



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciências

Faculdade de Engenharia

Leticia Delduque Alves

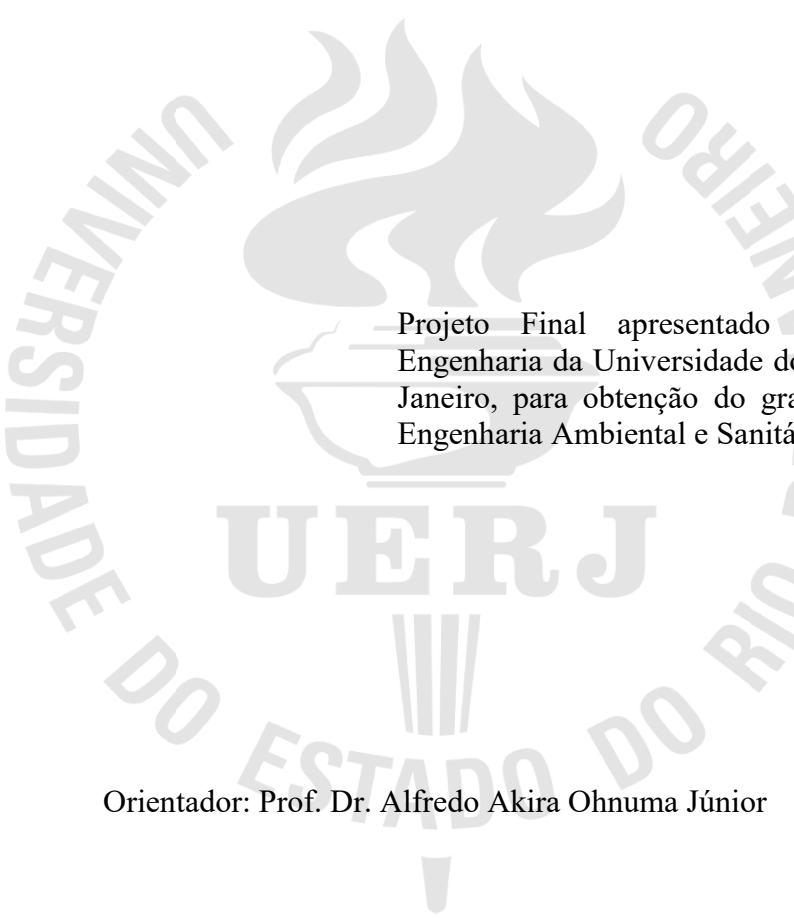
**Influência do tipo de revestimento de telhados na qualidade de águas pluviais na região
centro norte da cidade do Rio de Janeiro-RJ**

Rio de Janeiro

2022

Letícia Delduque Alves

**Influência do tipo de revestimento de telhados na qualidade de águas pluviais na região
centro norte da cidade do Rio de Janeiro-RJ**



Projeto Final apresentado à Faculdade de
Engenharia da Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, para obtenção do grau de bacharel em
Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientador: Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior

Rio de Janeiro

2022

Ficha elaborada pelo autor através do
Sistema para Geração Automática de Ficha Catalográfica da Rede Sirius - UERJ

- A474 Alves, Leticia Delduque.
 Influência do tipo de revestimento de telhados na
 qualidade de águas pluviais na região centro... /
 Leticia Delduque Alves. - 2022.
 77 f.
- Orientador: Afredo Akira Ohnuma Júnior.
 Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
 Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade
 de Engenharia, para obtenção do grau de bacharel em
 Engenharia Ambiental.
1. Engenharia Ambiental - Monografias. 2.
 Recursos Hídricos - Monografias. 3. Águas Pluviais
 Urbanas - Monografias. I. Ohnuma Júnior, Afredo
 Akira. II. Universidade do Estado do Rio de Janeiro.
 Faculdade de Engenharia. III. Título.

CDU 628+502

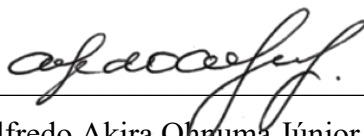
Letícia Delduque Alves

**Influência do tipo de revestimento de telhados na qualidade de águas pluviais na região
centro norte da cidade do Rio de Janeiro-RJ**

Projeto Final apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, para obtenção do grau de bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

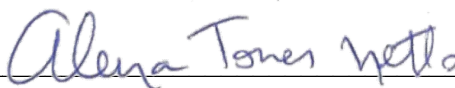
Aprovado em: 13 de Maio de 2022.

Banca Examinadora:



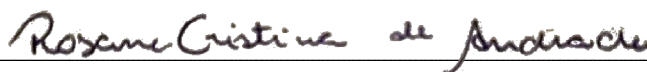
Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior (Orientador)

Faculdade de Engenharia – UERJ



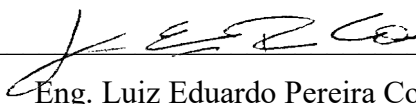
Prof. Dra. Alena Torres Netto

Faculdade de Engenharia – UERJ



Prof. Dra. Rosane Cristina De Andrade

Faculdade de Engenharia – UERJ



Eng. Luiz Eduardo Pereira Coelho

Diretor e sócio da Bioscare LTDA

DEDICATÓRIA

A Deus, por permitir mais essa vitória. Aos meus avós, Aniram e Dário. A minha querida avó Wilma e tia Mary que não se encontram mais conosco neste plano mas tenho certeza de que me acompanham nesta jornada chamada vida.

AGRADECIMENTOS

A minha família que me apoiou durante esses seis anos de graduação, em especial aos meus pais, Ariane Delduque e Sergio Alves. A minha irmã Camille Delduque e cunhado Allan Melo, que eu faço questão de mostrar todos os meus trabalhos desenvolvidos durante esses anos de graduação. Aos meus avós, Aniram Delduque e Dário Alves que apoiaram indescritivelmente nessa jornada.

Ao meu amor, Julio Marreiros, que compartilho a vida, divido as lutas e celebro as vitórias, que nunca me deixou subestimar o meu potencial e sempre acreditou em mim. Esta vitória é nossa.

As minhas amigas uerjianas, Beatriz Rocha, Carine Marques, Caroline Moreira e Jaqueline Costa, pela paciência, companheirismo e o apoio quando necessário por todos os infinitos períodos, perrengues, felicidades e momentos difíceis que passamos juntas dentro e fora da universidade.

Ao meu orientador, Prof. Doutor Alfredo Akira Ohnuma Júnior, por toda a ajuda e orientação, dando estímulos para o desenvolvimento deste trabalho e pelas conversas sobre a vida no meio desses anos de iniciação científica e graduação.

A Equipe do Projeto de Sistemas de Águas Pluviais - SAP.

Aos professores da UERJ, pelos ensinamentos, dentro e fora da sala de aula.

A UERJ, porque sem ela não poderia ter realizado este sonho.

A todos aqueles, que embora não citados nominalmente, contribuíram direta e indiretamente para a execução deste trabalho.

De todos os materiais, a água é o mais resiliente. Sobe até os céus, desce como gotas de lágrima, percorre corredeiras, despenca nas cachoeiras, cabe orgulhosamente no oceano ou humildemente no contorno dos olhos. Não resiste aos obstáculos; desvia sem reclamar. Deveríamos ser como a água. Caímos, nos levantamos. Somos pisados, contornamos. Somos excluídos, evaporamos, vamos para outros ares.

Augusto Cury

RESUMO

Alves, Letícia Delduque. *Influência do tipo de revestimento de telhados na qualidade de águas pluviais na região centro norte da cidade do Rio de Janeiro-RJ*. 2022. 77f. Projeto final (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022

A demanda por recursos hídricos no Brasil tem aumentado ao longo dos anos e há a necessidade de suprir a população, de usos potáveis e não potáveis, como lavagem de pisos, descarga de bacias sanitárias e irrigação de jardins. Na redução da dependência de mananciais, o aproveitamento da água da chuva tem se tornado um tema fundamental, no sentido de garantir a sustentabilidade dos recursos hídricos e a melhoria de condições sanitárias em determinadas localidades, em função das condições ambientais, sociais e econômicas. Este trabalho visa avaliar a influência de tipos de revestimentos de telhados metálicos (CAP1) e de fibrocimento (CAP2) na qualidade de águas pluviais obtidas de sistemas de captação e armazenamento de água de chuva na zona norte da cidade do Rio de Janeiro. Foram coletadas e analisadas amostras sazonais de volumes armazenados de água de chuva nos pontos do first flush e reservatório ao longo de 2017 a 2019, em atendimento às normas NBR 15.527/2019, NBR 16.783/2019 e a Portaria GM/MS nº 888/2021. Os parâmetros utilizados para a caracterização das águas pluviais foram: Cloreto, Cloro residual, Condutividade elétrica, Cor, COD, Dureza, Coliformes totais e termotolerantes, pH e Turbidez. As metodologias utilizadas para a avaliação dos dados de qualidade das águas pluviais foram a estatística descritiva e análise de boxplot, análise de componentes principais e matriz correlação utilizando o Programa R. Conclui-se que os sistemas CAP1 e CAP2 atenderam aos principais limites estabelecidos pela NBR 15.527/2019, NBR 16.783/2019 e a Portaria GM/MS nº 888/2021. O CAP2 com telhado de fibrocimento apresentou resultados mais altos para a condutividade, dureza e o pH, com um teor mais alcalino, quando comparado com o telhado metálico do CAP1. Para os parâmetros cloreto, cor, COD e turbidez, o telhado metálico obteve valores maiores do que o telhado de fibrocimento.

Palavras-chave: Sistemas de captação e armazenamento das águas pluviais; Águas pluviais urbanas; Cobertura de telhados; Telhado metálico; Telhado de fibrocimento.

ABSTRACT

Alves, Leticia Delduque. *Influence of the type of roof covering on the quality of rainwater in the north central region of the city of Rio de Janeiro-RJ*. 2022. 77f. Projeto final (Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2022

The demand for water resources in Brazil has increased over the years and there is a need to supply the population with potable and non-potable uses, such as washing floors, flushing toilets and irrigating gardens. In reducing dependence on water sources, the use of rainwater has become a fundamental issue, in the sense of guaranteeing the sustainability of water resources and the improvement of sanitary conditions in certain locations, depending on environmental, social and economic conditions. This work aims to evaluate the influence of types of metallic (CAP1) and fiber cement (CAP2) roof coverings on the quality of rainwater obtained from rainwater harvesting and storage systems in the northern part of the city of Rio de Janeiro. Seasonal samples of stored volumes of rainwater were collected and analyzed at the points of the first flush and reservoir throughout 2017 to 2019, in compliance with the standards NBR 15.527/2019, NBR 16.783/2019 and Ordinance GM/MS No. 888/2021 . The parameters used for the characterization of rainwater were: Chloride, Residual Chlorine, Electrical Conductivity, Color, DOC, Hardness, Total and thermotolerant coliforms, pH and Turbidity. The methodologies used for the evaluation of rainwater quality data were descriptive statistics and boxplot analysis, principal components analysis and correlation matrix using the R Program. It is concluded that the CAP1 and CAP2 systems met the main limits established by NBR 15.527/2019, NBR 16.783/2019 and Ordinance GM/MS no. 888/2021. CAP2 with fiber cement roof showed higher results for conductivity, hardness and pH, with a more alkaline content, when compared to the metallic roof of CAP1. For the chloride, color, DOC and turbidity parameters, the metallic roof obtained higher values than the fiber cement roof.

Keywords: Rainwater collection and storage systems; urban rainwater; Roof material; Metal roof; Fiber cement roof.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -	Percentual de distribuição de água doce no planeta Terra no século XX.....	5
Figura 2 -	Comparativo entre disponibilidade hídrica e população no mundo	7
Figura 3 -	Comparativo entre disponibilidade hídrica e população no Brasil em 2014....	9
Figura 4 -	Retirada dos usos consuntivos setoriais em 2020	10
Figura 5 -	Evolução dos usos consuntivos setoriais: anos 2000 - 2040 no Brasil.....	10
Figura 6 -	Consumo per capita de água (L/hab.dia) no Brasil em 2020.....	12
Figura 7 -	Localização dos sistemas de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro.....	32
Figura 8 -	Componentes dos sistemas de águas pluviais CAP1 (a) e CAP2 (b)	34
Figura 9 -	Média mensal histórica de chuva e acumulado mensal do período do estudo..	37
Figura 10 -	Representação do boxplot	39
Figura 11 -	Resultados para o parâmetro cloreto nos pontos FF e RR	46
Figura 12 -	Resultados para o parâmetro condutividade nos pontos FF e RR	46
Figura 13 -	Resultados para o parâmetro cor nos pontos FF e RR	47
Figura 14 -	Resultados para o parâmetro COD nos pontos FF e RR	47
Figura 15 -	Resultados para o parâmetro dureza nos pontos FF e RR	48
Figura 16 -	Resultados para os parâmetros coliformes totais e termotolerantes no ponto do RR do sistema CAP1	49
Figura 17 -	Resultados para o parâmetro pH nos pontos FF e RR	49
Figura 18 -	Resultados para o parâmetro Turbidez nos pontos FF e RR	50
Figura 19 -	Análise de componentes principais (a) e matriz correlação (b) do sistema CAP1	52
Figura 20 -	Análise de componentes principais (a) e matriz correlação (b) do sistema CAP2	53

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Produção hídrica no mundo	6
Tabela 2 - Classificação da disponibilidade de água doce com dados obtidos em 2002.....	8
Tabela 3 - Usos finais de água potável para consumo doméstico	13
Tabela 4 - Diferentes níveis de qualidade da água exigidos conforme uso	19
Tabela 5 - Parâmetros para águas pluviais NBR 15.527/2019	24
Tabela 6 - Parâmetros para água não potável da NBR 16.783/2019	25
Tabela 7 - Parâmetros para água potável Portaria GM/MS nº 888/2021	26
Tabela 8 - Principais características dos sistemas de águas pluviais do presente estudo ...	33
Tabela 9 - Controle de amostras analisadas nos sistemas entre os anos de 2017 a 2019.....	35
Tabela 10 - Metodologias utilizadas para as análises de qualidade das águas pluviais	36
Tabela 11 - Acumulado anual e média mensal anual na estação pluviométrica da Tijuca...	37
Tabela 12 - Estatística descritiva das variáveis qualitativas de águas pluviais coletadas nos sistema CAP1 e CAP.....	41

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
C	Coeficiente de escoamento superficial
CAP	Captação de águas pluviais
CBIC	Câmara Brasileira da Indústria da Construção
COD	Carbono Orgânico Dissolvido
COT	Carbono Orgânico Total
<i>E.coli</i>	<i>Escherichia Coli</i>
MDR	Ministério do Desenvolvimento Regional
mg	micrograma
mL	miligramas
NBR	Norma Brasileira
OMS	Organização Mundial da Saúde
ONU	Organização das Nações Unidas
PEC	Proposta de Emenda Constitucional
PL	Projeto de lei
PNRH	Política Nacional de Recursos Hídricos
PVC	Policloreto de vinila
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
UFSC	Universidade Federal de Santa Catarina
UNEP	United Nations Environment Programme
uT	Unidade de turbidez
μS/cm	microsiemens por centímetro

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO	1
1 OBJETIVOS	2
1.1 Objetivo Geral	2
1.2 Objetivos Específicos	3
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	4
2.1 A importância do uso da água	4
2.2 Disponibilidade hídrica	5
2.3 Consumo de água em ambiente doméstico	11
2.4 Consumo de água em ambiente escolar	14
2.5 Aproveitamento de águas pluviais	15
2.5.1 <u>Elementos de um sistema de captação, armazenamento e aproveitamento de água de</u> <u>chuva</u>	16
2.5.1.1 Captação	17
2.5.1.2 Calhas e condutores	18
2.5.1.3 Armazenamento	18
2.5.1.4 Tratamento de águas pluviais	19
2.6 Aspectos legais de sistemas de águas pluviais	20
2.6.1 <u>Lei nº 9.433 de 1997 - Política Nacional dos Recursos Hídricos</u>	21
2.6.2 <u>Norma Técnica Brasileira ABNT NBR 15.527/2019</u>	22
2.6.3 <u>Norma Técnica Brasileira ABNT NBR 16.783 de 2019</u>	24
2.6.4 <u>Portaria GM/MS nº888 de 2021</u>	25
2.7 Qualidade das águas pluviais	26
2.7.1 <u>Cloreto</u>	27
2.7.2 <u>Cloro Residual</u>	28
2.7.3 <u>Condutividade elétrica</u>	28
2.7.4 <u>Cor</u>	28
2.7.5 <u>Carbono Orgânico Total (COT)</u>	29
2.7.5.1 Carbono Orgânico Dissolvido (COD)	29
2.7.6 <u>Dureza</u>	30
2.7.7 <u>Escherichia coli</u>	30
2.7.8 <u>pH</u>	31

2.7.9 <u>Turbidez</u>	31
3 METODOLOGIA	31
3.1 Caracterização do sistema de águas pluviais e área de estudo.....	31
3.2 Procedimento Amostral	35
3.3 Caracterização pluviométrica da região	36
3.4 Análise de resultados.....	38
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1 Análises estatísticas com Excel e Boxplot.....	40
4.2 Análise dos componentes principais (ACP) e matriz de correlação	50
CONCLUSÃO	54
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	57

INTRODUÇÃO

Apesar da abundância de água no planeta, este recurso é limitado, na medida em que se observa uma reduzida parcela de água doce disponível e uma certa irregularidade de oferta hídrica em determinadas regiões. O crescimento desordenado da população mundial, associado a disponibilidade e qualidade dos recursos hídricos, tem prejudicado o abastecimento de água para o consumo humano, de modo a desencadear crises de escassez e conflitos entre as nações.

Estes conflitos desencadeados pela demanda e oferta deste recurso também é observado em território nacional. A bacia do Paraíba do Sul, região de grandes conflitos de interesses, foi afetada com a crise hídrica do Sudeste de 2014 e 2015, gerando um impacto no sistema de abastecimento de uma região populosa e de maior demanda hídrica do Brasil. As tensões sofreram uma escalada à partir do momento em que os estoques nos reservatórios apresentaram volumes reduzidos em consequência de precipitações e vazões inferiores à média nos anos de 2014 e 2015, tendo o seu ponto mais crítico no último ano com apenas 0,33% de seu volume útil (ANA, 2017).

A perspectiva gera uma grande dicotomia em relação ao atual panorama uma vez que a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico - ANA (2019) estima um aumento de 24% no padrão de consumo de água até 2030 no Brasil, evidenciando que medidas e providências já são necessárias. Em 2017, o consumo de água na região hidrográfica do Atlântico Sudeste, onde está inserido o Estado do Rio de Janeiro, apresentou uma maior demanda para o abastecimento humano (44,8%), seguido de irrigação (24,1%) e o uso em termelétricas (12,6%). Segundo o Relatório de Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto de 2019, o estado tem o consumo de 207 L/hab.dia, apesar de ter obtido uma queda de 17% entre os anos de 2017 e 2019. Apesar da redução no consumo, o Rio de Janeiro ainda é o maior consumidor de água do país.

Assegurar a disponibilidade da água em seus padrões de qualidade adequados para a geração atual e futura é um objetivo da Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH), instituída pela Lei nº 9.433/1997. A Lei das Águas tornou segmentada a necessidade de proteger os recursos hídricos do Brasil a fim de garantir o desenvolvimento sustentável e a manutenção de um meio ambiente e uma sociedade equilibrada (BRASIL, 1997).

As alterações no ciclo hidrológico são resultados de uma somatória de fatores, dentre eles destaca-se os processos conturbados de urbanização o qual ocorreram nas principais

cidades do Brasil. Tais processos de urbanização geram consequências prejudiciais para a população, como o aumento dos volumes do escoamento superficial e a ampliação de áreas impermeáveis (VASCONCELOS, MIGUEZ, & VAZQUEZ, 2016). Nas últimas décadas, eventos pluviométricos extremos têm se tornado frequentes, em resposta às alterações do clima e aos processos de uso e ocupação do solo (DA SILVA, DA CRUZ, e DO AMARAL, 2016).

Uma das alternativas para amortecer os impactos de natureza hidrológica, principalmente nas regiões metropolitanas, é a adoção de técnicas compensatórias de drenagem urbana, como no uso de sistemas de armazenamento de águas pluviais. A Lei nº 13.501/2017 inclui nos objetivos da PNRH, o incentivo à utilização de sistemas de captação, armazenamento e o aproveitamento de águas pluviais, como ações de uso da água da chuva para fins não potáveis, em atividades de: irrigação de jardins, limpeza de pisos, agrícolas e industriais. Estes sistemas possuem aspectos ambientais e econômicos positivos (BENETTI, 2019), e também podem ser uma ferramenta de conscientização pelo uso racional da água.

A NBR 15.527/2019 estabelece as condições mínimas para o uso da água da chuva, quanto aos parâmetros físico-químicos de qualidade da água para fins não potáveis. A qualidade do volume armazenado depende de fatores, como: tipo de materiais e telhados usados para a captação e armazenamento, características físicas e dinâmicas da área de estudo e também da concentração de poluentes carregados durante eventos de precipitação ou do escoamento superficial no telhado (ABNT, 2019a).

1 OBJETIVOS

1.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi avaliar a qualidade da água de chuva armazenada em dois sistemas de águas pluviais, situados na região norte da cidade do Rio de Janeiro.

1.2 Objetivos Específicos

- (i) analisar os parâmetros físico-químicos de amostras de água de chuva dos sistemas de armazenamento de águas pluviais CAP1 e CAP2, situados respectivamente nos bairros Rio Comprido e Maracanã, na cidade do Rio de Janeiro;
- (ii) avaliar a qualidade das águas pluviais, em função de seu uso a partir de referências e normas brasileiras adequadas;
- (iii) avaliar a influência do tipo de material de revestimento do telhado como metálico e de fibrocimento, utilizado na captação da água da chuva.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 A importância do uso da água

A água é, legalmente, um recurso natural limitado, dotado de valor econômico e bem de domínio público e não só, um recurso essencial para a sobrevivência do ser humano, no sentido de facilitar suas atividades em condições adequadas nos aspectos sanitário, social e cultural na humanidade (BRASIL, 1997; UNESCO, 2021a).

Um dos maiores consumidores de água doce do mundo é a agricultura que utiliza cerca de 69% dos recursos hídricos. Com o crescimento populacional mundial, a previsão de aumento da demanda por alimento e produtos agrícolas é de 50% até 2050. Desta forma, a segurança alimentar se torna um grande desafio pois, em muitas regiões do mundo, o uso da água para a produção de alimentos acarreta em degradação ambiental, incluindo o esgotamento de aquíferos e a redução dos fluxos dos rios (UNESCO, 2021a).

Segundo o *UN World Water Development Report* (2021a), a indústria e energia juntos utilizam 19% da água doce e em virtude das características desses setores, há uma elevada monetização, na qual às vezes pode excluir certos aspectos de valor.

Mundialmente, há um pouco mais de 10 (dez) anos atrás, a Organização das Nações Unidas (ONU) inseriu a água limpa e segura e o saneamento básico como um direito humano fundamental. Os países concordam e reconhecem a água como direito básico, porém não possuem tecnologia ou financiamento para garanti-la a população. O estudo de Hutton e Varughese (2016) estimou um gasto de US\$ 114 bilhões de dólares por ano para o alcance a esses direitos básicos em 140 países de média e baixa renda.

A Constituição Federal Brasileira de 1988 reconhece diferentes direitos humanos como o direito à vida e o princípio da dignidade humana. O país reconhece e entende a água enquanto direito humano, entretanto, ainda não há legislação no que tange ao acesso à água e saneamento básico como direito humano fundamental. Há sim uma tramitação, na Câmara dos Deputados, da Proposta de Emenda Constitucional (PEC) 6 de 2021, criada pelo senador Jorge Viana, na qual é incluída a água potável como direito fundamental.

Durante a pandemia, a Organização Mundial da Saúde (OMS) estabeleceu que uma das principais medidas de proteção, além do isolamento social, era a higienização das mãos com água e sabão. Desta forma, o acesso inadequado à água e ao saneamento, aumentaram os

riscos para essas pessoas. No mundo, mais de 3 bilhões de pessoas não têm acesso às instalações sanitárias, relacionadas à higiene e segurança alimentar. Só no Brasil, são mais de 35 milhões sem acesso à água tratada (TRATA BRASIL, 2022).

A atribuição de valor às águas e seus benefícios é altamente subjetivo quando observado no âmbito cultural. A cultura de uma sociedade, grupo ou indivíduo influencia como a água é percebida e utilizada e, neste contexto, o bem ganha outras percepções: um papel na saúde mental, bem-estar espiritual, equilíbrio emocional e felicidade. A água com valor estético nas paisagens contribuem para a saúde mental. Muitas culturas, como a indígena, possuem um grande laço entre a água e seu território, sendo não só um bem material, mas de simbologia, relacionando-a à vida, quando água doce, ou morte, representado pela água do mar (DIEGUES, 2007).

Uma má valoração do recurso nesses âmbitos provoca o seu desperdício e mau uso, com altas descargas de poluentes e a degradação de sistemas marinhos e de água doce, causando altos níveis de estresse hídrico. Este fenômeno descreve um cenário no qual, em uma determinada região, a demanda por água é maior do que a sua disponibilidade e capacidade de renovação. De acordo com a UNESCO (2021b), cerca de 2 bilhões de pessoas já vivem em áreas sujeitas a estresse hídrico e até 2030, cerca de 40% da população mundial sofrerá de um *déficit* de acesso à água.

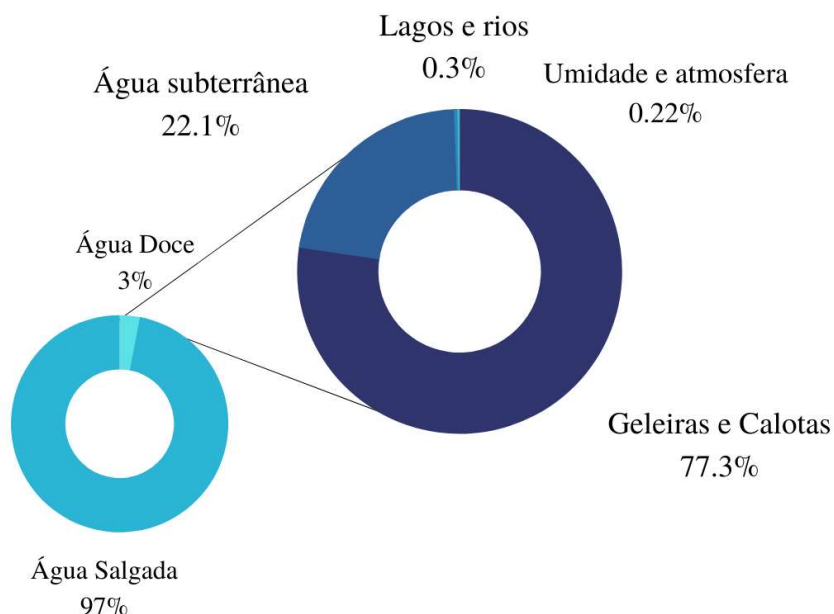
2.2 Disponibilidade hídrica

Há 61 anos, o russo Iuri Gagarin foi o primeiro homem a estar em um voo tripulado para orbitar a Terra e constatou: "A Terra é azul". Esta constatação se tornou famosa, a partir de um pensamento acerca das condições do planeta e da quantidade de água existente, em diferentes estados físicos e suas características.

A superfície terrestre é composta por mais de 70% de água e, deste percentual, apenas 3% são de água doce, onde 77% destes são representados pelas geleiras (água no estado sólido), 0,2% é a água pela umidade do solo e presente na atmosfera, o restante é a parcela disponível para o consumo, divididos em: aquíferos (22%) e, lagos e rios com apenas 0,33% (GRASSI, 2001).

De acordo com Branco (2006), o ciclo hidrológico proporciona, anualmente, descargas de água doce da ordem de 41.000 km³, no entanto as demandas mundiais estimadas no ano 2000 foram de 11% desse total.

Figura 1 - Percentual de distribuição de água doce no planeta Terra no século XX



Fonte: Adaptado de Grassi (2001)

Apesar de grande abundância em água, a sua parte disponível para o consumo humano apresenta uma distribuição não uniforme. De acordo com a ANA (2009), os continentes Ásia e as Américas detêm 31,8% e 39,6% da parcela mundial da água doce. Somente o Brasil, detém cerca de 12% deste total. Na Tabela 1 se encontram os percentuais de produção hídrica no mundo.

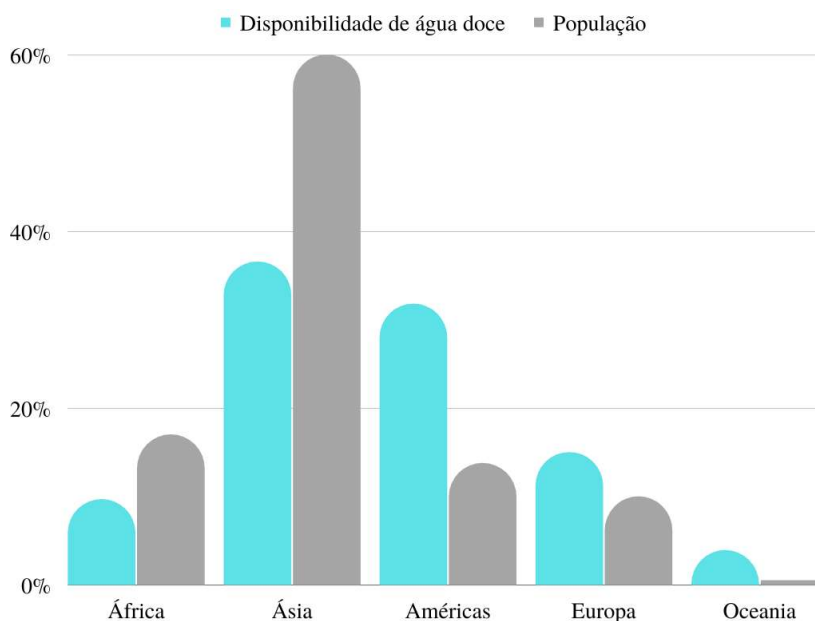
Tabela 1 – Produção hídrica no mundo

Região do Mundo	Porcentagem
África	9,7%
Ásia	39,6%
Américas	31,8%
Europa	15%
Oceania	3,9%

Fonte: Adaptado de ANA, 2009.

Além da irregularidade na disponibilidade de água em diferentes regiões, um outro fator que contribui para o estresse hídrico é sua relação com a densidade populacional. A América Latina possui cerca de 12 (doze) vezes mais água por habitante, se comparada à Ásia. Em termos nacionais, o Brasil possui mais águas disponíveis do que necessita para o consumo, enquanto países do Oriente Médio (Ásia), apresentam condições inferiores (DE MELO, 2010) (Figura 2).

Figura 2 - Comparativo entre disponibilidade hídrica e população no mundo



Fonte: Adaptado de DE MELO, 2010.

De acordo com a Figura 2, percebe-se que a desigualdade de disponibilidade de água faz com que muitos países sofram com a falta de água, enquanto outros são ricos nesses recursos. De Melo (2010) aponta que os países desérticos, como a Arábia Saudita e Líbia, possuem cerca de 200 m³/hab/ano. Em contrapartida, Brasil e Canadá apresentam valores de 100.000 m³/hab/ano.

De acordo o *International Water Management Institute* - IWMI (2014), quase 20% da população mundial, ou 1,2 bilhões de pessoas, vivem em áreas de escassez física de água, onde as captações de água para agricultura, indústria e outros propósitos ultrapassam 75% dos caudais dos rios. Além disso, cerca de 1,6 bilhões vivem em áreas com escassez econômica de água, onde a água está disponível, mas a capacidade humana ou os recursos financeiros limitam o acesso. Desse modo, é possível avaliar que mesmo um local apresentando grandes

reservas hídricas não é suficiente para a garantia de abastecimento de água da população (DE MELO, 2010).

Outro ponto sensível neste contexto são as condições de desenvolvimento econômico da região. Desta forma, a escassez de água é agravada pela desigualdade social, assim como pela falta de manejo e uso sustentável dos recursos hídricos. A crise mundial de recursos hídricos está diretamente relacionada com as desigualdades sociais, evidenciada pelos registros entre países desenvolvidos e os em desenvolvimento (CETESB, 2022).

O *United Nations Environment Programme* - UNEP (2002) adotou uma classificação de disponibilidade de água doce (Tabela 2). Essa classificação parte de um conceito sobre a distribuição mundial do volume de água doce disponível relacionando-o com o número de habitantes, difundido ao longo do globo e, fundamental aos estudos científicos e de desenvolvimento de pesquisas (FERREIRA, 2005).

Tabela 2 - Classificação da disponibilidade de água doce com dados obtidos em 2002

Disponibilidade de Água Doce (m ³ /hab/ano)	Classificação
> 20.000	Muito alto
de 10.000 a 20.000	Alto
de 5.000 a 10.000	Médio
de 2.000 a 5.000	Baixo
de 1.000 a 2.000	Muito baixo
> 1.000	Extremamente baixo

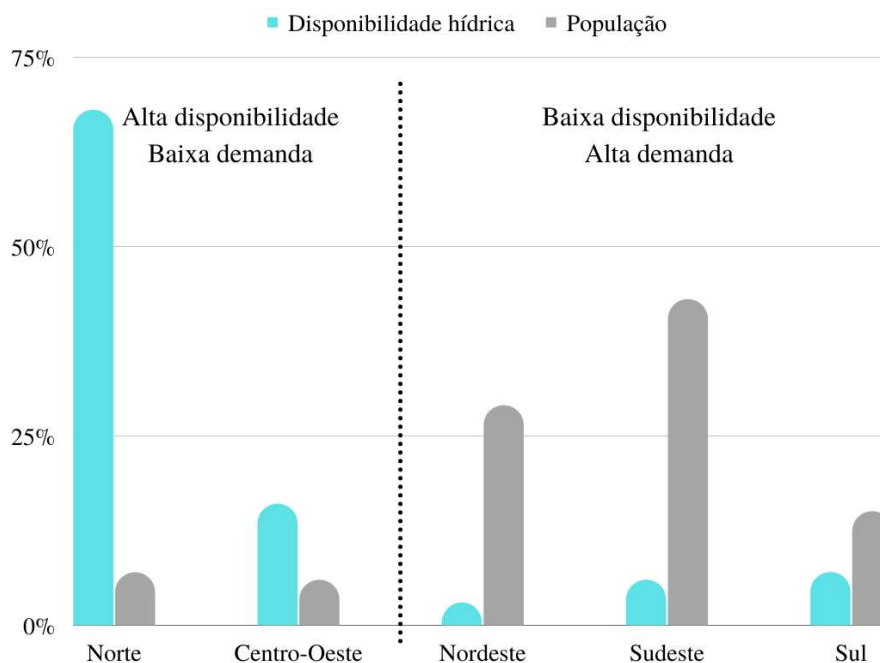
Fonte: Adaptado de UNEP, 2002.

De acordo com a ANA (2015), a situação média de disponibilidade hídrica no Brasil é de 33.000 m³/hab/ano. Portanto, o Brasil apresenta uma situação de disponibilidade muito alta. A riqueza hídrica brasileira ocorre tanto pelo país estar inserido na segunda maior bacia do mundo, a bacia Platina, quanto pela bacia do Rio Amazonas, a maior bacia fluvial do mundo. Além disso, o Brasil está sobre 70% da área do aquífero Botucatu/Guarani e nos estados do Pará, Amapá e Amazonas está localizado o Aquífero Alter do Chão, considerado o maior reservatório subterrâneo d' água doce do planeta, que possui uma produção média de 4,67x10⁶ m³/ano (DE MELO, 2010; MIRANDA, 2017). Contudo, todo este volume de água não é distribuído uniformemente pelo país.

Conforme a Figura 3, as regiões Norte e Centro-Oeste são as que possuem alta disponibilidade hídrica. Com cerca de 7% da população brasileira, a região Norte possui 68%

da disponibilidade hídrica. Enquanto isso, 72% dos brasileiros estão localizados na região Nordeste e Sudeste com apenas 9% desta disponibilidade.

Figura 3 - Comparativo entre disponibilidade hídrica e população no Brasil em 2014



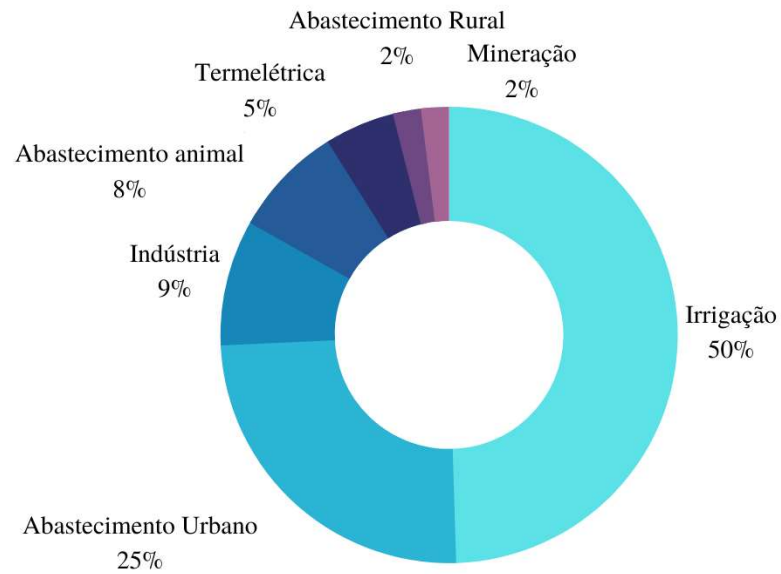
Fonte: Adaptado de ANA, 2015.

A região do Semiárido do Nordeste brasileiro, área com susceptibilidade e ocorrência de desertificação, sofre devido à longos períodos de secas (BURUTI e AGUIAR, 2012). Este fato tem significativo impacto sobre o crescimento populacional dos grandes centros e, este aliado com poluição, desperdício e gestão ineficiente, intensificou os problemas hídricos nas regiões Sudeste e Sul do país.

O consumo de água no Brasil é liderado pela irrigação, abastecimento público, abastecimento de animais, indústria, geração termoeletrica e mineração (ANA, 2021). No ano de 2020, esses setores consumiram 61,46 trilhões de litros/ano de água. Metade deste consumo foi ligado a irrigação, seguido de 25% com o abastecimento urbano, 8% com o animal e 9% das indústrias (Figura 4).

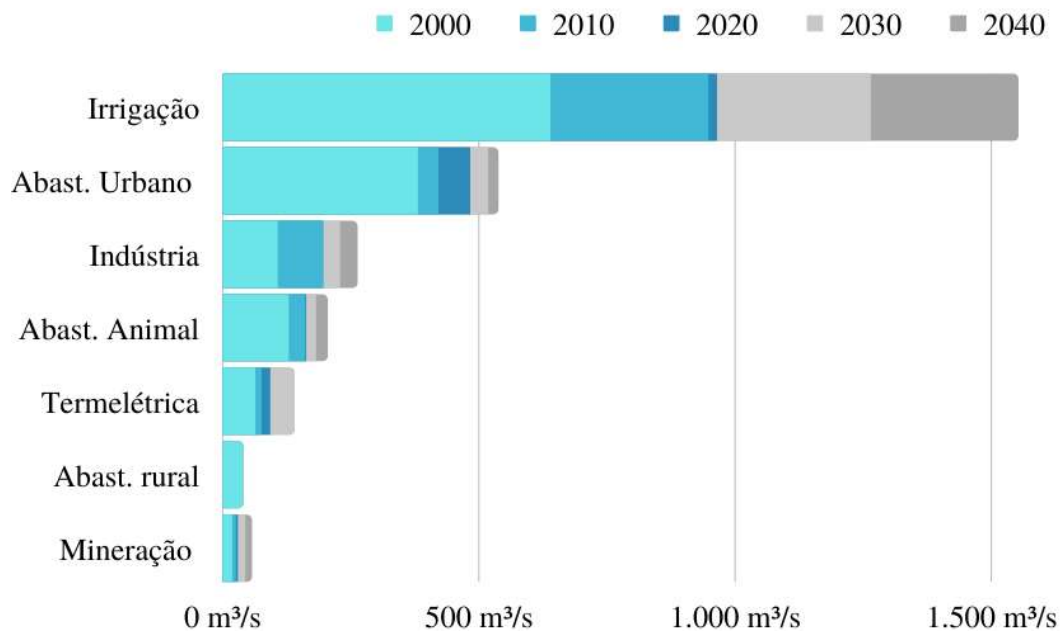
A demanda por recursos hídricos no Brasil tem aumentado ao longo dos anos, especialmente para os três maiores setores. O setor da irrigação possui um grande potencial de expansão apresentando, nos últimos 20 anos, um aumento em seu consumo em cerca de 50%, passando de 640 para 965 m³/s (Figura 5). Há previsões para o ano de 2040 em que haverá um aumento de 42% nessas retiradas de água, correspondendo a mais de 26 trilhões de litros ao ano dos reservatórios brasileiros (ANA, 2021)

Figura 4 - Retirada dos usos consuntivos setoriais em 2020



Fonte: Adaptado de ANA, 2021.

Figura 5 - Evolução dos usos consuntivos setoriais: anos 2000 - 2040 no Brasil



Fonte: Adaptado de ANA, 2021.

O abastecimento urbano, segundo maior uso de água, ao longo de duas décadas cresceu um pouco mais de 25% e tem a estimativa de crescimento de 11% nos próximos 20 anos. De acordo com o Atlas Água (2021), cerca de 85% da população brasileira é abastecida,

exclusivamente ou predominantemente, por mananciais superficiais e 15% por mananciais subterrâneos.

Este é o caso de 57% das cidades como o Rio de Janeiro, São Paulo, Porto Alegre e Fortaleza. O uso de forma concentrada nos grandes centros de aglomeração urbana acarreta nas pressões sobre os mananciais e sistemas produtores de água, o que aumenta a complexidade e interdependência das soluções de abastecimento (ATLAS ÁGUA, 2021).

Em 2014, a bacia do Paraíba do Sul sofreu uma grande crise hídrica. A bacia tem seu principal curso de 1.200 km percorrendo os estados de Minas Gerais, São Paulo e Rio de Janeiro. Estes estados são de grande relevância no cenário político, econômico e social brasileiro, concentrando um dos maiores pólos industriais e populacionais do país. A principal fonte de abastecimento hídrico na cidade do Rio de Janeiro é a bacia do Paraíba do Sul, com atendimento de mais de 14 milhões de pessoas (CAVALCANTI e MARQUES, 2016). Ainda segundo os autores, a bacia do Paraíba do Sul é um dos pontos estratégicos da gestão de recursos hídricos brasileiros pois seus múltiplos usos de geração elétrica, consumo humano, indústrias, agricultura e outros, têm causado tensões e disputas, quando associados a períodos de escassez, degradação da bacia e irregularidades na distribuição.

O uso predominante na bacia é o de abastecimento urbano, o qual, no ano de 2020, representou um pouco mais de 50% do volume retirado na bacia. Em seguida, as indústrias e irrigação contribuíram com quase 20% e 15%, respectivamente (ANA, 2021).

2.3 Consumo de água em ambiente doméstico

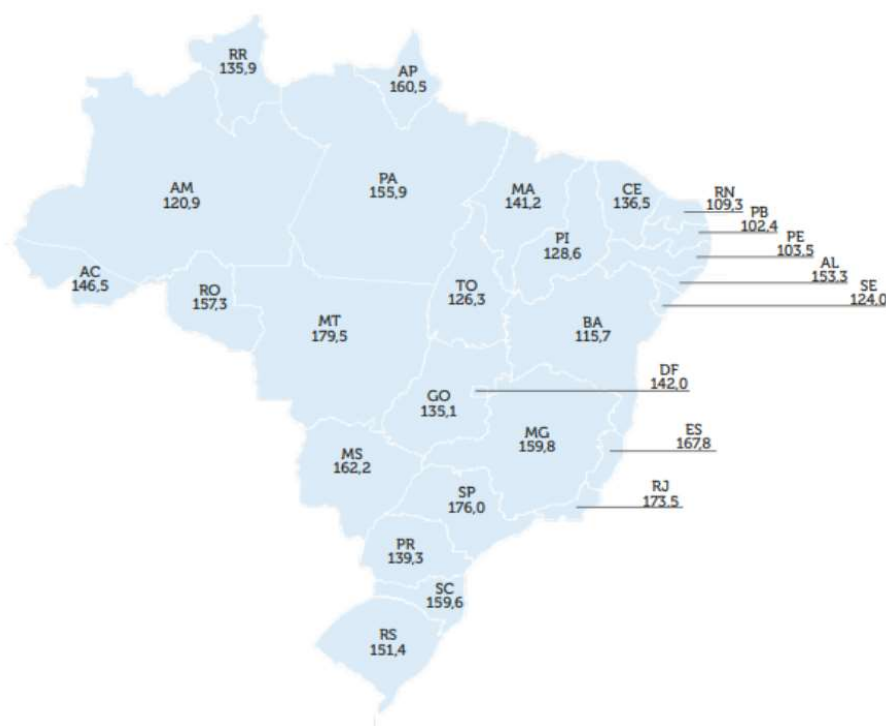
A água potável é usada para o abastecimento urbano e tem o objetivo de suprir as necessidades da população desde a sua hidratação, preparo de alimentos e higiene mas, também, é utilizada em propósitos que não demandam a potabilidade da água, como lavagem de pisos, descarga em bacias sanitárias e irrigação de jardins paisagísticos.

De acordo com a ONU, a quantidade de água que o ser humano precisa para viver com conforto e saúde é de 110 litros por dia (SABESP, 201-?). O Brasil possui um consumo diário de 152,1 litros per capita, com uma variação desse valor, de acordo com os estados brasileiros (Figura 6). A variabilidade no consumo ocorre por região e devido suas características, de disponibilidade do recurso neste local, o nível de desenvolvimento e de renda da população.

De acordo com o Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR, 2021), o Sudeste é a única região que apresenta um consumo acima da média nacional, com 171,7 litros/hab.dia. Por outro lado, a menor média de consumo de água no país é a região Nordeste, com 120,3 litros/dia per capita.

De acordo com a Figura 6, os maiores consumos per capita são nos estados de Mato Grosso (179 L/hab.dia), São Paulo (176 L/hab.dia) e Rio de Janeiro (173,5 L/hab.dia). Já os menores consumidores estão localizados na região Nordeste, com o menor consumo na Paraíba (102,4 L/hab.dia), seguido de Pernambuco (103,5 L/hab.dia) e Rio Grande do Norte (109,3 L/hab.dia).

Figura 6 - Consumo per capita de água (L/hab.dia) no Brasil em 2020



Fonte: MDR, 2021.

O estudo feito por Botelho (2013) realizou uma compilação de diversos artigos sobre as principais variáveis que influenciam no consumo de água nos domicílios. O autor separou as variáveis em sete setores: sociodemografia, fatores psicossociais, educação, clima, cultural, econômico e estrutural. No âmbito da sociodemografia, as variáveis são a faixa etária, taxa de ocupação do lar e a diferenciação de zona rural ou urbana. Os fatores psicossociais englobam as mudanças da consciência da população sobre o bem, confiança no

governo, pressão social como a percepção do comportamento de vizinhos, a preocupação com o meio ambiente, assim como o conhecimento e a prática de metodologias sustentáveis para o uso da água. O envolvimento dos moradores no próprio consumo da água foi incluído no setor de educação e o clima influenciado pelas estações do ano.

A frequência dos cuidados e higiene pessoal assim como o seu tempo gasto em banho também influencia o consumo. Tampouco, o valor da tarifa de água *versus* a renda dos usuários também é um ponto de destaque. Por fim, as estruturas presentes nos domicílios, como o número de quartos e banheiros, presença de jardins, a idade da infraestrutura hidráulica, os sistemas de aproveitamento de águas pluviais e as instalações para o reúso de água também impactam o consumo.

Martini (2009) compilou os usos finais de água tratada para consumo doméstico em seis países (Tabela 3). Como observado, um dos maiores usos domésticos que consome água é a bacia sanitária, entre 20 e 40% dos usos totais desagregados. Além disso, cerca de 45 a 55% do uso da água é destinado aos usos não potáveis.

Tabela 3 - Usos finais de água potável para consumo doméstico

País	Ponto de consumo (em %) ¹							
	Bacia sanitária ²	Banho	Lavagem de louça	Cozinha	Lavagem de roupa ²	Limpeza do domicílio	Vazamentos	Jardins/Lavagem carro ²
Brasil	23	18	-	15	20	-	-	14
Estados Unidos	27	17	2	-	22	-	14	-
Reino Unido	37	37	11	4	11	-	-	-
Colômbia	40	30	10	5	-	15	-	-
Dinamarca	20	20	20	5	15	-	-	10
Suíça	40	37	-	6	4	3	-	4

¹ Os percentuais de cada país podem não apresentar um total de 100% pois o estudo foi adaptado.

² O autor considera como usos não potáveis.

Fonte: Adaptado de Martini, 2009.

2.4 Consumo de água em ambiente escolar

A análise dos usos finais da água em ambiente escolar se tornam essenciais, pois existe a tendência de haver um maior desperdício de água pelos usuários, e a não responsabilização do pagamento pelo serviço de abastecimento de água. Tomaz (2001 apud Marinoski, 2007) mostra que a média de consumo per capita em escolas e universidades varia entre 10 e 50 litros por dia para um aluno e, em média, 210 litros/ dia por funcionário, com variações, a depender da tipologia da construção.

Um estudo na cidade de Campinas, no estado de São Paulo, analisou o consumo de água em escolas da rede pública para identificar não só os diferentes usos da água, mas também a indicação de quais ambientes são os mais responsáveis pelo uso da água. O estudo de Ywashima *et al.* (2006) contou com a verificação de existência de vazamentos, distribuição de questionários aos usuários e também uma etapa de observação do uso, com análise da medição do tempo, vazão e outras variáveis.

Foram analisadas três tipos de escolas: creche (até 4 anos), educação infantil (de 5 a 6 anos) e ensino fundamental. Foi observado que, para as escolas de ensino fundamental, cerca de 82% da água foi consumida em descargas de bacias sanitárias e mictórios, como usos não potáveis. Em relação ao uso em áreas externas, como lavagem de pisos e rega de jardins, o uso chegou a uma média de 3%.

Em cenários universitários, o trabalho de Vaz (2019) compilou estudos realizados acerca da quantidade de água não potável que as edificações necessitam. As estruturas possuem características diferentes como a presença ou não de laboratórios, salas de aula e administração. Segundo o autor, os menores percentuais encontrados para usos não potáveis foram em um centro de tecnologia do SENAI em Santa Catarina e, no centro de tecnologia da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, representando 63,5% e 69%, respectivamente. Já os maiores valores para estes usos foram também na UFSC, mas na biblioteca universitária com 85% e no centro socioeconômico com 72%. O valor médio das pesquisas e estudos obtiveram um valor de 77% de consumo de água em usos que não necessitam de água potável, como as bacias sanitárias e mictórios.

Karlinski (2015) mostra que os usos da água para fins não potáveis em instituições de ensino são: bacias sanitárias/mictórios, limpeza da edificação e a rega de jardins. Estes dois últimos usos apresentam valores de 5 litros/m² e 1,5 litros/m², respectivamente (FERREIRA, 2014).

2.5 Aproveitamento de águas pluviais

A adoção de sistemas de aproveitamento de águas pluviais não é considerada como uma técnica recente. Existem relatos sobre a prática há milhares de anos (LIEBMANN, 1979 apud ROCHA E DUARTE, 2017). Contudo, a partir da ameaça da crise hídrica e da busca de alternativas de forma a reduzir a dependência de mananciais superficiais e subterrâneos, o manejo e o aproveitamento de águas pluviais tem se tornado um tema importante (KARLINSKI, 2015).

A água de chuva pode ser utilizada em cujos usos não demandam a potabilidade da água, como: irrigação de jardins, limpeza, lavagem de roupas, descarga sanitária e resfriamento evaporativo, o que reduz o consumo de água da rede pública. Neste sentido, além de ser considerada uma atividade de sustentabilidade dos recursos hídricos, o aproveitamento de água de chuva também evita o desperdício da água em usos nobres, bem como permite economias no pagamento de tarifas de água pelos serviços de abastecimento público (KARLINSKI, 2015).

Um outro fator benéfico da instalação de um sistema de águas pluviais é a capacidade de retenção do volume inicial das precipitações, o que gera um menor impacto na rede de drenagem e assim diminui os riscos de inundações e danos à saúde, comércio e residências, a partir do armazenamento temporário de determinados eventos pluviométricos (ROCHA e DUARTE, 2017; BENETTI, 2019).

Quando aplicada em um ambiente escolar, o uso da água da chuva possibilita processos de ensino e aprendizagem, a partir de uma reflexão sobre a influência de determinadas ações, quanto aos aspectos de sustentabilidade e conhecimento de hábitos e atitudes relacionadas aos serviços ambientais e sociais. Instituições de ensino, em geral, atendem um grande número de pessoas. Logo, apresenta condições de divulgação de projetos de técnicas sustentáveis, de modo a incentivar futuros usuários. Além disso, no geral, edificações de ensino possuem elevado potencial de implementação de sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais por apresentarem grandes áreas de telhados e outras coberturas disponíveis à captação da água da chuva (MARINOSKI, 2007).

Costa *et al.* (2015) apresentam que países desenvolvidos, como: Japão, Alemanha, Austrália, Estados Unidos e Singapura são comprometidos e empenhados com a pesquisa e a construção de sistemas de aproveitamentos de águas pluviais. Benetti (2019) informa que no Brasil, há mais de 25 anos não existiam experiências nesta área. O cenário começou a mudar

no início dos anos 70 com a atuação da Embrapa Semiárido na implantação de cisternas de águas pluviais e barragens subterrâneas. Após duas décadas, organizações, como o Instituto Regional da Pequena Agropecuária Apropriada, começaram a incentivar o manejo adequado da água da chuva, a partir da implementação de cisternas e programas educacionais para a comunidade da região.

Por ser uma fonte de água doce e um recurso disponível para toda a população em determinados meses do ano, a água de chuva apresenta uma solução para os usos não potáveis. Entretanto, segundo Benetti (2019), o potencial do aproveitamento de águas pluviais, para os usos múltiplos em meio urbano, tem sido menosprezado nas cidades de médio e grande porte.

Para a implementação de um sistema de aproveitamento de águas pluviais, é necessário realizar um estudo de viabilidade técnica, social e econômica. Desse modo, devem ser obtidos e analisados aspectos como: dados de precipitação do local, demanda de água não potável no local de implementação, dados da área de captação de chuva, avaliação do sistema hidráulico predial existente, avaliação da qualidade da água de chuva, dimensionamento do sistema e a viabilidade econômica. Estes sistemas podem não só ser empregados em residências, mas também em hospitais, presídios, aeroportos, universidades e outros (ROCHA e DUARTE, 2017).

2.5.1 Elementos de um sistema de captação, armazenamento e aproveitamento de água de chuva

Os elementos de um sistema de captação e aproveitamento de água de chuva podem sofrer variações de acordo com o seu objetivo e projeto. Entretanto, existem elementos primários que fazem parte de qualquer sistema, como: captação (área do telhado) e transporte da água da chuva (condutores verticais e horizontais), armazenamento, tratamento e distribuição (FRANÇA, 2011).

2.5.1.1 Captação

O telhado é uma das formas mais usuais de realizar a captação da água de chuva, principalmente em sistemas residenciais. O tamanho da área de captação, ou seja, da área útil do telhado onde a água de chuva irá percorrer até os dispositivos de transporte, está diretamente relacionado com o potencial de aproveitamento da água. De acordo com França (2011), as telhas galvanizadas pintadas ou esmaltadas com tintas não tóxicas, superfície de concreto, cerâmicas, policarbonato e fibra de vidro são os materiais mais comuns para telhados.

Além disso, a diferenciação do material do telhado de captação influenciará na qualidade e quantidade da água captada, bem como na avaliação de perdas por evaporação e absorção pela superfície (KARLINSKI, 2015). Com isso, o coeficiente de escoamento superficial ou de *runoff* (C) deve ser considerado nos estudos, em função do volume captado pelo material. Tomaz (2009) demonstra que em diferentes regiões é utilizado o coeficiente de escoamento igual à 0,8, ou seja, admite-se 20% de perdas em relação ao volume precipitado *versus* captado.

Bona (2014) apresenta que o escoamento da água em telhados lisos e metálicos é mais fácil, pois tendem a ser mais impermeáveis do que, por exemplo, os telhados cerâmicos. Em relação à qualidade, a autora diz que as telhas metálicas podem soltar metais na água e os de coloração verde podem deixar a água da chuva turva. Silva (2019) mostra que os metais mais encontrados em águas pluviais são cálcio, potássio e sódio e que estes variam de acordo com a sazonalidade.

Ribeiro e Marinoski (2020) apresentam uma compilação de valores de coeficientes de *runoff* em função do material do telhado. Para um telhado metálico são encontrados valores entre 0,8 e 0,95 de acordo com os autores Liaw and Tsai (2004); UNEP (2004); Lancaster (2006) e Wilken (1978) *apud* Ribeiro e Marinoski (2020). Os telhados verdes possuem um coeficiente de escoamento inferior aos telhados convencionais, com valores entre 0,20 e 0,27 por Thomas e Martinson (2007) e Khan (2001) *apud* Ribeiro e Marinoski (2020). Telhados cerâmicos apresentam valores de *runoff* entre 0,56 e 0,95 para Khan (2001) e Hofkes e Frasier (1996) *apud* Ribeiro e Marinoski (2020). As coberturas de alumínio e plástico apresentam resultados de 0,70 e 0,92, respectivamente para Ward et al. (2010) e Khan (2001) *apud* Ribeiro e Marinoski (2020).

Cavalcanti (2010) desenvolveu um trabalho sobre o efeito do escoamento das águas pluviais em diferentes coberturas de captação, como: argamassa de cimento e areia, telhas de cerâmica, telha de fibrocimento e lona plástica de polietileno. As médias dos coeficientes encontrados foram de 0,60 para a argamassa, 0,71 para as telhas de cerâmica, 0,82 para o telhado de fibrocimento e 0,91 para a lona plástica.

Em relação à qualidade microbiológica, os telhados metálicos são os normalmente recomendados para a captação da água de chuva, visto que há uma tendência de concentrações menores de indicadores biológicos, devido ao seu aquecimento em dias ensolarados que inativam os patógenos e os íons metálicos liberados pelo telhado que inibem o crescimento desses microrganismos (MENDEZ *et al.*, 2010). Tomaz (2009) apresenta de forma a classificar os melhores materiais para uso em coberturas ou telhados para a captação das águas pluviais, na ordem: metal, fibrocimento, plástico e cerâmica.

2.5.1.2 Calhas e condutores

Após a água escoar pelo telhado, o volume efetivo precipitado segue para as calhas e os condutores verticais e horizontais. O dimensionamento dos dispositivos condutores é realizado conforme a NBR 10.844/1989, baseado nos fatores de área de superfície de coleta da água da chuva e intensidade pluviométrica da região (ABNT, 1989).

Os materiais utilizados para os elementos de calhas, a fim de se evitar a contaminação por partículas tóxicas na água, devem ser, preferencialmente, composto de materiais inertes, como PVC ou outros plásticos. Já os materiais para os condutores também são previstos pela NBR 10.844/1989, e podem ser utilizados materiais, como: ferro fundido, fibrocimento, PVC rígido, aço galvanizado, e outros (ABNT, 1989).

2.5.1.3 Armazenamento

Depois da água de chuva ser conduzida pelos condutores e, em determinados projetos, por dispositivos de tratamento, o volume precipitado chega ao reservatório. Este elemento é considerado um dos principais fatores a contribuir com o investimento da instalação de um

sistema de captação e aproveitamento, como mostra o estudo de Chaib *et al.* (2015). O reservatório deve estar localizado em um ponto estratégico do sistema para que propicie uma maior eficiência do uso da água, e assim, recomenda-se a instalação próximo aos pontos de consumo.

Em relação aos materiais utilizados para os reservatórios de armazenamento de água de chuva, os principais são: material plástico, fibra de vidro ou outro material inerte. A escolha do material depende de seu uso, custo ou finalidade, mas deve ser durável, estanque em relação ao exterior, liso no interior e selado com juntas de material não tóxico e não deve permitir a penetração da luz solar para não sofrer alterações físicas, químicas e biológicas (BERTOLO, 2006 *apud* KARLINSKI, 2015).

2.5.1.4 Tratamento de águas pluviais

Os telhados de captação da água da chuva podem acumular poeira e fuligem, que por sua vez podem contaminar as águas. Também deve ser considerada a limpeza da área de coleta e a qualidade do ar na região onde está localizado o sistema. Desta forma, para a água de chuva ser utilizada, deve-se ter um controle sobre a sua qualidade e o sistema instalado deve conter dispositivos de tratamento, em nível maior ou menor, dependendo do seu uso pretendido (Tabela 4).

Tabela 4 - Diferentes níveis de qualidade da água exigidos conforme uso

Usos da água da chuva	Tratamento da água
Rega de plantas	Não é necessário
Irrigadores, combate ao fogo	É necessário para manter os equipamentos em boas condições
Fonte, banheiro, lavagem de roupas e carros	É necessário pois a água entra em contato com o corpo humano

Fonte: Adaptado de Group Raindrops, 2002.

Durante o escoamento da água da chuva sob a superfície do telhado e calha, o volume precipitado pode carrear materiais como: folhas, gravetos, sementes, sólidos que

sedimentaram na superfície do telhado e até dejetos de animais. Este fenômeno de acúmulo de sujeira na superfície é propiciado, sobretudo, durante períodos prolongados de estiagens.

Um dos primeiros dispositivos contra o carregamento de folhas e galhos para o sistema de água de chuva é o uso de redes e telas entre o condutor vertical e o reservatório. Este dispositivo permite a remoção de folhas com uma maior facilidade quando se utilizam telas nas calhas dos telhados. Existe uma variedade de redes e telas no mercado. Para se escolher o tamanho mais adequado deve-se analisar o ambiente, ou seja, depende da localização do sistema. Um tamanho satisfatório varia de 2 a 10 mm (GROUP RAINDROPS, 2002). Entretanto, recomenda-se a manutenção das telas, com limpezas periódicas, de modo a evitar a acumulação de materiais e impedir a entrada da água da chuva.

Uma outra forma de amenizar a contaminação da água da chuva, é a utilização do dispositivo *first flush*, que descarta as primeiras porções de água de um evento pluviométrico (GOLDENFUM, 2006) já que estas contém as impurezas presentes na atmosfera e no telhado de captação. Estudos como Souza (2019) e Jacob *et al.* (2019) mostram que a qualidade da água melhora significativamente de montante para jusante, na medida em que são instalados sistemas de retenção de sedimentos e descarte dos volumes iniciais precipitados, sobretudo na correção da carga de sólidos totais dissolvidos e na neutralização química da chuva.

Segundo Tomaz (2009), o volume de precipitação a ser captado pelo sistema *first flush* depende do nível de contaminação do local. A NBR 15.527/2019 adota o valor de 2 mm de separação ou bloqueio da chuva inicial. Quando um local apresentar frequência de chuvas de maneira que mantenha a superfície do telhado limpa, pode-se considerar o local como de contaminação baixa e adotar o valor de 0,5 mm. Todavia, ainda segundo o autor, se for um local que sofre com muitos detritos orgânicos de animais, poluição atmosférica ou que apresenta árvores ao seu entorno, deve ser observado o valor de 8 mm.

2.6 Aspectos legais de sistemas de águas pluviais

Drummond et al. (2021) realizaram uma pesquisa sobre leis e normas nas três esferas legislativas do Brasil: federal, estadual e municipal; bem como sobre o aspecto técnico, orientativo e obrigatório, relacionadas à estudos e projetos de sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

Foram selecionadas 6 (seis) normas técnicas no país. A principal norma ABNT sobre água de chuva é a NBR 15.527/2019, que dispõe sobre o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis. Também são contempladas as normas: (i) NBR 5.626/2020 de Sistemas prediais de água fria e água quente - Projeto, execução, operação e manutenção; (ii) NBR 16.782/2019 - Conservação de água em edificações - Requisitos, procedimentos e diretrizes; (iii) NBR 16.783/2019 - Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações; (iv) NBR 16.098/2012 - Requisitos mínimos de ensaios em aparelhos para melhoria da qualidade de água potável e (v) NBR 10.884/1989 que aborda os procedimentos das instalações prediais de águas pluviais.

Em relação às leis, o trabalho de Drumond *et al.* (2021) encontrou 56 legislações disponíveis sobre água de chuva, distribuídas em: 27 estaduais, 26 municipais e 3 do Distrito Federal. Com exceção dos estados de Minas Gerais, Pará, Roraima e Sergipe, todos os estados brasileiros possuem alguma legislação pertinente ao tema de aproveitamento de águas pluviais. De acordo com os autores, a região Sudeste foi a que mais apresentou leis com critérios estabelecidos acerca do dimensionamento do sistema e da qualidade da água de chuva.

Apesar disso, foi apontado que as leis estaduais e municipais apresentam divergências, como por exemplo: o estado do Rio de Janeiro não permite o uso da água pluvial em sistema de vaso sanitário, enquanto a lei municipal de São Gonçalo permite. Em detrimento das observações de desvio de finalidade, caráter técnico e de competência, usos da água pluvial e responsabilidades fiscais apontadas pelos autores, é necessário a revisão das leis brasileiras e a formulação de uma lei federal que auxilie na política de gestão de águas pluviais. Rosas (2019) aponta que os marcos legais no país carecem de critérios técnicos que relacionam a qualidade e a quantidade das águas pluviais que se ajustam com as diferentes características no comportamento pluviométrico no Brasil.

A seguir, estão destacadas as leis e normas consideradas de maior importância no âmbito federal para este trabalho de conclusão de curso.

2.6.1 Lei nº 9.433 de 1997 - Política Nacional dos Recursos Hídricos

A Lei federal nº 9.433 de 1997 instituiu a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) que tem como um de seus seis fundamentos a gestão descentralizada e participativa

dos recursos hídricos brasileiros com a participação do Poder Público, usuários e das comunidades.

A PNRH tem como objetivo assegurar a disponibilidade de água com qualidade às gerações atuais e futuras, promovendo a utilização racional e integrada dos recursos hídricos e a prevenção contra eventos hidrológicos críticos. Além desses, em 2017, foi incluído como quarto objetivo, a promoção e o incentivo de captação, preservação e aproveitamento das águas pluviais. A inclusão deste objetivo foi de grande importância nos usos dos recursos hídricos, devido especialmente ao agravamento da crise hídrica no país. Assim, se torna uma ferramenta de aprimoramento da gestão dos recursos hídricos, pois estimula a busca de alternativas de abastecimento de água para usos não potáveis, além de promover uma prática mais sustentável.

Entretanto, após a inclusão deste item na PNRH, poucas têm sido as ações de afirmação deste compromisso com este objetivo. Ainda assim, há um projeto de lei (PL) de nº 7.818 de 2014 do deputado Geraldo Resende (PMDB -MS) no qual se estabelece uma política nacional de gestão e manejo integrado de águas urbanas e define as normas gerais para a sua promoção. Porém, desde 2018 encontra-se em tramitação o PL na Comissão de Desenvolvimento Urbano da Câmara dos Deputados e sua última ação legislativa foi em abril de 2021, sem atualizações até o momento. Vale evidenciar que por ser um projeto de lei, este não detém aspecto legal, logo, ainda não existe estímulo governamental para se alcançar o objetivo proposto.

2.6.2 Norma Técnica Brasileira ABNT NBR 15.527/2019

A NBR 15.527 (ABNT, 2019a) dispõe sobre os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis, destinado aos sistemas de aproveitamento de águas pluviais.

A norma especifica o atendimento às NBR's 10.844 (ABNT, 1989) e 5.626 (ABNT, 2020) de Instalações Prediais de Águas Pluviais e Instalação Predial de Água Fria e Água Quente, respectivamente. Cada uma dessas normas é específica para um sistema predial hidráulico, no entanto devem ser projetados de maneira associada, no sentido de prever interferências e usos simultâneos.

A captação e o aproveitamento de águas pluviais advinda de cobertura predial utiliza a instalação de calhas e condutores, verticais e horizontais, para a captação das águas e as instalações prediais, devidamente separadas das instalações de água potável, como os dispositivos. Estas instalações devem obedecer os critérios e recomendações de tipos de materiais, dimensionamento de trechos de tubulações, e outros.

Os componentes de um sistema de águas pluviais, de acordo com a NBR 15.527/2019, são os: dispositivos de descarte de detritos, dispositivos de descarte do escoamento inicial (conhecidos como *first-flush*), calhas, área de captação (telhado), condutores verticais e horizontais, dispositivos de desinfecção, bombas (se necessário) e o reservatório.

Para o projeto das calhas e condutores, deve ser atendida a NBR 10.844/1989, recomendada a adoção de um período de retorno de no máximo 25 anos. A prevenção de risco de deterioração da qualidade da água de chuva armazenada se inicia com a instalação de dispositivos, como grades e telas, para a remoção de sólidos indesejáveis que podem ser carregados do telhado durante o evento pluviométrico. Outro dispositivo, para a remoção de sólidos suspensos e dissolvidos, conhecido como *first flush*, é responsável pelo descarte do volume do escoamento inicial da precipitação efetiva.

Os reservatórios devem atender às especificidades das normas técnicas NBR 5.649 (ABNT, 2006) que dispõe sobre os requisitos de reservatório de fibrocimento para água potável e a NBR 15.682 sobre os requisitos e os métodos de ensaio para tanque estacionário rotomoldado em polietileno para acondicionamento de águas (ABNT, 2009).

Este componente deve ter um extravasor, dispositivo de esgotamento, inspeção e ventilação. O seu dimensionamento deve levar em conta a área de captação utilizada, o regime pluviométrico do local e a demanda de água não potável a ser parcial ou totalmente atendida. O volume não utilizado das águas pluviais captadas pode ser lançado na rede de água pluvial pública.

No que se refere às instalações hidráulicas prediais de água fria e água quente, estas devem obedecer às recomendações da NBR 5.626 (ABNT, 2020) e devem ser claramente diferenciadas das tubulações de água potável, assim como os pontos de consumo de torneiras, devem ser identificados como “água não potável”. Os usos não potáveis apresentados pela NBR 15.527/2019 são: sistemas de resfriamento a água, descarga de bacias sanitárias e mictórios, lavagem de veículos e pisos, reserva técnica de incêndio, uso ornamental e irrigação para fins paisagísticos. Para outros usos, devem ser estudados e monitorados os parâmetros de qualidade específicos e o tratamento adequado pelo profissional responsável.

São estabelecidos parâmetros de qualidade para usos dispostos na NBR 15527/2019, que devem ser monitorados periodicamente com uma frequência mínima semestral. A Tabela 5 demonstra os 4 (quatro) parâmetros principais utilizados, como: *Escherichia coli*, pH, Turbidez e Cloro Residual.

Tabela 5 - Parâmetros para águas pluviais NBR 15.527/2019

Parâmetro	Padrão
<i>Escherichia coli</i>	< 200 em 100 mL
pH	6 a 9
Turbidez	5 uT
Cloro Residual	0,5 a 2 mg/L

Fonte: ABNT, 2019.

Desta forma, a contagem de *Escherichia coli* deve ser menor que 200 organismos a cada 100 mL de amostra, sendo o resultado como ausente ou presente. O parâmetro turbidez deve apresentar um valor abaixo de 5 unidades de turbidez. O pH deve estar na faixa entre 6 e 9, caracterizado como alcalino. Caso seja utilizado o cloro como desinfetante, o teor de cloro residual deve estar entre 0,5 e 2,0 mg/L, com um valor máximo de 5 mg/L.

2.6.3 Norma Técnica Brasileira ABNT NBR 16.783 de 2019

Com a demanda de suprir as necessidades de diversificação da matriz de abastecimento urbano de água e de modo a estimular boas práticas e reduzir os riscos potenciais, foi criada a NBR 16.783 (ABNT, 2019b) que trata de instruções para caracterização, dimensionamento, uso, operação e manutenção de sistemas de fontes alternativas de água não potável em edificações.

A Câmara Brasileira da Indústria da Construção - CBIC, em seu guia orientativo das normas de conservação de água, fontes alternativas não potáveis e aproveitamento de água de chuva em edificações (CBIC, 2019, p.63), mostra que:

A utilização de fontes alternativas em edificações, se realizada em escala, pode trazer reduções significativas no consumo de água no nível municipal. Os

benefícios não são somente pontuais, mas resultam também em ganhos extensivos aos sistemas de abastecimento de água e de coleta e tratamento de esgotos, reduzindo as pressões pela exploração de novos mananciais e a degradação de corpos hídricos receptores de efluentes não tratados.

A NBR 16783/2019 estabelece 7 (sete) parâmetros físicos, químicos e biológicos a serem contemplados no monitoramento da água para os usos não potáveis, excluindo-se a água para resfriamento. São eles: pH, *Escherichia coli*, turbidez, cloro residual livre, DBO₅, condutividade elétrica e carbono orgânico total (COT). Os valores para os 4 (quatro) primeiros parâmetros correspondem aos da NBR 15.527 (ABNT, 2019a). Na Tabela 6 se encontram os padrões para os demais parâmetros.

Tabela 6 - Parâmetros para água não potável da NBR 16.783/2019

Parâmetro	Padrão
DBO ₅	< 20 mg O ₂ /L
Condutividade elétrica	< 3.200 µS/cm
COT	< 4 mg/L

Fonte: ABNT, 2019b.

2.6.4 Portaria GM/MS nº888 de 2021

Em 2021, a nova portaria de potabilidade da água substituiu o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

A Portaria GM/MS nº 888 é aplicada à água destinada ao consumo humano proveniente de um sistema de abastecimento de água, como solução alternativa de abastecimento de água, coletiva e individual ou carro-pipa. Neste viés, a Portaria GM/MS nº 888 não é aplicada aos sistemas de águas pluviais, visto que os usos da água de chuva nesse sistema são considerados não potáveis (BRASIL, 2021).

Entretanto, para fins de estudo e segurança para àqueles que a manuseiam, pode-se utilizar de seus padrões para uma melhor caracterização da água pluvial. Em seu anexo 11, a Portaria GM/MS nº 888 (BRASIL, 2021) apresenta uma tabela de padrão organoléptico de potabilidade. Vale ressaltar que este anexo faz referência a qualidade da água para

abastecimento após a desinfecção. A Tabela 7 indica os parâmetros usualmente utilizados para a caracterização de águas de chuva.

Tabela 7 - Parâmetros para água potável Portaria GM/MS nº 888/2021

Parâmetro	Padrão
pH	6 a 9
Cloreto	250 mg /L
Cor aparente	15 uH
Dureza total	300 mg/L
Turbidez	5 uT
<i>Escherichia coli</i>	Ausência em 100 mL

Fonte: Brasil, 2021.

2.7 Qualidade das águas pluviais

Na atmosfera estão presentes uma variedade de gases, partículas sólidas e líquidas em suspensão carregadas em um evento pluviométrico, sendo consideradas substâncias incorporadas na água de chuva durante a precipitação. Desta maneira, durante a "lavagem" do telhado durante o escoamento, a água de chuva apresenta características químicas e físicas que varia de acordo com fatores específicos, como: cargas de poluentes atmosféricos, condições meteorológicas (regime dos ventos), estações do ano, duração e intensidade da precipitação e a localização geográfica do sistema (proximidade do oceano) (ZOLET, 2005).

Sendo assim, tanto as áreas rurais quanto as urbanas apresentam uma diferenciação na qualidade da água de chuva. As áreas não pavimentadas com grandes áreas de terra podem apresentar concentrações de sílica, ferro e alumínio. Já as regiões mais industrializadas e, portanto, com uma área mais pavimentada, é comum encontrar traços de metais pesados, cálcio e magnésio. Estas substâncias possuem a característica de endurecer a água e torná-la mais ácida (SANT'ANA e MEDEIROS, 2017). Nas grandes cidades, devido à poluição atmosférica, os principais elementos encontrados nas águas são o dióxido de enxofre (SO₂) e óxidos de nitrogênio (NO_x).

Ainda segundo Sant'Ana e Medeiros (2017), mesmo em menor escala, a qualidade da água de chuva também se altera devido aos materiais dos componentes do sistema. Assim, os

revestimentos dessas partes não podem reter muita sujeira, não provocar o crescimento de bactérias e devem ser resistentes à chuva. Na ordem de preferências, sob o aspecto bacteriano, deve-se preferir telhados metálicos, seguidos dos telhados de fibrocimento, plástico e de cerâmica. O uso de materiais naturais pode conferir à água uma coloração, como as fibras de palha que podem causar uma cor amarelada.

Outro fator a ser considerado são os dias consecutivos secos antes de um evento pluviométrico. Além de ser um momento onde a contaminação por dejetos animais se acumula nos telhados, os períodos de seca intensificam a concentração dos poluentes. A contaminação por dejetos de animais, contendo bactérias, vírus e outros organismos prejudiciais à saúde humana, acontece pela área de captação ser um espaço aberto e assim acessado por pássaros, ratos, e outros.

Desse modo, os principais parâmetros de qualidade da água de chuva são: Cloreto, Cloro residual, Condutividade elétrica, Cor, COT, Dureza, *Escherichia coli*, pH e Turbidez.

2.7.1 Cloreto

Segundo Von Sperling (2018): "Todas as águas naturais, em maior ou menor escala, contém íons resultantes da dissolução de minerais". Os cloretos são advindos da dissolução de sais de cloreto, como o cloreto de sódio. Estes sais estão entre os mais abundantes na natureza, variando de acordo com o terreno, descarte de efluentes e contato com mar. Estudos mostram que a água de chuva coletada em sistemas litorâneos, ou seja, próximos ao oceano, contém concentrações de sódio, potássio, magnésio, cloro e cálcio próximas ao do mar (JAQUES, 2005). O estudo de Conceição *et al.* (2011) mostrou que além do aporte marinho, as concentrações de cloretos na águas pluviais podem ser da poluição por via antropogênica como: queima de combustível fóssil, carvoarias e combustão ou decomposição de compostos organoclorados.

2.7.2 Cloro Residual

A NBR 15.527 (ABNT, 2019a) solicita o teor de cloro residual de 0,2 a 5 mg/L nas águas pluviais, caso haja a desinfecção da mesma. De Amorim (2001) relata que após a inserção do cloro no sistema de aproveitamento de águas pluviais, durante as análises de verificação dos parâmetros de qualidade, a sua presença pode indicar que a água foi efetivamente desinfetada ou não houve alguma introdução de matéria orgânica ou microrganismos que possam ter consumido-o. Desta forma, o cloro residual permite verificar e monitorar a evolução da qualidade microbiológica das águas pluviais.

2.7.3 Condutividade elétrica

A condutividade elétrica é a capacidade que a água tem de conduzir corrente elétrica, e que pode variar de acordo com as concentrações iônicas presentes, junto à sua temperatura. À medida em que há maior presença de sólidos dissolvidos, a condutividade também irá ser maior. Este parâmetro indica a quantidade de sais existentes na água e é utilizado como uma medida indireta de concentração de poluentes. As águas naturais apresentam valores de 10 a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, se a água apresentar um valor superior a 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, o ambiente pode ser considerado impactado pela poluição e é conferida a característica de corrosividade à água (JAQUES, 2005).

2.7.4 Cor

A cor pode ser dita como o grau de redução de intensidade que a luz sofre ao atravessar a água e é provocada por sólidos dissolvidos e coloidais orgânicos e inorgânicos, como o ácido húmico e fúlvico, ferro e manganês (VON SPERLING, 2018). A água de chuva adquire cor ao passar pela superfície destinada a sua captação devido à presença de partículas de poeira, folhas, resíduos de aves e de atividades industriais.

2.7.5 Carbono Orgânico Total (COT)

O apêndice E do Relatório de Qualidade das Águas Interiores no Estado de São Paulo (2019, p.14), aborda que:

A análise de carbono orgânico total (COT) considera as parcelas biodegradáveis e não biodegradáveis da matéria orgânica, não sofrendo interferência de outros átomos que estejam ligados à estrutura orgânica, quantificando apenas o carbono presente na amostra. O carbono orgânico em água doce origina-se da matéria viva e também como componente de vários efluentes e resíduos. Sua importância ambiental deve-se ao fato de servir como fonte de energia para bactérias e algas, além de complexar metais.

No entanto, segundo Ganem (2019), a análise do parâmetro ainda não é muito difundida nos estudos da qualidade de águas pluviais, todavia o COT se torna um indicador que avalia a capacidade que a água tem para consumir oxidantes químicos. Além disso, se a água de chuva passar por um processo de desinfecção, como a adição de cloro, é importante o seu monitoramento pois pode haver um potencial de formação de trihalometanos (MIORANDO, 2017).

2.7.5.1 Carbono Orgânico Dissolvido (COD)

O carbono orgânico dissolvido (COD) é a fração de carbono dissolvido do COT, que por sua vez é composto por uma parte dissolvida e outra suspensa. Desta forma, o carbono orgânico dissolvido é uma maneira de avaliação da matéria orgânica presente nas águas pluviais. Esta é a parcela de carbono dissolvido em uma amostra de águas pluviais após a filtração dos sólidos suspensos da amostra, assim proporciona informações da presença de substâncias orgânicas na atmosfera. As fontes desse parâmetro são as atividades agrícolas, industriais e a queima de combustíveis fósseis por veículos automotores (FONSECA, 2017).

2.7.6 Dureza

A dureza de uma água é a medida da sua capacidade de precipitar sabão, isto é, nas águas que a possuem os sabões transformam-se em complexos insolúveis, não formando espuma até que o processo se esgote. Essa característica é causada pela presença de cálcio e magnésio, principalmente, além de outros cátions como ferro e manganês associados à principalmente ânions carbonato e sulfato mas também à nitrato, silicato e cloreto (CETESB, 2019).

Segundo Thomas e Rees (1999) apud Sant'Ana e Medeiros (2017) a água pluvial apresenta, geralmente, baixa dureza. Assim, pode ser indicada para uso em lavagem de roupa e irrigação pressurizada, devido ao fato de que não influencia na formação de espuma na utilização de sabões e detergentes e não acarreta danos à saúde dos usuários.

2.7.7 Escherichia coli

Os autores Lambais *et al* (2017) citam que uma análise importante para a qualidade da água para consumo é a bacteriológica. Em certos usos não potáveis da água de chuva como a irrigação ou lavagem de roupa, a água pode entrar em contato com o usuário, logo, se faz necessário também uma verificação do risco de contaminação por bactérias. O parâmetro utilizado, tanto na NBR 15.527/2019, como na NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019a) e (ABNT, 2019b) a *Escherichia coli*, mais conhecida como *E.Coli*, é indicadora de contaminação fecal de humanos e/ou de animais de sangue quente. Como este estudo se trata de sistemas de aproveitamento de águas pluviais, no caso de existir a sua presença, se tem que a contaminação das águas parte dos animais que podem atingir a área do telhado de captação.

Segundo Von Sperling (2018), a *E.coli* é uma bactéria que se encontra dentro do grupo dos coliformes termotolerantes, que são indicadores de organismos predominantemente de origem intestinal humana e de animais, mas também pode indicar bactérias de vida livre que apenas resistiram às elevadas temperaturas das análises laboratoriais.

Além disso, os coliformes termotolerante estão dentro do grupo dos coliformes totais que podem ser entendidos como um indicador ambiental, pois sua presença nas águas não necessariamente indica uma contaminação por bactérias intestinais (VON SPERLING, 2018).

2.7.8 pH

O parâmetro pH é dado como potencial de hidrogênio presente na água, de acordo com o balanço dos íons H^+ e OH^- . Desta forma, uma água é considerada como de pH neutro, quando há o equilíbrio dos íons e, assim, apresentando o valor de pH igual a 7. Estudos mostram que o pH da água da chuva coletada em centros urbanos é influenciado tanto ao tipo de telhado utilizado na captação do sistema mas também quanto às características do local que está inserido, como o fluxo de veículos (ALVES *et al.*, 2021 e MEDEIROS, 2005). A liberação na atmosfera de poluentes gerada pela queima de combustíveis fósseis por fábricas e veículos influencia no pH, não só devido à deposição que os componentes fazem sobre o solo, árvores e telhados mas também pelos poluentes que circulam na atmosfera e se misturam com o vapor d'água (JAQUES, 2005).

2.7.9 Turbidez

A turbidez é o grau de atenuação de intensidade de um feixe de luz ao atravessar a água e é ocasionada pela presença de partículas sólidas em suspensão, podendo ser de origens naturais, como: partículas de rocha, silte, algas e outros microrganismos; ou de origem antropogênica, como por exemplo pela erosão (VON SPERLING, 2018). Segundo Jaques (2005) a presença dessas partículas suspensas pode ser perigosa, pois pode abrigar microrganismos patogênicos, além de diminuir a eficiência da cloração.

3 METODOLOGIA

3.1 Caracterização do sistema de águas pluviais e área de estudo

A análise da qualidade da água da chuva foi realizada a partir da coleta de volumes armazenados em dois sistemas de captação e armazenamento de águas pluviais (CAP),

intitulados CAP1 e CAP2, localizados na região centro-norte da cidade do Rio de Janeiro-RJ.

Com um padrão de ocupação de áreas densamente urbanizadas, de comércio e residências, a região apresenta um tráfego intenso de veículos e tem proximidade com o maciço da Floresta da Tijuca (Figura 7). A localização dos sistemas monitorados de águas pluviais ocorre em função da morfologia da área urbana densamente ocupada, da tipologia da superfície do telhado de captação e da capacidade de armazenamento de coletores de água de chuva. A estação pluviométrica da Tijuca foi utilizada na obtenção de dados para a realização deste estudo e está localizada no bairro da Tijuca, distante 1,60 km do CAP1 e 2,65 km do CAP2.

Figura 7 - Localização dos sistemas de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro



Fonte: Autora, 2022.

O sistema de captação e armazenamento de águas pluviais CAP1 (Figura 8a) está localizado no bairro Rio Comprido, na região central da cidade, nas dependências do antigo Instituto de Aplicação Fernando Rodrigues da Silveira, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (CAP-UERJ), próximo ao elevado Engenheiro Freyssinet, situado em uma área com intensa liberação de poluentes atmosféricos oriundos de cerca de 20.600 veículos, em média, por dia útil no local (PREFEITURA DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO, 2017). O bairro Rio Comprido apresenta 62% de sua área total urbanizada, segundo a Prefeitura da cidade do Rio de Janeiro (2018). Com uma área parcial de 80 m² da cobertura da quadra poliesportiva, o

CAP1 é composto por telhas de aço galvanizado, calha de chapa metálica galvanizada, condutores verticais e horizontais de PVC, sistema separador de fluxo inicial ou *first flush* de 0,2 mm, sifão extravasor, medidor de nível, pontos de coleta e reservatório de 2.460 litros.

O sistema de captação e armazenamento de águas pluviais CAP2 (Figura 8b) localiza-se no bairro Maracanã, no campus da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), região centro norte da cidade do Rio de Janeiro, totalmente urbanizada, com intenso fluxo de veículos na rua São Francisco Xavier e na Avenida Radial Oeste, como via de conexão entre a zona norte e o centro da cidade. Composto por um telhado de fibrocimento com área de captação de 30 m², o CAP2 possui condutores verticais e calhas em PVC, sistema separador de sólidos, *first flush* primário e secundário, sistema de tratamento preliminar, equipamento Chovechuva (calcário e cloro), reservatório com capacidade de armazenamento de 1.000 litros, extravasor, sifão, medidor de nível e pontos de coleta. O equipamento chamado Chovechuva (Figura 8b), o qual possui uma caixa separadora de folhas, uma pedra calcária e um dispositivo clorador no qual são inseridas as pastilhas de cloro.

Tabela 8 - Principais características dos sistemas de águas pluviais do presente estudo

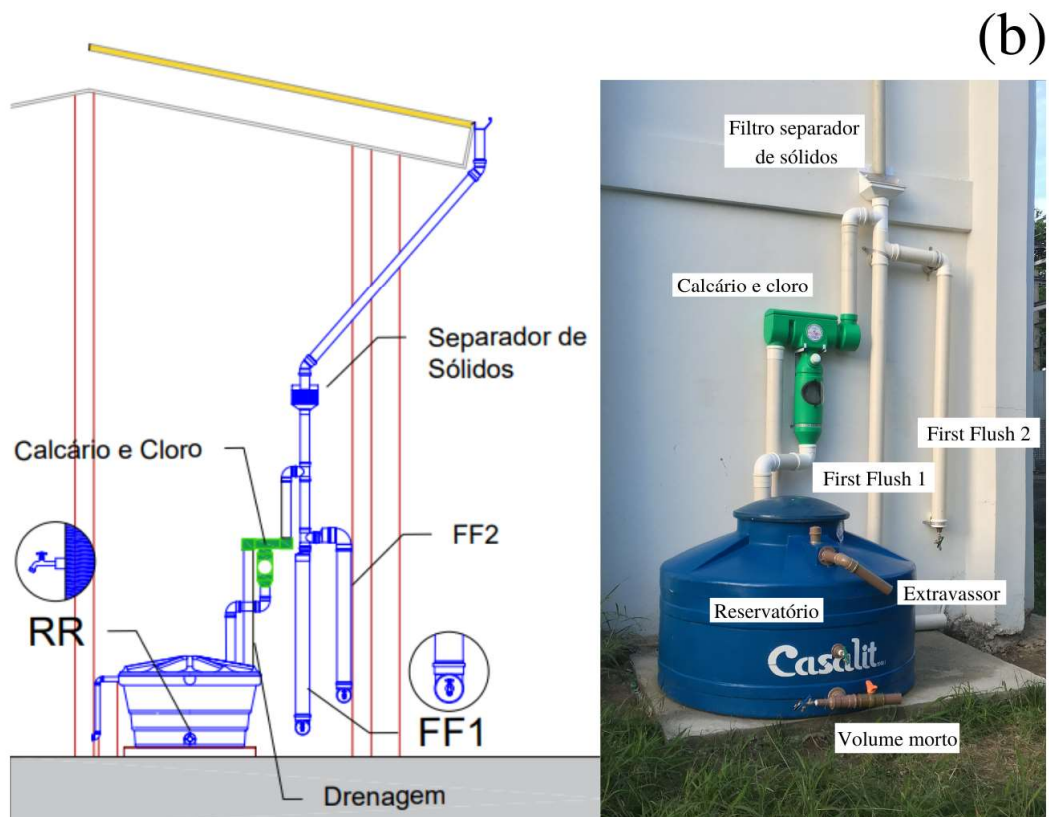
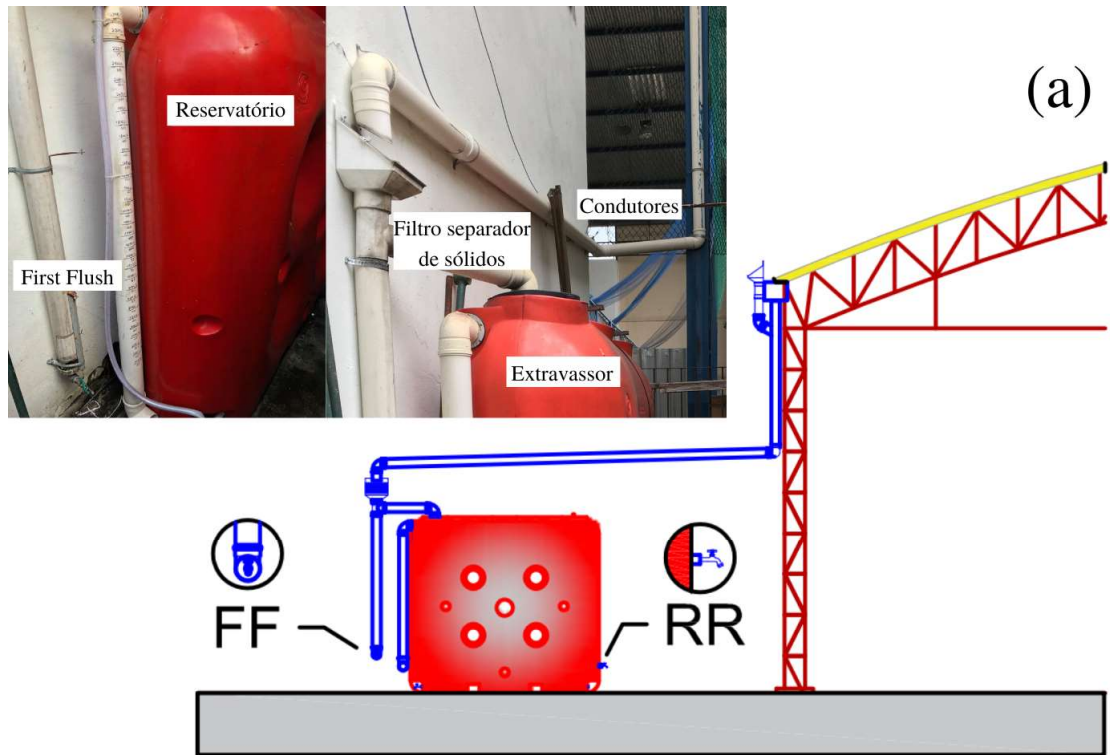
CAP	Local	Bairro	Telhado	Área telhado	Volume first flush	Volume Reservatório	Coef. de <i>runoff</i>
1	CAP ¹	Rio Comprido	Metálico	80 m ²	0,2 mm	2.460 L	0,80
2	UERJ	Maracanã	Fibrocimento	30 m ²	0,5 mm ²	1.000 L	0,82

¹ Colégio de Aplicação; ²Volume *first flush* primário

Fonte: Autora, 2022.

Os sistemas de captação e armazenamento de águas pluviais analisados neste estudo se propõem a avaliar a remoção de poluentes pelo dispositivo *first flush* e em função da tipologia da superfície do telhado. As amostras de água de águas pluviais, em avaliação neste estudo, foram obtidas dos pontos *first flush* e reservatório, sendo no sistema CAP2 avaliadas as águas do *first flush* primário, que tem a capacidade 0,5 mm de chuva. Tomaz (2009) aponta que 0,5 mm de separação da chuva inicial seriam os mínimos adotados em um sistema de águas pluviais (SAP). Apesar disso, o sistema CAP1 foi projetado, em razão do espaço disponível, para descartar 0,2 mm iniciais da precipitação efetiva.

Figura 8 - Componentes dos sistemas de águas pluviais CAP1 (a) e CAP2 (b)



Fonte: Autora, 2022.

3.2 Procedimento Amostral

Foram selecionados os pontos do *first flush* (FF) e reservatório (RR) com coletas e análises de volumes efetivos precipitados entre janeiro de 2017 e dezembro de 2019 em cada sistema de captação e armazenamento de águas pluviais, como observado na Tabela 9.

Tabela 9 - Controle de amostras analisadas nos sistemas entre os anos de 2017 a 2019

Mês												
Ano	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
CAP1												
2017	x	-	x	x	x	x	x	x	-	x	x	-
2018	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
2019	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x	x	-
CAP2												
2017	x	x	-	x	x	x	x	-	-	x	x	x
2018	x	-	-	x	x	x	-	x	x	-	x	x
2019	x	x	x	x	x	x	x	-	x	-	-	x

Legenda: x Amostra analisada - Sem volume para análise em um dos pontos

Fonte: Autora, 2022.

A qualidade de amostras teve como análise dos parâmetros: Cloreto, Cloro residual, Condutividade elétrica, Cor, Carbono orgânico dissolvido (COD), Dureza, Coliformes totais, Coliformes termotolerantes, pH e Turbidez. Os parâmetros foram analisados no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES-UERJ), da Faculdade de Engenharia (FEN), da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), de acordo com os métodos descritos na Tabela 10.

Para realizar uma comparação com a NBR 15.527/2019 e Portaria GM/MS Nº 888/2021 os parâmetros de coliformes totais e coliformes termotolerantes foram comparados com o padrão de *Escherichia Coli* presentes na norma e portaria. Esses parâmetros foram monitorados nos pontos *first flush* e reservatório do sistema CAP1 no ano de 2018 e

analisados pelo Laboratório OCEANUS – HIDROQUÍMICA, localizado no bairro do Rio Comprido-RJ. O laboratório utilizou o método de NMP - Número Mais Provável, de acordo com a metodologia SMEWW 9221 E para os CT e SMEWW 9223 A e B - Tubos Múltiplos Normal para os termotolerantes.

Tabela 10 - Metodologias utilizadas para as análises de qualidade das águas pluviais

Parâmetro	Método ¹
Cloreto	Método 4500-Cl – B
Cloro Residual	Método 4500-Cl B. <i>Iodometric Method I</i>
Condutividade elétrica	Método 2510 B <i>Laboratory Method</i>
Cor	Método 2120 C <i>Spectrophotometric – Single-Wavelength Method</i>
COD	Método 5310 B. <i>High-Temperature Combustion Method</i>
Dureza	Método 2340 C EDTA <i>Titration Method</i>
Coliformes totais	NMP - Número Mais Provável ²
Coliformes Termotolerantes	9223 A e B - Tubos Múltiplos Normal ²
pH	Método 4500 H+ B <i>Electrometric Method</i>
Turbidez	Método 2130 B <i>Nephelometric Method</i>

¹ Descritos por AWWA ²SMEWW

Fonte: Autora, 2022.

3.3 Caracterização pluviométrica da região

Para realizar uma caracterização pluviométrica da região dos sistemas localizados do CAP1 e CAP2, foi utilizado o histórico da estação pluviométrica da Tijuca, do Sistema Alerta Rio da Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2020). A estação está situada no Centro de Estudos do Sumaré, nas dependências do Palácio Apostólico, em uma cota elevada do Maciço da Tijuca e auxilia no monitoramento pluviométrico na parte baixa da Grande Tijuca, composta pelos bairros: Tijuca, Vila Isabel, Alto da Boa Vista, Praça da Bandeira, Maracanã, Mangueira, Rio Comprido e outros.

Na Figura 9 estão representadas as médias da precipitação acumulada mensal do histórico entre 1997 e 2019 e separadamente dos respectivos anos analisados no trabalho (2017, 2018 e 2019). Com um total anual de cerca de 863 mm, o ano de 2017 foi o ano com

menor volume precipitado no período analisado, correspondendo a 69% da média do histórico, de modo que representa o menor volume coletado de amostras. A média mensal em 2017 foi de 72 mm, a menor média do período estudado. Em 2018, houve um aumento do volume de chuvas, com 1.271 mm, e um aumento de 47% no volume médio de chuva mensal em relação ao ano anterior. O ano de 2019 também teve um aumento no volume de chuvas anual e mensal, em relação ao ano de 2018, com valores respectivos de 1.804 mm e 150 mm. No período analisado, a média anual foi 1.490,2 mm; e a média mensal de 124,2 mm, de acordo com a Tabela 11.

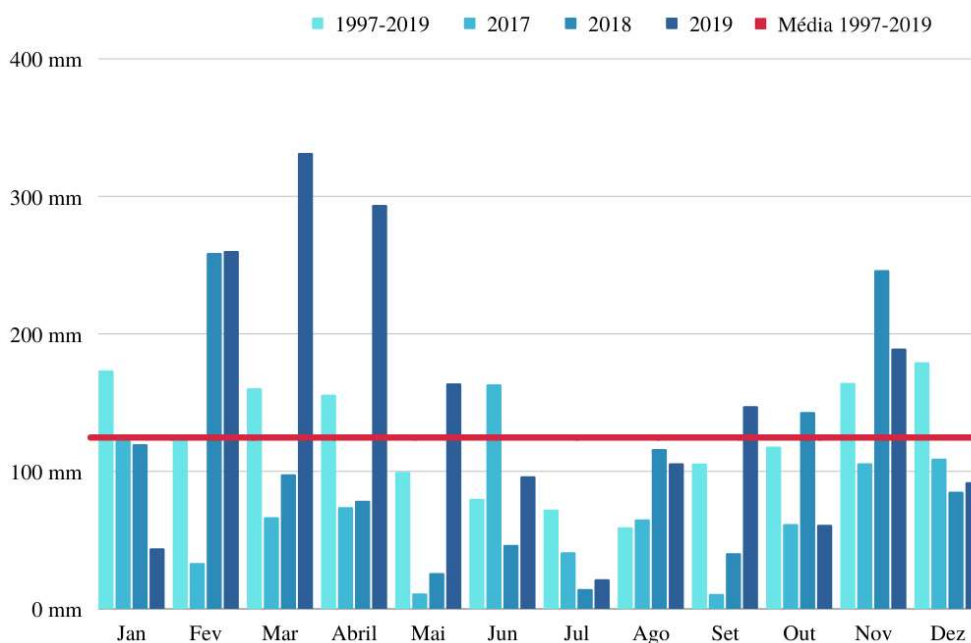
Tabela 11 - Acumulado anual e média mensal anual na estação pluviométrica da Tijuca

Período	Total anual (mm)	Média mensal anual (mm)
1997-2019	1.490,2 ¹	124,2
2017	863,0	72,0
2018	1.271,0	105,9
2019	1.804,0	150,0

¹ Média do período

Fonte: Adaptado de ALVES et al, 2021.

Figura 9 - Média mensal histórica de chuva e acumulado mensal do período do estudo



Fonte: Adaptado de ALVES *et al.*, 2021.

A caracterização de cada evento de chuva foi obtida do primeiro volume armazenado no *first flush* e após cada coleta realizada no reservatório, com discretização da precipitação a

cada 15 minutos fornecida pelo Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, para a estação pluviométrica da Tijuca (PREFEITURA DO RIO DE JANEIRO, 2020). Foram considerados eventos pluviométricos geradores das amostras coletadas: precipitações acima de 1 mm que começam após a última coleta realizada; com término quando há uma hora sem registro de chuva. A caracterização dos dias secos consecutivos foi feita pela soma total de dias sucessivos com menos de 1 mm de chuva.

3.4 Análise de resultados

A análise estatística descritiva foi realizada pelo programa Excel®, e do comando *boxplot* da linguagem do Programa R, versão 3.4.4. A análise descritiva pelo Excel também considerou os dados de dias secos consecutivos sem chuva e a precipitação (mm) das chuvas que geraram as amostras além dos parâmetros físico-químicos, com exceção do cloro residual devido ao seu número de análises existentes ao longo do período de estudo.

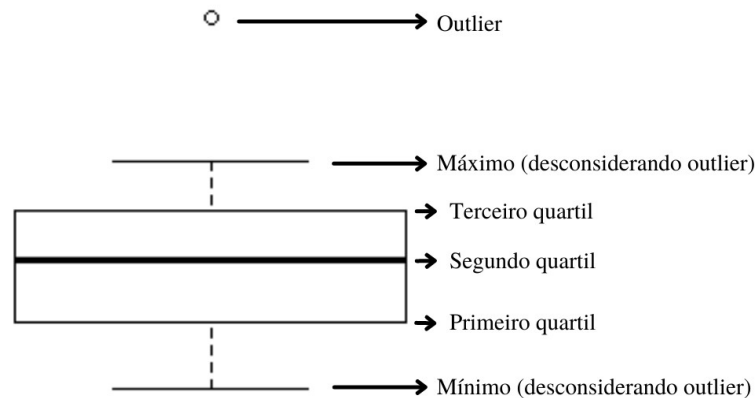
Na análise do *boxplot*, permite-se visualizar a distribuição e valores discrepantes (*outliers*) dos dados, com informações de variabilidade da amostra de dados indicando os valores atípicos que podem influenciar cálculos, como da média aritmética da amostra. Segundo Tukey (1977), um *outlier* é um valor incomum que está longe de um valor central e que pode ser melhor observado em um gráfico *boxplot*, podendo indicar erros de medição ou de execução de uma análise.

Além do *outlier*, outro ponto relevante para a interpretação do *boxplot* são os quartis. Como observado na Figura 10, os quartis representam os percentis 25, 50 e 75, o que quer dizer que, no quartil 25, um total de 25% das amostras são menores ou igual à ele. O quartil 50, ou seja, o segundo quartil representa a mediana dos dados. Durante a leitura do *boxplot*, é verificada a dispersão e simetria dos conjuntos de dados.

Foram utilizados os valores do primeiro quartil e terceiro quartil para o cálculo do intervalo interquartil (IQR), representado na Equação 1, a fim de se calcular os limites superiores e inferiores dos dados.

$$IQR = Q_3 - Q_1 \quad \text{Equação 1}$$

Figura 10 - Representação do *boxplot*



Fonte: Autora, 2022.

Desta forma, os limites inferiores e superiores se estendem, respectivamente, do primeiro quartil até o menor valor não inferior, correspondente à Equação 2 e, do quartil superior até o maior valor não superior, correspondente à Equação 3.

$$Lim_{inf} = Q_1 - 1,5 \times IQR \quad \text{Equação 2}$$

$$Lim_{sup} = Q_3 - 1,5 \times IQR \quad \text{Equação 3}$$

Para as análises estatísticas descritivas, análise dos componentes principais (ACP) e matriz correlação, foram mantidos os valores *outliers*, exceto na representação dos *boxplots*, nos quais foram retirados para uma melhor visualização do método.

Para os métodos de análises, os parâmetros físico-químico de cor, COT e dureza foram retirados do montante de dados brutos para uma melhor avaliação destas técnicas, visto que havia um menor percentual de análises, do que comparado aos demais parâmetros pois a base de dados dos resultados das análises destes parâmetros começa apenas entre o primeiro e segundo semestre de 2018. Nos métodos de matriz correlação e ACP, não pode haver dados faltantes para um mesmo evento pluviométrico. Desta forma, os parâmetros de cor, COT e dureza não foram contabilizados com o objetivo de não retirar os eventos inteiros devido a falta destes entre 2017 e 2018.

O método de análise proposto, para identificação das variáveis físico-químicas que mais influenciam na variabilidade da qualidade das águas pluviais, foi obtida a matriz correlação e a análise dos componentes principais, realizada no Progama R versão 3.4.4. (NAKADA, 2014). Para descrever uma associação entre as variáveis de um conjunto de

dados, pode-se utilizar a matriz de correlação, na qual cada célula corresponde aos coeficientes entre as variáveis. A forma de correlação mais conhecida é chamada de correlação de Pearson (Equação 4), na qual varia entre -1 e 1 (ROCHA, 2018).

$$r = \frac{\sum(x-\bar{x})(y-\bar{y})}{\sqrt{\sum(x-\bar{x})^2 \sum(y-\bar{y})^2}} \quad \text{Equação 4}$$

A correlação positiva mostra que ambas as variáveis mudam em uma mesma direção e uma correlação negativa mostra que se mudam em direções opostas. Quanto mais próximo dos extremos (-1 ou 1) maior a correlação entre as variáveis. A matriz de correlação pode ser aplicada para encontrar padrões em uma grande quantidade de dados, verificar uma relação linear entre variáveis, aplicada em métodos multivariados como a análise fatorial ou análise de componentes principais.

A análise dos componentes principais (ACP) pode ser interpretada pelo mapa percentual, um gráfico bi-dimensional, que faz a correlação de dois componentes e suas variáveis. A primeira componente, ou eixo, explica a maioria da variância dos dados e a segunda componente, ou segundo eixo, explica a segunda maior quantidade de variância. O mapa percentual bidimensional se mostra adequado para se avaliar as relações, sobretudo quando houver uma explicação maior que 50% nas duas primeiras componentes (OLIVEIRA, 2019).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Análises estatísticas com Excel e Boxplot

A Tabela 12 apresenta os resultados das estatísticas descritivas dos resultados de análises de amostras de água de chuva obtidos dos pontos de *first flush* (FF) e reservatório (RR) dos dois sistemas analisados neste trabalho (CAP1 e CAP2), em relação às variáveis da caracterização pluviométrica e os parâmetros físico-químicos e biológicos, com exceção do cloro residual.

Tabela 12 - Estatística descritiva das variáveis qualitativas de águas pluviais coletadas nos sistema CAP1 e CAP2

Sistema		CAP1											CAP2												
Ponto		FF ²					RR ³						FF ⁴						RR ⁵						
Variável/ Índice		Mín	Máx	Méd	σ	Lim. sup	Lim. inf	Mín	Máx	Méd	σ	Lim. sup	Lim. inf	Mín	Máx	Méd	σ	Lim. sup	Lim. inf	Mín	Máx	Méd	σ	Lim. sup	Lim. inf
DSC		0	22	5	5,19	-		0	22	5	5,19	-		0	21	5,4	5	-		0	21	5,4	5	-	
Precipitação		1	40,4	9,95	10,89			1	40,4	9,95	10,89			1,6	40,4	10,15	10,10			1,6	40,4	10,15	10,10		
Cloreto		0	78,47	14,33	17,82	49,16	0	0	15,59	4,86	3,97	13,15	0	0	103,95	9,65	17,15	23,70	0	0	88,20	6,70	16,33	14,62	0
Condutividade		21,7	589,3	107,25	119,03	238,55	0	8,85	91,2	37,77	19,50	77,62	0	53,12	222,10	105,11	35,97	180,01	23,85	36,20	150,70	73,57	27,72	126,45	6,05
Cor		1	167	54,63	50,37	115,5	0	0	19	6,44	4,60	14	0	0,55	106	25,33	21,82	48,87	0	1	51	16,53	12,45	40	0
COD		0	128,3	10,18	28,11	14,57	0	0	97,72	7,44	21,65	6,52	0	0,4	7,07	3,35	1,97	8,27	0	0,96	9,76	3,63	2,18	7,70	0
Dureza		0	1.428	103,80	306,64	87,5	0	0	327	32,13	73,82	39,87	0	1,6	510	86,17	134,81	124,35	0	0,7	42	20,45	14,28	67,13	0
E.Coli ¹	Coli.Totais	Au	350	127,66	193,25	-		Au	1600	250,87	551,30	514,62	0	-											
	Termo.	Au	8,2	5,33	4,62			Au	130	20,97	44,78	50	0												
pH		5,15	7,53	6,42	0,48	7,19	5,71	5,14	7,34	6,41	0,38	7,17	5,69	5,77	9,48	7,34	0,77	8,20	6,18	6,07	8,19	7,02	0,51	7,96	6,27
Turbidez		0	140	30,95	37,55	122,15	0	0	2,7	0,62	0,64	1,46	0	0	101	16,27	26,92	42,12	0	0	3,70	0,84	0,90	1,97	0

DSC: Dias secos consecutivos; Precipitação: altura precipitada (mm); Cloreto (mg Cl⁻/L); Condutividade (μs/cm); Cor: Cor Aparente (uC); COD (mg/L); Dureza (mg/L); Coli. Totais: Coliformes totais (NMP/100mL); Termo.: Coliformes termotolerantes (NMP/100mL); Turbidez (uT); Mín: Valor mínimo; Máx: Valor máximo; Méd: Média; σ: desvio padrão; Lim.Sup: Limite superior; Lim.Inf.: Limite inferior; Au: Ausente. ¹ Análises realizadas: 3 (FF) e 8 (RR) ; ² Média análises: 31; ³Média análises: 30; ⁴ Média análises: 31; ⁵Média análises: 24.

Fonte: Autora, 2022.

Como dito, o cloro residual não foi analisado como os demais parâmetros na análise estatística, devido ao número de análises realizadas ao longo do período de estudo, composta de apenas duas amostras em 2019, após a inserção de pastilhas de cloro no compartimento, a partir do dispositivo de “calcário” e “cloro” no sistema CAP2. Os resultados obtidos para o cloro residual nestas duas análises foram de 0 e 0,1 mg/L.

Em virtude disso, é indicada uma maior frequência na incorporação das pastilhas de cloro e o monitoramento constante deste parâmetro no sistema CAP2, afim de se verificar o atendimento à NBR 15.527/2019, a qual solicita o teor de cloro residual de 0,2 a 5 mg/L nas águas dos sistemas pluviais. Em consequência da proximidade dos sistemas e da periodização das coletas de cada sistema serem semelhantes, as variáveis de dias consecutivos secos e precipitação, os sistemas apresentaram valores análogos entre todos os índices estatísticos.

Em relação ao cloreto, apesar de seu valor máximo no sistema CAP2 (telhado fibrocimento) ser superior ao CAP1 (telhado metálico) no ponto do *first flush* (FF), isto devido ao valor *outlier* ainda considerado nesta análise descritiva, a sua média é inferior ao CAP1. O limite superior obtido no ponto *first flush* (FF) nos sistemas CAP1 e CAP2 apresentaram valores de 49,2 mg/L e 23,7 mg/L, respectivamente.

As concentrações de cloreto em águas pluviais podem ser resultantes, tanto da proximidade do local com o mar, quanto pela queima de combustível fóssil e outras ações antropogênicas (CONCEIÇÃO *et al.*, 2011). O sistema CAP1 se encontra a cerca de 60 metros do elevado Engenheiro Freyssinet, que apresenta elevado tráfego com mais de 20.000 veículos por dia. Desse modo, o sistema CAP1 é considerado mais vulnerável aos poluentes atmosféricos advindos da circulação de veículos automotores, observado nas análises de amostras no ponto FF. Em contrapartida, no ponto de reservatório (RR), os valores de cloreto para o sistema CAP1 são menores, apesar das médias serem próximas, o desvio padrão apresenta dessemelhança com o do sistema CAP2.

Os valores *outliers*, no parâmetro da condutividade, causaram discrepâncias em relação aos índices de máximo e desvio padrão, entre os sistemas no que se refere ao ponto do *first flush* (FF). O limite superior para o CAP1 (telhado metálico) apresentou um valor de 238,55 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e para o CAP2 (telhado fibrocimento), foi de 180 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Ainda assim, as médias para este parâmetro apresentaram valores similares e tendo em vista que os seus valores, assim como proposto por Jaques (2005), corresponderem há mais de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, pode-se considerar a região de localização dos sistemas, como impactados pela poluição atmosférica. O ponto em exceção é o reservatório (RR) dos sistemas, que apresentam médias de condutividade elétrica abaixo de 100 $\mu\text{S}/\text{cm}$, com um valor de 37,77 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o CAP1 e

73,57 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para o CAP2. Essa diferença entre os sistemas pode estar relacionada a presença de íons na composição química dos telhados de fibrocimento (CAP2), como os íons Ca^{+2} e Mg^{+2} como mostra Costa et al. (2020) em seu trabalho.

O trabalho de Silva (2018) também realizou um estudo da qualidade das águas pluviais em relação ao material do telhado dos sistemas de captação. Foram analisadas as águas dos reservatórios de dois sistemas: um com telhado de zinco, portanto metálico, e o outro de fibrocimento. Foi obtido que os telhados metálicos apresentaram uma menor condutividade, entre 5 e 23 $\mu\text{S}/\text{cm}$, em comparação ao de fibrocimento com resultados entre 25 e 45 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Apesar de que os valores deste presente estudo apresentarem-se levemente superiores ao de Silva (2018), podendo se tratar da proximidade ao oceano dos sistemas CAP1 e CAP2, há a evidência de um resultado superior para este parâmetro em função do uso do material de telhado de fibrocimento.

Para o parâmetro cor, os resultados da análise descritiva demonstraram que no ponto do *first flush* (FF), o sistema CAP2 (telhado fibrocimento) apresentou os melhores resultados, com uma média de 25,33 uC, contra 54,63 uC do CAP1 (telhado metálico). Em relação aos reservatórios, o CAP1 obteve valores de cor mais baixos, com 19 uC de valor máximo e 6,44 uC como média e o CAP2 apresentou um valor máximo de 51 uC e média de 16,53 uC.

Silva (2018) encontrou nos telhados de fibrocimento os maiores resultados para cor, com um valor máximo 9 uC e para o telhado metálico, o valor máximo foi de 6 uC. Independentemente dos resultados dos dois estudos serem diferentes, pode-se levar em consideração que os telhados de fibrocimento conferem mais influência neste parâmetro do que os metálicos. A cor é provocada por sólidos dissolvidos e coloidais, assim, ocorre que a melhora na qualidade das águas pluviais, em relação a este parâmetro, é de maior eficiência para o sistema CAP 1 (telhado metálico).

A análise do parâmetro do COD é uma indicação da presença de bactérias e algas, visto que o carbono é utilizado como fonte de energia desses elementos. Apesar dos valores mais altos no sistema CAP1 (telhado metálico), a sua média de $10,18 \pm 28,11$ para o *first flush* apresenta valores compatíveis com o de outros estudos, como o de Miorando (2017), que apresentou uma média de 9,54 mg/L. O sistema CAP2 (telhado fibrocimento) apresentou os menores resultados com 3,35 mg/L e 3,63 mg/L para o *first flush* (FF) e reservatório (RR), respectivamente.

A dureza apresentou maiores resultados para o sistema CAP1 (telhado metálico) com os *outliers*, durante a análise estatística descritiva. A média dos valores encontrados para a dureza, nos pontos do *first flush* (FF) foram de $103,80 \pm 306,64$ para o sistema CAP1 e 86,17

$\pm 134,81$ para o sistema CAP2 (telhado de fibrocimento). Além disso, para o reservatório (RR) os sistemas CAP1 e CAP2 apresentaram valores de $32,13 \pm 73,82$ e $20,45 \pm 14,28$, respectivamente. Entretanto, sem os *outliers*, como pode ser visto na Figura 15, os sistemas apresentaram resultados de dureza de forma semelhante.

As análises de coliformes termotolerantes foram realizadas em 3 (três) amostras para o ponto FF, do sistema CAP1. Neste período de análise em apenas uma dessas análises os indicadores foram obtidos como ausente. Este fato pode estar relacionado com o carregamento de dejetos de pássaros ou pequenos mamíferos presentes no telhado durante um evento pluviométrico (COSTA *et al.*, 2020). Para o ponto do reservatório (RR), a contaminação por esses organismos é originada também pelos desejos de animais e folhas que podem ter passado pelo sistema de filtração e descarte inicial.

Para realizar uma comparação com a NBR 15.527/2019 e Portaria GM/MS Nº 888/2021 os parâmetros de coliformes totais e coliformes termotolerantes foram comparados com o padrão de *Escherichia Coli* presentes na norma e portaria. Apesar de que os valores encontrados para os coliformes estejam em desacordo com a Portaria de Potabilidade, os resultados se encontram dentro do padrão da NBR 15.527/2019, ou menor do que 200 em cada 100 mL.

Vale destacar que, para o padrão da *Escherichia Coli* solicitado pela portaria de potabilidade, as águas pluviais não atenderiam à portaria visto que ela é baseada em águas para o abastecimento público após um sistema de desinfecção. Como o sistema CAP1 não possui tal dispositivo, os resultados se encontram dentro do esperado para sistemas de captação e aproveitamento de águas pluviais.

Os valores de coliformes termotolerantes analisados do sistema CAP1 apresentaram menores resultados do que a literatura. Cipriano (2004) encontrou resultados médios de $1.569 \pm 1.340,74$ e $913,32 \pm 925,91$, para os coliformes totais e termotolerantes no ponto do *first flush* (FF). Em relação ao reservatório (RR) os valores tiveram uma diminuição de $1.251,34 \pm 601,15$ NMP/100mL de coliformes totais, para $326,10 \pm 535,45$ NMP/100mL de coliformes termotolerantes.

Os parâmetros mais usuais utilizados para a caracterização da qualidade das águas pluviais são o pH e a turbidez. O sistema CAP1 (telhado metálico) não apresentou grandes variações do pH em relação aos pontos de coleta, com valores de $6,42 \pm 0,48$ para o *first flush* e $6,41 \pm 0,38$ para o reservatório. Em relação aos dois sistemas, o CAP2 (telhado fibrocimento) apresentou um caráter levemente mais básico de pH, mas também sem grandes

variações entre um ponto e outro. Costa *et al.* (2020) argumenta que os sistemas de captação que utilizam o telhado de fibrocimento tendem a apresentar esses valores mais altos de pH devido a composição química do material que é composto por espécies de natureza alcalina, como já visto: calcário, argila, Ca^{+2} , Mg^{+2} , OH^- , HCO^{-3} e o CO^{-3} . Este fato também foi demonstrado pelo estudo dos autores Lee *et al.* (2012), nos quais os resultados de pH nas telhas de fibrocimento se mostraram superiores à outros materiais, obtendo uma média de 7,2 encontrado nos dois pontos (*first flush* e reservatório) e Silva (2018), no qual o telhado de fibrocimento apresentou valores mais básicos de pH.

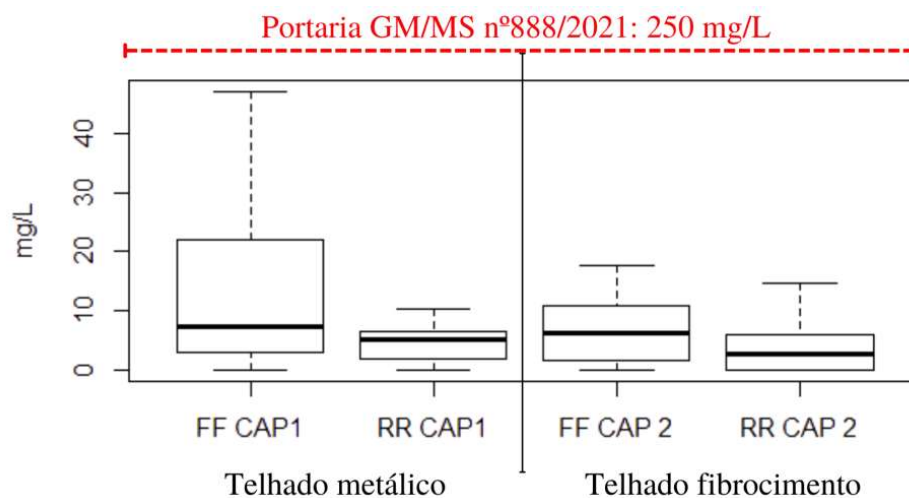
Por fim, a turbidez entre os pontos do reservatório (RR) apresentou valores semelhantes com média de $0,62 \pm 0,64$ uT para o CAP1 (telhado metálico) e $0,84 \pm 0,90$ uT para o CAP2 (telhado fibrocimento). Por outro lado, o sistema CAP1 apresentou maiores resultados no ponto do *first flush* com média de $30,95 \pm 37,55$ uT contra a média de $16,27 \pm 26,92$ uT do CAP2, essa diferença também é evidenciada pela Figura 18.

As Figuras de 11 a 18 expõem os resultados da estatística descritiva, sem a presença dos valores *outliers*, de acordo com a representação do *boxplot* dos parâmetros físico-químicos e biológicos.

A Portaria GM/MS nº888/2021 possui um padrão para o cloreto de 250 mg/L, assim, os resultados encontrados nos dois sistemas se mostram satisfatórios. Pela Figura 11, nota-se que os valores para o sistema CAP2 (telhado fibrocimento) são inferiores aos do CAP1 (telhado metálico) no ponto do *first flush* (FF), ainda assim, a mediana do ponto do reservatório (RR) também é menor no CAP2. O sistema CAP1 apresenta uma maior variabilidade dos dados no ponto *first flush* (FF), mesmo que sua mediana seja análoga a do sistema CAP2.

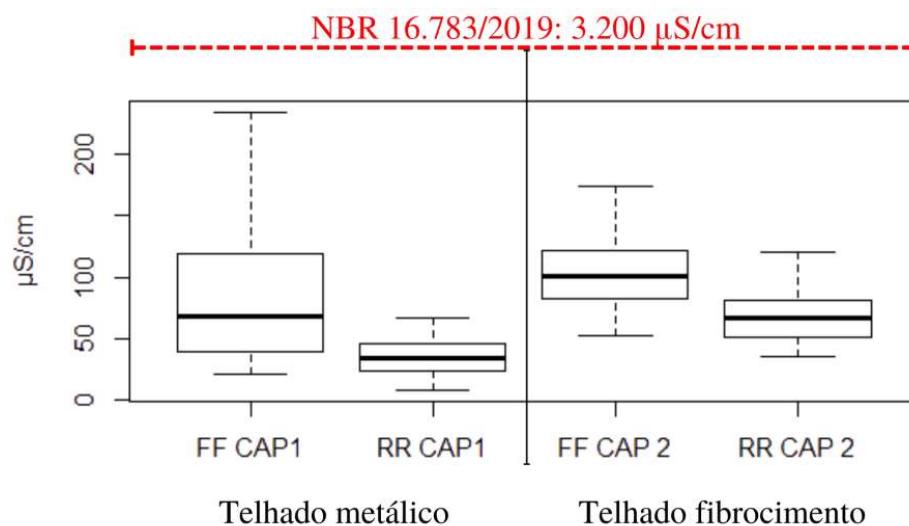
O padrão do parâmetro de condutividade é definido pela NBR 16.783/2019 para os usos não potáveis como 3.200 $\mu\text{S}/\text{cm}$ e, assim como o parâmetro anterior, os dois sistemas se mostram atendendo ao padrão. O sistema CAP1 (telhado metálico) apresenta maior oscilação dos valores deste parâmetro no *first flush* (FF), em contrapartida, os valores para o reservatório possuem um teor mais estável. Os valores do reservatório do CAP2 (telhado fibrocimento) são ligeiramente maiores quando comparados ao sistema CAP1 (telhado metálico) (Figura 12).

Figura 11 - Resultados para o parâmetro cloreto nos pontos FF e RR



Fonte: Autora, 2022.

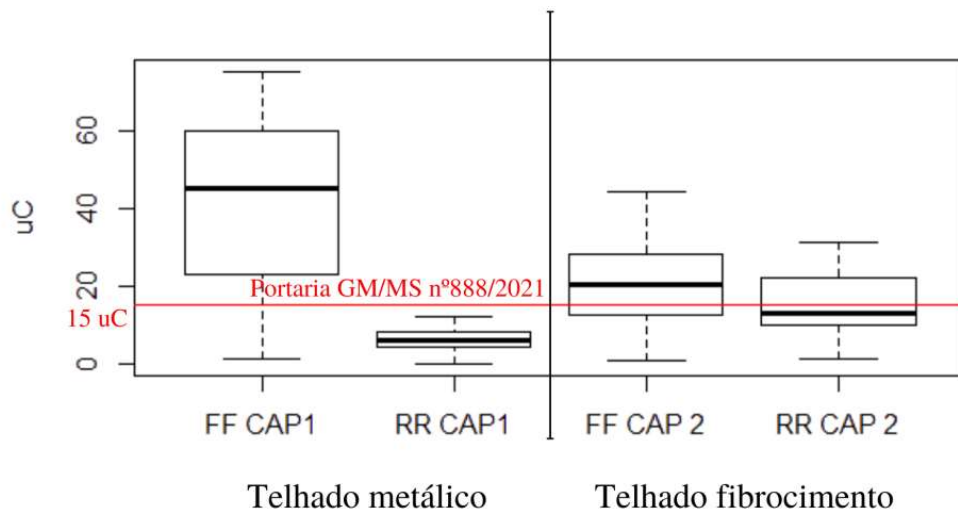
Figura 12 - Resultados para o parâmetro condutividade nos pontos FF e RR



Fonte: Autora, 2022.

Assim como a condutividade, a cor das águas pluviais também sofre influência pela presença de sólidos dissolvidos na amostra. O comportamento entre os parâmetros se mostram semelhantes, entretanto existe um comportamento diferencial do dispositivo *first flush* (Figuras 12 e 13). O padrão para este parâmetro cor é de 15 uC, o qual se encontra na Portaria GM/MS nº888/2021. Tem-se que apenas o ponto de reservatório (RR) do CAP1 (telhado metálico) foi satisfatório no atendimento à legislação. Apesar disso, pode-se perceber a ocorrência do fenômeno *first flush* para este parâmetro, em função da melhora à montante para o ponto à jusante. Não obstante, o sistema CAP2 apresentou valores acima do padrão, sendo que nos quartis 25 e 50, do reservatório (RR), se mostraram aceitáveis (Figura 13).

Figura 13 - Resultados para o parâmetro cor nos pontos FF e RR

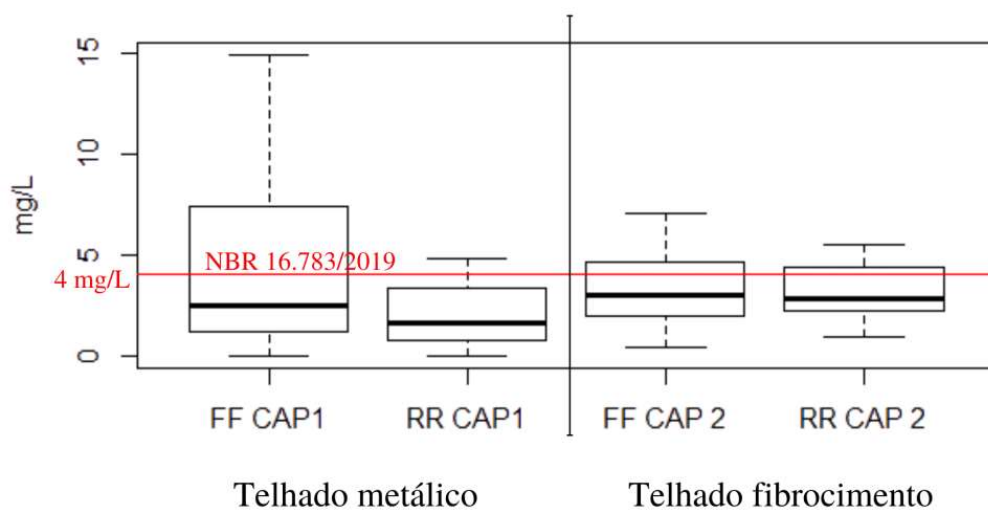


Fonte: Autora, 2022.

Em relação ao COD, a NBR 16.783/2019 padroniza o valor de 4 mg/L para o uso não potável de águas para o parâmetro de carbono orgânico total (COT). Ainda assim, este padrão foi utilizado de modo a caracterizar de uma forma mais completa as águas pluviais.

A figura 14 mostra que todos os quartis 25 e 50 dos 2 (dois) pontos de captação (FF e RR) dos 2 (dois) sistemas (CAP1 e CAP2), se encontraram abaixo do estipulado como valor padrão e tampouco, do quartil 75 do reservatório CAP1. O comportamento das amostras analisadas no sistema CAP2 se manifestou de maneira similar nos pontos de captação *first flush* e reservatório.

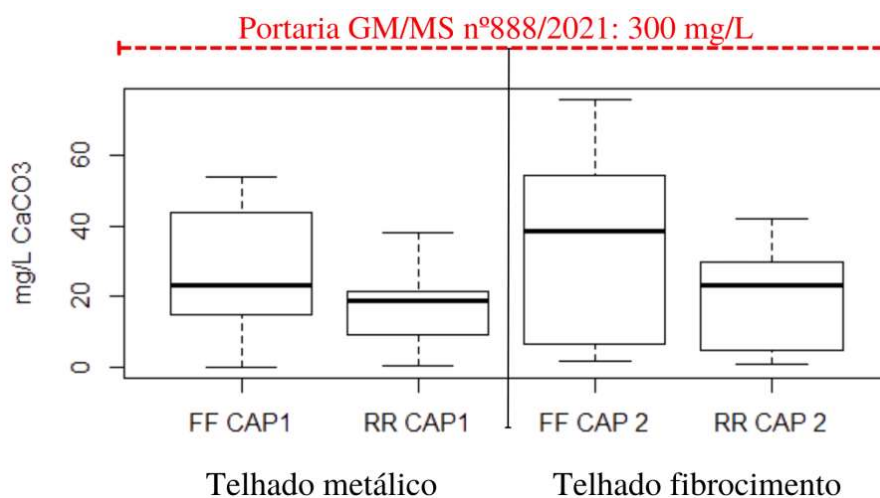
Figura 14 - Resultados para o parâmetro COD nos pontos FF e RR



Fonte: Autora, 2022.

A dureza tem seu valor padronizado pela Portaria GM/MS nº888/2021 como 300 mg/L. Do mesmo modo que a condutividade, para este parâmetro os sistemas CAP1 e CAP2 obtiveram resultados inferiores ao estabelecido pela Portaria GM/MS nº888/2021. Para o ponto *first flush* (FF), o sistema CAP2 (telhado fibrocimento) apresentou uma maior variação de seus valores: seu quartil 25 é inferior porém seu quartil 50 é superior, quando comparado ao CAP1 (telhado metálico) (Figura 15).

Figura 15 - Resultados para o parâmetro dureza nos pontos FF e RR



Fonte: Autora, 2022.

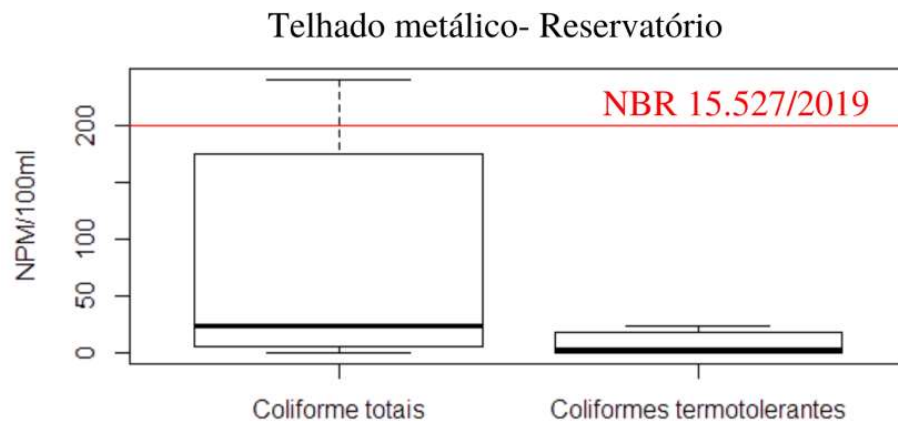
Os resultados para os indicadores utilizados para representar a *E.Coli* se mostraram adequados, quando em comparação ao padrão da NBR 15.527/2019, de 200 NPM/ 100 ml, representado pela linha em vermelho na Figura 16. Quando em consideração à Portaria GM/MS nº888/2021, o resultado é considerado insuficiente, como já previsto pois o estudo se trata de águas pluviais sem o procedimento de desinfecção.

Os coliformes totais são utilizados como indicadores ambientais, não sendo necessariamente um indicador de contaminação fecal. Na análise dos resultados obtidos, é possível observar que a mediana dos coliformes totais é superior aos dados dos coliformes termotolerantes, que são indicadores de organismos de origem intestinal animal ou de bactérias de vida livre. Assim, depreendesse deste fato, que a maioria dos organismos encontrados dentro do reservatório não são de origem de dejetos animais.

Para o pH, tanto a NBR 15.527/2019, quanto a Portaria GM/MS nº 888/2021, padronizam o seu valor padrão entre 6 e 9. Como observado na Figura 17, o sistema CAP2 (telhado fibrocimento) se encontra totalmente dentro deste padrão, apresentando um teor mais básico no ponto do *first flush* (FF) e, também, em relação ao sistema CAP1 (telhado

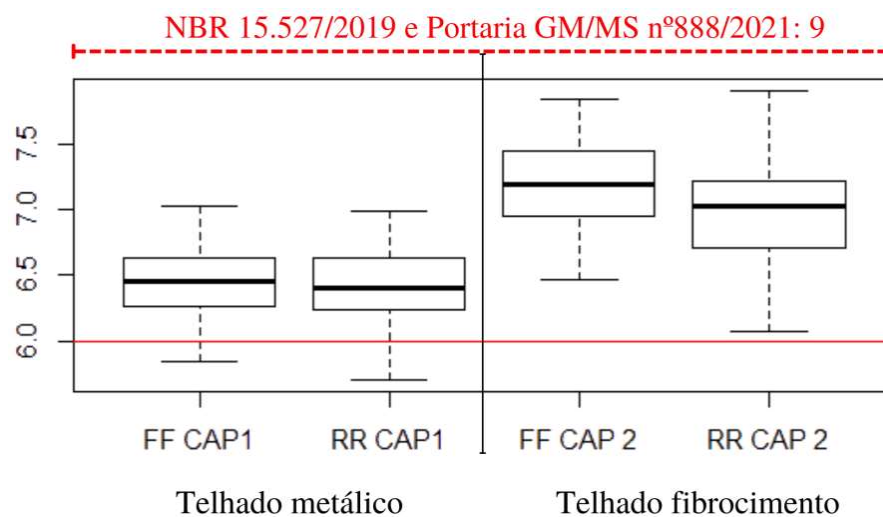
metálico). Todos os quartis do sistema CAP1 se encontraram de acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, porém os mínimos para os 2 (dois) pontos *first flush* e reservatório excederam o limite mínimo das normas. O comportamento do pH dentro do sistema CAP1 foi semelhante entre os pontos de análise das amostras no *first flush* e reservatório.

Figura 16 - Resultados para os parâmetros coliformes totais e termotolerantes no ponto do RR do sistema CAP1



Fonte: Autora, 2022.

Figura 17 - Resultados para o parâmetro pH nos pontos FF e RR

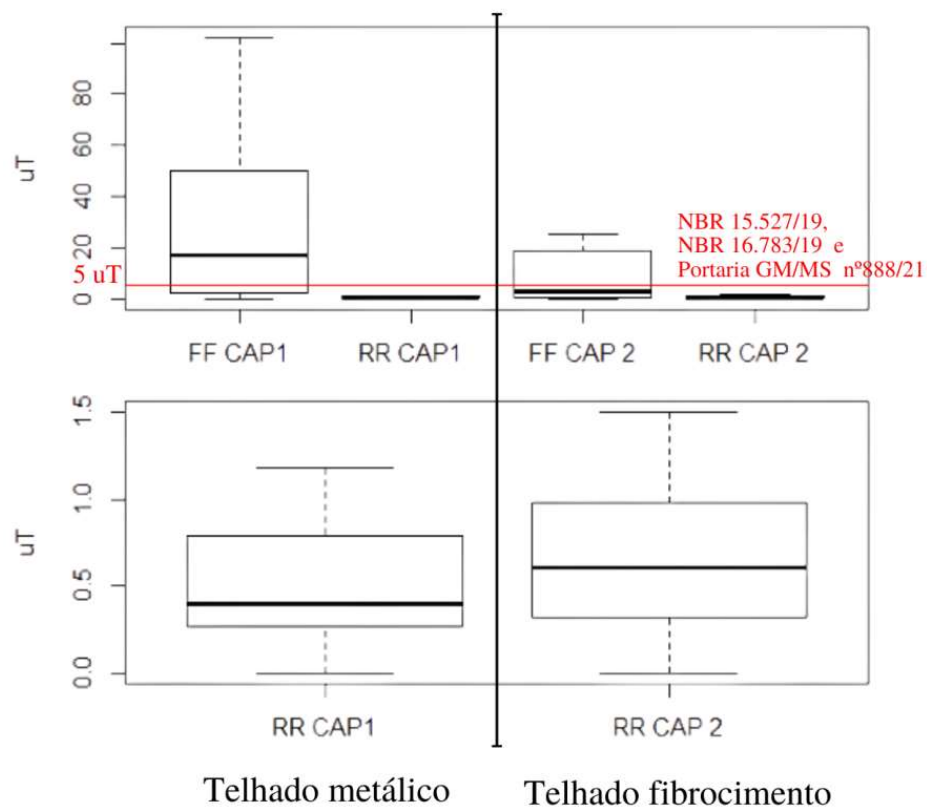


Fonte: Autora, 2022.

Os resultados obtidos para o parâmetro da turbidez (Figura 18), se mostram como uma evidência do fenômeno do *first flush*, tendo em vista a diferença na distribuição de dados e os valores encontrados nos pontos FF e RR. Semelhante ao pH, a NBR 15.527/2019 e a Portaria GM/MS nº 888/2021 padronizam esse parâmetro com o valor limite de 5 uT.

Os resultados para os reservatórios, no geral, mostram que os 2 (dois) sistemas CAP1 e CAP2 atenderam as legislações da NBR 15.527/2019 e da Portaria GM/MS nº 888/2021, devido ao fato de que as águas pluviais serão utilizadas a partir da água do reservatório. O sistema CAP1 apresentou valores superiores ao do CAP2, que obteve sua mediana dentro da NBR.

Figura 18 - Resultados para o parâmetro Turbidez nos pontos FF e RR



Fonte: Autora, 2022.

4.2 Análise dos componentes principais (ACP) e matriz de correlação

De acordo com a Figura 19a, as componentes principais 1 (Dim1) e 2 (Dim2) explicaram 51,8% da variação total de dados. Os parâmetros de condutividade e cloreto, nos dois pontos de coleta analisados, exercem forte influência para a dimensão 1 e entre si, como observado na Figura 19b com valores de correlação de 52 entre a condutividade no reservatório (RR) e cloreto no *first flush* (FF); 84 entre condutividade e cloreto no ponto *first*

flush (FF) e 70 entre a condutividade nos dois pontos. A proximidade entre os vetores faz relação com a sua correlação, sendo a proximidade maior em casos de maior correlação.

Os vetores de turbidez no ponto do reservatório e DSC possuem uma contribuição para a componente 2 (Dim2), visto as suas proximidades com o eixo Y. A turbidez no ponto do *first flush* (FF) apresentou uma correlação negativa com os demais parâmetros pela sua posição no terceiro quadrante, como pode ser observado também na matriz correlação (Figura 19b).

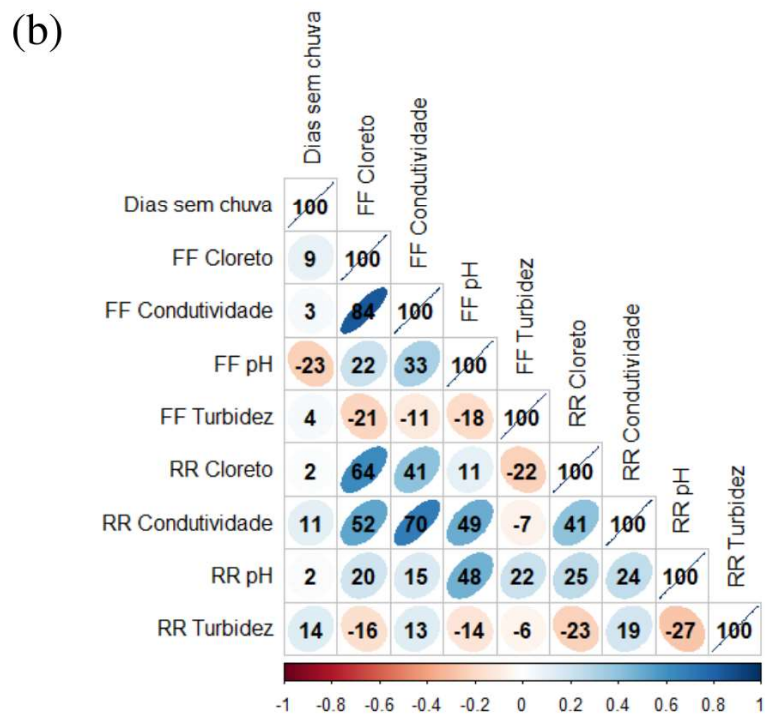
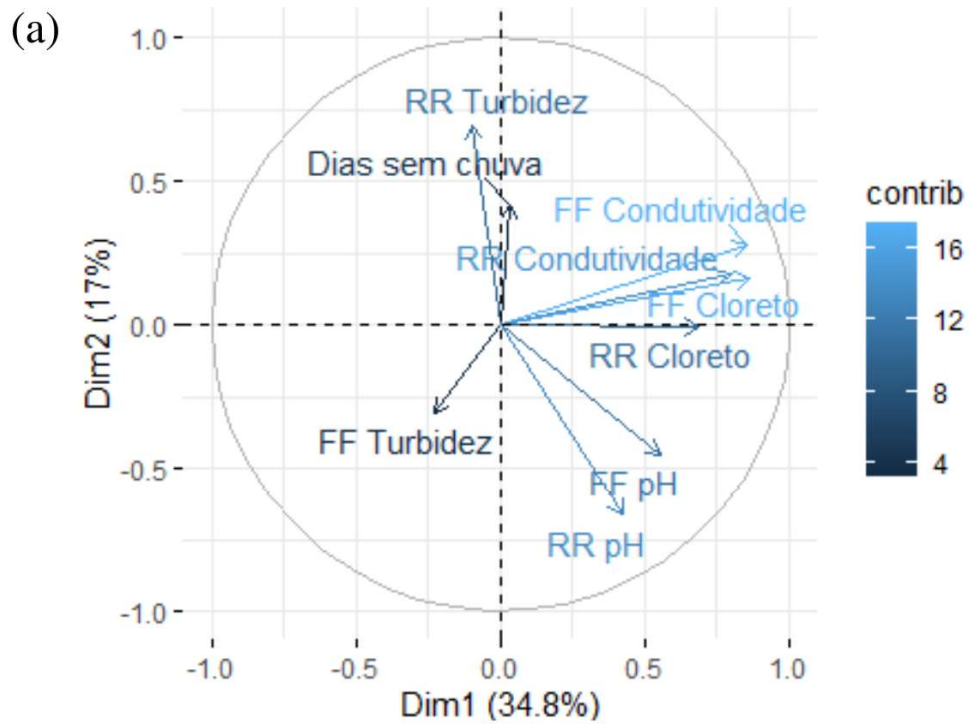
Não foram encontradas correlações significativas dos parâmetros analisados com os Dias Consecutivos Sem Chuvas (DSC), de acordo com a Figura 19b, visto que seus coeficientes com as outras variáveis foram próximos de zero. Este fato pode ter acontecido pois o estudo considerou seu espaço amostral como os três anos (2017, 2018 e 2019) sucessivamente. Os resultados separados em período seco e período úmido podem levantar outras relações a cerca dos dias secos consecutivos e os demais parâmetros.

Já em relação ao sistema CAP2, as componentes principais 1 e 2 representaram cerca de 44,2% da variação de dados (Figura 20a). Desta forma, este método de avaliação de dados não se mostrou válido para o sistema. Hongyu *et al.* (2015) explica que a análise de componentes principais é sensível aos *outliers* e neste estudo, os mesmos tiveram que ser mantidos para se ter uma quantidade viável de eventos no espaço amostral.

Ainda para o CAP2, os dias sem chuva (DSC) e a turbidez no reservatório (RR) apresentaram uma correlação negativa por estarem no eixo Y em sentidos opostos e isto pode ser observado na matriz correlação (Figura 20b) com um fator de -45. O ponto do *first flush* representado pelos parâmetros de turbidez e cloreto, obteve uma correlação negativa com relação às outras variáveis. Entre si os parâmetros obtiveram uma correlação de 57.

As componentes 1 (Dim1) e 2 (Dim2) variam de acordo com o conjunto de dados, desta forma, não é válida uma comparação fixa entre os sistemas. Entretanto, pode-se dizer que para a componente 1 (Dim1) do sistema CAP1 os parâmetros que mais a influenciaram foram o cloreto e condutividade (Figura 19a), já para o sistema CAP2, a sua componente 1 (Dim1) foi mais influenciada pelos parâmetros pH e condutividade (Figura 20a).

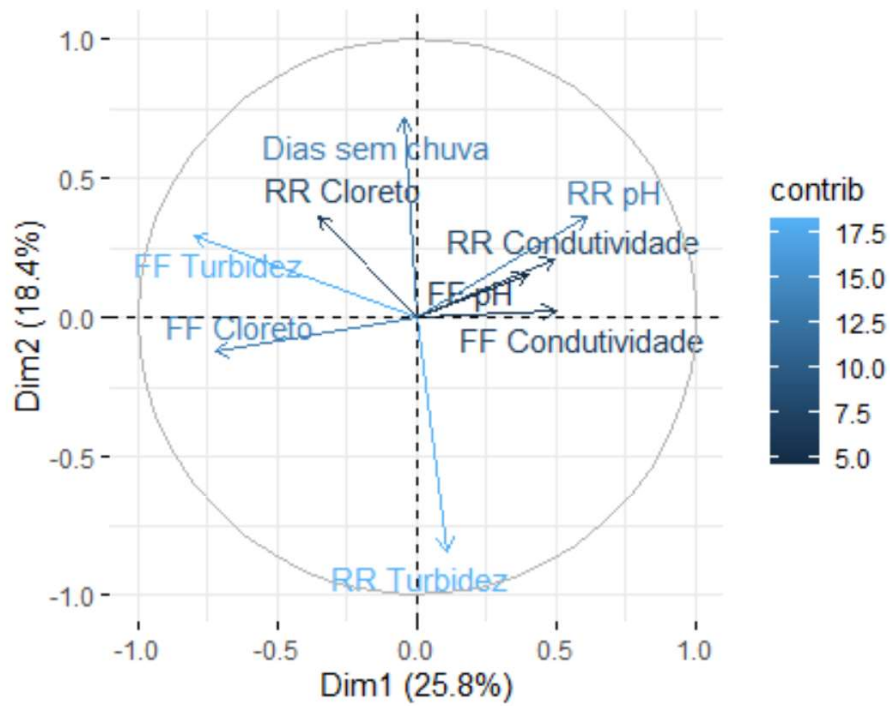
Figura 19 - Análise de componentes principais (a) e matriz correlação (b) do sistema CAP1



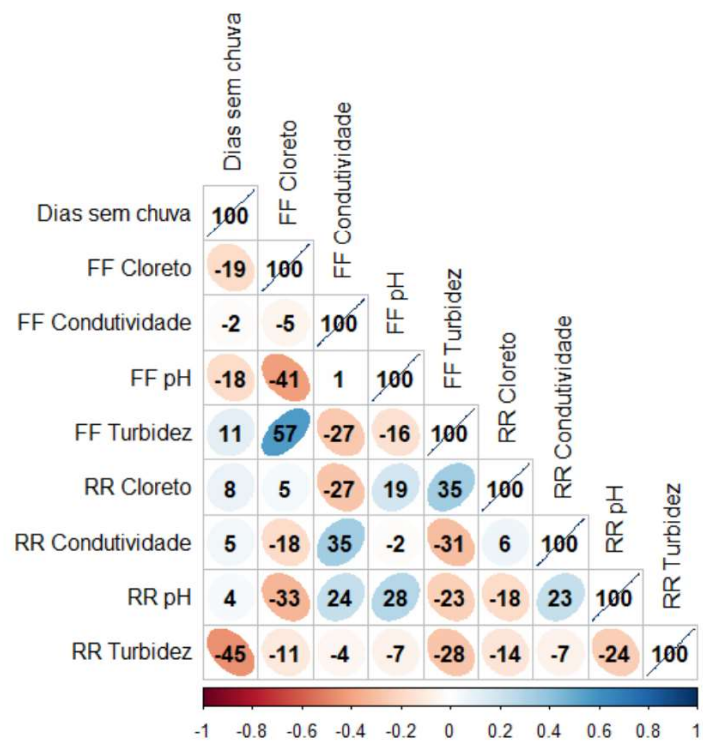
Fonte: Autora, 2022

Figura 20 - Análise de componentes principais (a) e matriz correlação (b) do sistema CAP2

(a)



(b)



Fonte: Autora, 2022

CONCLUSÃO

A qualidade das águas pluviais captadas de um sistema de armazenamento de água de chuva é caracterizada por uma variabilidade significativa, no tempo e no espaço, de modo que sua composição depende de fatores, como: poluição atmosférica, tipo de captação e superfície de escoamento do sistema, uso do solo nas proximidades, microclima local (proximidade com o oceano ou as estações do ano) e sua conservação e manutenção do sistema.

O material do telhado da cobertura da edificação é um fator fundamental de análise, tendo em vista o sistema de água da chuva depender da área de captação e, portanto, podendo afetar a qualidade da água da chuva armazenada no reservatório. Entretanto, ao longo do trabalho foi constatado que para os materiais de superfície de telhado estudados (metálico e fibrocimento), não houve alteração significativa entre eles, em relação ao seu potencial de uso.

O telhado metálico, em relação às primeiras águas de chuva coletadas no sistema, ou seja, no *first flush*, apresentou maiores valores para os parâmetros: cloreto, cor, COD e turbidez. Esta situação pode ser justificada pela localização do sistema CAP1 (telhado metálico), situado em região de intenso tráfego de veículos que, com a queima de combustível fóssil pode contribuir para a alteração de parâmetros, como o cloreto. Além disso, o acúmulo de poeira na área de captação do sistema, assim como folhas e resíduos de aves e outros animais, contribuem para um aumento da cor e turbidez.

Já o telhado de fibrocimento apresentou maiores resultados para a condutividade, dureza e o pH das amostras de águas coletadas, com um teor mais alcalino do que o telhado metálico. Estes resultados podem ser justificados pela presença de compostos químicos alcalinos na composição do telhado de fibrocimento.

Não foram encontradas correlações entre os dias secos consecutivos (DSC) antes de um evento pluviométrico e a altura precipitada com os parâmetros analisados. Desta forma, pode ser necessária uma mudança na metodologia de avaliação e verificação dos eventos pluviométricos geradores das amostras analisadas.

A caracterização e avaliação dos parâmetros da qualidade de água de chuva nos sistemas CAP1 e CAP2 são de grande importância para garantir a saúde e a segurança dos usuários. De acordo com a NBR 15.527/2019, os sistemas CAP1 e CAP2 se mostraram aptos a serem utilizados como fonte de água não potável, a partir da utilização do ponto de armazenamento de água de chuva no reservatório (RR). Para a NBR 16.783/2019, que trata

sobre sistemas de fontes alternativas de água não potável em edificações, o parâmetro COD não se mostrou adequado em ambos os sistemas analisados. Desse modo, recomenda-se uma inspeção periódica com limpezas frequentes nos sistemas de armazenamento do FF e do RR, como sugerido pela NBR 15.527/2019. Ainda de acordo com a NBR 16.783/2019, o parâmetro de condutividade apresentou valores abaixo do permitido.

De acordo com a Portaria GM/MS nº 888/2021, os parâmetros de cloreto e dureza obtiveram resultados ótimos, com valores abaixo do estipulado. Para as águas de sistemas pluviais, era esperado que a sua qualidade microbiológica não atendesse à portaria. Isto porque a portaria de potabilidade se trata de um padrão para águas de abastecimento após a desinfecção. Como isto não ocorreu no sistema CAP1, o resultado para os parâmetros de coliformes se mostra satisfatório. Vale lembrar que o padrão da Portaria GM/MS nº 888/2021 e NBR 15.527/2019 está relacionado com a *Escherichia Coli* e esta espécie de bactérias se encontra dentro do grupo dos coliformes. Sendo assim, a presença de coliformes não é evidência de real presença da *E.Coli*.

O pH e turbidez nos dois reservatórios e a cor no reservatório do CAP1 também se apresentaram dentro dos limites estabelecidos pelas legislações, ainda que o sistema CAP1 retratou algumas de suas amostras mais ácidas do que o mínimo permitido.

Por conseguinte, o uso das águas pluviais dos dois sistemas estudados neste trabalho mostrou-se viável, tendo em vista ao atendimento da NBR 15.527/2019 e atendimento parcial da NBR 16.783/2019 e Portaria GM/MS nº 888/2021, referente ao uso não potável da água de chuva.

Em ambientes escolares, os sistemas de aproveitamento de águas pluviais possibilitam a educação ambiental no aspecto de sustentabilidade, uso racional da água e conhecimento dos serviços ambientais. Desta forma, incentivar o uso de águas pluviais neste ambiente é considerado fundamental, na medida em que escolas e universidades podem utilizar as águas de chuva coletadas, com adaptação hidrossanitária, referente aos usos nas descargas sanitárias, bem como para uso em regas de jardins e limpezas de espaços e pátios.

Dentre as recomendações para ações e trabalhos futuros, citam-se:

- Continuação do trabalho do projeto e manutenção do sistema CAP2 e a formulação de um sistema no novo espaço do Colégio de Aplicação da UERJ (CAp-UERJ);
- Inserção das pastilhas de cloro mais frequentes no sistema CAP2 e o seu monitoramento, a fim de atender à NBR 15.527/2019;

- Análises de coliformes totais e termotolerantes no sistema CAP2, para se verificar se os telhados metálicos possuem a característica de diminuir a quantidade destes microrganismos;
- Utilização das águas pluviais do sistema CAP2 para o uso dos jardins e na garagem da universidade;
- Estudos de avaliação da qualidade das águas pluviais, a partir de outros materiais de superfície do telhado e
- Estudos com alteração da metodologia para o período de análise das componentes principais (exemplo: período úmido e seco ou estações do ano).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT (a). ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: **Aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro, 2019.

ABNT (b). ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 16783: **Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações**. Rio de Janeiro, 2019.

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

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15.: **Tanque estacionário rotomoldado em polietileno (PE) para acondicionamento de águas - Requisitos e métodos de ensaio**. Rio de Janeiro, 2009.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5.626: **Sistemas prediais de água fria e água quente — Projeto, execução, operação e manutenção**. Rio de Janeiro, 2020.

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5.649: **Reservatório de fibrocimento para água potável - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2006.

ALVES, L. D., de Souza, C. M., de Almeida, J. C. A., Bastos, G. P., Domingos, R. R., da Silva, G. N., Bila, D. M., & Ohnuma Jr, A. A. (2021). Avaliação da qualidade da água de chuva do fenômeno first flush e de volumes armazenados em reservatórios de sistemas de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro-RJ . **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, 9(2), 193–204. <https://doi.org/10.9771/gesta.v9i2.43151>.

ANA (Brasil). Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Manual dos Usos Consultivos de Água do Brasil**. [S.l.: s.n.], 2019. Disponível em: http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/centrais-de-conteudos/central-de-publicacoes/ana_manual_de_usos_consultivos_da_agua_no_brasil.pdf.

ANA (Brasil). Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura Recursos Hídricos no Brasil - Capítulo 5: Crise da Água**. Brasília - DF, [s.n.], 2017. Disponível em: http://conjuntura.ana.gov.br/static/media/conjuntura_completo.caf2236b.pdf.

ANA (Brasil). Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Usos da Água. In: ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Conjuntura dos Recursos Hídricos no Brasil**. 4º Cielo. ed. Brasília, 2021. Disponível em: <<https://relatorio-conjuntura-ana-2021.webflow.io/capitulos/usos-da-agua>>. Acesso em: 23 fev. 2022.

ANA (Brasil). Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **No rumo da mudança - Fatos e Tendências: Água**. 2ª edição. ed. Brasília, Setembro 2009. Disponível em: <https://arquivos.ana.gov.br/imprensa/publicacoes/fatosetendencias/edicao_2.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

ANA (Brasil). Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico; FORATTINI, Gisela. Segurança Hídrica. In: CONFERÊNCIA NACIONAL DE SEGURANÇA HÍDRICA – CNSH, 2015, Uberlândia / MG. **Apresentação [...]**. Florianópolis: [s. n.], 2015. Disponível em: <http://cbharaguari.org.br/uploads/1_o_comite/eventos/2015/conferencia_nacional_seguranca_hidrica/gisela.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

APÊNDICE E: Significado ambiental e sanitário das variáveis de qualidade das águas e dos sedimentos e metodologias analíticas e de amostragem. In: CETESB (São Paulo). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (ed.). **Qualidade das Águas Superficiais no Estado de São Paulo**. São Paulo, 2019. Disponível em: <<https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/wp-content/uploads/sites/12/2020/09/Apendice-E-Significado-Ambiental-e-Sanitario-das-variaveis.pdf>>. Acesso em: 07 mar. 2022.

ARAÚJO, J. L. de *et al.* **Estudo da aplicação de processos oxidativos avançados no tratamento de águas pluviais do Riacho das Águas Férreas–Maceió, AL**. 2018. Disponível em: <<http://www.repositorio.ufal.br/handle/riufal/3525>>. Acesso em: 08 mar. 2022.

ATLAS BRASIL, Atlas (ed.). Segurança Hídrica. In: ANA, Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Atlas Água**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://portal1.snirh.gov.br/ana/apps/storymaps/stories/1d27ae7adb7f4baeb224d5893cc21730>. Acesso em: 22 fev. 2022.

BENETTI, R. S. **Avaliação do impacto socioeconômico da implantação de sistema modelo de reuso de águas pluviais em residências no município de Tapejaras-RS**. Orientador: Michelle Trevisan. 2019. 66 p. Tese de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - IMED Passo Fundo, Passo Fundo, 2019. Disponível em: <<https://www.imed.edu.br/Uploads/RAFAEL BENETTI.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2022.

BONA, B. de O. **Aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis em edificação multifamiliar na cidade de Carazinho -RS**. Orientador: Geomar Machado Martins. 2014. 34 p. Tese de conclusão de curso (Pós em eficiência energética aplicada aos processos produtivos) - Universidade Federal de Santa Maria, Panambi, 2014.

BOTELHO, G. L. P. **Avaliação do consumo de água em domicílios: fatores intervenientes e metodologia para setorização dos usos**. 2013. Disponível em: https://repositorio.ufba.br/bitstream/ri/14058/1/2013_Botelho_G_Avaliacao%20do%20consumo%20de%20agua%20em%20domicilios.pdf. Acesso em: 22 fev. 2022

BRANCO, O. E. A. Avaliação da disponibilidade hídrica: conceitos e aplicabilidade. 2006. Disponível em: <<http://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2012/04/Disponibilidade-Hidrica.pdf>>. Acesso em: 05 fev. 2022.

BRASIL. **Lei nº 13.501, de 30 de outubro de 2017**. Altera o art. 2º da Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997, que institui a Política Nacional de Recursos Hídricos, para incluir o aproveitamento de águas pluviais como um de seus objetivos. Brasília, 30 out. 2017. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2015-2018/2017/lei/L13501.htm>. Acesso em: 01 fev. 2022.

BRASIL. **Lei nº 9.433, de 8 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. [S. l.], 8 jan. 1997. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/19433.html>. Acesso em: 14 fev. 2022.

BRASIL. Portaria nº GM/MS 888, de 4 de maio de 2021. Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. [S. l.], 4 maio 2021. Disponível em: <<https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562>>. Acesso em: 20 fev. 2022.

BURUTI, C. de O.; ÁGUIAR, J. O. Secas, migrações e representações do semi-árido na literatura regional: por uma história ambiental dos sertões do nordeste brasileiro. **Revista UFRN Textos e Debates**, Roraima, ed. nº15, 2008. DOI <http://dx.doi.org/10.18227/2217-1448ted.v2i15.747>. Disponível em: http://cbharaguari.org.br/uploads/1_o_comite/eventos/2015/conferencia_nacional_seguranca_hidrica/gisela.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

CAVALCANTI, B. S.; MARQUES, G. R. G. Recursos hídricos e gestão de conflitos: A bacia hidrográfica do rio Paraíba do Sul a partir da crise hídrica de 2014-2015. **Revista de Gestão dos Países de Língua Portuguesa**, v. 15, n. 1, p. 4-16, 2016. Disponível em: <<https://bibliotecadigital.fgv.br/ojs/index.php/rgplp/article/view/78411>>. Acesso em: 03 mar. 2022.

CAVALCANTI, N. de B. Efeito do escoamento da água de chuva em diferentes coberturas. **Embrapa Semiárido**. Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 7, n. 4, p. 201-210, 2010. Disponível em: <<https://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/37106/1/Nilton2-2010.pdf>> Acesso em: 31 mar. 2022.

CBIC (Brasil). Câmara Brasileira da Indústria da Construção (ed.). Guia orientativo das normas de conservação de água, fontes alternativas não potáveis e aproveitamento de água de chuva em edificações. Brasília, Novembro 2019. Disponível em: https://cbic.org.br/wp-content/uploads/2019/11/Guia_Orientativo_Normas_de_Conservacao_de_Agua.pdf. Acesso em: 7 mar. 2022.

CETESB (SP). Companhia Ambiental do Estado de São Paulo. **Águas interiores: O problema da escassez de água no mundo**. São Paulo, 2022. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-interiores/informacoes-basicas/tpos-de-agua/o-problema-da-escassez-de-agua-no-mundo/>. Acesso em: 15 fev. 2022.

CHAIB, E. B. *et al.* Avaliação do potencial de redução do consumo de água potável por meio da implantação de sistemas de aproveitamento de água de chuva em edificações unifamiliares. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, v. 20, n. 3, p. 605-614, 2015. Disponível em: <https://biblat.unam.mx/hevila/RBRHRevistabrasileiraderecursoshidricos/2015/vol20/no3/6.pdf>. Acesso em: 03 mar. 2022.

CIPRIANO, R. F. P. **Tratamento das águas de chuva escoadas sobre telhado e avaliação do uso**. Blumenau: Universidade Regional de Blumenau, 2004. 89p. Dissertação de Mestrado de Engenharia Ambiental. Disponível em: https://bu.furb.br/docs/TE/293211_1_1.pdf. Acesso em: 31 mar. 2022.

CONCEIÇÃO, F. T. da *et al.* Composição química das águas pluviais e deposição atmosférica anual na bacia do Alto Sorocaba (SP). **Química Nova** [online]. 2011, v. 34, n. 4 [Acessado 8 Março 2022] , pp. 610-616. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0100-40422011000400011>. Epub 20 Maio 2011. ISSN 1678-7064. Acesso em: 08 mar. 2022.

COSTA, B. M. da; ARAÚJO, M. A.; ARAÚJO, N. S. de; BARBOSA, T. P. R.. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis na edificação da Multivix Serra**. Orientador: MSc. Joãozito Cabral Amorim Junior. 2015. 51 p. Tese de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Faculdade Capixaba da Serra, Serra, 2015. Disponível em: <https://multivix.edu.br/wp-content/uploads/2018/06/aproveitamento-de-agua-pluvial-para-fins-nao-potaveis-na-edificacao-da-multivix-serra.pdf> Acesso em: 02 mar. 2022.

COSTA, K. A. D.; CARVALHO, F. I. M.; FERREIRA, F. D. P. B.; NASCIMENTO, T. V.; MELLO, R. F. A.; SERRA, I. S. D.; SILVA, J. M. S.; LOPES, M. S. B.; SOUZA, C. M. N.; DANTAS, K. G. F.; DANTAS FILHO, H. A.. 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. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2020.003.0029>. Acesso em: 31 mar. 2022.

DE AMORIM, M. C. C.; PORTO, E. R. Avaliação da qualidade bacteriológica das águas de cisternas: estudo de caso no município de Petrolina-PE. In: **Embrapa Semiárido-Artigo em anais de congresso (ALICE)**. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO DE AGUA DE CHUVA NO SEMI-ARIDO, 3., 2001, Campina Grande. Anais... Campina Grande: Embrapa Algodão; Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2001., 2001. Disponível em: <https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/134452/avaliacao-da-qualidade-bacteriologica-das-aguas-de-cisternas-estudo-de-caso-no-municipio-de-petrolina-pe> Acesso em: 20 fev. 2022.

DE MELLO, M. C. **A crise hídrica no cenário mundial: análise de suas causas, consequências e proposição de soluções que possibilitem a reversão desse quadro**. Orientador: Maria Esther de Araújo Oliveira. 2010. Monografia (Pós graduação) - Universidade Cândido Mendes, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: http://www.avm.edu.br/docpdf/monografias_publicadas/k215618.pdf. Acesso em: 15 fev. 2022.

DIDONET, T. T. dos S. C. (2017). **Relações entre precipitação, escoamento e sedimentos suspensos na bacia do Rio das Antas, Goiás**. 2017. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia. Disponível em: <https://repositorio.bc.ufg.br/tede/handle/tede/7881>. >Acesso em: 04 abr. 2022.

DIEGUES, A. C. **Água E Cultura Nas Populações Tradicionais Brasileiras**. In: I ENCONTRO INTERNACIONAL GOVERNANÇA DA ÁGUA NA AMÉRICA LATINA, 2007, São Paulo. 2007. Disponível em: <https://nupaub.fflch.usp.br/sites/nupaub.fflch.usp.br/files/color/simbolagua.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2022.

DRUMOND, A.S.P., AREAS DE ALMEIDA, J.C.; DOMINGOS, R.R.; NUNES, D.M.; SOALHEIRO, L.; CUNHA, P.M.; OBRACZKA, M. ; OHNUMA JR, A. A. **Análise de requisitos de artigos científicos e de categorias da legislação brasileira sobre sistemas de aproveitamento de água de chuva**. In: 6. Simpósio Sobre Sistemas Sustentáveis. Gestão e Planejamento de Recursos Hídricos, 2021. ISBN 978-65-87570-17-4. Toledo-PR. 2021. v. 3. p. 361-377.

FERREIRA, D. F. **Aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas para fins não potáveis em um condomínio residencial localizado em Florianópolis – SC**. Orientador: Enedir Ghisi. 2005. 152 p. Tese de

conclusão de curso (Bacharel em Engenharia Civil) - Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2005. Disponível em: <https://labeec.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/tccs/TCC_Daniel_Fabricio_Ferreira.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

FERREIRA, E. P. *et al.* Abastecimento de água para consumo humano em comunidades quilombolas no município de Santana do Mundaú-AL. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 7, n. 6, p. 1119-1125, 2014. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/1b22/f63c4313937259698495da46c64de27ff189.pdf>>. Acesso em: 15 fev. 2022.

FONSECA, F. H. da. **Carbono orgânico dissolvido e aldeídos na água de chuva de Araraquara**. 2017. 45 f. Trabalho de conclusão de curso (bacharelado - Química) - Universidade Estadual Paulista Julio de Mesquita Filho, Instituto de Química, 2017. Disponível em: <<http://hdl.handle.net/11449/203848>>. Acesso em: 16 de mai. 2022

FRANÇA, A. M. de. **Análise da viabilidade econômica para o aproveitamento de água de chuva em uma residência na cidade de Goiânia**. Orientador: Professor Marcus André Siqueira Campos. 2011. 37 p. Tese de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Goiás, Goiânia, 2011. Disponível em: <https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/140/o/AN%C3%81LISE_DA_VIABILIDADE_ECON%C3%94MICA_PA_RA_O_APROVEITAMENTO_DE_%C3%81GUA_DE_CHUVA_EM_UMA_RESID%C3%8ANCIA_NA_CI_DA_0.pdf>. Acesso em: 15 fev. 2022.

GANEM, L. de O. **Sistemas de aproveitamento de águas pluviais em comunidades de assentamentos informais**. Orientador: Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior. 2019. 191 p. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019.

GOLDENFUM, J. **Reaproveitamento de águas pluviais**. 2006. IPH, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Disponível em: <http://cbhpf.upf.br/phocadownload/2seminario/reaproveitamentoaguaspluviaisii.pdf>. Acesso em: 8 mar 2022.

GRASSI, M. T. **As águas do planeta Terra**. Cadernos Temáticos de. Química Nova na Escola, Edição Especial. Maio. 2001. Disponível em: <<http://qnesc.sbq.org.br/online/cadernos/01/aguas.pdf>>. Acesso em: 8 mar 2022.

GROUP RAINDROPS. **Aproveitamento da Água de Chuva**. Editora Organic Trading, 1ª Edição, Curitiba, 2002.

HONGYU, Kuang *et al.* **Análise de Componentes Principais: resumo teórico, aplicação e interpretação**. **E&S - Engineering and Science**, [s. l.], v. 1, ed. 5, 2015. DOI 10.18607/ES20165053. Disponível em: <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/eng/article/view/3398/2623>. Acesso em: 19 abr. 2022.

HUTTON, G.; VARUGHESE, M. 2016. **The Costs of Meeting the 2030 Sustainable Development Goal Targets on Drinking Water, Sanitation, and Hygiene**. World Bank, Washington, DC. © World Bank. <https://openknowledge.worldbank.org/handle/10986/23681> License: CC BY 3.0 IGO. Acesso em: 14 fev. 2022.

IWMI. International Water Management Institute. **Digital Data and Tools: Water Data Portal**. [S. l.], 2014. Disponível em: <http://waterdata.iwmi.org/>. Acesso em: 15 fev. 2022.

JACOB, R. V. B. *et al.* **Análise de sistemas de águas pluviais urbanas na cidade do Rio de Janeiro**. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA, 30., 2019, Natal. Anais [...]. Brasil: [s. n.], 2019. Tema: IX - Irrigação, drenagem urbana, Controle de erosão, Água subterrânea e Águas pluviais: hidrologia urbana, tratamento e gestão. Disponível em: <https://abesnacional.com.br/XP/XP-EasyArtigos/Site/Uploads/Evento45/TrabalhosCompletoPDF/IX-061.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2022.

JAQUES, R. C. **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações**. 2005, 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/102214/221552.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 06 mar. 2022.

KARLINSKI, T. **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em edificações de ensino: estudo de caso em São Luiz Gonzaga – Rio Grande do Sul**. Orientador: Adriana Gindri Salbego. 2015. 68 p. Tese de

conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2015. Disponível em: < <https://dspace.unipampa.edu.br/handle/riui/1685>>. Acesso em: 05 mar. 2022.

LAMBAIS, G. R. et al.. **Avaliação preliminar de parâmetros qualitativos de águas pluviais no semiárido brasileiro**. Anais III WIASB. Campina Grande: Realize Editora, 2017. Disponível em: <<https://www.editorarealize.com.br/index.php/artigo/visualizar/38989>>. Acesso em: 08 mar. 2022.

MARINOSKI, A. K. **Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis em instituição de ensino: estudo de caso em Florianópolis – SC**. Orientador: Enedir Ghisi, PhD. 2007. 118 p. Tese de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2007.

MARTINI, F. **Potencial de economia de água potável por meio do uso de água de chuva em São Miguel Do Oeste – SC**. Orientador: Enedir Ghisi, PhD. 2009. 96 p. Tese de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal De Santa Catarina, Florianópolis, 2009. Disponível em: https://labeec.ufsc.br/sites/default/files/publicacoes/tccs/TCC_Felipe_Martini.pdf. Acesso em: 3 mar. 2022.

MDR (Brasil). Ministério do Desenvolvimento Regional (ed.). **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**: Visão Geral ano de referência 2020. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, Dez 2021. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 7 mar. 2022.

MEDEIROS, S. B. de. (2005). “Chuva Ácida”, in: Química Ambiental. 3. ed. Revista e Ampliada. Recife. Cap. 5. p. 43-48

MIORANDO, Taizi *et al.* Potabilização de água da chuva por ultrafiltração. **Engenharia Sanitaria e Ambiental** [online]. 2017, v. 22, n. 03, pp. 481-490. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522017146765>>. Epub 10 Jul 2017. ISSN 1809-4457. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522017146765>. Acesso em: 30 mar. 2022.

MIRANDA, J. S. N.. **Caracterização da vulnerabilidade intrínseca do Aquífero Alter do Chão na cidade de Manaus - AM**. 2017. 130 f. Dissertação (Mestrado em Geociências) - Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2017. Disponível em: <https://tede.ufam.edu.br/handle/tede/5565>. Acesso em: 18 abr. 2022.

NAKADA, L. Y. K.; MORUZZI, R. B. Variabilidade qualitativa de águas pluviais coletadas em telhado e sua importância na concepção do sistema de tratamento. **Engenharia Sanitaria e Ambiental** [online]. 2014, v. 19, n. 01, pp. 1-9. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1413-41522014000100001>>. ISSN 1809-4457. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014000100001>. Acesso em: 11 mar. 2022.

OLIVEIRA, B. **Análise De Componentes Principais**. Belo Horizonte: Oper Data, 11 out. 2019. Disponível em: <https://operdata.com.br/blog/analise-de-componentes-principais/>. Acesso em: 12 mar. 2022.

Ribeiro, A., & Marinoski, D. (2020). **Estudo sobre materiais para coberturas utilizadas em sistemas de aproveitamento de água pluvial residenciais**. MIX Sustentável, 6(2), 53-66. doi:<https://doi.org/10.29183/2447-3073.MIX2020.v6.n2.53-66>. Acesso em: 31 mar. 2022.

RIGHETTO, A. M.; GOMES, K. M.; FREITAS, F. R. S. Poluição difusa nas águas pluviais de uma bacia de drenagem urbana. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 22, p. 1109-1120, 2017.

ROCHA, A. C. T.; DUARTE, N. de F. **Avaliação do aproveitamento de águas pluviais através de uma análise sistemática da literatura**. ForScience: revista científica do IFMG, Formiga, v. 5, n. 2, e00307, out. 2017. Edição especial.

ROCHA, D. **Sobre Correlações e visualizações de matrizes de correlação no R**. R-Studio, 6 nov. 2018. Disponível em: https://rstudio-pubs-static.s3.amazonaws.com/437792_df39a5ff0a55491fb71f0f4a0f5cd0bf.html. Acesso em: 8 abr. 2022.

ROSAS, D.F.; OLIVEIRA, F.G.; DE FARIA, A.A.; OBRACZKA, M.; OHNUMA JR, A.A.; GONDIM, F.R. **Análise do potencial do aproveitamento de Água de Chuva para uso doméstico em sistemas individuais localizados no município de Maricá-RJ**. In: XXIII Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Foz do Iguaçu, PR. 24 a 28 nov 2019.

SABESP (São Paulo). Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. **Uso racional da água: Dicas de economia.** [S. l.], 201?. Disponível em: <https://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=140>. Acesso em: 18 abr. 2022.

SANT'ANA, D. R.; MEDEIROS, L. B. P.; ALVARES, K. C. F. **Aproveitamento de águas pluviais e reúso de águas cinzas em edificações.** Princípios de políticas tarifárias baseados em uma análise de viabilidade técnica, ambiental e econômica. Brasília: Centro de Apoio ao Desenvolvimento Tecnológico, Universidade de Brasília, 2017. Disponível em: https://www.adasa.df.gov.br/images/storage/area_de_atuacao/abastecimento_agua_esgotamento_sanitario/regulacao/reuso_aguas_cinza_aproveitamento_aguas_pluviais/reusodf_2_padroes_qualidade.pdf. Acesso em: 8 mar 2022.

SILVA, G. N. da. **Avaliação localizada de metais em águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro.** Orientador: Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Jr. 2019. 116 f. Dissertação de Mestrado (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <http://www.peamb.eng.uerj.br/trabalhosconclusao/2019/Dissert2019-GabrielleNunes.pdf>. Acesso em: 19 abr. 2022.

SILVA, K. C. da. **Qualidade da água pluvial coletado em telhados de edificações para consumo residencial.** Orientador: Profª. Drª Paula Cristina Souza. 2018. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) - UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ, CAMPO MOURÃO, 2018. Disponível em: <http://riut.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/6175/1/aguapluvialconsumoresidencial.pdf>. Acesso em: 1 abr. 2022.

SILVA, N. N. da; CRUZ, J. A. da; AMARAL, L. G. H. do. **Dimensionamento de reservatórios de lote para redução do volume de escoamento superficial na cidade de Barreiras-BA.** In: SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE. 13., 2016, Aracaju, SE. Anais [...]. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2016. Disponível em: . Acesso em: 27 jul. 2021.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Ministério do Desenvolvimento Regional. **SNIS Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto: 7 Consumos Médios Per Capita de Água.** [S. l.], 2019. Disponível em: <http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2019/Diagnostico-SNIS-AE-2019-Capitulo-07.pdf>. Acesso em: 04 de maio de 2021.

SNIS - Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento: Ministério do Desenvolvimento Regional. **SNIS Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgoto: 7 Consumos Médios Per Capita de Água.** [S. l.], 2021. Disponível em: http://www.snis.gov.br/downloads/diagnosticos/ae/2020/DIAGNOSTICO_TEMATICO_VISAO_GERAL_AE_SNIS_2021.pdf. Acesso em: 22 fev. 2022.

SOUZA, R. S. de. **Avaliação do sistema de armazenamento de águas pluviais na UERJ, campus maracanã.** Orientador: Prof. Dr. Alfredo Akira Ohnuma Júnior. 2019. 80 f. Tese de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://projetosapuerj.files.wordpress.com/2020/06/roberta-tcc-compressed.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2022.

TOMAZ, P. Coeficiente de runoff. In: TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis.** [S. l.: s. n.], 2010. v. 1, cap. Capítulo 5.

TOMAZ, P. Qualidade da Água da Chuva. In: TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis.** [S. l.: s. n.], 2009. v. 1, cap. Capítulo 2.

TRATA BRASIL (Brasil). Instituto Trata Brasil. **Ranking do Saneamento: Resumo Executivo.** 2022. Disponível em: https://www.tratabrasil.org.br/images/estudos/Ranking_do_Saneamento_2022/Resumo_Executivo_-_Ranking_22.pdf. Acesso em: 16 mai. 2022.

TUKEY, J.W., 1977. **Exploratory Data Analysis.** Addison-Wesley, Reading, MA.

UNEP. United Nations Environment Programme. Global Environment Outlook 3. 2002. Disponível em: <http://www.unep.org.jp>. Acesso em: 15 fev. 2022.

UNESCO (a). Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **UN World Water Development Report 2021: Valuing Water**. [S. l.], 18 mar. 2021. Disponível em: <https://www.unesco.org/reports/wwdr/2021/en>. Acesso em: 14 fev. 2022.

UNESCO (b). Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura. **The United Nations world water development report 2021: valuing water**. Paris: UNESCO World Water Assessment Programme, 2021. 187 p. ISBN 978-92-3-100434-6. Disponível em: <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000375724>. Acesso em: 14 fev. 2022.

VASCONCELOS, A. F.; MIGUEZ, M. G.; VAZQUEZ, E. G. **Crítérios de projeto e benefícios esperados da implantação de técnicas compensatórias em drenagem urbana para controle de escoamentos na fonte, com base em modelagem computacional aplicada a um estudo de caso na zona oeste do Rio de Janeiro**. Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, n. 21(4), p. 655-662, 2016. Disponível em: . Acesso em: 27 julho de 2021.

VAZ, I. C. M.. **Estudo da utilização de pavimentos drenantes com fins de captação de água pluvial para economia de água potável em universidades públicas**. Orientador: Prof. Enedir Ghisi, PhD. 2019. 141 p. Projeto de Graduação (Graduação em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/202844/Igor%20Vaz%20-%20TCC.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 22 fev. 2022.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de Esgotos** / Marcos von Sperling. 4º ed. - Belo Horizonte: Editora UFMG, 2014. ISBN: 978-85-423-0053-6

YWASHIMA, L. A.; ILHA, M. S. O.; CRAVEIRO, S. G.; GONÇALVES, O. M. **Método para avaliação da percepção dos usuários para o uso racional de água em escolas**. CLACS' 04 – I Conferencia Latino-Americana de Construção Sustentável e ENTAC 04, - 11º Encontro Nacional de Tecnologia do Ambiente Construído, São Paulo - SP, Anais....CD Rom, 2006.

ZOLET, M. **Potencial de aproveitamento de água de chuva para uso residencial na região urbana de Curitiba**. Orientador: Prof. MSc. Adalberto Egg Passos. 2005. 42 p. Tese de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental) - Pontifícia Universidade Católica Do Paraná, Curitiba, 2005. Disponível em: <http://files.engenharia-ambiental.webnode.com/200000018-0859409533/%C3%81gua%20de%20Chuva.pdf>. Acesso em: 3 mar. 2022.