. Ein Ratgeber für Kommunen und Planungsbüros. Vol. 2, p. 3. Mall, Donaueschingen/Germany, 2008.

TAVARES, L. C. et al. Incentivos legais ao aproveitamento de água de chuva no Brasil. II CONGRESO DE AGUA AMBIENTE Y ENERGÍA. Montevideo: AUGM, 2019.

TAMAGNONE, P.; COMINO, E.; ROSSO, M. Rainwater harvesting techniques as an adaptation strategy for flood mitigation. **Journal of Hydrology**. V. 586, 2020.

TEXAS WATER DEVELOPMENT BOARD. The Texas Manual on Rainwater Harvesting. 3rd Ed. Austin, Texas, 2005.

TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis. v. 65, n. 4, p. 5, 2009.

TUNDISI, J. G. Ciclo hidrológico e gerenciamento integrado. *Ciência e Cultura*, v. 55, n. 4, p. 31-33, 2003.

UNEP. Rainwater Harvesting and Utilisation. An Environmentally Sound Approach for Sustainable Urban Water Management - An Introductory Guide for Decision - Makers. UNEP - DTIE-IETC / Sumida City Government / People for Promoting Rainwater Utilization - Japan, 2002.

UNEP. Rainwater Harvesting: A Lifeline for Human Well-Being. United Nations Environment Programme. A report prepared for UNEP by Stockholm Environment Institute. Sweden. P. 69, 2009.

UNITED KINGDOM ENVIRONMENT AGENCY. Harvesting Rainwater for Domestic Uses: an information guide. Bristol, 2008.

VACCARI, K. P. et al. Caracterização da água de chuva para o seu aproveitamento em edificações como fonte alternativa de água para fins não potáveis na região metropolitana de Vitória (ES). In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. Campo Grande, Mato Grosso do Sul, 2005.

VEGA, M.; PARDO, R.; BARRADO, E.; DEBAN, L. Assesment of seasonal and polluting effects on the quality of river water by exploratory data analysis. Water Research, Amsterdam, v.32, n.12, p.3.581-92, 1998.

VELOSO, N. S. L.; MENDES, R. L. R. Aspectos legais do uso da água da chuva no brasil e a gestão dos recursos hídricos: notas teóricas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS. Bento Gonçalves - RS: ABES, 2013.

VIALLE, C. et al. Monitoring of water quality from roof runoff: Interpretation using multivariate analysis. Water Research, v. 45, n. 12, p. 3765–3775, 2011.

VILLIERS, M. Água: Como o uso deste precioso recurso natural poderá acarretar a mais séria crise do século XXI. Rio de Janeiro: Ediouro, 2002.

VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3ª ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, 452 p, 2005.

WARD, R. C.; ROBINSON, M. Principles of Hydrology. 4ª Ed., McGraw-Hill, Berkshire, England, 450 p, 2000.

WORM, J.; HATTUM, T. V. Rainwater harvesting for domestic use. 1ª edição. Wageningen: Agromisa Foundation e CTA, 2006, 84p.

WURTHMANN, K. Rainwater harvesting system installations required to offset new water demand created by growing populations in Broward and Palm Beach Counties: A dataset for decision making based on numbers of installations, costs, and water and energy savings. Data in Brief. V. 28. Feb, 2020.

YAZIZ, M.; GUNTING, H.; SAPIARI, N.; GHAZALI, A. Variation in rainwater quality from roof catchments. Water Research 23: 761-765. IWA Publishing, London, 1989.

ZENG, X.; RASMUSSEN, T. C. Multivariate statistical characterization of water quality in Lake Lanier, Georgia, USA. Journal Environmental Quality, v.34, p.1980-1991, 2005.

ZIMMERMANN, C.M.; GUIMARÃES, O.M.; PERALTA-ZAMORA, P.G. Avaliação da qualidade do corpo hídrico do rio Tibagi na região de Ponta Grossa utilizando análise de componentes principais (PCA). Química Nova, v. 31, n. 7, p. 1727 – 1732. 2008.

APÊNDICE – Custos para implantação do SAAP

<i>Descrição</i>	<i>Unid. (R\$)</i>	<i>Quant.</i>	<i>Total (R\$)</i>	<i>Descrição</i>	<i>Unid. (R\$)</i>	<i>Quant.</i>	<i>Total (R\$)</i>	<i>Descrição</i>	<i>Unid. (R\$)</i>	<i>Quant.</i>	<i>Total (R\$)</i>
Tubo esgoto 150mm (3m)	61,90	6	371,40	Joelho água 25mm	0,90	10	9,00	Calha Galvanizada 28cm (3m)	42,90	5	214,50
Tubo esgoto 100mm (3m)	33,06	1	33,06	Joelho água 32mm	3,90	3	11,70	União de Calha 28cm	8,19	6	49,14
Tubo esgoto 75mm (3m)	30,99	1	30,99	Joelho água 60mm	16,99	4	67,96	Terminal Bocal 28cm Esq.	21,90	1	21,90
Tubo esgoto 50mm (3m)	15,99	2	31,98	Tê água 20mm	1,19	10	11,90	Terminal Bocal 28cm Dir.	21,90	1	21,90
Tê esgoto 150mm	48,00	1	48,00	Tê água 25mm	5,99	2	11,98	Cabeceira 28cm Esq.	6,19	1	6,19
Tê esgoto 100/75mm	18,99	1	18,99	Tê água 32mm	6,89	9	62,01	Cabeceira 28cm Dir.	6,19	1	6,19
Tê esgoto 100/50mm	13,99	1	13,99	Tê água 60mm	17,90	4	71,60	Suporte Calha 28cm	6,29	12	75,48
Joelho 90° esgoto 75mm	6,90	7	48,30	CAP água 20mm	0,69	1	0,69	Caixa d'água 310 litros	149,90	1	149,90
Joelho 45° esgoto 75mm	7,99	5	39,95	CAP água 32mm	1,99	1	1,99	Caixa d'água 1000 litros	259,90	1	259,90
Joelho 90° esgoto 50mm	2,19	2	4,38	Flange 20mm	8,29	15	124,35	Torneira boia p/ caixa d'água	27,90	1	27,90
Luva esgoto 150mm	23,90	2	47,80	Flange 25mm	9,19	4	36,76	Adesivo PVC 175g	14,90	5	74,50
Luva esgoto 75mm	4,59	2	9,18	Flange 32mm	14,99	11	164,89	Fita teflon	5,99	2	11,98
Luva esgoto 50mm	2,59	1	2,59	Flange 60mm	33,90	1	33,90	Cabo flexível 2,5mm (50m)	61,11	1	61,11
Bucha esgoto. 150/100mm	27,99	2	55,98	Luva mista 25mm	1,09	4	4,36	Disjuntor 10 amperes	24,90	1	24,90
Bucha esgoto 100/75mm	10,99	3	32,97	Luva mista 32mm	3,29	2	6,58	Chave boia elétrica	57,90	3	173,70
Bucha esgoto 75/50mm	6,99	1	6,99	Luva mista 60mm	10,99	2	21,98	Válvula solenoide	44,97	1	44,97
Bucha esgoto 100/50mm	9,99	2	19,98	União água 25mm	10,99	1	10,99	Bomba d'água periférica 1/2 CV	129,99	1	129,99
CAP esgoto 150mm	11,90	23	273,70	União água 32mm	13,99	3	41,97	Carcaça para filtro	65,00	1	65,00
CAP esgoto 100mm	8,59	6	51,54	Registro 20mm	9,99	2	19,98	Filtro para captação pluvial	79,00	2	158,00
Tubo água 60mm (3m)	63,90	1	63,90	Registro 25mm	11,99	2	23,98	Mídia de vidro sinterizado (5L)	57,50	1	57,50
Tubo água 32mm (3m)	24,90	2	49,80	Registro 32mm	14,90	2	29,80	Carvão ativado (5Kg)	60,00	1	60,00
Tubo água 25mm (3m)	11,79	5	58,95	Válvula de retenção 60mm	66,90	1	66,90	Total material			4000,26
Tubo água 20mm (3m)	7,67	5	38,35	Ralo Redondo 15cm	3,99	3	11,97	Mão de obra	-	-	414,92
Joelho água 20mm	0,69	10	6,90	Torneira com alavanca	32,90	3	98,70	Custo total do sistema			4415,18



LABORATÓRIO OCEANUS – HIDROQUÍMICA

REG.INEA:UND15590/55.11.10 / REG.INEA:UND16133/55.11.10
 www.oceanus.bio.br / www.hidroquimicabr.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO: 20955/2019-1.0

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85
Bairro:	Engenho Novo
Cidade:	Rio de Janeiro
UF:	Rio de Janeiro
CEP:	20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 98205-7523 flaviogiro@men.com
Processo Comercial:	521/2019-2

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	
Referência Hidroquímica:	898242
Referência do cliente:	03-RS
Dados Adicionais:	---

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Data de Coleta:	14/03/2019 11:30:00	Data de Recebimento:	14/03/2019
Temperatura de campo (°C) (fornecido pelo cliente):	---	Tipo de Amostra	Água
Temperatura de recebimento (°C)	6,0	Tipo de Coleta	Simplex
Coletor	Cliente	Observações	---

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA
Legislação ou Norma: Sem Comparativo

BACTERIOLOGICO				
Início dos Ensaios: 14/03/2019				
Parâmetros	Unidade	Resultados	LQ	Sem Comparativo
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	<1,8	1,8	---
Coliformes Totais	NMP/100 mL	<1,8	1,8	---
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	<1,8	1,8	---

REFERÊNCIAS METODOLÓGICAS

Coliformes Termotolerantes: SMWW 9221 E.

Coliformes Totais: SMWW 9221 B

Escherichia coli: SMWW 9223 B

ANEXO B – Relatório de análise biológica do RI (Março)



LABORATÓRIO OCEANUS – HIDROQUÍMICA

REG.INEA:UND15590/55.11.10 / REG.INEA:UND16133/55.11.10
www.oceanus.bio.br / www.hidroquimicabr.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO: 20954/2019-1.0

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85
Bairro:	Engenho Novo
Cidade:	Rio de Janeiro
UF:	Rio de Janeiro
CEP:	20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 98205-7523 flaviogiro@msn.com
Processo Comercial:	521/2019-2

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	
Referência Hidroquímica:	898240
Referência do cliente:	02-RI
Dados Adicionais:	---

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Data de Coleta:	14/03/2019 11:30:00	Data de Recebimento:	14/03/2019
Temperatura de campo (°C) (fornecido pelo cliente):	---	Tipo de Amostra	Água
Temperatura de recebimento (°C)	6,0	Tipo de Coleta	Simplex
Coletor	Cliente	Observações	---

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA
Legislação ou Norma: Sem Comparativo

BACTERIOLOGICO				
Início dos Ensaio: 14/03/2019				
Parâmetros	Unidade	Resultados	LQ	Sem Comparativo
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	>1600,0	1,8	---
Coliformes Totais	NMP/100 mL	>1600,0	1,8	---
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	>1600,0	1,8	---

REFERÊNCIAS METODOLÓGICAS

Coliformes Termotolerantes: SMWW 9221 E.

Coliformes Totais: SMWW 9221 B

Escherichia coli: SMWW 9223 B



LABORATÓRIO OCEANUS – HIDROQUÍMICA

REG. INEA: UND16590/65.11.10 / REG. INEA: UND16133/65.11.10
 www.oceanus.bio.br / www.hidroquimicabr.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO: 20953/2019-1.0

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85
Bairro:	Engenho Novo
Cidade:	Rio de Janeiro
UF:	Rio de Janeiro
CEP:	20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 98205-7523 flaviogiro@msn.com
Processo Comercial:	621/2019-2

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	
Referência Hidroquímica:	898241
Referência do cliente:	01-FF
Dados Adicionais:	---

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Data de Coleta:	14/03/2019 11:30:00	Data de Recebimento:	14/03/2019
Temperatura de campo (°C) (fornecido pelo cliente):	---	Tipo de Amostra	Água
Temperatura de recebimento (°C)	6,0	Tipo de Coleta	Simplex
Coletor	Cliente	Observações	---

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA
Legislação ou Norma: Sem Comparativo

BACTERIOLOGICO				
Início dos Ensaios: 14/03/2019				
Parâmetros	Unidade	Resultados	LQ	Sem Comparativo
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	>1600,0	1,8	---
Coliformes Totais	NMP/100 mL	>1600,0	1,8	---
Escherichia coli	NMP/100mL	>1600,0	1,8	---

REFERÊNCIAS METODOLÓGICAS

Coliformes Termotolerantes: SMWW 9221 E.

Coliformes Totais: SMWW 9221 B

Escherichia coli: SMWW 9223 B



LABORATÓRIO OCEANUS – HIDROQUÍMICA

REG.INEA:UN015590/55.11.10 / REG.INEA:UN016133/55.11.10
 www.oceanus.bio.br / www.hidroquimicabr.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO: 43720/2019-1.0

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85
Bairro:	Engenho Novo
Cidade:	Rio de Janeiro
UF:	Rio de Janeiro
CEP:	20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 98205-7523 flaviogiro@msn.com
Processo Comercial:	521/2019-3

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	
Referência Hidroquímica:	933359
Referência do cliente:	RS
Dados Adicionais:	---

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Data de Coleta:	16/05/2019 11:00:00	Data de Recebimento:	16/05/2019
Temperatura de campo (°C) (fornecido pelo cliente):	---	Tipo de Amostra	Água
Temperatura de recebimento (°C)	<5	Tipo de Coleta	Simplex
Coletor	Cliente	Observações	---

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA
Legislação ou Norma: Sem Comparativo

BACTERIOLOGICO				
Início dos Ensaios: 16/05/2019				
Parâmetros	Unidade	Resultados	LQ	Sem Comparativo
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	<1,8	1,8	---
Coliformes Totais	NMP/100 mL	<1,8	1,8	---
Escherichia coli	NMP/100mL	<1,8	1,8	---

REFERÊNCIAS METODOLÓGICAS

Coliformes Termotolerantes: SMWW 9221 E

Coliformes Totais: SMWW 9221 B

Escherichia coli: SMWW 9223 B



LABORATÓRIO OCEANUS – HIDROQUÍMICA

REG.INEA:UN015590/55.11.10 / REG.INEA:UN016133/55.11.10
 www.oceanus.bio.br / www.hidroquimicabr.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO: 43719/2019-1.0

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85
Bairro:	Engenho Novo
Cidade:	Rio de Janeiro
UF:	Rio de Janeiro
CEP:	20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 98205-7523 flavioqiro@msn.com
Processo Comercial:	521/2019-3

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	
Referência Hidroquímica:	933362
Referência do cliente:	RC
Dados Adicionais:	---

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Data de Coleta:	16/05/2019 11:00:00	Data de Recebimento:	16/05/2019
Temperatura de campo (°C) (fornecido pelo cliente):	---	Tipo de Amostra	Água
Temperatura de recebimento (°C)	<5	Tipo de Coleta	Simples
Coletor	Cliente	Observações	---

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA
Legislação ou Norma: Sem Comparativo

BACTERIOLOGICO				
Início dos Ensaio: 16/05/2019				
Parâmetros	Unidade	Resultados	LQ	Sem Comparativo
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	23,0	1,8	---
Coliformes Totais	NMP/100 mL	23,0	1,8	---
Escherichia coli	NMP/100mL	23,0	1,8	---

REFERÊNCIAS METODOLÓGICAS

Coliformes Termotolerantes: SMWW 9221 E

Coliformes Totais: SMWW 9221 B

Escherichia coli: SMWW 9223 B



REG.INEA:UND15590/55.11.10 / REG.INEA:UND16133/55.11.10
 www.oceanus.bio.br / www.hidroquimicabr.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO: 43715/2019-1.0

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85
Bairro:	Engenho Novo
Cidade:	Rio de Janeiro
UF:	Rio de Janeiro
CEP:	20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 98205-7523 flaviogiro@men.com
Processo Comercial:	621/2019-3

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	
Referência Hidroquímica:	933360
Referência do cliente:	FF
Dados Adicionais:	---

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Data de Coleta:	16/05/2019 11:00:00	Data de Recebimento:	16/05/2019
Temperatura de campo (°C) (fornecido pelo cliente):	---	Tipo de Amostra	Água
Temperatura de recebimento (°C)	<5	Tipo de Coleta	Simples
Coletor	Cliente	Observações	---

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA	
Legislação ou Norma: Sem Comparativo	

BACTERIOLOGICO				
Início dos Ensaio: 16/05/2019				
Parâmetros	Unidade	Resultados	LQ	Sem Comparativo
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	23,0	1,8	---
Coliformes Totais	NMP/100 mL	23,0	1,8	---
Escherichia coli	NMP/100mL	23,0	1,8	---

REFERÊNCIAS METODOLÓGICAS

Coliformes Termotolerantes: SMWW 9221 E

Coliformes Totais: SMWW 9221 B

Escherichia coli: SMWW 9223 B



LABORATÓRIO OCEANUS – HIDROQUÍMICA

REG.INEA:UND15590/55.11.10 / REG.INEA:UND16133/55.11.10
 www.oceanus.bio.br / www.hidroquimicabr.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO: 43718/2019-1.0

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85
Bairro:	Engenho Novo
Cidade:	Rio de Janeiro
UF:	Rio de Janeiro
CEP:	20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 99205-7523 flavioqiro@msn.com
Processo Comercial:	521/2019-3

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	
Referência Hidroquímica:	933361
Referência do cliente:	PD
Dados Adicionais:	---

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Data de Coleta:	16/05/2019 11:00:00	Data de Recebimento:	16/05/2019
Temperatura de campo (°C) (fornecido pelo cliente):	---	Tipo de Amostra	Água
Temperatura de recebimento (°C)	<5	Tipo de Coleta	Simplex
Coletor	Cliente	Observações	---

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA
Legislação ou Norma: Sem Comparativo

BACTERIOLOGICO				
Início dos Ensaios: 16/05/2019				
Parâmetros	Unidade	Resultados	LQ	Sem Comparativo
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	<1,8	1,8	---
Coliformes Totais	NMP/100 mL	13,0	1,8	---
<i>Escherichia coli</i>	NMP/100mL	<1,8	1,8	---

REFERÊNCIAS METODOLÓGICAS

Coliformes Termotolerantes: SMWW 9221 E

Coliformes Totais: SMWW 9221 B

Escherichia coli: SMWW 9223 B



LABORATÓRIO OCEANUS – HIDROQUÍMICA

REG.INEA:UND16590/55.11.10 / REG.INEA:UND16133/55.11.10
 www.oceanus.bio.br / www.hidroquimicabr.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO: 77798/2019-1.0

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85
Bairro:	Engenho Novo
Cidade:	Rio de Janeiro
UF:	Rio de Janeiro
CEP:	20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 98205-7523 flaviogiro@msn.com
Processo Comercial:	521/2019-5

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	
Referência Hidroquímica:	935749
Referência do cliente:	Reservatório Superior - RS
Dados Adicionais:	---

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Data de Coleta:	21/08/2019 13:00:00	Data de Recebimento:	21/08/2019
Temperatura de campo (°C) (fornecido pelo cliente):	---	Tipo de Amostra	Água
Temperatura de recebimento (°C)	<5	Informações Relevantes	---
Coletor	Cliente	Cloro livre de campo	---
pH de Campo (fornecido pelo cliente):	---	Observações	---
Tipo de Coleta	Simplex		

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA
Legislação ou Norma: Sem Comparativo

BACTERIOLÓGICO				
Início dos Ensaios: 21/08/2019				
Parâmetros	Unidade	Resultados	LQ	Sem Comparativo
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	<1,8	1,8	---
Coliformes Totais	NMP/100 mL	<1,8	1,8	---
Escherichia coli	NMP/100mL	<1,8	1,8	---

REFERÊNCIAS METODOLÓGICAS

Coliformes Termotolerantes: SMWW 9221 E

Coliformes Totais: SMWW 9221 B

Escherichia coli: SMWW 9223 B



REG.INEA:UND15590/55.11.10 / REG.INEA:UND16133/55.11.10
 www.oceanus.bio.br / www.hidroquimicabr.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO: 77797/2019-1.0

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85
Bairro:	Engenho Novo
Cidade:	Rio de Janeiro
UF:	Rio de Janeiro
CEP:	20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 98205-7523 flaviogiro@men.com
Processo Comercial:	521/2019-5

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	
Referência Hidroquímica:	985748
Referência do cliente:	Reservatório Inferior - RI
Dados Adicionais:	---

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Data de Coleta:	21/08/2019 13:00:00	Data de Recebimento:	21/08/2019
Temperatura de campo (°C) (fornecido pelo cliente):	---	Tipo de Amostra	Água
Temperatura de recebimento (°C)	<5	Informações Relevantes	---
Coletor	Cliente	Cloro livre de campo	---
pH de Campo (fornecido pelo cliente):	---	Observações	---
Tipo de Coleta	Simplex		

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA
Legislação ou Norma: Sem Comparativo

BACTERIOLÓGICO				
Início dos Ensaio: 21/08/2019				
Parâmetros	Unidade	Resultados	LQ	Sem Comparativo
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	>1600,0	1,8	---
Coliformes Totais	NMP/100 mL	>1600,0	1,8	---
Escherichia coli	NMP/100mL	>1600,0	1,8	---

REFERÊNCIAS METODOLÓGICAS

Coliformes Termotolerantes: SMWW 9221 E

Coliformes Totais: SMWW 9221 B

Escherichia coli: SMWW 9223 B

ANEXO J – Relatório de análise biológica do FF (Agosto)



LABORATÓRIO OCEANUS – HIDROQUÍMICA

REG.INEA:UND15590/55.11.10 / REG.INEA:UND16133/55.11.10
 www.oceanus.bio.br / www.hidroquimicabr.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO: 77793/2019-1.0

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85
Bairro:	Engenho Novo
Cidade:	Rio de Janeiro
UF:	Rio de Janeiro
CEP:	20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 98205-7523 flaviogiro@msn.com
Processo Comercial:	521/2019-5

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	
Referência Hidroquímica:	935747
Referência do cliente:	First Flush - FF
Dados Adicionais:	---

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Data de Coleta:	21/08/2019 13:00:00	Data de Recebimento:	21/08/2019
Temperatura de campo (°C) (fornecido pelo cliente):	---	Tipo de Amostra	Água
Temperatura de recebimento (°C)	<5	Informações Relevantes	---
Coletor	Cliente	Cloro livre de campo	---
pH de Campo (fornecido pelo cliente):	---	Observações	---
Tipo de Coleta	Simplex		

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA
Legislação ou Norma: Sem Comparativo

BACTERIOLÓGICO				
Início dos Ensaio: 21/08/2019				
Parâmetros	Unidade	Resultados	LQ	Sem Comparativo
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	>1600,0	1,8	---
Coliformes Totais	NMP/100 mL	>1600,0	1,8	---
Escherichia coli	NMP/100mL	>1600,0	1,8	---

REFERÊNCIAS METODOLÓGICAS

Coliformes Termotolerantes: SMWW 9221 E

Coliformes Totais: SMWW 9221 B

Escherichia coli: SMWW 9223 B

ANEXO K – Relatório de análise biológica da PD (Agosto)



LABORATÓRIO OCEANUS – HIDROQUÍMICA

REG.INEA:UND15590/55.11.10 / REG.INEA:UND16133/55.11.10
 www.oceanus.bio.br / www.hidroquimicabr.com.br

RELATÓRIO DE ENSAIO: 77801/2019-1.0

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85
Bairro:	Engenho Novo
Cidade:	Rio de Janeiro
UF:	Rio de Janeiro
CEP:	20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 98205-7523 flaviogiro@msn.com
Processo Comercial:	521/2019-5

IDENTIFICAÇÃO DA AMOSTRA	
Referência Hidroquímica:	985750
Referência do cliente:	Precipitação Direta - PD
Dados Adicionais:	---

DADOS REFERENTES À AMOSTRA			
Data de Coleta:	21/08/2019 13:00:00	Data de Recebimento:	21/08/2019
Temperatura de campo (°C) (fornecido pelo cliente):	---	Tipo de Amostra	Água
Temperatura de recebimento (°C)	<5	Informações Relevantes	---
Coletor	Cliente	Cloro livre de campo	---
pH de Campo (fornecido pelo cliente):	---	Observações	---
Tipo de Coleta	Simplex		

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA
Legislação ou Norma: Sem Comparativo

BACTERIOLÓGICO				
Início dos Ensaio: 21/08/2019				
Parâmetros	Unidade	Resultados	LQ	Sem Comparativo
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	<1,8	1,8	---
Coliformes Totais	NMP/100 mL	<1,8	1,8	---
Escherichia coli	NMP/100mL	<1,8	1,8	---

REFERÊNCIAS METODOLÓGICAS

Coliformes Termotolerantes: SMWW 9221 E
 Coliformes Totais: SMWW 9221 B
 Escherichia coli: SMWW 9223 B

ANEXO L – Relatório de análise biológica do RS (Dezembro)



RELATÓRIO DE ENSAIO: 125641/2019-1.0
Proposta Comercial 521/2019-6

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85, Engenho Novo - Rio de Janeiro/RJ - CEP: 20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 98205-7523 flaviogiro@msn.com

DADOS REFERENTES À AMOSTRA	
Identificação do ponto: Reservatório Superior(RS)	
ID do Projeto: Proposta Comercial - Análise Microbiológica	Referência Oceanus: 1074118
Matriz: Água de Reuso	Data da amostragem: 19/12/2019 13:00
Data de emissão do R.E.: 05/01/2020	Data de recebimento: 19/12/2019
Tipo de Coleta: Simples	Coletor: Cliente
Temperatura de recebimento (°C): <5	

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA
Microbiológico
Início dos Ensaios: 20/12/2019

Parâmetros	Unidade	LQ / Faixa	Fator de Diluição	Resultados
Escherichia coli	NMP/100mL	1,8	---	<1,8
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1,8	---	<1,8
Coliformes Totais	NMP/100 mL	1,8	---	<1,8

INFORMAÇÕES RELEVANTES

ANEXO M – Relatório de análise biológica do RI (Dezembro)

**RELATÓRIO DE ENSAIO: 125640/2019-1.0**

Proposta Comercial 521/2019-6

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85, Engenho Novo - Rio de Janeiro/RJ - CEP: 20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 98205-7523 flaviogiro@msn.com

DADOS REFERENTES À AMOSTRA	
Identificação do ponto: Reservatório Inferior(RI)	
ID do Projeto: Proposta Comercial - Análise Microbiológica	Referência Oceanus: 1074117
Matriz: Água de Reuso	Data da amostragem: 19/12/2019 13:00
Data de emissão do R.E.: 05/01/2020	Data de recebimento: 19/12/2019
Tipo de Coleta: Simples	Coletor: Cliente
Temperatura de recebimento (°C): <5	

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA
Microbiológico
Início dos Ensaio: 20/12/2019

Parâmetros	Unidade	LQ / Faixa	Fator de Diluição	Resultados
Escherichia coli	NMP/100mL	1,8	---	<1,8
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1,8	---	<1,8
Coliformes Totais	NMP/100 mL	1,8	---	>1600,0

INFORMAÇÕES RELEVANTES

ANEXO N – Relatório de análise biológica do FF (Dezembro)



RELATÓRIO DE ENSAIO: 125639/2019-1.0
Proposta Comercial 521/2019-6

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85, Engenho Novo - Rio de Janeiro/RJ - CEP: 20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 98205-7523 flaviogiro@msn.com

DADOS REFERENTES À AMOSTRA	
Identificação do ponto: First Flush(FF)	
ID do Projeto: Proposta Comercial - Análise Microbiológica	Referência Oceanus: 1074116
Matriz: Água de Reuso	Data da amostragem: 19/12/2019 13:00
Data de emissão do R.E.: 05/01/2020	Data de recebimento: 19/12/2019
Tipo de Coleta: Simples	Coletor: Cliente
Temperatura de recebimento (°C): <5	

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA
Microbiológico
Início dos Ensaios: 20/12/2019

Parâmetros	Unidade	LQ / Faixa	Fator de Diluição	Resultados
Escherichia coli	NMP/100mL	1,8	---	79,0
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1,8	---	79,0
Coliformes Totais	NMP/100 mL	1,8	---	240,0

INFORMAÇÕES RELEVANTES

ANEXO O – Relatório de análise biológica da PD (Dezembro)



RELATÓRIO DE ENSAIO: 125642/2019-1.0
Proposta Comercial 521/2019-6

DADOS REFERENTES AO CLIENTE	
Empresa Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Endereço:	Rua da Bela Vista, 85, Engenho Novo - Rio de Janeiro/RJ - CEP: 20.950-320
Nome do Solicitante:	Flávio Giro de Oliveira
Dados para contato:	21 98205-7523 flaviogiro@msn.com

DADOS REFERENTES À AMOSTRA	
Identificação do ponto: Precipitação Direta(PD)	
ID do Projeto: Proposta Comercial - Análise Microbiológica	Referência Oceanus: 1074119
Matriz: Água de Reuso	Data da amostragem: 19/12/2019 13:00
Data de emissão do R.E.: 05/01/2020	Data de recebimento: 19/12/2019
Tipo de Coleta: Simples	Coletor: Cliente
Temperatura de recebimento (°C): <5	

RESULTADOS ANALÍTICOS DA AMOSTRA
Microbiológico
Início dos Ensaio: 20/12/2019

Parâmetros	Unidade	LQ / Faixa	Fator de Diluição	Resultados
Escherichia coli	NMP/100mL	1,8	---	<1,8
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 mL	1,8	---	<1,8
Coliformes Totais	NMP/100 mL	1,8	---	<1,8

INFORMAÇÕES RELEVANTES