

Tratamento sequencial de águas pluviais com coluna de adsorção e membrana de ultrafiltração

Sequential treatment of rainwater with a fixed bed adsorption column and ultrafiltration membrane

Tratamiento secuencial de aguas pluviales con columna de adsorción y membrana de ultrafiltración

Jaqueline C. Areas de Almeida

Universidade do Estado do Rio de Janeiro;
Faculdade de Engenharia; Departamento de
Engenharia Sanitária e Meio Ambiente.
Rio de Janeiro (R J), Brasil.

Caroline Moreira de Souza

Universidade do Estado do Rio de Janeiro;
Faculdade de Engenharia; Departamento de
Engenharia Sanitária e Meio Ambiente.
Rio de Janeiro (R J), Brasil.

Gustavo Nunes Pacheco

Universidade do Estado do Rio de Janeiro;
Faculdade de Engenharia; Departamento de
Engenharia Sanitária e Meio Ambiente.
Rio de Janeiro (R J), Brasil.

Marcelo Obraczka

Universidade do Estado do Rio de Janeiro;
Faculdade de Engenharia; Departamento de
Engenharia Sanitária e Meio Ambiente.
Rio de Janeiro (R J), Brasil.

Letícia Delduque Alves

Universidade do Estado do Rio de Janeiro;
Faculdade de Engenharia; Departamento de
Engenharia Sanitária e Meio Ambiente.
Rio de Janeiro (R J), Brasil.

Ana Beatriz Almeida de Souza

Universidade do Estado do Rio de Janeiro;
Faculdade de Engenharia; Departamento de
Engenharia Sanitária e Meio Ambiente.
Rio de Janeiro (R J), Brasil.

Thomaz de Magalhães Vieira

Universidade do Estado do Rio de Janeiro;
Faculdade de Engenharia; Departamento de
Engenharia Sanitária e Meio Ambiente.
Rio de Janeiro (R J), Brasil.

Alfredo Akira Ohnuma Jr. *

Universidade do Estado do Rio de Janeiro;
Faculdade de Engenharia; Departamento de
Engenharia Sanitária e Meio Ambiente.
Rio de Janeiro (R J), Brasil.
akira@eng.uerj.br

* Autor correspondente.

CRediT

Contribuição de autoria: Curadoria de dados; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Visualização; Redação – rascunho original; Redação - revisão e edição: ALMEIDA, J. C. A.; ALVES, L. D.; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Validação; Visualização: SOUZA, C. M.; Coleta de dados; Metodologia; Visualização; Redação – rascunho original: SOUZA, A. B. A.; PACHECO, G. N.; VIEIRA, T. M.; Supervisão; Validação; Visualização; Redação – rascunho original; Redação - revisão e edição: OBRACZKA, M.; Concepção; Curadoria de dados; Análise; Metodologia; Supervisão; Validação; Visualização; Redação – rascunho original; Redação - revisão e edição: OHNUMA JR., A. A.

Conflitos de interesse: Os autores certificam que não há conflito de interesse.

Financiamento: Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq); Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ).

Aprovação de ética: Os autores certificam que não houve necessidade de aprovação de Comitê de Ética.

Uso de I.A.: Os autores certificam que não houve uso de inteligência artificial na elaboração do trabalho.

Editores responsáveis: Daniel Sant'Ana (Editor-Chefe); Ronaldo L. R. Mendes (Editor Convidado); Silvio R. Orrico (Editor Convidado); Thiago A. Pereira (Editor Convidado); Livia Santana (Editora Convidada); Pedro G. Cardoso (Assistente Editorial).

Resumo

Os sistemas de águas pluviais (SAP) surgem como fonte alternativa de água, devido à possibilidade de suprir demandas não potáveis. As superfícies de captação e a falta de manutenção nos reservatórios podem ocasionar a contaminação da água armazenada, necessitando de tecnologias que garantam uma maior segurança sanitária. Este trabalho avaliou um sistema de tratamento de água de chuva composto por uma coluna de adsorção (AD) associada a uma membrana de ultrafiltração portátil (UF), com coleta de águas pluviais do SAP situado no campus da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Rio de Janeiro-RJ. Foram realizadas 10 campanhas, com análise de pH, turbidez, condutividade elétrica e cor aparente. Houve um aumento dos parâmetros pH, turbidez e cor aparente após contato da água com a superfície de captação. O descarte do *first flush* – FF resultou na melhoria da qualidade da água armazenada no reservatório (RR). A coluna AD elevou os resultados de pH e condutividade elétrica, não apresentou boa melhoria no parâmetro turbidez e indicou decréscimo de cor aparente. A membrana UF melhorou expressivamente os parâmetros turbidez e cor aparente. Observou-se uma melhora relevante na qualidade da água de chuva com uso das tecnologias de FF, AD e UF, com necessidade de aprimoramento da coluna AD.

Palavras-chave: Tratamento de águas pluviais; Aproveitamento de água de chuva; Qualidade da água de chuva.

Abstract

Rainwater systems (SAP) emerge as an alternative source of water, due to the possibility of supplying non-potable demands. However, the catchment surfaces and the lack of maintenance in the reservoirs can cause the contamination of the stored water, requiring technologies that guarantee greater health safety. This work evaluated a rainwater treatment system composed of an adsorption column (AD) associated with a portable ultrafiltration (UF) membrane system, with rainwater collection from the SAP located on the UERJ-Maracanã campus. Ten campaigns were carried out, with analysis of pH, turbidity, electrical conductivity and apparent color. There was an increase in the parameters pH, turbidity and apparent color after contact of the water with the catchment surface. The use of first flush – FF resulted in an improvement in the quality of the water stored in the reservoir (RR). The AD column increased the pH and electrical conductivity results, did not show good improvement in the turbidity parameter and indicated a decrease in apparent color. The UF membrane significantly improved the turbidity and apparent color parameters. There was a relevant improvement in the quality of rainwater with the use of FF, AD and UF technologies, with the need to improve the AD column.

Keywords: Rainwater technologies; Rainwater harvesting; Rainwater quality.

Resumen

Los sistemas pluviales (SAP) surgen como una fuente alternativa de agua, debido a la posibilidad de abastecer demandas no potables. Sin embargo, las superficies de captación y la falta de mantenimiento en los embalses pueden provocar la contaminación del agua almacenada, requiriendo tecnologías que garanticen una mayor seguridad sanitaria. Este trabajo evaluó un sistema de tratamiento de agua de lluvia compuesto por una columna de adsorción (AD) asociada a un sistema portátil de membranas de ultrafiltración (UF), con captación de agua de lluvia del SAP ubicado en el campus de la UERJ-Maracanã. Se realizaron diez campañas, con análisis de pH, turbidez, conductividad eléctrica y color aparente. Hubo un aumento en los parámetros pH, turbidez y color aparente después del contacto del agua con la superficie de captación. El uso de *first flush* – FF resultó en una mejora en la calidad del agua almacenada en el embalse (RR). La columna AD aumentó los resultados de pH y conductividad eléctrica, no mostró una buena mejora en el parámetro de turbidez e indicó una disminución en el color aparente. La membrana UF mejoró significativamente los parámetros de turbidez y color aparente. Hubo una mejora relevante en la calidad del agua de lluvia con el uso de tecnologías FF, AD y UF, con la necesidad de mejorar la columna AD.

Palabras-clave: Tratamiento de agua de lluvia; Captación de agua de lluvia; Calidad de agua de lluvia.

1 Introdução

A Organização das Nações Unidas (ONU) relaciona segurança hídrica com a quantidade e qualidade de água disponível, suficiente e acessível, de modo a garantir uma sustentabilidade no uso dos recursos hídricos pelos diferentes setores da sociedade, como: atender às necessidades básicas para abastecimento humano que garantam bem-estar e saúde da população, preservação dos ecossistemas, produção de alimentos, geração de energia e usos na indústria, transporte, recreação e turismo. Nesse sentido, são fundamentais os estudos relacionados à disponibilidade hídrica e demanda de água para diferentes finalidades (ANA, 2019; Peña, 2016; UN-WATER, 2013).

O aumento da população em áreas urbanas, a ampliação da demanda de água devido ao crescimento econômico e as mudanças climáticas, que afetam os eventos hidrológicos, provocam o desequilíbrio do balanço hídrico (Ana, 2019). Desta forma, a escassez surge quando a quantidade de água doce disponível é afetada devido ao aumento da demanda, como também pela redução do acesso a qualidade de água tratada em condições de atendimento à população, agravada pela contaminação das fontes de abastecimento (Tucci; Chagas, 2017).

Assim, os sistemas de aproveitamento de águas pluviais (SAP) surgem como uma fonte alternativa de água com qualidade que atenda a padrões de abastecimento, em especial, para usos não potáveis, de modo a atingir um uso mais racional da água. A adoção desta prática proporciona um manejo mais sustentável das águas pluviais em áreas urbanas com diversos benefícios, como: a redução do uso de água potável da rede convencional, o atendimento às áreas que carecem de sistemas de abastecimento de água convencionais, o amortecimento e redução na saturação dos sistemas de drenagem pela retenção da vazão inicial e a compensação dos efeitos da urbanização (Lima *et al.*, 2011).

Contudo, o aproveitamento da água de chuva apresenta riscos para o consumo humano relacionado à possibilidade de contaminação da água oriunda da própria poluição atmosférica, ao entrar em contato com substâncias provenientes da deposição seca e úmida nas superfícies de captação do SAP no processo de coleta, e pela falta de manutenção no reservatório principal de armazenamento e distribuição de água. O risco de contaminação microbiológica compromete a qualidade da água, com aumento da demanda por tecnologias mais eficazes na remoção de determinados patógenos (Hofman-Caris *et al.*, 2019).

A implantação dos sistemas de águas pluviais é geralmente empregada para fins menos nobres, como lavagem de pisos e veículos, rega de áreas verdes e descarga de vasos sanitários (Silva; Freitas, 2020). Porém, em condições de distribuições anormais, os possíveis usos podem ser ampliados para banho, lavagem de louças e roupas, quando realizado um tratamento diferenciado da água pluvial por meio de tecnologias específicas (Zanella, 2015). Diante deste cenário, têm-se desenvolvido pesquisas de modo a aumentar a eficiência dos sistemas de filtração empregados atualmente, desde mudanças nos processos à adoção de novos materiais que possibilitem um melhor desempenho (Cescon; Jiang, 2020).

De forma aplicada, técnicas de tratamento de água têm sido adotadas a partir da operação de filtros com camadas filtrantes e uso de sistemas de ultrafiltração, como tecnologias de tratamento de águas pluviais, inclusive para produção de água potável

(Oliveira, 2020; Hofman-Caris *et al.*, 2019; Teixeira; Ghisi, 2019; Miorando *et al.*, 2017; Gonçalves; Bastos, 2016).

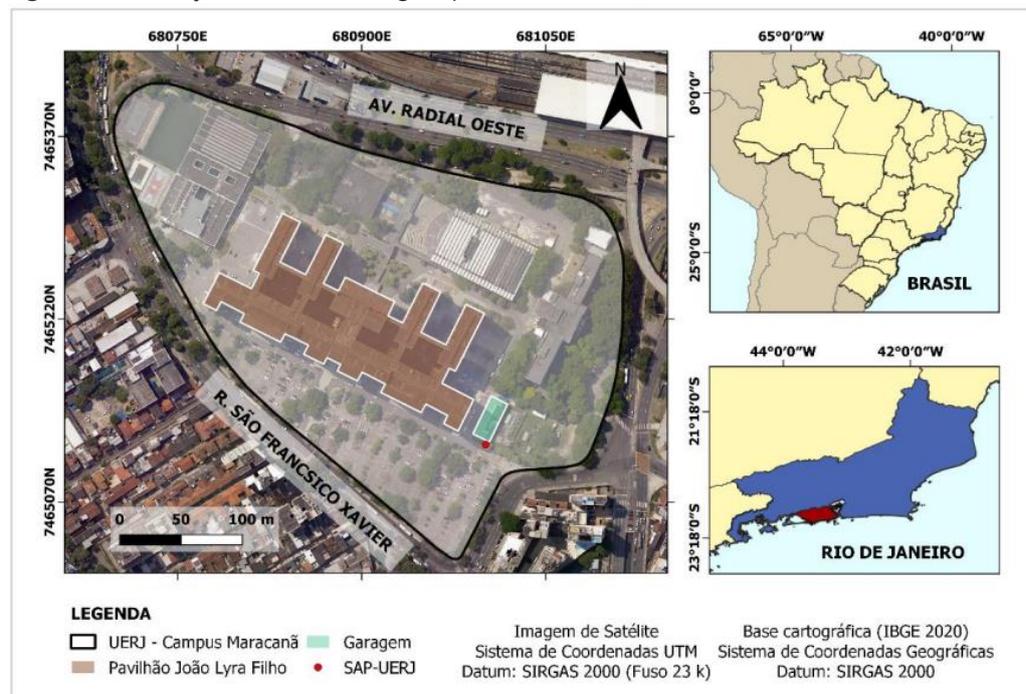
Este trabalho tem como objetivo avaliar a qualidade das águas pluviais após o uso de tecnologias de tratamento, a partir da coleta e análise de amostras de um sistema de captação e armazenamento de águas pluviais, localizado na cidade do Rio de Janeiro – RJ.

2 Materiais e Métodos

2.1 Caracterização da região de estudo

O sistema de captação e armazenamento de águas pluviais (SAP) utiliza a cobertura do telhado da garagem de veículos da Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), situada no bairro Maracanã, na cidade do Rio de Janeiro – RJ. A área de estudo é altamente urbanizada com vias de acesso de intenso tráfego de veículos, pela Rua São Francisco Xavier e Avenida Radial Oeste. A região apresenta fluxo de transporte médio em dias úteis estimado em 20.909 veículos próximo à Praça Maracanã – sentido Tijuca e 56.021 veículos próximo ao Estádio do Maracanã – sentido Méier (PCRJ, 2017) (Figura 1).

Figura 1: Localização do sistema de águas pluviais SAP-UERJ, Rio de Janeiro – RJ



Fonte: Autores (2022).

2.2 Sistema de coleta de águas pluviais

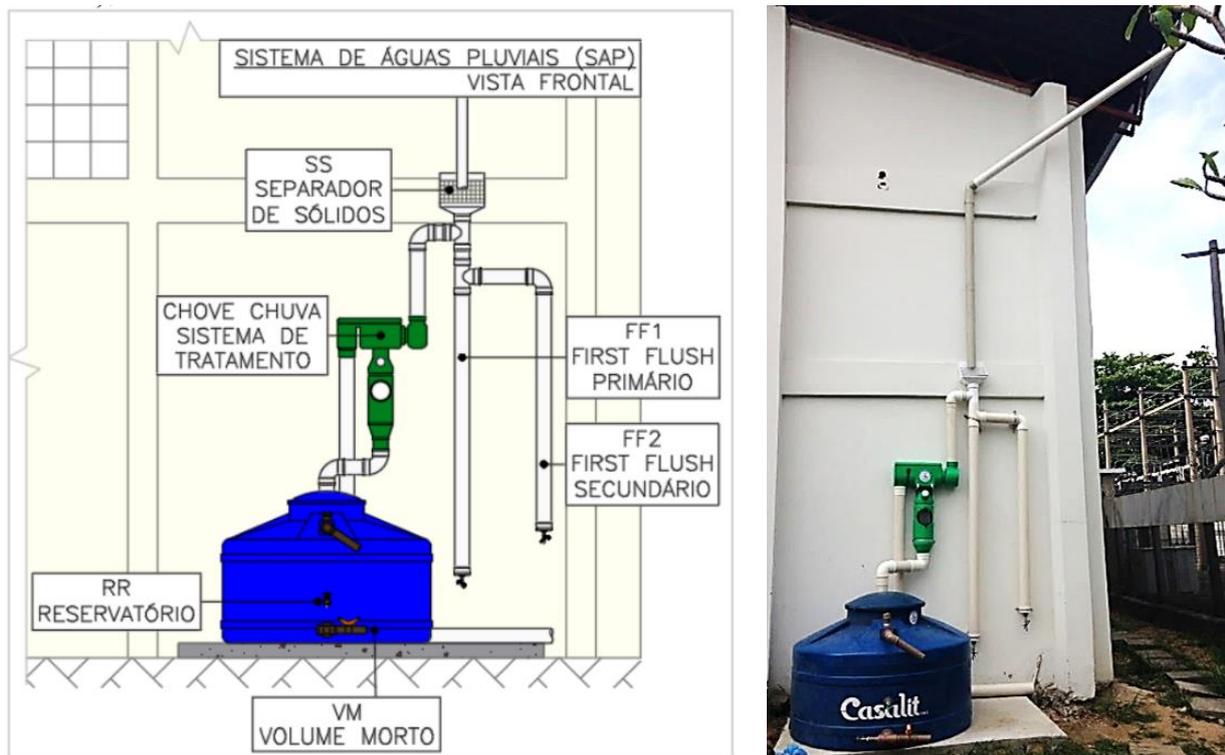
O sistema de águas pluviais (SAP-UERJ), projetado para coletar e armazenar a água de chuva que escoar pelo telhado da garagem de veículos da instituição, é composto por telhas de fibrocimento, com área de 30 m² disponível para captação.

O SAP-UERJ é composto por área de captação, calhas, condutores verticais e horizontais em PVC, conexões, dispositivo separador de sólidos (SS), sistema separador de fluxo de descarte inicial, denominado de *first flush* primário (FF1) e secundário (FF2), extravasor, reservatório de polietileno e pontos de coleta. Localizado à montante do reservatório de armazenamento (RR), encontra-se instalado o dispositivo nomeado de Chove Chuva (CC),

como um sistema de tratamento primário com uso de pedras de calcário e pastilhas de cloro. Próximo ao sistema, em área livre de obstáculos, também foi instalado o dispositivo de coleta de precipitação direta (PD) em 2019, responsável por coletar a chuva de maneira livre, direto da atmosfera e independente do contato de superfícies de captação.

O SAP-UERJ dispõe de 4 principais pontos de coleta das águas pluviais, intitulados: *first flush* primário (FF1), *first flush* secundário (FF2), volume morto (VM) e reservatório (RR) (Figura 2). No entanto, Almeida *et al.* (2019) verificaram que os pontos VM e RR do sistema SAP-UERJ apresentaram comportamento similar no período de análise de janeiro de 2017 a dezembro de 2018. Por este motivo, este trabalho desconsiderou as coletas e análises de amostras do ponto do volume morto (VM), com a utilização dos pontos do reservatório (RR), *first flush* primário (FF1), secundário (FF2) e precipitação direta (PD).

Figura 2: Sistema de águas pluviais (SAP) instalado na UERJ, Rio de Janeiro-RJ.



Fonte: Autores (2022).

2.3 Tecnologias de tratamento de águas pluviais em escala laboratorial

As tecnologias de tratamento de águas pluviais (TPLUV) foram implementadas no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ, para operação controlada em escala laboratorial, composta por um sistema de coluna de adsorção (AD) e um processo de separação por membrana de ultrafiltração (UF).

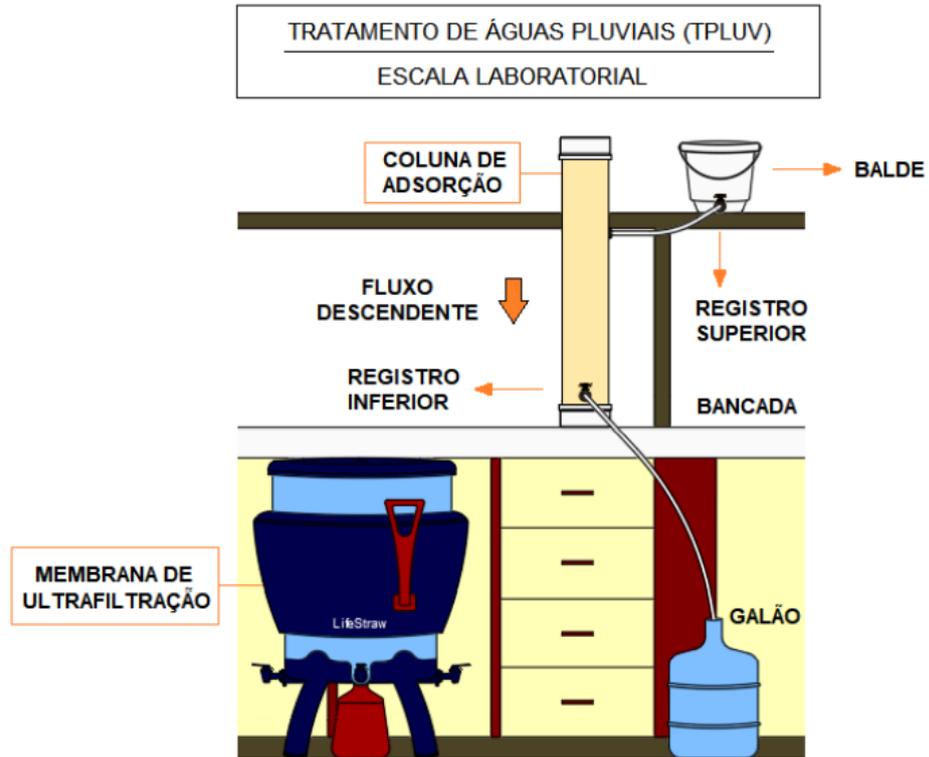
A coluna de adsorção (AD) é um dispositivo experimental elaborado a partir de um tubo de PVC com diâmetro de 150 mm e altura de 80 cm, com uma dupla camada de elementos adsorventes composta por uma camada de mídia porosa de vidro sinterizado em formato hexagonal, disposta em uma coluna de 35 cm de altura, e uma camada de carvão ativado granulado em uma coluna de 25 cm de altura.

O processo de ultrafiltração (UF) foi realizado a partir do uso de uma membrana de ultrafiltração portátil da empresa Vestergaard, modelo LifeStraw Community. Trata-se de

um sistema que opera por gravidade, sem a necessidade de aplicar produtos químicos e energia elétrica, de modo a facilitar os custos e a operação pelo usuário, com um cartucho de ultrafiltração de 20 nm, vazão média de 12 litros por hora e um reservatório de água tratada com capacidade de 25 litros (Vestergaard, 2014).

A Figura 3 apresenta a disposição das tecnologias que compõem o sistema de tratamento de águas pluviais TPLUV em laboratório (LES).

Figura 3: Sistema de tratamento de águas pluviais (TPLUV), desenho sem escala



Fonte: Autores (2022).

2.4 Processo operacional do sistema de águas pluviais SAP-UERJ e TPLV

A coleta das amostras de águas pluviais ocorreu em duas etapas principais, sendo a primeira realizada no sistema de águas pluviais SAP-UERJ e a segunda no sistema de tratamento de águas pluviais TPLUV.

A água precipitada escoar pela superfície de captação e é direcionada para a calha do sistema SAP-UERJ, que conduz a água da chuva aos condutores verticais e horizontais. Após a captação, a água de chuva passa pelo dispositivo separador de sólidos (SS) para remoção de sólidos grosseiros e, depois ocorre o descarte do volume inicial da precipitação efetiva no *first flush* primário (FF1) e secundário (FF2). Este sistema de *first flush* é vedado automaticamente por meio de uma boia interna e, ao atingir sua capacidade de descarte acumulado de 1,0 mm de precipitação efetiva, a água de chuva é direcionada ao dispositivo Chove Chuva (CC), localizado à montante do reservatório de água de chuva (RR) de 1000 litros. O sistema de armazenamento é dividido para o ponto do volume morto (VM), não aproveitável com volume de 200 litros e, o ponto do reservatório (RR) com volume de 800 litros, sendo este último destinado e considerado como de aproveitamento da água da chuva.

A análise da qualidade das águas pluviais do sistema SAP-UERJ foi realizada a partir da

coleta de 1 litro de amostra por ponto de interesse do sistema, ou seja, *first flush* primário (FF1) e *first flush* secundário (FF2), para avaliação da qualidade do descarte inicial, e reservatório (RR). Além desses pontos, foram coletadas amostras do ponto de precipitação direta (PD), com dispositivo localizado nas proximidades do sistema SAP-UERJ.

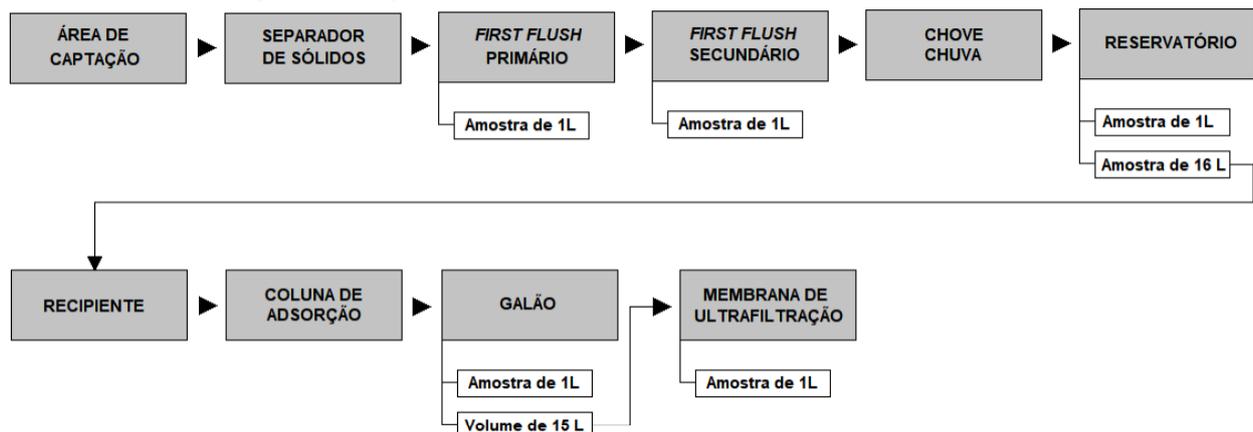
O sistema de tratamento de águas pluviais opera apenas com as amostras do ponto do reservatório (RR). Portanto, além de separar 1 litro de amostra para análise da qualidade do ponto RR, também foram coletados aproximadamente 16 litros deste ponto para uso no sistema TPLUV em laboratório.

As amostras de águas pluviais do ponto RR foram despejadas no recipiente com capacidade de 8,5 litros que alimenta à coluna de adsorção (AD) de mídia de cerâmica e carvão ativado, que funciona de forma controlada e em fluxo descendente. Após a amostra de água de chuva percorrer pela coluna de adsorção, o volume de 16 litros foi coletado em um galão de 20 litros, por meio de uma mangueira acoplada ao registro inferior conectado ao tubo. Em seguida, a amostra contida no galão era homogeneizada e separada 1 litro desta amostra, referente ao ponto coluna de adsorção (AD).

O volume de água excedente da coluna de adsorção (AD), de aproximadamente 15 litros, foi direcionado à membrana de ultrafiltração (UF), sequencialmente. Portanto, o processo consistia em alimentar à membrana de ultrafiltração (UF) com a amostra coletada após uso da coluna de adsorção (AD), despejada sobre a malha existente da membrana. Após a filtração do volume total despejado fluir para o compartimento de água purificada, localizado na parte inferior da membrana, a amostra foi homogeneizada e, após, coletado 1 litro de amostra deste ponto referente ao tratamento sequencial coluna de adsorção (AD) mais a membrana de ultrafiltração (UF), para posterior análise da qualidade da água tratada, com descarte do volume excedente.

O resumo sequencial do processo operacional do sistema de coleta, armazenamento e tratamento de águas pluviais SAP-UERJ e TPLUV consta no fluxograma da Figura 3.

Figura 3: Fluxograma do processo operacional do sistema SAP-UERJ e TPLUV.



Fonte: Autores (2022).

2.5 Amostras de águas pluviais

O período de amostragem ocorreu entre abril de 2019 e janeiro de 2020, composto por um total de 10 campanhas que correspondem a 57 amostras que combinam os pontos dos sistemas. Portanto, foram coletadas 10 amostras por ponto para PD, FF1 e FF2, e 09 amostras por ponto para RR, AD e UF (Tabela 1).

Tabela 1: Períodos de amostragem das campanhas por ponto de coleta de água de chuva

Ano	Dias de coleta da amostra	Ponto	Campanhas
2019	12/04, 17/05, 27/06, 06/08	PD, FF1, FF2, RR, AD e UF	04
	26/08	PD, FF1, FF2	01
2020	17/09, 30/10, 28/11, 16/12	PD, FF1, FF2, RR, AD e UF	04
	30/01	PD, FF1, FF2, RR, AD e UF	01
Total de campanhas			10

Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna de adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autores (2022).

As amostras foram coletadas uma vez por mês entre abril de 2019 e janeiro de 2020, com exceção de agosto de 2019, com duas coletas no mês, e ausência de coleta em julho de 2019. Na amostra da campanha de 26 de agosto de 2019 não houve volume de água de chuva para o ponto RR e, conseqüentemente, AD e UF. Por este motivo, esses pontos tiveram 1 (uma) amostra a menos que os pontos PD, FF1 e FF2 no período amostral.

Os volumes foram armazenados em recipientes plásticos de polietileno com capacidade de um litro, para posterior análise dos parâmetros físico-químicos. Os protocolos de limpeza da frascaria, os tipos de recipientes utilizados, as condições de armazenamento e a preservação das amostras seguiram as recomendações do Guia Nacional de Coleta e Preservação de Amostras (ANA; CETESB, 2011).

2.6 Parâmetros de qualidade das águas pluviais

Para caracterização dos volumes armazenados, as amostras foram analisadas no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ, consistindo dos parâmetros físico-químicos e respectivos métodos: condutividade elétrica (Método 2510 B: *Laboratory Method*), cor aparente (Método 2120 C: *Spectrophotometric Method*), pH (Método 4500 – H⁺ B: *Electrometric Method*) e turbidez (Método 2130 B: *Nephelometric Method*), cujos métodos seguem o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2012).

As análises utilizaram os equipamentos turbidímetro, modelo TECNOPON TB-1000; pHmetro, modelo QUIMIS Q400AS; condutivímetro de bancada QUIMIS Q405M; espectrofotômetro e modelo HACH DR 2800. A quantidade total de amostras analisadas para cada parâmetro em função dos pontos de coleta dos sistemas SAP-UERJ e TPLUV são indicados na Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetros de qualidade, métodos de análise e quantidade de amostras analisadas em cada parâmetro por ponto do sistema

Parâmetros de qualidade	Método (APHA, 2012)	Quantidade de amostras por ponto do sistema SAP-UERJ e TPLUV					
		PD	FF1	FF2	RR	AD	UF
Condutividade elétrica	2510 B	09	10	10	09	09	09
Cor aparente	2120 C	09	10	10	09	09	09
Potencial hidrogeniônico	4500 – H ⁺ B	10	10	10	09	09	09
Turbidez	2130 B	10	10	10	09	09	09

Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna de adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autores (2022).

2.7 Padrões de qualidade das águas pluviais

Os parâmetros de qualidade da água descrevem suas principais características físicas, químicas e biológicas (Von Sperling, 2014). O conhecimento e atendimento dos limites de parâmetros de qualidade estabelecidos por referências, como legislações e normas pertinentes, são de fundamental importância para garantir o uso sanitário adequado e

mais seguro das águas pluviais.

No Brasil, os padrões de qualidade para o aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis devem atender preferencialmente ao disposto na NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), como também a NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) destinada ao uso de fontes alternativas de água não potável. Porém, para uma maior abrangência na caracterização das águas pluviais e melhor parametrização da pesquisa, também foi adotada a Portaria de GM/MS nº 888/2021 (BRASIL, 2021), referente aos parâmetros de potabilidade (Tabela 3).

Tabela 3: Referências utilizadas dos parâmetros analisados de água de chuva

Parâmetro	Unidade	NBR 15.527/2019	NBR 16.783/2019	PORTARIA GM/MS Nº 888/2021
Condutividade elétrica	$\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$	-	≤ 3.200	-
Cor aparente	uC	-	-	≤ 15
Potencial hidrogeniônico	-	6-9	6-9	6-9
Turbidez	UNT	≤ 5	≤ 5	$\leq 5^{(1)}$

Legenda: (1) Limite referente ao padrão organoléptico de potabilidade.

Fonte: Autores (2022).

2.8 Pluviosidade local

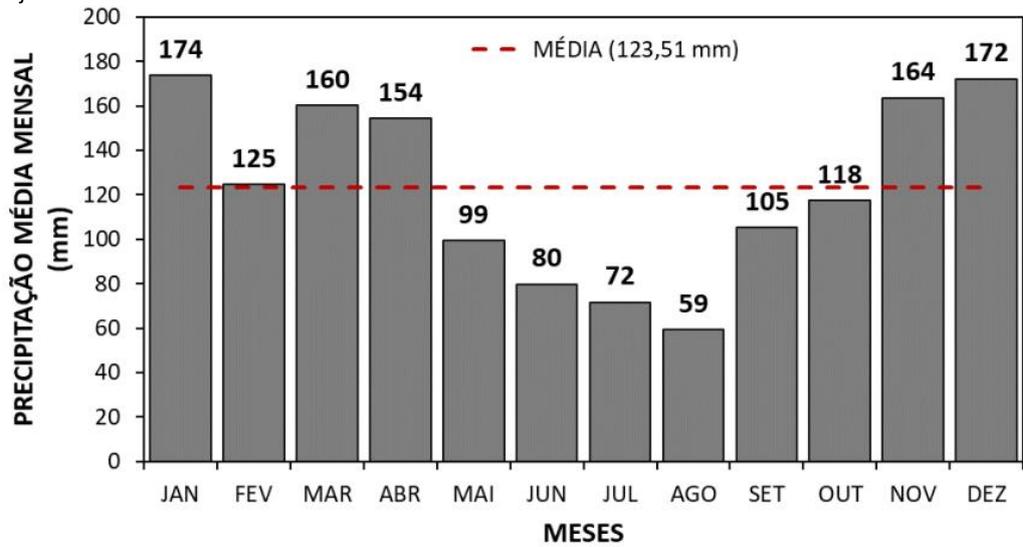
A classificação climática, o Rio de Janeiro tem maior predominância do clima tipo Aw, segundo a classificação de Köppen aplicada no período de 1961 a 2015 por Dubreuil *et al.* (2017). Este tipo de classificação apresenta clima quente com chuva de verão e estação seca no inverno.

Os dados pluviométricos foram obtidos da Estação nº 04 – Tijuca, do Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro, situada na Estrada do Sumaré, nº 670, bairro Rio Comprido, em uma cota elevada no Maciço da Tijuca no Centro de Estudos de Sumaré. A estação Tijuca é responsável pelo monitoramento pluviométrico da Grande Tijuca e está localizada nas coordenadas geográficas - 22,93194 ° (latitude) e - 43,22167° (longitude), em uma cota de 340 metros (Alerta Rio, 2022). A estação pluviométrica encontra-se, aproximadamente, a 2,6 km do sistema de águas pluviais SAP-UERJ.

O comportamento pluviométrico da estação Tijuca foi caracterizado a partir do tratamento dos dados de precipitação compreendidos na série histórica entre 1997 e 2019, disponíveis no sítio eletrônico do Sistema Alerta Rio (Alerta Rio, 2022), num total de 22 anos de dados.

A Figura 4 apresenta os valores médios mensais de precipitação no período selecionado, entre 59 mm no mês de agosto e 174 mm em janeiro. Os meses centrais do calendário junho, julho e agosto são caracterizados como os meses mais secos do ano, enquanto os meses de novembro a abril apresentaram médias mensais acima de 150 mm, com exceção do mês fevereiro (125 mm).

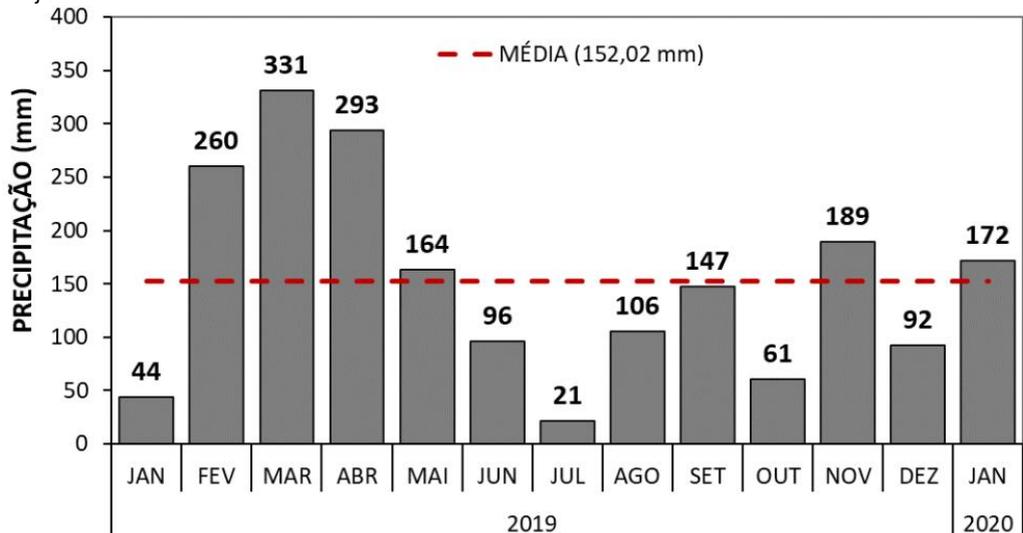
Figura 4: Precipitação média mensal para a série histórica de 1997 a 2019 para a Estação nº 04 – Tijuca



Fonte: Autores (2022), com dados do Alerta Rio (2022).

A Figura 5 ilustra a pluviosidade da região de janeiro de 2019 a janeiro de 2020, período que compreende os meses de coletas de amostras de águas pluviais obtidas do sistema SAP-UERJ. Os registros pluviométricos da estação Tijuca mostram uma precipitação total anual de 1.804 mm, com uma média mensal de 152 mm. Em 2018, a média pluviométrica total anual na cidade do Rio de Janeiro foi de 1.223 mm, de acordo com o monitoramento das chuvas obtidas de 33 estações pluviométricas do Sistema Alerta Rio distribuídas na cidade do Rio de Janeiro (Alerta Rio, 2018). Diferentemente do comportamento apresentado no gráfico de precipitação da série histórica (Figura 4), o período analisado neste estudo apresentou regime atípico, pois os meses de janeiro e dezembro de 2019 não tiveram as precipitações mais elevadas, e o mês de menor precipitação foi o de julho.

Figura 5: Precipitação acumulada mensal de janeiro de 2019 a janeiro de 2020 para a Estação nº 04 – Tijuca



Fonte: Autores (2022), com dados do Alerta Rio (2022).

2.9 Tratamento estatístico

O tratamento estatístico dos dados foi realizado a partir do *software* de Linguagem R® (R Core Team, 2020) para o sistema operacional Windows®, versão desktop. Segundo Walter

et al. (2012), o R compreende uma linguagem e um ambiente para computação estatística, baseado no conceito de *software* livre, com diversas interfaces existentes e disponibilizadas por seus desenvolvedores. Neste estudo, a interface adotada foi o *RStudio*, versão 4.0.2. De modo a interpretar os resultados obtidos, foram elaborados gráficos do tipo *boxplot*.

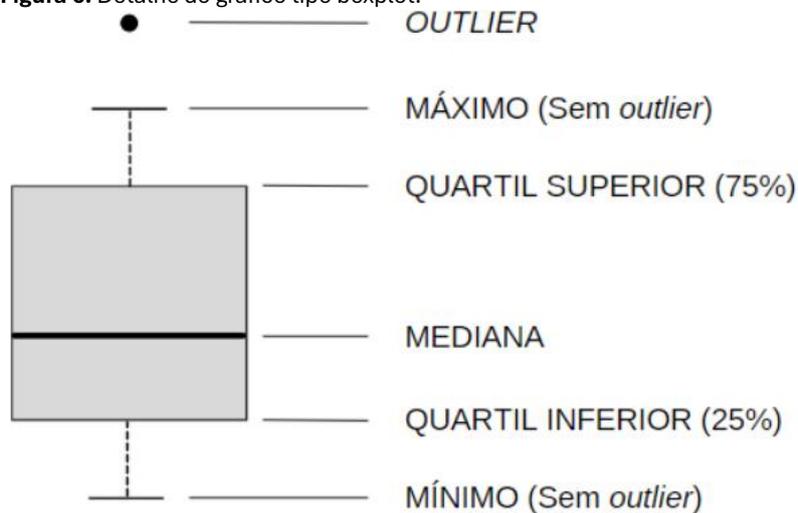
2.9.1 Gráfico do tipo *boxplot*

A análise dos parâmetros físico-químicos foi realizada a partir dos gráficos de caixa (*boxplot*) gerados em cada ponto de coleta do sistema SAP-UERJ e do sistema de laboratório composto de tecnologias de águas pluviais TPLUV. Os resultados incluem um total de 57 amostras obtidas em 10 campanhas

Os gráficos de *boxplot* são utilizados para apresentar a distribuição de uma variável, com a maior parte da distribuição representada por uma caixa (HAIR et al., 2009). Este tipo de gráfico permite avaliar a posição, dispersão, assimetria, caudas, bem como dados discrepantes. A sua construção considera a representação da mediana e dos quartis em um retângulo, em que os quartis inferior (q1) e superior (q3) limitam a caixa do gráfico e concentram 50% dos resultados (dq) (Morettin; Bussab, 2010).

Os *boxplots* apresentam também os limites mínimos que não sejam menores que “q1 – (1,5)dq” (inferiores) e máximos não excedentes a “q3 + (1,5)dq” (superiores) formados pelas linhas que vão do retângulo aos valores atípicos. Além destes pontos, também são apresentados os *outliers*. Estes, por sua vez, são observações que se encontram acima ou abaixo dos limites superior ou inferior, respectivamente, considerados destoantes das demais informações (Morettin; Bussab, 2010). A Figura 6 identifica os pontos que compõem o gráfico do tipo caixa (*boxplot*).

Figura 6: Detalhe do gráfico tipo *boxplot*.



Fonte: Adaptado de Guimarães (2016).

3 Resultados e Discussões

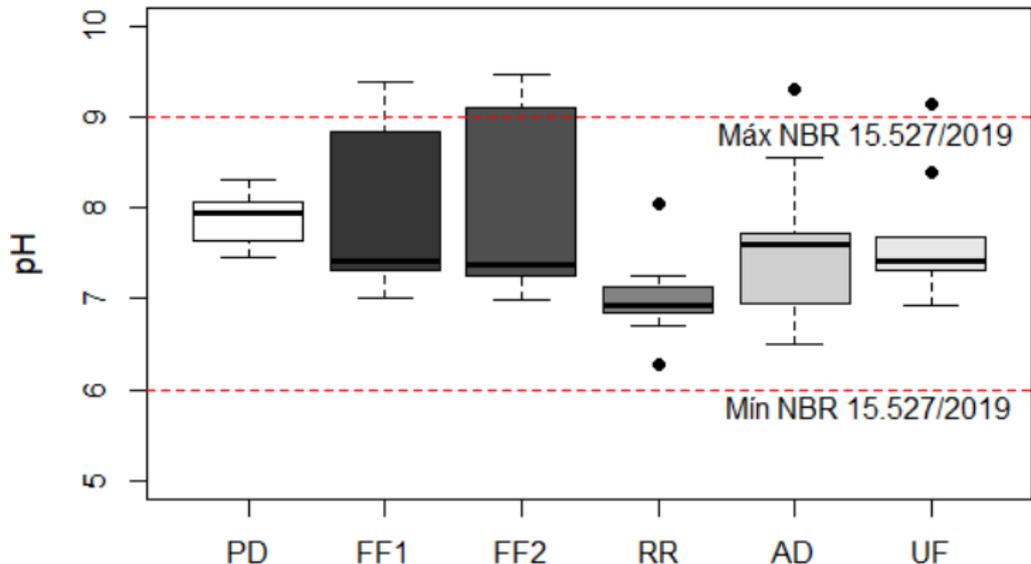
3.1 Potencial Hidrogeniônico (pH)

As médias de pH das amostras de águas pluviais foram iguais a $7,90 \pm 0,27$ para PD, $7,97 \pm 0,93$ para FF1, $7,94 \pm 0,97$ para FF2, $7,00 \pm 0,48$ para RR, $7,61 \pm 0,87$ para AD e $7,67 \pm 0,69$ para UF. De modo geral, as amostras indicaram resultado alcalino e os valores de pH variaram de 6,27 a 9,47 em todos os pontos do sistema (Figura 7).

Os resultados do parâmetro pH, em todos os pontos do sistema, apresentam uma elevação do pH nos pontos de *first flush* em comparação ao ponto PD. Após o descarte de escoamento inicial de 1 mm, nota-se uma redução do pH na água armazenada no reservatório (RR). Entretanto, a amostra coletada no ponto da coluna de adsorção (AD), composta pela mídia de vidro sinterizado, apresentou maiores resultados que o ponto RR e o tratamento sequencial com a membrana de ultrafiltração (UF) apresentou comportamento similar ao ponto AD.

O estudo de Assis (2006) empregou vidro reciclado como matéria prima para confecção de membranas de microfiltração e, de acordo com o autor, é essencial compreender que há a possibilidade de ocorrer reações na superfície de vidros de soda-cal na presença de meio aquoso, principalmente quando o sistema de membrana estiver em uso. Isto ocorre pela alteração nas características superficiais dos poros pelas trocas entre os íons sódio (Na^+) e potássio (K^+) com os íons hidrogênio da água (H^+), em que essas trocas são favorecidas pelas fases Na_2O e K_2O , que são solúveis em água.

Figura 7: Boxplot do parâmetro pH por ponto de coleta.



Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna de adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autores (2022).

Sob este cenário, a pesquisa de Sinton e LaCourse (2001) verificou que a adição dos componentes Na_2O e K_2O elevam a lixiviação alcalina e que o acréscimo quantitativo de álcali (Na e K) no lixiviado resulta no aumento do pH das soluções de lixiviado.

Em um meio neutro, inicialmente ocorre a lixiviação das fases alcalinas, com a formação de uma nova camada na superfície rica em sílica, e elevação do pH pelo aumento constante de OH em solução (Assis, 2006; Sinton; Lacourse, 2001). Em um sistema dinâmico em que há uma constante passagem de fluido, chega-se ao equilíbrio após a dissolução alcalina inicial e formação da superfície rica em silício, sem alteração do pH (Assis, 2006). Portanto, justifica-se que o aumento do pH encontrado neste estudo foi decorrente da lixiviação alcalina inicial das mídias porosas que resultou em um aumento de íons OH⁻ nas amostras de águas pluviais.

Os maiores valores de pH encontrados neste estudo correspondem aos pontos de *first flush* primário (pH = 9,39) e secundário (pH = 9,47) referentes ao mês de janeiro, enquanto o menor valor ocorreu no ponto do reservatório (pH = 6,27) no mês de dezembro. As

amostras de abril e maio de 2019 foram responsáveis pelos maiores resultados encontrados na coluna de adsorção (AD) e após membrana de ultrafiltração (UF), com pH igual a 9,3 (abril) e 8,55 (maio) para AD e para UF de 9,15 (abril) e 8,40 (maio). Verifica-se uma tendência ao equilíbrio após esses dois meses iniciais, pois entre junho de 2019 e janeiro de 2020 os valores variaram de 6,5 a 7,73 para AD e de 6,93 a 7,68 para após UF.

Todas as amostras dos pontos PD, RR, AD e UF atenderam a faixa de pH de 6 a 9 estabelecida na NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) e subentendida na Portaria GM/MS Nº 888/2021 (Brasil, 2021), com exceção dos pontos discrepantes iguais a 9,3 para AD e, 9,15 para UF.

Apesar da área de estudo ser intensamente urbanizada e com elevado tráfego de veículos, não foi verificada a presença de chuva ácida devido aos resultados acima de 6,27 de pH, além disso, os menores dados deste parâmetro não foram encontrados no ponto de precipitação direta (PD), que teve valor mínimo de 7,45. Este resultado difere dos estudos realizados por Zdeb *et al.* (2019), que observaram os menores valores de pH nas águas coletadas diretamente das precipitações atmosféricas, e por Guimarães (2016) com média calculada para o ponto de precipitação direta (PD) de $4,67 \pm 0,69$.

A qualidade da água de chuva com valores de pH acima de 7 pode ser um indicativo da presença predominantes de espécies alcalinas ou potencialmente neutralizantes nos eventos analisados, como amônia, carbonato e hidróxido (Fornado, 1991 *apud* Fornaro, 2006).

Costa *et al.* (2020) verificaram a influência dos materiais constituintes das coberturas de captação ao caracterizar a água de chuva em diferentes tipos de telhados, como o telhado de fibrocimento, que apresentou os maiores resultados de pH, com uma média de $7,01 \pm 0,42$. Esta média foi similar a encontrada no presente estudo com pH de $7,00 \pm 0,48$ no ponto RR, após a passagem pelo telhado de fibrocimento.

A Tabela 4 contém a estatística descritiva das análises do parâmetro pH, com média e desvio padrão, valores mínimos e máximos e porcentagem que atendeu aos limites de referência. Apenas os pontos PD e RR atenderam na totalidade a faixa de 6 a 9, entretanto, os pontos AD e UF não atenderam pela presença dos *outliers*, referentes ao período inicial de uso do sistema.

Tabela 4: Estatística descritiva do parâmetro pH.

Ponto	Parâmetro pH						Amostras atendidas (n) ⁽³⁾
	Dados estatísticos					Total de amostras (n) ⁽²⁾	
	Mínimo	Máximo	Médio	Desvio Padrão	Limite de referência		
PD	7,45	8,31	7,90	0,27		10	10 (100%)
FF1	7,00	9,39	7,97	0,93		10	08 (80%)
FF2	6,98	9,47	7,94	0,97	6-9 ⁽¹⁾	10	07 (70%)
RR	6,27	8,05	7,00	0,48		09	09 (100%)
AD	6,50	9,30	7,61	0,87		09	08 (89%)

(1) NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019) e NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019); (2) Total de amostras analisadas por ponto; (3) Porcentagem da quantidade de amostras que atendem ao limite de referência.

Fonte: Autores (2022).

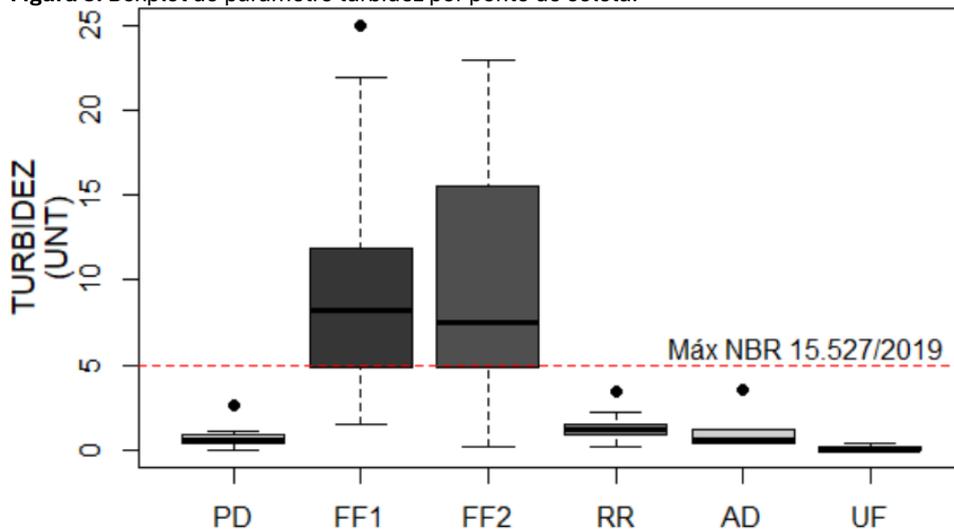
3.2 Turbidez

Os resultados obtidos para turbidez mostraram que os pontos de *first flush* (FF) excederam ao limite máximo estabelecido nas referências adotadas (5 UNT) e apresentaram médias

iguais a $10,05 \pm 7,87$ UNT para FF1 e $9,75 \pm 7,43$ UNT para FF2. As amostras dos pontos de monitoramento da precipitação direta (PD) e a partir do reservatório (RR, AD e UF) atenderam ao limite máximo permitido, com valores médios de $0,72 \pm 0,73$ UNT para PD, $1,37 \pm 0,96$ para RR, $1,02 \pm 0,99$ para AD e $0,11 \pm 0,16$ para UF (Figura 8).

A análise do sistema de águas pluviais por meio do gráfico de *boxplot* (Figura 8) indica que houve uma elevação dos sólidos suspensos presentes nas amostras de águas pluviais, após contato com a superfície de captação. As amostras coletadas diretamente da atmosfera tiveram valor máximo de 2,60 UNT, enquanto as amostras armazenadas nos dispositivos de descarte inicial (FF) atingiram valor máximo de 25 UNT para FF1 e 23 UNT para FF2.

Figura 8: Boxplot do parâmetro turbidez por ponto de coleta.



Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna de adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autores (2022).

Além disso, verifica-se que os dispositivos de *first flush* (FF1 e FF2) foram eficientes na retenção de grande parte dos sólidos suspensos, devido à redução observada nas amostras de águas pluviais do ponto do reservatório (RR), em que o parâmetro turbidez alcançou valor máximo de 3,40 UNT.

Mendez *et al.* (2011) afirmam que as coberturas de telhados utilizados na captação da água de chuva contribuem com uma maior contaminação e turbidez da água pluvial, devido ao acúmulo de fezes de animais, poeiras e folhas de árvores. Este fato é intensificado pela poluição atmosférica em regiões urbanas, visto que materiais particulados são carregados pelo vento e depositados nas superfícies de captação. Somado a isto, o tipo de telhado empregado nos sistemas também pode influenciar na lavagem da carga poluidora, visto alguns tipos podem ou não apresentar uma maior aderência aos contaminantes. Assim, as superfícies lisas, como o telhado metálico, facilitam a lavagem das coberturas em comparação às superfícies ásperas, como o telhado de fibrocimento.

Quanto às tecnologias de tratamento das águas pluviais utilizadas, a coluna de adsorção (AD) apresentou valores compreendidos entre 0,34 e 3,50 UNT, semelhantes aos resultados encontrados no ponto do reservatório (RR), com valores de 0,13 a 3,40 UNT. Porém, o uso sequencial da membrana de ultrafiltração (UF), após a passagem da amostra de água pela coluna de adsorção (AD), resultou em melhoria da qualidade da água filtrada,

com faixa de turbidez compreendida entre 0,00 e 0,40 UNT para UF.

Miorando *et al.* (2017) constataram uma variação entre 0,7 e 65,0 UNT de turbidez em 6 (seis) amostras obtidas do tanque de armazenamento, sem descarte da primeira chuva, com média de $31,05 \pm 19,98$ UNT. Após os testes com as membranas de ultrafiltração (UF), o valor máximo obtido foi de 0,5 UNT.

Apenas os pontos do *first flush* (FF1 e FF2) não atenderam ao valor máximo permitido de 5 UNT adotado pela NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) e Portaria GM/MS Nº 888/2021 (Brasil, 2021). Este limite para o parâmetro turbidez no padrão de potabilidade (Brasil, 2021) classifica-se como padrão organoléptico. Entretanto, para garantir a condição sanitária adequada, a Portaria estabelece valores máximos permitidos pós-filtração de 0,50 UNT para filtração rápida e 1,00 UNT para filtração lenta, em 95 % das amostras, como também 0,10 UNT para filtração em membrana em 99 % das amostras.

Em 6 (seis) amostras de um total de 9 (nove) analisadas apresentaram valores abaixo de 0,10 UNT após o ponto UF, que correspondem a 66,7% das amostras analisadas. Em relação aos resultados após a coluna de adsorção (AD), em 3 (três) amostras de um total de 9 (nove) apresentaram valores inferiores a 0,50 UNT (33,3%) e 5 (cinco) amostras foram inferiores a 1,00 UNT (55,6%). Apesar dos pontos analisados atenderem o limite de 5 UNT, destinado a fins não potáveis pelas normas brasileiras adotadas (ABNT, 2019) e da melhoria expressiva observada após tratamento das águas pluviais, ainda assim as amostras não atenderam em totalidade os valores mais restritivos indicados no padrão de potabilidade (Brasil, 2021).

A Tabela 5 contém a estatística descritiva das análises do parâmetro turbidez, com média e desvio padrão, valores mínimos e máximos e porcentagem que atende os limites de referência. Apenas os pontos de *first flush* FF1 e FF2 não atenderam o limite máximo de 5 UNT. Observa-se que o conjunto de dados do parâmetro turbidez apresentou elevada dispersão dos dados, verificado pelo desvio padrão.

Tabela 5: Estatística descritiva do parâmetro turbidez.

Ponto	Parâmetro turbidez (UNT)						
	Dados estatísticos						Amostras atendidas (n) ⁽³⁾
Mínimo	Máximo	Médio	Desvio Padrão	Limite de referência	Total de amostras (n) ⁽²⁾		
PD	0,00	2,60	0,72	0,73		10	10 (100%)
FF1	1,52	25,00	10,05	7,87		10	03 (30%)
FF2	0,19	23,00	9,75	7,43	≤ 5 ⁽¹⁾	10	07 (70%)
RR	0,13	3,40	1,37	0,96		09	09 (100%)
AD	0,34	3,50	1,02	0,99		09	09 (100%)
UF	0,00	0,40	0,11	0,16		09	09 (100%)

(1) NBR 15.527/2019 (ABNT, 2019), NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) e Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021); (2) Total de amostras analisadas por ponto; (3) Porcentagem da quantidade de amostras que atendem ao limite de referência.

Fonte: Autores (2022).

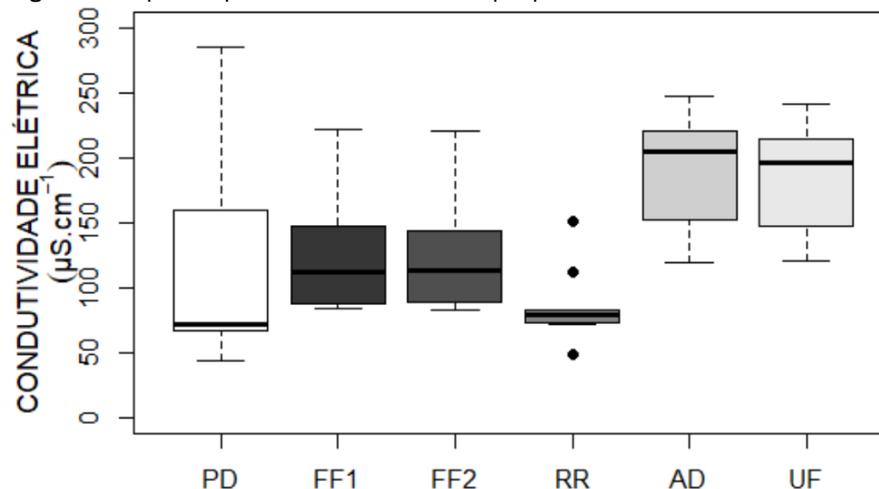
3.3 Condutividade elétrica

As médias mais elevadas de condutividade elétrica foram constatadas nas amostras de águas pluviais após o tratamento das amostras com a coluna de adsorção (AD) com mídia porosa, com resultados de $187,11 \pm 47,58$ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para AD e $187,71 \pm 44,37$ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para UF. Os demais pontos do sistema apresentaram médias equivalentes a $113,23 \pm 78,33$ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para PD, $124,49 \pm 42,99$ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para FF1, $123,91 \pm 42,40$ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para FF2 e

85,89 ± 29,30 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para RR (Figura 9).

Os valores mais elevados de condutividade elétrica foram observados no ponto de precipitação direta (PD = 285,00 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), dos pontos de tratamento (AD = 247,00 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e UF = 242,00 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$), dos pontos de *first flush* (FF1 = 222,10 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e FF2 = 220,20 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$) e do ponto do reservatório (RR = 150,70 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$). Em todos os pontos do sistema SAP-UERJ e TPLUV, a condutividade variou entre 44,00 e 285,00 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$.

Figura 9: Boxplot do parâmetro condutividade por ponto de coleta.



Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna de adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.

Fonte: Autores (2022).

Libânio (2010) diz que soluções que tenham a maioria dos compostos do tipo inorgânicos apresentam valores mais altos para condutividade, contudo, a presença de compostos orgânicos em solução que não se dissociam resultam na redução da capacidade de transmitir corrente elétrica.

Apesar da pesquisa não ter o enfoque na análise sazonal, foi possível observar que os resultados mais elevados para os pontos de precipitação direta (PD) e *first flush* (FF) corresponderam as amostras coletadas nos dias 06 de agosto, 26 de agosto e 30 de outubro de 2019, referente a meses do calendário em que ocorreu uma redução da precipitação.

Rocha *et al.* (2011) verificaram que os maiores resultados de condutividade ocorreram nas coletas após dias de estiagem. Neu *et al.* (2018) monitoraram a qualidade da água de chuva armazenada em cisternas instaladas na comunidade ribeirinha do Furo Grande – Pará e encontraram os valores mínimos, máximos e médios de condutividade iguais a 20, 77 e $35,7 \pm 19 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ durante período menos chuvoso e de 7, 27 e $13,3 \pm 5,6 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ no período mais chuvoso. Segundo esses autores, a atmosfera e a superfície de captação tornam-se mais limpas com o aumento da frequência de precipitação, uma vez que o material particulado é solubilizado no período mais chuvoso, reduzindo a condutividade elétrica, devido a redução da concentração de íons na atmosfera.

Além disso, outros estudos indicaram valores mais elevados de condutividade elétrica na água coletada do telhado de fibrocimento, em relação as amostras coletadas diretamente da atmosfera, indicando sólidos dissolvidos nos materiais depositados na superfície de captação (Hagemann; Gastaldini, 2016). Este fato foi observado nas amostras de águas analisadas, com exceção das amostras coletadas nos meses de agosto e outubro.

Após o descarte das primeiras águas pelo dispositivo de *first flush* (FF1 e FF2) houve uma redução dos valores no ponto do reservatório (RR), com oscilação da condutividade entre 49,00 e 150,70 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, o que demonstra a importância em adotar sistemas de descarte do volume inicial precipitado como medida de melhoria da qualidade da água armazenada.

Observa-se que o uso da coluna de adsorção (AD) com mídia porosa de vidro sinterizado resultou no aumento da condutividade nos pontos do sistema de tratamento (TPLUV), com valores mínimos e máximos iguais a 119,60 e 247,00 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para AD e 120,00 e 242,00 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para UF. Como o processo de tratamento com os dispositivos é sequencial, a membrana de ultrafiltração (UF) permaneceu com comportamento semelhante à coluna de adsorção (AD). Von Sperling (2014) esclarece que os sólidos dissolvidos são partículas com diâmetro inferior a 10^{-3} μm , portanto, a tecnologia de ultrafiltração (UF) adotada neste estudo não é recomendada para a retenção de espécies iônicas dissolvidas em água, em função do seu cartucho de filtração de 20 nm.

Oliveira (2020) também verificou alteração do parâmetro condutividade ao utilizar uma coluna de adsorção no seu sistema. De acordo com o autor, o ponto que antecede a coluna teve média de $55,16 \pm 46,26$ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ e o ponto posterior apresentou média de $99,77 \pm 36,57$ $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, após uso da coluna. A dissociação de substâncias dissolvidas em ânions e cátions aumenta a concentração iônica em solução e, conseqüentemente, há o aumento da capacidade de condução de corrente elétrica (MS, 2006).

Portanto, o processo da água de chuva em contato com as mídias pode resultar no acréscimo de Na^+ , K^+ e Cl^- nas amostras coletadas, conforme lixiviação alcalina inicial das mídias porosas indicada na discussão do parâmetro pH e dissolução de sais devido ao desprendimento da fase não sinterizável NaCl restante nas mídias, contribuindo com a adição de cloreto. Sabe-se que a condutividade é influenciada pela presença desses cátions e ânions em solução e que, portanto, o aumento observado do parâmetro seria justificado por esse processo de lixiviação.

A NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019) instrui quanto ao valor máximo permitido para condutividade elétrica igual a 3.200 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. Como o valor máximo encontrado foi de 285,00 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, todos os pontos do sistema de coleta e tratamento de águas pluviais (SAP- UERJ e TPLUV) atenderam ao limite máximo estabelecido.

A Tabela 6 contém estatística descritiva das análises do parâmetro condutividade elétrica, com média e desvio padrão, valores mínimos e máximos e porcentagem que atende o limite de referência. Todos os pontos do sistema respeitaram o limite máximo permitido.

Tabela 6: Estatística descritiva do parâmetro condutividade elétrica

Ponto	Parâmetro condutividade elétrica ($\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$)						Amostras atendidas (n) ⁽³⁾
	Mínimo	Máximo	Médio	Desvio Padrão	Limite de referência	Total de amostras (n) ⁽²⁾	
PD	44,00	285,00	113,23	78,33		09	09 (100%)
FF1	83,60	222,10	124,49	42,99		10	10 (100%)
FF2	82,70	220,20	123,91	42,40	≤ 3.200 ⁽¹⁾	10	10 (100%)
RR	49,00	150,70	85,89	29,30		09	09 (100%)
AD	119,60	247,00	187,11	47,58		09	09 (100%)
UF	120,00	242,00	181,71	44,37		09	09 (100%)

(1) NBR 16.783/2019 (ABNT, 2019); (2) Total de amostras analisadas por ponto; (3) Porcentagem da quantidade de amostras que atendem ao limite de referência
Fonte: Autores (2022).

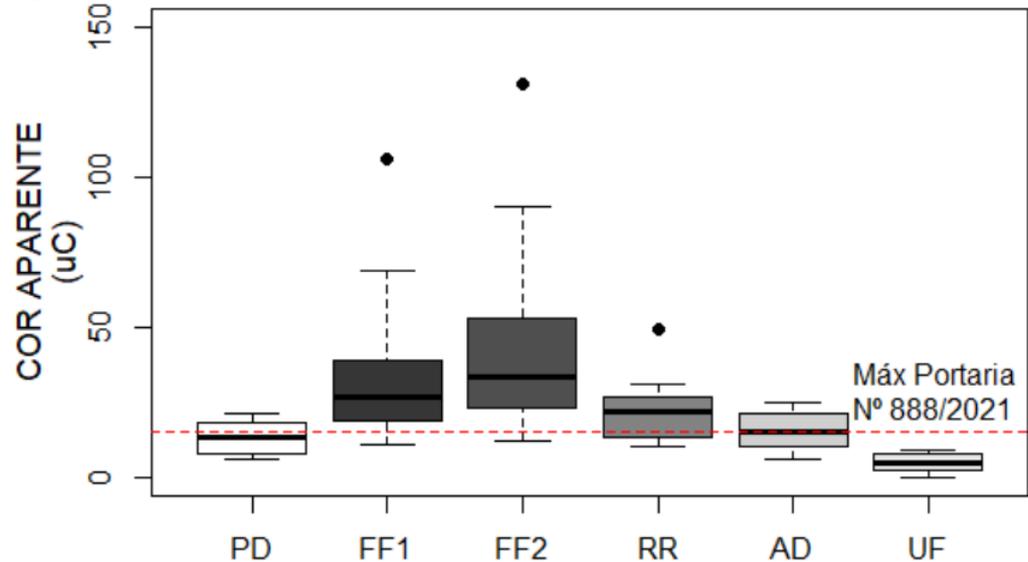
3.4 Cor Aparente

As amostras de água de chuva apresentaram médias de cor aparente iguais a $13,00 \pm 5,92$ uC para PD, $36,80 \pm 29,41$ uC para FF1, $46,10 \pm 37,06$ uC para FF2, $23,11 \pm 12,38$ uC para RR, $15,56 \pm 6,50$ uC para AD e $4,89 \pm 3,37$ uC par UF. De maneira geral, as amostras armazenadas nos dispositivos de *first flush* (FF1 e FF2) tiveram os maiores resultados, com valor mínimo de 11,00 uC e máximo igual a 131,00 uC (Figura 10)

Neste estudo é possível observar que o parâmetro cor aparente aumentou após o contato da água de chuva com a superfície de captação, uma vez que os pontos de descarte inicial (FF1 e FF2) tiveram valores mais altos que o ponto de precipitação direta (PD), cujo valor máximo neste ponto foi de 21 uC.

Ao analisar amostras de águas pluviais coletadas em telhas de cerâmica e armazenadas em um reservatório sem descarte inicial na Universidade Estadual Paulista, situada no município de Rio Claro - São Paulo, Nakada e Moruzzi (2014) obtiveram valor mínimo e máximo, respectivamente, de 4,33 e 853,33 uC, com média de $66,36 \pm 134,64$ uC.

Figura 10: Boxplot do parâmetro cor aparente por ponto de coleta



Legenda: PD – precipitação direta; FF1 – *first flush* primário; FF2 – *first flush* secundário; RR – reservatório; AD – coluna de adsorção; UF – membrana de ultrafiltração.
Fonte: Autores (2022).

Uma análise geral do gráfico de *boxplot* (Figura 10) indica uma redução do parâmetro cor aparente na amostra de água armazenada no reservatório, a partir do uso dos dispositivos de descarte de volume inicial, o que resultou em uma água de melhor qualidade para o ponto RR com valores compreendidos entre 10,00 e 49,00 uC. Entretanto, esta melhoria não garantiu que o limite estabelecido na Portaria GM/MS N° 888/2021 (BRASIL, 2021) igual a 15 uC fosse atendido. Assim, uma etapa de tratamento posterior ao ponto do reservatório torna-se necessária.

O uso da coluna de adsorção de mídia de cerâmica (AD) ocasionou uma redução do parâmetro cor, com valores compreendidos entre a faixa 6,00 e 25,00 uC, mas ainda insuficiente para que os resultados ficassem abaixo do limite máximo permitido. Ao utilizar a membrana de ultrafiltração (UF), após a coluna de adsorção, todas as amostras apresentaram resultados inferiores a 15 uC (Brasil, 2021), com valor abaixo do limite de detecção (0,00 uC) e valor máximo encontrado de 9,00 uC.

O sistema de coleta e tratamento de águas pluviais TPLUV contribuiu com a melhoria da qualidade da água, quanto ao parâmetro cor aparente ao longo dos pontos do sistema, no período de estudo analisado entre abril de 2019 e janeiro de 2020. Contudo, a membrana de ultrafiltração (UF) apresentou resultado superior em relação a qualidade da água para este parâmetro em etapas de tratamentos situados à montante do sistema. Logo, 33,3 % das amostras do ponto RR atenderam ao limite disposto na Portaria de Potabilidade (Brasil, 2021), enquanto essa porcentagem correspondeu a 55,6 % para AD e 100,0% para UF, de um total de 9 (nove) amostras analisadas por ponto.

Zipf *et al.* (2013) concluíram que as amostras de água de chuva referente ao primeiro descarte da precipitação efetiva inicial tiveram valores de cor aparente mais elevados que as amostras dos reservatórios de armazenamento. Portanto, este processo de descarte proporcionou o armazenamento de uma água de melhor qualidade. Os autores realizaram um tratamento com um filtro composto por areia, brita e manta geotêxtil e observaram uma variação proporcional entre cor aparente e turbidez. O filtro foi capaz de remover a cor aparente associada aos sólidos em suspensão, entretanto, a presença de cor aparente restante no sistema foi associada aos materiais dissolvidos, como carbono orgânico.

A Tabela 7 contém a estatística descritiva das análises do parâmetro cor aparente, com média e desvio padrão, valores mínimos e máximos e porcentagem que atende o limite de referência. Apenas após o uso da membrana de ultrafiltração que o limite máximo foi atendido no período estudado, todos os demais pontos não atenderam completamente ao disposto na referência.

Tabela 7: Estatística descritiva para o parâmetro cor aparente.

Ponto	Parâmetro cor aparente (uC)						
	Dados estatísticos					Limite de referência	Total de amostras (n) ⁽²⁾
Mínimo	Máximo	Médio	Desvio Padrão				
PD	44,00	285,00	113,23	78,33		09	09 (100%)
FF1	83,60	222,10	124,49	42,99		10	10 (100%)
FF2	82,70	220,20	123,91	42,40	≤ 3.200 ⁽¹⁾	10	10 (100%)
RR	49,00	150,70	85,89	29,30		09	09 (100%)
AD	119,60	247,00	187,11	47,58		09	09 (100%)
UF	120,00	242,00	181,71	44,37		09	09 (100%)

(1) Portaria GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021); (2) Total de amostras analisadas por ponto; (3) Porcentagem da quantidade de amostras que atendem ao limite de referência.

Fonte: Autores (2022).

4 Conclusão

Este trabalho analisou a qualidade da água pluvial, após a operação sequencial de dispositivos e tecnologias de tratamento de água de chuva, com base em amostras retiradas de pontos específicos de um sistema de captação e armazenamento de águas pluviais (SAP), instalado na região centro norte da cidade do Rio de Janeiro-RJ, no campus da UERJ-Maracanã.

Houve alteração na qualidade das águas pluviais ao escoarem pela superfície de captação, fato observado pelo aumento dos parâmetros nos pontos de descarte inicial em relação as amostras do ponto de precipitação direta, comportamento constatado nos parâmetros potencial hidrogeniônico (pH), turbidez e cor aparente.

No geral, os dispositivos de bloqueio da precipitação efetiva inicial – *first flush* com capacidade de retenção total de 1 mm de lâmina d'água, melhoraram a qualidade da água

armazenada no reservatório e, após o descarte inicial, auxiliaram na redução dos parâmetros analisados no ponto do reservatório, como: potencial hidrogeniônico (pH), turbidez, condutividade elétrica e cor aparente. Desse modo, foi verificada a importância dos dispositivos de *first flush* na remoção de poluentes depositados na superfície de captação e provenientes da lavagem da atmosfera pelas precipitações.

Entretanto, foi observado que para assegurar a qualidade necessária da água, manter condições sanitariamente seguras e atender aos limites estabelecidos nas referências adotadas (ABNT, 2019; Brasil, 2021), torna-se imprescindível a adoção de tecnologias complementares para tratamento de águas pluviais.

Este estudo fez uso de um sistema de tratamento composto por uma coluna de adsorção, de mídia cerâmica e carvão ativado, integrada a uma membrana de ultrafiltração portátil. A coluna de adsorção não apresentou variação significativa em relação ao ponto do reservatório, localizado à montante do sistema, para o parâmetro turbidez. A coluna de adsorção obteve melhoria no parâmetro cor aparente, com indicativo de ser uma boa opção para a remoção de matéria orgânica, contudo, houve uma elevação dos parâmetros pH e condutividade elétrica. Acredita-se que esta interferência nos parâmetros e alteração na qualidade da água de chuva seja resultante da presença de mídias porosas de vidro sinterizado que compõem a coluna de adsorção, devido ao processo de fabricação da mídia porosa e à dissociação de substância dissolvidas em ânions e cátions

Por outro lado, a membrana de ultrafiltração acoplada ao sistema de tratamento indicou uma expressiva melhoria na qualidade da água de chuva, à luz dos parâmetros turbidez e cor aparente. Entretanto, os parâmetros pH e condutividade elétrica apresentaram comportamento similar à coluna de adsorção, visto que esta tecnologia não é recomendada para remoção de espécies dissolvidas. Inclusive, o elevado aumento nos parâmetros pH e condutividade no ponto da membrana em relação ao ponto do reservatório demonstrou a interferência da mídia da coluna de adsorção nos resultados da membrana de ultrafiltração.

Quanto à caracterização das amostras de águas pluviais, ressaltam-se as limitações dos parâmetros adotados nas bases legais utilizadas como referência. Este estudo fez uso de duas normas brasileiras da ABNT (NBR 15.527/2019 e NBR 16.783/2019) para fins não potáveis e da Portaria de Potabilidade GM/MS Nº 888/2021 (BRASIL, 2021), visto que não havia apenas uma referência que englobasse todos os limites de parâmetros utilizados neste trabalho. Esta lacuna na abrangência dos parâmetros dificulta a caracterização das amostras de águas pluviais para fins diversos.

De maneira geral, o sistema sequencial de tratamento de águas pluviais com o emprego dos dispositivos e das tecnologias utilizadas demonstrou eficiência no tratamento, com melhorias significativas na qualidade da água nos parâmetros analisados e adequação aos limites estabelecidos nas referências utilizadas do Ministério da Saúde (BRASIL, 2021) e da ABNT (2019).

Todos os pontos do sistema SAP-UERJ e TPLUV atenderam aos limites de condutividade elétrica, enquanto o parâmetro turbidez apenas não foi atendido pelos dispositivos de *first flush* (FF1 e FF2). Os pontos de precipitação direta (PD) e reservatório (RR) atenderam ao parâmetro pH, contudo, a coluna de adsorção (AD) e a membrana de ultrafiltração (UF) apenas atendem ao desconsiderar o resultado do *outlier*. O parâmetro cor aparente apenas foi atendido após uso da membrana de ultrafiltração.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Pesquisa e Desenvolvimento Científico (CNPq), pela concessão de bolsa de Iniciação Científica e Tecnológica, à Fundação Carlos Chagas Filho de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) e à Universidade do Estado do Rio de Janeiro, pelo apoio na elaboração deste trabalho.

Referências

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 15527**: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR 16783**: Uso de fontes alternativas de água não potável em edificações. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.
- ALERTA RIO. **Sistema Alerta Rio da Prefeitura do Rio de Janeiro**: Relatório Anual de Chuva para a cidade do Rio de Janeiro no ano de 2018. Rio de Janeiro: Alerta Rio, 2018. Disponível em: <http://www.sistema-alerta-rio.com.br/documentos/relatorios-de-chuva/>. Acesso em: 10 fev. de 2023.
- ASSIS, Odílio Benedito Garrido de. O uso de vidro reciclado na confecção de membranas para microfiltração. **Cerâmica**, [S.l.], v. 52, p. 105-113, 2006. SciELO. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ce/a/BJGHZLz6n7F7NR4Yn7rLhqp/>. Acesso em: 03 set. 2024.
- ANA – AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO. **Manual de usos consuntivos de água no Brasil**. Brasília: ANA, 2019.
- BAIRD, Rodger; EATON, Andrew; RICE, Eugene; Bridgewater, Laura. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. Washington: American Public Health Association, 2017.
- BRASIL. Ministério de Saúde (MS) / Gabinete do Ministro (GM). **Portaria GM/MS nº 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. 2021.
- CESCON, Anna; JIANG, Jia-Qian. Filtration process and alternative filter media material in water treatment. **Water**, [S.l.], MDPI AG, v. 12, n. 12, p. 3377, Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/12/12/3377>. Acesso em: 3 set. 2024.
- COSTA, Karen Albuquerque Dias da; CARVALHO, Fábio Israel Martins; FERREIRA, Fernanda di Paula Belo; NASCIMENTO, Thays Valente do; MELLO, Ricardo Felipe Alexandre de; SERRA, Ilka Suely Dias; SILVA, Jaqueline Maria Soares da; LOPES, Maria do Socorro Bezerra; SOUZA, Cezarina Maria Nobre; DANTAS, Kelly das Graças Fernandes. Influência do tipo de telhado na qualidade da água de chuva coletada em comunidades ribeirinhas. **RICA – Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais**, [S.l.], v. 11, n. 3, p. 384-391. Sustenere. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rica/article/view/CBPC2179-6858.2020.003.0029>. Acesso em: 3 set. 2024.
- DALPAZ, Letícia; BORGERT, Aline Eloize; VENDRAMI, Júlia May; GHISI, Enedir. Tipos e eficiência de unidades de tratamento para água pluvial: revisão de literatura. **Ambiente**

- Construído**, Rio Grande do Sul, v. 19, n. 3, p. 207-231, 2019, Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/index.php/ambienteconstruido/article/view/78595>. Acesso em: 3 set. 2024.
- DUBREUIL, Vincent; FANTE, Karime Pechutti; PLANCHON, Olivier; SANT'ANNA NETO, João Lima. Os tipos de climas anuais no Brasil: uma aplicação da classificação de Köppen de 1961 a 2015. **Confins**, São Paulo, n. 37, 2018. OpenEdition. Disponível em: <https://journals.openedition.org/confins/15738>. Acesso em: 3 set. 2024.
- FORNARO, Adalgiza. Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil. **Revista USP**, São Paulo, n. 70, 78-87, 2006. Disponível em: <https://www.revistas.usp.br/revusp/article/view/13533/15351>. Acesso em: 3 set. 2024.
- GONÇALVES, Ricardo Franci; BASTOS, Fernanda Pereira. Uma solução simples e eficiente para potabilização de água de chuva em sistemas de abastecimento descentralizados: Filtração lenta seguida de desinfecção UV. *In*: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 10., 2016, Belém. **Anais [...]**. Belém: ABCMAC, 2016.
- GUIMARÃES, Rodrigo Mazza. **Caracterização físico-química e biológica da chuva armazenada no sistema do Instituto Fernando Rodrigues da Silveira, CAP-UERJ**. 2016. 100 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2019. Disponível em: <https://www.btdt.uerj.br:8443/handle/1/11046>. Acesso em: 6 set. 2024.
- HAGEMANN, Sabrina Elicker; GASTALDINI, Maria do Carmo Cauduro. Variação da qualidade da água de chuva com a precipitação: aplicação à cidade de Santa Maria - RS. **RBRH**, [S.l.], v. 21, n. 3, p. 525-536, 2016. SciELO. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbrh/a/9Lm68gNrGnLqxxMwQ6MM74H/?lang=pt#>. Acesso em: 3 set. 2024.
- HAIR, Joseph F.; BLACK, William C.; BABIN, Barry J.; ANDERSON, Rolph E.; TATHAN, Ronald L. **Análise multivariada de dados**. Porto Alegre: Bookman, 2009.
- HOFMAN-CARIS, Roberta; BERTELKAMP, Cheryl; WAAL, Luuk de; BRAND, Tessa van Den; HOFMAN, Jan; AA, René van Der; HOEK, Jan van Der. Rainwater Harvesting for Drinking Water Production: a sustainable and cost-effective solution in the Netherlands? **Water**, [S.l.], v. 11, n. 3, 2019. MDPI. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/3/511>. Acessado em: 3 set. 2024.
- LIBÂNIO, Marcelo. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. Campinas: Átomo, 2010.
- LIMA, Jeferson Alberto de; DAMBROS, Marcus Vinicius Rodrigues; ANTONIO, Marco Antonio Peixer Miguel de; JANZEN, Johannes Gérson; MARCHETTO, Margarida. Potencial da economia de água potável pelo uso de água pluvial: análise de 40 cidades da Amazônia. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.l.], v. 16, n. 3, p. 291-298, 2011. SciELO. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/F7sqjkgMFvKrVWH48JHw7tr/#>. Acesso em: 3 set. 2024.
- MENDEZ, Carolina B.; KLENZENDORF, J. Brandon; AFSHAR, Brigit R.; SIMMONS, Mark T.; BARRET, Michael E.; KINNEY, Kerry A.; KIRISITS, Mary Jo. The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. **Water Research**, [S.l.], v. 45, p. 2049-2059, 2011.

Disponível em:
<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0043135410008535>. Acesso em: 6 set. 2024.

MIORANDO, Taizi; BRIÃO, Vandrê Barbosa; GIRARDELLI, Laisa. Potabilização de água da chuva por ultrafiltração. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.l.], v. 22, n. 3, p. 481-490, 2017. SciELO. Disponível em:
<https://www.scielo.br/j/esa/a/pZczSqVnW5KqdMqd8KYfcXS/#>. Acesso em: 03 set. 2024.

NAKADA, Liane Yuri Kondo; MORUZZI, Rodrigo Braga. Variabilidade qualitativa de águas pluviais coletadas em telhado e sua importância na concepção do sistema de tratamento. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S.l.], v. 19, n. 1, p. 1-9, 2014. SciELO. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/gSQYyqFLpj4RMBKSJPjF7h/?lang=pt>. Acesso em: 6 set. 2024.

NEU, Vania; GUEDES, Victor Martins; ARAÚJO, Maria Gabriella da Silva; MEYER, Leandro Frederico Ferraz; BRITO, Ian Rodrigues; BATISTA, Lucas Mota. Água de chuva para consumo humano: estudo de caso na Amazônia Oriental. **Inclusão Social**, Brasília, v. 12, n. 1, p. 183-198. 2018. Disponível em:
<https://revista.ibict.br/inclusao/article/view/4403>. Acesso em: 6 set. 2024.

OHNUMA JÚNIOR, Alfredo Akira; SOUZA, Caroline Moreira de; BILA, Daniele Maia; SILVA, Gabrielle Nunes da; ALVES, Letícia Delduque; OLIVEIRA, Flávio Giro de; ALMEIDA, Jaqueline Costa Areas de; BASTOS, Giovana Proença. Análise da qualidade da água da chuva conforme as estações do ano na cidade do Rio de Janeiro. In: XXIII SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais [...]**. [S.l.]: ABRHidro, 2019. p. 1-10.

OLIVEIRA, Flávio Giro de. **Análise da viabilidade de um sistema domiciliar de aproveitamento de águas pluviais na cidade do Rio de Janeiro**. 2020. 154 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2020. Disponível em: <http://www.bdt.d.uerj.br/handle/1/16950>. Acesso em: 6 set. 2024.

PEÑA, Humberto. Desafíos de la seguridad hídrica en América Latina y el Caribe. Santiago. **CEPAL – Comisión Económica para América Latina y el Caribe**, [S.l.] n. 178, 2016. Disponível em: <https://www.cepal.org/es/publicaciones/40074-desafios-la-seguridad-hidrica-america-latina-caribe>. Acesso em: 3 set. 2024.

PREFEITURA DA CIDADE DO RIO DE JANEIRO. **Fluxo veicular médio em dias úteis**: dados referentes a maio de 2017. Rio de Janeiro: Prefeitura da Cidade do Rio de Janeiro. 2017. Disponível em: <https://www.rio.rj.gov.br/documents/7033801/aaa5c245-2533-4bec-b475-494f64b92c35>. Acesso em: 10 set. 2024.

R CORE TEAM. A language and environment for statistical computing. **Foundation for Statistical Computing**, Vienna, 2018. Disponível em: <https://www.R-project.org/>. Acesso em: 3 set. de 2024.

REIS, Ricardo Prado Abreu; ROCHA, Bárbara Cristina Castro de Melo; ARAÚJO, José Vicente Granato de. Avaliação de sistema de tratamento de águas de chuva coletadas em telhado de cimento amianto, utilizando filtração e desinfecção por UV e Cloro. **Revista Eletrônica de Engenharia Civil**, [S.l.], v. 3, n. 1, p. 12-18, 2011. Disponível em:

<https://revistas.ufg.br/reec/article/view/16818>. Acesso em: 06 set. 2024.

SILVA, Caroline Eloi Oliveira da; FREITAS, Dyego Maradona Ataíde de. Gestão e aproveitamento de águas pluviais na Universidade Federal de Lavras. In: MALHEIROS, Tadeu Fabrício; AMBRIZZI, Tércio; SACZK, Adelir Aparecida; MAGRIOTIS, Zuy Maria (ed.). **Universidades & sustentabilidade: práticas e indicadores**. São Paulo: USP Sustentabilidade, 2020.

SINTON, Christopher W.; LACOURSE, William C. Experimental survey of the chemical durability of commercial soda-lime-silicate glasses. **Materials Research Bulletin**, [S.l.], v. 36, n. 13-14, p. 2471-2479, 2001. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0025540801007243>. Acesso em: 3 set. 2024.

TEIXEIRA, Celimar Azambuja; GHISI, Enedir. Comparative Analysis of Granular and Membrane Filters for Rainwater Treatment. **Water**, v. 11, n. 5, p. 1004-1019. MDPI. Disponível em: <https://www.mdpi.com/2073-4441/11/5/1004>. Acesso em: 6 set. 2024.

TUCCI, Carlos Eduardo Morelli; CHAGAS, Maria de Fátima. Segurança hídrica: conceitos e estratégia para Minas Gerais. **REGA – Revista de Gestão de Água da América Latina**, Porto Alegre, v. 14, n. 1, 2017. ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos. Disponível em: https://www.abrhydro.org.br/SGCv3/publicacao.php?PUB=2&ID=198&SUMARIO=5322&ST=seguranca_hidrica_conceitos_e_estrategia_para_minas_gerais. Acesso em: 3 set. 2024.

UN-WATER – UNITED NATIONS WATER. Water Security and the Global Water Agenda: A Un-Water Analytical Brief. [Tóquio]: **United Nations University**, 2013. Disponível em: <https://www.unwater.org/publications/un-water-analytical-brief-water-security-and-global-water-agenda-4-page-summary>. Acesso em: 3 set. 2024.

VESTERGAARD. **Purificador de água para uso comunitário**. Manual do usuário. [S.l.]: LifeStraw Community, 2014.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: UFMG, 2011.

WALTER, Olga Maria Formigoni Carvalho; HENNING, Elisa; KONRATH, Andréa Cristina; ALVES, Custódio da Cunha; SAMOHYL, Robert Wayne. Uma visão geral do RStudio aplicado ao ensino de controle estatístico do processo. In: COBENGE – CONGRESSO BRASILEIRO DE EDUCAÇÃO EM ENGENHARIA, 40., 2012, Belém, **Anais** [...]. Belém: COBENGE, 2012.

ZIPF, Mariah Siebert; KNOP, Brenda; PINHEIRO, Ivone Gohr; VALLE, José Alexandre Borges. Avaliação da influência do descarte da primeira água de chuva do tratamento por filtro lento e da altura da camada filtrante na qualidade da água de chuva. **REA – Revista de Estudos Ambientais**, [S.l.], v. 15, n. 1, p. 31-43, 2013. Disponível em: <https://ojsrevista.furb.br/ojs/index.php/rea/article/view/3960>. Acesso em: 3 set. 2024.