

UNIVERSIDADE FEDERAL DA FRONTEIRA SUL
CAMPUS CERRO LARGO
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

BRUNA FERREIRA DE OLIVEIRA

**TRATAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA ATRAVÉS DA FILTRAÇÃO LENTA E
DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO SOLAR UV**

CERRO LARGO

2021

BRUNA FERREIRA DE OLIVEIRA

**TRATAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA ATRAVÉS DA FILTRAÇÃO LENTA E
DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO SOLAR UV**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Orientadora: Prof. Dra. Juliana Marques Schöntag

Coorientadora: Prof. Dra. Aline Raquel Muller Tones

CERRO LARGO

2021

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Oliveira, Bruna Ferreira de
TRATAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA ATRAVÉS DA FILTRAÇÃO
LENTA E DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO UV / Bruna Ferreira de
Oliveira. -- 2020.
62 f.:il.

Orientadora: Juliana Marques Shontag
Co-orientadora: Aline Raque Muller Tones
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de
Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Cerro
Largo, RS, 2020.

1. Filtração Lenta. 2. Desinfecção por Radiação Solar
UV. 3. Potabilidade. 4. Escassez Hídrica. 5.
Abastecimento. I. Shontag, Juliana Marques, orient. II.
, Aline Raque Muller Tones, co-orient. III. Universidade
Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

Elaborada pelo sistema de Geração Automática de Ficha de Identificação da Obra pela UFFS
com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).

BRUNA FERREIRA DE OLIVEIRA

**TRATAMENTO DE ÁGUA DA CHUVA ATRAVÉS DA FILTRAÇÃO LENTA E
DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO SOLAR UV**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:

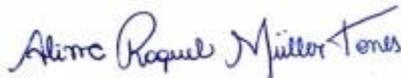
11/05/2021

BANCA EXAMINADORA



Prof. Dr. Juliana Marques Schöntag

Orientadora



Prof. Dra. Aline Raquel Muller Tones

Coorientadora



Dr. Fernando Hymnô de Souza – EESC/USP

RESUMO

Com a intensa escassez de água e a baixa qualidade dos mananciais de abastecimento, em algumas regiões do Brasil, muitas pessoas não têm acesso a água com qualidade, ficando à mercê de muitas doenças relacionadas à veiculação hídrica. À medida que esse problema foi se agravando ao longo dos anos, soluções foram propostas a fim de potabilizar as águas provenientes da chuva objetivando seu consumo. Muitas técnicas de tratamento foram aperfeiçoadas, dentre elas a filtração lenta. A filtração lenta seguida de desinfecção por radiação UV é uma técnica de tratamento que pode ser destinada ao tratamento da água da chuva, por apresentar boa qualidade, além de ser uma tecnologia barata e de fácil operação. O objetivo deste estudo foi tratar a água da chuva captada e armazenada nas dependências da Universidade Federal da Fronteira Sul, campus Cerro Largo por meio de filtração lenta e desinfecção por radiação UV. Os resultados foram positivos e indicam a eliminação de coliformes totais e E. Coli pelo emprego dessa tecnologia, comprovando sua viabilidade de aplicação, conforme já relatado pela bibliografia. Contudo, é importante ressaltar que a água da chuva só deve ser destinada ao consumo quando não houver outra alternativa de melhor qualidade, e a utilização dessa tecnologia para fins de consumo só é indicada para situações de emergência hídrica.

Palavras-chave: Radiação, filtração lenta, abastecimento, desinfecção.

ABSTRACT

With the intense water scarcity, or due to the lack of proper treatment to make it potable in some regions of Brazil, many people without sanitation contract water-related diseases. To the extent that this problem has spread over the years, solutions for rain water potabilization for consumption have been presented and many treatment techniques have been improved, bringing drinking water to populations that need it. With the intense water scarcity and the low quality of the water supply sources, in some regions of Brazil, many people do not have access to quality water, being exposed to many water borne diseases. With the worsening of this problem over the years, solutions to make rainwater potable for consumption have been proposed. Many treatment techniques have been improved, including slow filtration. The slow filtration, followed by UV radiation disinfection, is a technique that can be used for rainwater treatment, due it has good quality, basically requiring disinfection, in addition to being a cheap easy to operate technology. The aim of this study is to create Rainwater collected and stored by the buildings of the Federal University of Fronteira Sul (UFFS), Cerro Largo campus. The results indicate the elimination of total and thermotolerant coliforms by the use of this technology, confirming what is already reported in the bibliography. However, it is important to note that rain waters hold only be used for consumption when there is no other alternative of better quality, and the use of this technology for consumption purposes is only indicated for situations of water emergency.

Keywords: Radiation, slowfiltration, filling, disinfection.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Contaminação do lençol freático por resíduos perigosos	19
Figura 2– Captação de água da chuva em telhado inclinado e cobertura com terraço aberto..	21
Figura 3– Componentes do BSF.....	33
Figura 4– Reservatórios de água pluvial	37
Figura 5– Torneira acoplada na mangueira	37
Figura 6– Curva granulométrica da areia	40
Figura 7– Estrutura suporte do filtro	40
Figura 8 – Sistema de filtração lenta	41
Figura 9– Garrafa PET	42
Figura 10– Concentrador solar	43
Figura 11 – Esquema do procedimento experimental.....	44
Figura 12 – Antes e após a limpeza da areia	48
Figura 13– Gráfico de valores do pH na água bruta, filtrada e desinfetada	50
Figura 14– Gráfico de remoção de cor no processo de filtração	51
Figura 15– Gráfico de remoção de cor no processo de desinfecção	52
Figura 16– Gráfico da remoção de turbidez no processo de filtração	53
Figura 17– Gráfico da remoção de turbidez no processo de desinfecção	54
Figura 18– Gráfico da condutividade elétrica da água bruta, filtrada e desinfetada	55
Figura 19– Algas no duto de saída do filtro	56
Figura 20– Coliformes totais e termotolerantes	59
Figura 21– Sistema de desinfecção	60
Figura 22– Deformação da garrafa PET no processo de desinfecção	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis	23
Tabela 2 - Classificação e parâmetros de reuso de efluentes	24
Tabela 3– Padrões de potabilidade da água.....	25
Tabela 4– Parâmetros físico químicos analisados na água da chuva bruta e após tratamento por filtração lenta associada a desinfecção UV	45
Tabela 5- Carreiras de filtração	61
Tabela 6- Comparação dos parâmetros analisados no processo de tratamento da água da chuva com os padrões de potabilidade da água	49
Tabela 7- Valores de radiação solar de Janeiro à Março	58
Tabela 8– Remoção de coliformes no tratamento da água da chuva.....	60

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	OBJETIVOS	14
1.1.1	Objetivo geral.....	14
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	15
2.1	ESCASSEZ HÍDRICA	15
2.2	USO DA ÁGUA PELA SOCIEDADE	16
2.2.1	Populações Urbanas	16
2.2.2	Rural	18
2.3	ÁGUA DA CHUVA: USO/REUSO	20
2.4	ÁGUA DA CHUVA PARA CONSUMO	21
2.4.1	Captação da água da chuva	22
2.4.2	Tratamento da água da chuva: técnicas aplicadas	23
2.4.2.1	Legislação Aplicável	23
2.4.2.2	Tecnologias para o tratamento de águas pluviais.....	26
2.5	INFORMAÇÕES INERENTES AO PROCESSO DE FILTRAÇÃO LENTA.....	28
2.5.1	Aplicabilidade da filtração lenta para o tratamento da água da chuva	29
2.5.2	Técnicas, aplicações e dimensionamento do sistema de filtração lenta	30
2.5.2.1	Biofiltro de Areia	30
2.6	SISTEMAS DE DESINFECÇÃO	33
2.6.1	Tipos de Sistemas de desinfecção	34
2.6.2	Desinfecção por radiação solar.....	36
3	METODOLOGIA.....	37
3.1	CAPTAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA	37

3.2 ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DA ÁGUA BRUTA	39
3.3 MÓDULO EXPERIMENTAL	39
3.3.1 Filtro Lento -<i>BioSandFilter</i> (BSF)	39
3.3.2 Desinfecção	42
3.4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL	44
3.4.1 Análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos.....	46
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	48
4.1 OPERAÇÃO DO BSF E CARREIRA DE FILTRAÇÃO	48
4.2 QUALIDADE DA ÁGUA	49
4.2.1 pH.....	50
4.2.2 Alcalinidade.....	51
4.2.3 Cor Aparente (UH).....	52
4.2.4 Turbidez	53
4.2.5 Condutividade Elétrica	55
4.2.6 Coliformes Totais e E. Coli	58
4.3 ÍNDICES DE RADIAÇÃO SOLAR.....	60
4.10 DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO SOLAR (W/M ²)	61
5 CONCLUSÃO.....	63
REFERÊNCIAS	64

1 INTRODUÇÃO

A saúde de algumas populações do mundo está em risco por não ter acesso a água potável, como na região do Oriente Médio e o Norte da África onde o Catar é o país de maior risco de escassez hídrica. Já na América, o Chile é o país que ocupa a 18ª posição no Ranking Mundial com risco mais alto na região (BLOOMBERG, 2019). No âmbito mundial, a Organização Mundial da Saúde (OMS) relatou em 2017, que cerca de 2,1 bilhões de pessoas não têm acesso a água potável. Essas informações são um indício de que as populações estão consumindo águas contaminadas, sendo essa um vetor de transmissão de diversas doenças relacionadas, como Cólera e Febre Tifóide, por exemplo (BRITO, ARAÚJO e HUITLE, 2015).

No Brasil, de acordo com a Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA), até o ano de 2019, cerca de apenas 45,6% da população brasileira recebe acesso adequado ao abastecimento de água. A situação na região Norte, com aproximadamente 57,5 % respectivamente de distribuição de água tratada (SNIS, 2019). Adicionalmente, em regiões áridas e semi-áridas, a indisponibilidade de água em quantidade e qualidade apropriada, tornou-se um fator limitante para a agricultura e o desenvolvimento (HESPANHOL, 2002).

Com intuito de minimizar os problemas relacionados à escassez, melhorar o suprimento hídrico das zonas urbana e rural, com atendimento adequado às necessidades domésticas e/ou irrigação na agricultura, a coleta e armazenamento da água da chuva se torna uma opção vantajosa (BAILEY. R. T., 2017). O aproveitamento de águas pluviais contribui para melhoria da qualidade de vida da população e do meio ambiente, possibilitando a diminuição do consumo de água potável proveniente das estações de tratamento de água (ETA), além de fornecer água em quantidade e qualidade adequada para regiões onde há uma crescente demanda. Além disso, possibilita atender regiões áridas ou semi-áridas, com populações dispersas, em que os custos para coleta e tratamento de água superficial ou subterrânea são elevados ou onde esses mananciais de captação sejam inexistentes (AMMAR *et al.*, 2016).

Atualmente, o armazenamento da água da chuva é uma solução para mitigar a falta de abastecimento regular de água. A água da chuva vem sendo reaproveitada para muitos fins, como limpeza, descarga de vasos sanitários, irrigação do jardim, lavanderia entre outros (REYNEKE. B., WASO. M., KHAN. S. e KHAN. W., 2020).

Muitos países populosos, como por exemplo a Índia, que possui a segunda maior população do planeta, estão na categoria de alto risco de escassez de água (BLOOMBERG, 2019), onde a demanda de água potável é superior à quantidade disponível. Com o advento da COVID-19, a cidade de Dilla no sul da Etiópia, buscou atender ou apoiar a demanda emergencial, aproveitando a água da chuva na implementação de medidas de prevenção e controle de infecções pela COVID-19, além de suprir as necessidades diárias emergenciais como consumo, higiene e outros fins domésticos (KANNO. G. G., 2021).

Nos últimos anos observa-se o desenvolvimento de novas tecnologias para o manejo hídrico, com vistas a um aproveitamento mais nobre da água da chuva, por meio da potabilização para consumo (RICHARDS. S. *et al.*, 2021).

No Brasil a escassez de água em quantidade e qualidade apropriadas nas últimas décadas, demonstrou a necessidade e importância da utilização da água da chuva para fins potáveis, principalmente na região que mais sofre com a seca no país que é o Nordeste Brasileiro. Diversas tecnologias de tratamento de água, como cloração, oxidação/desinfecção por ozônio, adição de químicos, tratamento com UV, filtração, Desinfecção Solar da Água (SODIS) e pasteurização solar (REYNEKE. B., WASO. M., KHAN. S. e KHAN. W., 2020), podem ser utilizadas para o atendimento dos padrões de qualidade da água. No Brasil, a Portaria de Consolidação (PCR) N° 05 de 2017, estabelece os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Dentre as diversas tecnologias de tratamento supracitadas para a potabilização de água da chuva, a filtração lenta, associada com a desinfecção por radiação proveniente da luz solar, pode ser uma opção viável para as condições climáticas e socioeconômicas no Brasil, conforme apresentado por Bastos (2007) e Almeida *et. al.* (2015) , visto que o: (i) filtro lento evita o emprego de produtos químicos, exceto para desinfecção;(ii) os equipamentos empregados e a operação são mais simples e de menor custo (sem uso de eletricidade) e, (iii) por ter carreiras de filtração longas e baixas taxas de filtração, o tratamento reduz o índice de coliformes diretamente no filtro, devido ao desenvolvimento de camada biológica que auxilia nesse tratamento (DI BERNARDO, 2005).

Assim, o objetivo deste estudo foi avaliar o sistema de filtração lenta associado a desinfecção por radiação solar, no reaproveitamento da água da chuva e verificar a potencialidade de seu uso para fins potáveis, em situações de escassez hídrica.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral do trabalho consiste em avaliar a qualidade da água da chuva, após tratamento por filtração lenta associada a desinfecção por radiação solar, e verificar as potencialidades de seu uso.

1.1.2 Objetivos específicos

- Caracterizar a águas da chuva obtida pelo sistema de captação da UFFS Campus Cerro Largo, antes e depois do tratamento, através dos parâmetros de potabilidade selecionados;
- Construir e avaliar o funcionamento do sistema de desinfecção por radiação solar, verificar sua eficiência quanto aos parâmetros de potabilidade selecionados, nos meses de janeiro e fevereiro de 2021 (verão), na região noroeste do Rio Grande do Sul.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Com a finalidade de embasar os motivos abordados para a realização do experimento, foi efetuada uma pesquisa bibliográfica, buscando e selecionando os artigos mais relevantes sobre os temas abordados ao longo do trabalho a fim de analisar profundamente e explicar o funcionamento do sistema de tratamento de água da chuva. A seguir, encontram-se descritos os pressupostos teóricos respectivos.

2.1 ESCASSEZ HÍDRICA

O histórico da escassez hídrica e os fatores agravantes para a problemática da falta de água geram graves problemas. Dois aspectos relatam a situação agravante: desastres climáticos e a contaminação dos cursos de água. A cada dia que passa, os problemas sanitários aumentam e as populações produzem cada vez mais resíduos, sejam sólidos ou líquidos. Esses resíduos, quando despejados nos corpos hídricos, provocam a alteração dos parâmetros e a classificação da qualidade da água, que por vezes é utilizada como fonte para abastecimento urbano (JACOBI. R. J, EMPINOTTI. V. L e SCHMIDT. L., 2016).

Os problemas socioambientais relacionados à água apresentam-se sob diferentes aspectos, dentre eles: a escassez da água, poluição hídrica e desigualdade de distribuição da água entre os diferentes grupos e classes da população, afetando as populações mais carentes (IORIS, 2006).

Neste contexto, as indústrias são apontadas como grandes poluidoras das fontes hídricas, e associadas ao crescimento desordenado da população, implicam para o surgimento da escassez de água e contaminação dos corpos hídricos, afetando a parte mais pobre da população (LEAL. G. C. S. G., FARIAS. M. S. S. e ARAUJO. A. F., 2008) (PICCOLI. A. S., KLIGERMAN. D. C., COHEN. S.C e ASSUNPÇÃO F. R., 2016). Outros fatores, como o desperdício e o crescente consumo de água, contribuem para a escassez hídrica (DETONI E DONDONI, 2008).

Os problemas ambientais relacionados à escassez hídrica vêm se agravando desde os anos 90, onde houve um maior desenvolvimento industrial e crescimento exponencial da população, resultando em maior consumo de água (PNUMA, 2002).

Além disso, o aquecimento global que intensifica, acelera e amplia o ciclo hidrológico global, interfere diretamente no regime de precipitações, afetando a forma, frequência,

intensidade e distribuição das chuvas, infiltração da água no solo, glaciação, vazão dos rios e escoamento das águas subterrâneas acarretando na deterioração da qualidade das águas (UN WATER, 2011).

A água potável é utilizada de diferentes formas pelas pessoas no seu dia a dia, sendo os usos mais pertinentes aplicados a higiene pessoal, como: tomar banho, lavar roupas e louças, além da dessedentação (LLANOS, BARROSO e RAMÍREZ, 2020). Os estudos realizados por Llanos, Barroso e Ramírez abordam a temática de “pegada hídrica”. A “pegada hídrica” é uma metodologia que visa calcular a quantidade de água utilizada por pessoas, produtos, cidades e países (HOEKSTRA, 2003). Esses estudos realizados por Llanos, Barroso e Ramírez (2020) mostraram ser um indicador apropriado quanto ao consumo da água, e como uma forma eficiente de divulgação sobre o uso responsável dela, por pessoas e empresas, aumentando a consciência ambiental.

Assim, é de extrema importância que esses problemas que agravam a situação da escassez hídrica sejam reparados, de forma imediata. Se não houver uma mitigação desses problemas, inúmeros problemas futuros relacionados à saúde da população irão surgir.

2.2 USO DA ÁGUA PELA SOCIEDADE

A conservação e o uso eficiente dos recursos hídricos estão diretamente relacionados ao desenvolvimento sustentável e o grau de percepção e conscientização ambiental das populações envolvidas. Neste contexto, a seguir serão apresentadas as principais considerações a respeito do uso da água por populações urbanas e rurais.

2.2.1 Populações Urbanas

A ocupação do espaço urbano tem causado efeitos diretos sobre os recursos hídricos no meio ambiente antrópico. O desmatamento, a substituição da cobertura vegetal natural, a instalação de redes de drenagem artificial, a ocupação das áreas de inundação, a impermeabilização das superfícies, a redução dos tempos de concentração e o aumento dos deflúvios superficiais, refletem-se diretamente sobre o processo hidrológico urbano, com alterações drásticas de funcionamento dos sistemas de drenagem urbanos. (PROSAB, 2009).

A ampliação das áreas urbanas, provoca o aumento da impermeabilização da bacia, diminuindo a capacidade de infiltração e, conseqüentemente, o aumento do escoamento

superficial, fator de grande influência no incremento de inundações no meio urbano. Além de deteriorarem a qualidade das águas dos corpos hídricos que cruzam as cidades (TUCCI, 2005).

Com a diminuição do processo de infiltração das águas pluviais nas áreas urbanas, há também na redução das vazões dos mesmos corpos hídricos em períodos de estiagem, diminuindo as fontes disponíveis de abastecimento (TUCCI, 2005).

A principal atividade do uso de água para a população é voltada ao abastecimento, pois devido a densidade populacional, o aumento do consumo cresceu gradativamente devido às necessidades básicas do ser humano (ANA, 2020). Ali, Shafiee e Berglund (2017) relatam em uma modelagem que simula a dinâmica do abastecimento de água urbano que o crescimento populacional e os comportamentos do consumidor, impactam em longo prazo a sustentabilidade do abastecimento de água.

Assim, é de extrema importância que as populações urbanas capturem e reutilizem as águas da chuva, devido ao crescimento populacional urbano e para a retenção de águas pluviais, diminuindo o escoamento superficial urbanos e evitando alagamentos e enchentes.

O consumo de água pela sociedade urbana está relacionado às necessidades domésticas básicas de uso interno e externo. Como uso interno temos: tomar banho, cozinhar, lavar roupa e louça e a descarga de vaso sanitário, além do consumo para a dessedentação humana. Já as atividades externas estão relacionadas à encher piscinas, lavagem de veículos e calçadas e o uso na jardinagem (WHITE *et al.*, 2004).

Com o desenvolvimento urbano, o setor industrial vem ocupando grandes volumes de água potável de abastecimento público, impactando a sociedade urbana devido à grande demanda (MULWAFU *et al.*, 2003). Porém, as limitações no volume de água no nível de produtividade das atividades industriais estão sendo causadas pela modernização de equipamentos e a eficiência no uso da água industrial (LI *et al.*, 2020)

Devido à alta demanda em diferentes setores urbanos (indústrias, doméstico, abastecimento humano, etc), se faz necessário um consumo consciente, e uso racional para conservação dos recursos hídricos. Deste modo, o desenvolvimento de soluções eficazes para o tratamento dos recursos hídricos a exemplo da utilização das águas da chuva, captadas através dos telhados das casas em áreas urbanas, desempenham um papel importante na redução do consumo e exploração das fontes de água superficiais ou subterrâneas.

Assim, a água da chuva pode ser uma alternativa hídrica em locais isolados e/ou com condições climáticas extremas, proporcionando benefícios que vão além da economia de

água potável, como redução de enchentes, por meio da diminuição dos volumes de escoamento superficial, além da produção da água de reserva em quantidade e qualidade adequadas (PROSAB, 2009).

2.2.2 Rural

O uso da água no meio rural é direcionado às atividades de uso humano, dessedentação animal e irrigação de lavouras. Atualmente o consumo de água mundial na agricultura ultrapassa mais de 2700 bilhões de m³ (HE. G., *et al.*, 2021). No Brasil, a agricultura é o setor que mais cresce economicamente e o consumo de água durante a irrigação abrange quase 5,3 M ha, utilizando alguns métodos como espalhamento superficial, pivô central e aspersão convencional (ANA, 2020).

Diante do setor de irrigação, o artigo 23 da Lei nº 12.787/2013 sobre a Política Nacional de Irrigação, relata que a utilização de recurso hídrico por projeto de irrigação vai depender da prévia outorga do direito de uso de recursos hídricos, concedida por órgão federal, estadual ou distrital, conforme o caso. Porém, quando a licença por vezes não é concedida, há irrigações clandestinas, que podem provocar a seca de corpos hídricos e grandes problemas ambientais nas regiões.

Com a adição de defensivos químicos nas áreas de cultivo ou a disposição de produtos químicos ocorre infiltração destes no solo e com a ajuda da água percorrem até o lençol freático, onde muitas vezes a população rural não tem água com boa qualidade, estando sujeita a passar por alguns problemas de saúde (BERNI. I. *et al.*, 2021).

Na Figura 1, é possível observar a contaminação do lençol freático por resíduos perigosos.

Figura 1- Contaminação do lençol freático por resíduos perigosos



Fonte: EmbTec (2020).

A contaminação de agrotóxicos em águas subterrâneas pode afetar a saúde humana. Poços e nascentes perto de áreas agrícolas apresentaram compostos presentes em agrotóxicos que influenciam na saúde humana, causando doenças neurodegenerativas como o Alzheimer e indução de distúrbios metabólicos de energia, também podem causar depressão (REHNER *et al.*, 2000; HE. B., NU. Y., JIN. Y. e FU. Z., 2020; LI. Y., 2021).

Por isso, a utilização da água para a irrigação de lavouras juntamente ao uso de defensivos agrícolas que podem lixiviar e alterar a qualidade da água de mananciais superficiais, provocando grandes problemas de escassez hídrica para a população que vive em meio rural. Por vezes, a única fonte de água com qualidade existente, proveniente de poços, podem conter contaminantes emergentes (alusão aos produtos tóxicos que não são removidos ou eliminados pelo tratamento convencional de água para consumo humano (EMBRAPA, 2019)), ocasionando problemas de saúde a longo prazo.

Assim, as águas provenientes da chuva também se tornam uma opção para as populações que vivem no meio rural. Segundo, Sarmiento *et. al.* (2017), a captação e armazenamento das águas pluviais é considerado uma opção visivelmente acessível, prontamente aceitável e economicamente viável para as comunidades rurais, especialmente as localizadas no semiárido nordestino, se forem adequadamente dimensionadas e utilizadas, podendo suprir a população de água nos períodos de estiagem.

2.3 ÁGUA DA CHUVA: USO/REUSO

Há grandes benefícios em se reaproveitar a água da chuva, o principal é a preservação da água potável, que chegam até as pessoas através das companhias de saneamento. Essas águas provenientes da chuva podem ser destinadas ao uso de algumas atividades domésticas como: lavagem de carros, calçadas e regas de jardins, gerando de forma direta uma economia na conta de água.

O reaproveitamento preserva a água em seus reservatórios naturais, trazendo menores riscos de racionamentos e falta de água, através do seu uso racional. A alternativa de aproveitamento das águas da chuva também se dá por incapacidade das companhias de saneamento em suprir as demandas geradas pela população, e isso ocorre pelo mau uso da água, com desperdício, perdas nos sistemas de distribuição ou a falta de mananciais de abastecimento, perto dessas populações. O crescimento populacional pode implicar o abastecimento, caso as companhias não se estruturam e não haja planejamento para ampliação de sistemas de captação e rede de distribuição (ALMEIDA, 2003).

A falta de planejamento e construção de sistemas de reservação de água, por barragens e açudes, com o objetivo suprir de água às populações em períodos de longas estiagem podem acarretar nos problemas vivenciados em 2014, no estado de São Paulo, onde houve uma situação de crise hídrica sem precedentes. (MILLINGTON. N., 2018)

Algumas das vantagens visíveis para a reservação das águas pluviais é a diminuição nos riscos de enchentes provocadas por fortes chuvas, diminuindo impactos do escoamento superficial das águas da chuva, que agravam os sistemas de drenagem urbana nas cidades e outro benefício é a redução nas taxas com o custo do tratamento da água (MAY, 2004).

Diante disso, há alternativas para as águas da chuva reservada por edificações: elas podem voltar ao solo, de forma que infiltrem de forma adequada, reabastecendo o lençol freático e corpos hídricos (XAVIER, COSTA e COSTA 2019); através de cisternas para reuso da água da chuva, como uso na lavagem de calçadas, para a jardinagem, lavagem de automóveis; reuso em bacias sanitários (FINKLER *et al.*, 2020) e em situações de emergência hídrica pode ser tratada e consumida (PIMC - ASA, 2003)

A maioria dos estudos sobre reuso de água da chuva está relacionado à irrigação de jardins e descargas de bacias sanitários, conforme Souza et. al. (2016). Há, porém, estudos evidenciando outras aplicações. Em sua análise, Santos (2016) relata o uso da água da chuva para alimentação de caldeiras industriais, mostrando-se uma boa alternativa. A captação e o

armazenamento resultaram em uma água de boa qualidade, mesmo as caldeiras exigindo cuidados especiais em relação à qualidade, a água da chuva se encaixou nas exigências e se tornou uma ótima opção.

De maneira geral, o uso/reuso da água da chuva é destinado ao reaproveitamento para fins não potáveis, evitando o desperdício da água potável.

2.4 ÁGUA DA CHUVA PARA CONSUMO

A contaminação da água da chuva acontece quando ela captura os poluentes do ar dentro das gotas de chuva e os transfere para o solo. Após a lavagem do ar pela chuva, o transporte dessas partículas continua à medida que a chuva lava as superfícies urbanas contendo camadas de deposição seca, que se acomodaram entre as chuvas (SÁNCHEZ, COHIM e KALID, 2015). Apesar de ter baixos níveis de turbidez, a água da chuva não é potável, por isso deve passar por um tratamento, antes do consumo.

Sánchez, Cohim e Kalid (2015) contam que logo após a lavagem da atmosfera, ocorre a contaminação pelos sistemas que interceptam a água, carregando as partículas de óleo e matéria orgânica presentes nas superfícies urbanas ou nas superfícies de captação, retirando a qualidade inicial.

A água da chuva, apesar de, possuir padrão elevados de qualidade, ainda assim apresenta necessidade de tratamento, devido a presença de microrganismos patogênicos, possivelmente adquiridos quando essa entra em contato com as superfícies de captação (REYNEKE. B., WASO. M., KHAN. S. e KHAN. W., 2020). A presença desses microrganismos patogênicos pode levar a algumas doenças, quando essa água é ingerida, como: Diarreia por *Escherichia coli*, Amebíase, Cólera, Disenteria bacteriana e Toxoplasmose. Segundo a Revista Saneamento em Pauta (2017), a incidência de internações no Brasil por doenças de veiculação hídrica ocorreu por volta de 12,46 casos para cada 10 mil habitantes.

Apesar de ter baixos níveis de turbidez, a água da chuva não é potável, por isso deve passar por um tratamento, antes do consumo. Segundo o Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), em publicação realizada em 2015, recomenda -se evitar beber a água de chuva, pois ela pode conter contaminações. Mas em casos extremos (se não houver água de melhor qualidade) e se a água tiver sido coletada de forma adequada, passando por um sistema de filtração e por um processo de desinfecção, ela pode ser consumida.

2.4.1 Captação da água da chuva

Os sistemas de captação da água da chuva são primordiais quando se fala em reaproveitamento/reuso de águas pluviais. É através desses sistemas que a água é interceptada, coletada e conduzida aos reservatórios, em quantidade suficiente para sua reutilização ou destinação adequada (WALLACE. D. C., BEYLEY. T. R e ARABI. M., 2015).

A NBR 10.844/89 que fala sobre as Instalações Prediais de Águas Pluviais da ABNT, sugere que se a captação seja feita através de telhados, e os mesmos devem ser projetados e construídos seguindo as normas técnicas e as especificações do fabricante de telhas.

Em relação a área de captação das águas da chuva, existem algumas opções eficientes de coleta como: a coleta na cobertura e na bacia (telhado inclinado e cobertura com terraço aberto) como apresentado na Figura 2, coleta em jardim inclinado (feito usualmente em áreas montanhosas) e o método de guarda-chuva invertido (utilizado pela agricultura familiar, com produções de pequena escala) (PALA. G. K. *et al.*, 2020)

Figura 2 – Captação de água da chuva em telhado inclinado e cobertura com terraço aberto



Fonte: PALA. G. K. *et al.*, 2020

Para a coleta de água da chuva, podem ser usados telhados de fibrocimento, de aço galvanizado, de telha cerâmica, de zinco, de plástico, de vidro, de acrílico, ou mesmo de

concreto armado ou manta asfáltica, levando em consideração que o tipo de revestimento também interfere no sistema de aproveitamento da água, pois sabe-se que nem toda água precipitada é coletada, sendo necessária a adoção de calhas e condutores verticais para o direcionamento da água da chuva pela área de captação (sendo o telhado o método mais utilizado), ao reservatório (ABNT NBR 15527 /07).

Existem algumas particularidades em relação aos dispositivos necessários para obter eficiência na captação e armazenamento de água. A primeira fase é em relação à filtração de materiais grosseiros presentes na área de captação como folhas, gravetos e particulados de maior dimensão. Ele pode ocorrer por uma calha dotada de filtro de retenção ou simplesmente filtros acoplados na condução de água do sistema, podendo ser eles verticais ou horizontais (NBR 15527/2019). Logo após, é dada a fase de descarte inicial de água. Ele diz respeito ao *First Flush* (primeira descarga), onde é instalado um reservatório de autolimpeza que acontece o descarte de água inicial para obter melhor qualidade da água da chuva, diminuindo a presença de sólidos suspensos e dissolvidos, além dos microrganismos após vários dias sem chuva, que ficam presentes na área de captação (telhados entre outros) (ROCHA, REIS e ARAÚJO, 2011). O dimensionamento do volume de descarte deverá ser de 100 L a cada 100 m² de cobertura (PROSAB, 2001).

2.4.2 Tratamento da água da chuva: técnicas aplicadas

A água da chuva é ideal para a produção de água de reserva e as condições de saúde ambiental podem ser garantidas pelo gerenciamento de parâmetros de qualidade estipulados na legislação e atendidos por meio da aplicação de tecnologias de tratamento apropriadas. A seguir, as principais particularidades da legislação vigente, bem como a aplicabilidade de diferentes tecnologias para o tratamento de águas pluviais, serão apresentadas.

2.4.2.1 Legislação Aplicável

O ser humano tem direito a usufruir de água com boa qualidade e, para isso, as normas e legislações brasileiras são de grande importância, garantindo os padrões de uso para essa água. A NBR 15527/007, estabelece condicionantes para o aproveitamento de águas da chuva, proveniente de coberturas em áreas urbanas, para fins não potáveis, conforme se observa na Tabela 1.

Tabela 1- Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes Termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	<2,0 uT, para usos menos restritivos < 0,5 uT
Cor aparente (caso não utilize nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 0,5 uH
Deve prever ajuste de pH para a proteção das redes de distribuição, caso necessário	Mensal	pH de 6,0 a 8,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado

Fonte:ABNT NBR 15527:2007

Após o tratamento da água da chuva, é necessário verificar os parâmetros de qualidade a fim de verificar a qual prática essa se aplica (BASTOS, 2007). A NBR 13969: 1997 que estabelece parâmetros de qualidade para o reuso de efluentes domésticos, com o reuso dividido em quatro classes, como mostra a Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação e parâmetros de reuso de efluentes

Classe	Reúso	Parâmetros
1	Lavagem de carros e outros usos que requerem o contato direto com a água, com possível aspiração de aerossóis pelo operador, incluindo chafarizes.	turbidez < 5 NTU; coliformes fecais < 200 NMP/ 100 mL; sólidos dissolvidos totais < 200 mg/L; pH entre 6,0 e 8,0; cloro residual entre 0,5 mg/L e 1,5 mg/L.
2	Lavagem de pisos, calçadas e irrigação dos jardins, manutenção de lagos e canais para fins paisagísticos, exceto chafarizes	turbidez < 5 NTU; coliformes fecais < 500 NMP/ 100 mL; cloro residual > 0,5 mg/L.
3	Reúso nas descargas dos vasos sanitários	turbidez < 10 NTU; coliformes fecais < 500 NMP/ 100 mL;
4	Reúso dos pomares, cereais, forragens, pastagens para gados e outros cultivos através do escoamento superficial ou por sistema de irrigação pontual	coliformes fecais < 500 NMP/ 100 mL; oxigênio dissolvido > 2,0 mg/L As aplicações devem ser interrompidas pelo menos 10 dias antes da colheita

Fonte: A NBR 13969, 1997.

Já quando a água é destinada ao consumo, a Portaria de consolidação nº 888/2021 do Ministério da Saúde deve ser utilizada. Essa portaria dispõe sobre os padrões de qualidade da água para consumo humano. A Tabela 3 apresenta alguns parâmetros estabelecidos pela portaria. Ressalta-se que “É de responsabilidade do gestor do sistema garantir e viabilizar soluções e alternativas coletivas de abastecimento de água para consumo humano, além de manter e controlar a qualidade da água produzida e sua distribuição, conforme os princípios estabelecidos pelo Plano de Segurança da Água (PSA) recomendado pela OMS e/ou diretrizes vigentes no País” (BRASIL, 2011).

Tabela 3– Padrões de potabilidade da água

Parâmetro	Padrões de potabilidade da água (portaria de consolidação n°888 do Ministério da Saúde)
Turbidez (uT)*	1
Cor aparente (uH)	15 (VMP)
pH	6,0 – 9,5
Coliformes totais (NMP/100 ml)	Ausente em 100 mL
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	Ausência em 100 mL

Notas: * Água filtrada após a saída de filtros lentos. VMP = Valor máximo permitido

Fonte: Portaria de consolidação n°05 do Ministério da Saúde, 2017.

Assim, conforme já relatado e observado pelas diretrizes estabelecidas pelas normas e pela portaria, antes da utilização das águas provenientes da chuva, para fins nobres é necessário que essa seja submetida a um tratamento para sua adequação.

2.4.2.2 Tecnologias para o tratamento de águas pluviais.

Existem algumas tecnologias que podem ser aplicadas com o propósito de tratar a água da chuva, que mostram-se bastante eficientes, já foram testadas e comprovadas em muitas regiões do Brasil, que sofrem com intensa escassez ou com grande contaminação dos corpos hídricos (BASTOS, 2007).

Uma das formas para armazenamento seguido de tecnologias aplicadas para o tratamento da água da chuva e captação são as Cisternas (PELAK. N. e PORPORATO. A., 2016). Ela visa a captação e o armazenamento de água da chuva, a fim de atender e suprir a demanda de famílias, principalmente durante os períodos de estiagem. A cisterna é um reservatório fechado para armazenamento da água de chuva com finalidade de consumo, onde o processo para consumo humano passa por um sistema de captação, seguido de filtragem e por fim o armazenamento (SILVA, BRITO e ROCHA,1988).

Um dos estudos pioneiros na construção de cisternas foi feito por Kenyon (1929) e é utilizado nos dias atuais. Essa foi a grande motivação para a implementação do programa governamental “Um milhão de cisternas- P1MC”. No ano 2000, a Articulação do Semiárido Brasileiro (ASA) desenvolveu o Programa P1MC, que tinha como objetivo atender a demanda de água potável da população nordestina, visando garantir o acesso à água de qualidade para os

moradores daquela região, diminuindo assim a incidência de doenças em virtude do consumo de água contaminada. Entre 2003 até meados de 2015 cerca de 420.000 cisternas haviam sido construídas (ASA, 2015).

Existem vários estudos sobre formas e tecnologias aplicadas à potabilização das águas da chuva, dentre esses estudos estão: a destilação solar, microfiltração tangencial, ultrafiltração e filtração lenta associada a processos de desinfecção.

A destilação solar é feita a partir de um recipiente com água coberto com vidro transparente e o fundo negro, otimizando o sistema, e possibilitando a passagem dos raios solares, para que sejam absorvidos com maior intensidade (TLEIMAT, 1979).

Assim que os raios solares passam pelo vidro transparente, a água no recipiente começa a esquentar e sucessivamente evaporar produzindo umidade no sistema coberto, onde o vapor de água entrará em contato com a superfície de vidro, onde o mesmo está em uma temperatura abaixo do vapor de água e assim ocorrendo a condensação. As gotículas de água escorrem pela superfície inclinada, deslizando até a cuba coletora, onde sai pelos extremos e assim é destinada ao reservatório. Devido a água entrar no ponto de ebulição quando atinge 100°C, as partículas que estão junto a ela necessitam de temperaturas maiores para serem carregadas em conjunto, fazendo-se então a potabilização da água (SILVA. M. C. C., 2014).

A potabilização pela microfiltração tangencial é dada através da filtração da água da chuva em filtros de membranas. O escoamento do líquido é paralelo à superfície da membrana, proporcionando redução na colmatação em virtude da velocidade do escoamento do fluido realizar o arraste de sólidos que tendem a acumular na superfície. O material das membranas pode ser constituído por polímeros, metais ou cerâmica. Além de reter os sólidos da água, a microfiltração retém também as bactérias presentes na água da chuva (GUEDES. T. L., 2012). A ultrafiltração se assemelha à microfiltração, a não ser pelo tamanho das partículas que são retidas na ultrafiltração, isso inclui os vírus, onde apenas esse processo é viável para tornar a água da chuva potável (MIORANTO. T., BRIÃO. V.B e GIRARDELLI. L., 2017).

Bastos (2017) utilizou filtração lenta associada a desinfecção por UV, onde obteve bons resultados na modificação dos parâmetros físico-químicos e biológicos (um dos seus objetivos) como a completa remoção de *Escherichia coli* e valores de turbidez abaixo de 2,0 NTU. Além de Bastos, Sorgato (2019) utilizou a tecnologia de filtração lenta para tratamento das águas da chuva, contudo, ele não realizou associação com nenhum processo de desinfecção, apresentando presença de microrganismos patogênicos após o tratamento.

2.5 INFORMAÇÕES INERENTES AO PROCESSO DE FILTRAÇÃO LENTA

A filtração lenta é tida como um processo de purificação da água, em que mecanismos biológicos atuam na redução de sólidos, microrganismos e matéria orgânica (MURTHA, 1998). O processo de tratamento da água pela filtração lenta não requer o uso de coagulantes, trabalha com taxas de filtração baixas e utiliza como meio filtrante areia com granulometria fina. O uso de baixas taxas de filtração leva a um maior tempo de detenção da água sobre o meio filtrante e no seu interior, o que favorece uma intensa atividade biológica no filtro lento e garante a produção de água com qualidade apropriada para uma desinfecção efetiva (DI BERNARDO, 1999). Estes filtros operam com taxas inferiores a 6 m³/m². dia, necessitando de grandes áreas para a sua construção, promovendo assim uma carreira de filtração maior, de cerca de 60 dias (LIBÂNIO, 2010).

Sua camada superficial microbiana possui eficiência na remoção de coliformes totais e termotolerantes. Os experimentos de Bellamy *et al* (1985) revelam a formação de uma camada biológica (espécie de película protetora para comunidades microbianas viverem aderidas em superfícies (VASONCELOS. C. e VENTURI. Í, 2019)) responsável pela retenção de microrganismos, onde é chamado de '*Schmutzdecke*'. O seu tempo de maturação microbiológica no meio filtrante resulta na melhoria da eficiência de remoção de microrganismos patológicos, como os coliformes.

No entanto, para que haja excelente carreira de filtração é preciso haver manutenção no filtro. As limpezas poderão ser frequentes ou não, dependendo da turbidez da água bruta e de seus sólidos suspensos. Após estudos, Di Bernardo (1993) recomenda valor máximo de turbidez da água bruta de 10 uT, visto que o filtro lento é muito sensível a picos de turbidez e de sólidos suspensos. Valores superiores a esses acarretam em curtas carreiras de filtração, necessitando de limpezas mais frequentes.

A filtração lenta é um processo eficiente e apresenta-se como uma solução em tratamento de água de abastecimento para comunidades isoladas devido a suas vantagens já mencionadas. Ainda, há estudos que empregam a filtração lenta para tratamento de lixiviados de aterro e de efluentes (TERRA; SOUZA, 2017). Também é uma ótima opção para tratar as águas da chuva, apresenta como uma de suas grandes vantagens, a possibilidade de remoção de coliformes sem a necessidade de pré-tratamentos, além de ser uma tecnologia barata, sem adição de produtos químicos.

2.5.1 Aplicabilidade da filtração lenta para o tratamento da água da chuva

A Filtração Lenta é uma tecnologia alternativa de tratamento que pode ser aplicada nas águas da chuva. Conforme os resultados do estudo realizados por Bastos (2007) a tecnologia de filtração lenta associada a desinfecção por radiação UV artificial, para tratamento de águas da chuva, apresentaram uma elevada eficiência na remoção de partículas coloidais e de sólidos em suspensão, com valores de turbidez da água tratada inferiores a 1,0 uT. Assim, conclui-se que a água da chuva tratada por filtração lenta pode ser destinada ao uso doméstico, como lavagem de louça, roupa, e em situações de escassez hídrica pode até ser consumida.

Ainda segundo a PCR - Portaria de Consolidação, a filtração lenta constitui-se como um processo eficiente na remoção do grupo *Escherichia coli*, sendo frequente a completa remoção deste contaminante. Porém, é necessária uma posterior desinfecção, devido ao fato da remoção de coliformes totais não ser completa (Bastos, 2007), comprovado no filtro lento de Sorgato (2019) onde não atingiu resultados de 100% de remoção de coliformes totais e *E. coli*, devido à falta de um sistema de desinfecção.

Devido ao fato de, as águas da chuva serem normalmente mais limpas que as águas de mananciais superficiais de abastecimento, o tratamento dela exige basicamente a remoção de microrganismos patogênicos. Sendo assim, a filtração lenta é uma técnica que pode ser aplicada a esse propósito, onde os valores máximos de turbidez recomendados para a sua aplicação ficam em torno de 10 uT (DI BERNARDO, 1993). Uma situação que pode ocorrer quando aplicada essa técnica de filtração lenta para tratamento da água da chuva é a ampliação do tempo de amadurecimento dos filtros e uma relativa demora na formação da camada biológica “schmutzdecke”, o que pode não favorecer a remoção dos microrganismos patogênicos. A *schmutzdecke* (palavra alemã para filme sujo) é a região da interface entre o meio filtrante e água em que ocorre acúmulo de material retido e sintetizado por bactérias (BARRETT *et al.*, 1991). Há formação de um fino tapete viscoso, através do qual a água precisa passar antes de atingir o meio filtrante propriamente dito (HUISMAN e WOOD, 1974). A eficiência da filtração lenta é dependente da formação dessa camada, que pode demorar de dias a semanas, a depender da qualidade da água afluyente e do meio filtrante, no denominado período de amadurecimento (DI BERNARDO e SABOGAL PAZ, 2008).

2.5.2 Técnicas, aplicações e dimensionamento do sistema de filtração lenta

Para garantir melhores resultados com a técnica da filtração lenta, é preciso haver um dimensionamento adequado da unidade de filtração. Os resultados do tratamento da água da chuva obtidos por Bastos (2007), através do tratamento por filtração lenta, foram bastante eficientes. O dimensionamento e construção do filtro lento, por Bastos (2007) contou com os seguintes materiais e características: Um tubo de PVC de 300 mm de diâmetro e 2,00m de altura, preenchido por uma camada suporte de 0,1m de altura com pedregulhos de granulometria entre 1,7mm e 3,17mm. O leito filtrante com 0,9m de altura, era composto por areia de granulometria entre 0,2mm e 1,2mm. A areia usada conferiu ao filtro um diâmetro efetivo de 0,36mm e um coeficiente de desuniformidade de 2,5mm. Antes de ser colocada no filtro, a areia foi lavada e seca em temperatura ambiente. Conforme observado, há outros fatores que influenciam o processo de filtração, com ênfase a: granulometria do material filtrante, coeficiente de uniformidade, altura do meio filtrante, entre outros.

Ao longo da operação, a perda de carga no filtro aumenta, devido ao entupimento dos poros pelos quais a água passa, processo denominado colmatação. Nos filtros lentos, a limpeza pode ser feita de maneira tradicional ou por retrolavagem, de forma alternativa, em caráter experimental, assim como citam os autores Marnoto (2008), Pizzolatti (2010), Poersch (2012) e Souza (2012).

O filtro lento exige limpeza quando a perda de carga extrapola os limites estruturais do filtro, quando há uma piora na qualidade da água filtrada, ou quando há uma redução das taxas de filtração. Assim, a limpeza é realizada, a fim de que a água possa ser drenada pelo filtro. Dentre algumas técnicas de limpeza de filtros descritas por Souza (2012), a raspagem é uma técnica de limpeza manual, sendo a mais utilizada nesse sistema. É necessário raspar apenas os primeiros centímetros da camada filtrante, onde está o *schmutzdecke*. A areia removida do filtro deve ser lavada em água corrente, esta deve ser repostada quando a altura do meio filtrante estiver com cerca de 50 a 60 cm de altura (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999).

2.5.2.1 Biofiltro de Areia

O Biofiltro de areia – *BioSandsFilter* (BSF) é uma tecnologia adaptada da filtração lenta com uma série de inovações, que trabalha com regime intermitente de alimentação, o

qual é o foco deste estudo. Este foi desenvolvido por Manz nos anos 90 na Universidade de Calgary no Canadá, através da revisão bibliográfica feita em documentos relacionados à filtração lenta tradicional (CAWST, 2009). É uma solução que tem sido aplicada em países em desenvolvimento, nas áreas rurais, que por vezes, não são contempladas pelas redes de abastecimento público de água potável (SIZIRICI, 2018). Estima-se que existam cerca de 300.000 biofiltros espalhados em 69 países ao redor do mundo, como Haiti, Guatemala, Peru, Bangladesh, Índia, Honduras, Camboja, Quênia, Sri Lanka, Haiti, Uganda, Afeganistão e Camarões (DUKE *et al.*, 2006; CAWST, 2012; CAWST, 2009).

O BSF é uma solução para tratamento de água domiciliar, com tamanho reduzido, construído a partir de materiais de fácil acesso como concreto ou plástico, preenchido por areia e pedregulhos, sendo uma forma segura de purificação de água, podendo ser instalado dentro da residência, onde a água é tratada no lugar onde é utilizada (point-of-use) (CAWST, 2012).

O BSF pode ser utilizado para tratar águas provenientes de chuva, águas subterrâneas, rios, lagos e águas superficiais. Tem por objetivo fornecer água potável para as residências que não estão conectadas a rede de abastecimento convencional. Este tipo de filtro é utilizado devido a sua eficiência de remoção de patógenos e de turbidez. De acordo com Manz (2007), o BSF é capaz de remover aproximadamente 100% das partículas maiores que o material coloidal e 90 a 99% de remoção de bactérias e vírus.

Como citado anteriormente, o BSF trabalha com regime intermitente, diferenciando do filtro lento tradicional, ideal para quando a necessidade de água não é contínua ou quando a vazão tratada é maior que a quantidade requerida (PATERNIANI; CONCEIÇÃO, 2004). A intermitência refere-se ao abastecimento do filtro ser intervalado, realiza-se uma pausa entre as adições de água bruta. O tempo de intermitência recomendado é de 1 a 48 horas. Dessa forma, indica-se que se adicione água neste intervalo de tempo. A partir desta forma de operação, os microrganismos presentes no *schmutzdecke* têm um maior espaço de tempo para consumir os patógenos e partículas provenientes da água bruta (CAWST, 2009).

A eficiência do filtro é atribuída à camada de microrganismos que se estabelece nos primeiros centímetros da camada filtrante, *schmutzdecke*, da mesma maneira como ocorre em filtros lentos convencionais. Esta camada é formada por partículas inertes, matéria orgânica e microrganismos como bactérias, protozoários, algas etc (LIBÂNIO, 2010). Esta camada é uma película estabelecida de forma natural, podendo levar até 30 dias para se formar (MANZ, 2007).

Da mesma forma que o filtro lento tradicional possui algumas limitações, como por exemplo, esse deve ser abastecido por água com elevada qualidade, com baixa turbidez. Isso se deve ao fato que elevados níveis de turbidez resultam na rápida colmatação, encerrando a carreira de filtração e indicando a necessidade de limpeza do filtro (CAWST, 2009). No trabalho realizado por Wendling (2017), o qual utilizou o BSF em escala piloto, verificou que durante a primeira etapa (que durou cerca de 4 meses), não foi necessária a limpeza nos filtros, visto que o valor da turbidez ficou de acordo com o estabelecido pelo manual elaborado por CAWST (2009).

Manz (2007) patenteou o BSF com uma estrutura de concreto, com 1 m de altura e 0,40 m de largura, com capacidade de 20 L de água bruta, possibilitando a instalação dentro da residência e sendo facilmente operado por um adulto. O BSF é estruturado conforme a Figura 2.

CAWST (2009) descreve como construir um BSF e quais são os componentes, como tampa, prato difusor, camada de areia (meio filtrante), meio suporte de transição, meio suporte para drenagem, tubo de saída e corpo do filtro. A tampa é responsável por prevenir a contaminação, evitando que compostos indesejados entrem no filtro. O prato difusor tem por função distribuir a água uniformemente, dificultando a formação de caminhos preferenciais, além de proteger a camada biológica durante a adição de água bruta (YOUNG-ROJANSCHI; MADRAMOOTOO, 2014). O meio filtrante remove patógenos e reduz níveis de turbidez.

A camada de transição sustenta o meio filtrante e protege a tubulação de drenagem, impedindo que grãos de areia a atinjam. O meio suporte de drenagem facilita o caminho da água filtrada para a tubulação. O tubo de saída encaminha a água filtrada para fora do filtro, para um reservatório. O corpo do filtro é a estrutura propriamente dita, conforme verifica-se na Figura 3.

Figura 3 - Componentes do BSF



Fonte: CAWST, 2009.

De acordo com CAWST (2009), para que ocorra a filtração no BSF, a água entra pela parte superior do filtro e passa por uma espessa camada de areia, que nos primeiros centímetros contém microrganismos aeróbios responsáveis pela degradação de partículas e patógenos (*schmutzdecke*), seguida de uma camada em que o oxigênio não se encontra disponível. Após isso, a água atinge o meio suporte composto por pedras direcionando ao sistema de drenagem. Esta tecnologia é adequada para remover patógenos como bactérias, vírus, protozoários e helmintos e diminuir níveis de turbidez. Quando a água não está sendo tratada, a zona de água parada garante oxigênio aos microrganismos, garantindo que estes se mantenham vivos, para isso a altura dessa zona é controlada pela altura da tubulação de saída, estando em mesmo nível, e deve se manter uma profundidade não muito grande (5 cm) para que o oxigênio atmosférico se dissolva na água e esteja disponível para os microrganismos da camada biológica (MANZ, 2007).

2.6 SISTEMAS DE DESINFECÇÃO

A remoção dos microrganismos que restam na água depois do tratamento é de crucial importância, pois quando a água contaminada é ingerida pelo ser humano, acarreta em várias doenças como: diarreia, cólera e febre tifoide. Doenças como amebíases e esquistossomoses podem gerar taxas de mortalidade em países em desenvolvimento (BRITO, ARAÚJO e HUITLE, 2015).

Não há garantias de que análises microbiológicas sejam feitas na água durante a sua distribuição para a população, contudo há legislação em vigor apropriada para isso. Casagrande e Sarmiento (1997) afirmam que em alguns pontos da rede de sistema de distribuição de água potável há presença de agentes patogênicos. Com isso, a portaria de consolidação nº05 do Ministério da saúde exige a presença de cloro residual em todos os pontos da rede de distribuição. A portaria estabelece que a presença máxima de cloro livre seja de 5 mg/L após desinfecção e 2,0 mg/L na rede; e mínima de 0,5 mg/L após desinfecção e 0,2mg/L na rede. Assim, conforme indicado pela Portaria nº 05 de 2017 a água, depois de passar pelo tratamento, precisa de desinfecção para a remoção de patógenos.

A alternativa mais usual são os cloradores. Di Bernardo (2005) relata algumas condições para que ocorra êxito na aplicação: Segundo ele, os cloradores devem ser colocados o mais próximo possível do ponto de cloração; a área deve ser bem ventilada e acessível, com temperaturas acima de 10°C, sendo melhor que esta esteja em torno de 18 – 20°C; deve-se evitar qualquer possibilidade de aquecimento direto sobre os cilindros; a sala dos cloradores não deverá comunicar-se diretamente com os demais compartimentos da estação de tratamento. Assim, qualquer vazamento não trará prejuízo para o funcionamento das outras partes da instalação onde não se deve armazená-lo em áreas situadas abaixo do nível do solo.

2.6.1 Tipos de Sistemas de desinfecção

Para diferentes técnicas de tratamento de água, há também diversos tipos de sistemas alternativos de desinfecção, que são bastante eficientes.

Um dos métodos mais simples e econômicos para a desinfecção de água é a cloração. O método de cloração é o dispositivo mais comum utilizado no tratamento convencional da água, devido a eliminação de microrganismos patogênicos, de forma eficaz. O processo de inativação dos microrganismos pelo cloro é dado pela oxidação das membranas, ácidos nucleicos, proteínas, aminoácidos, paredes celulares e outros lipídios, causando perda de viabilidade das bactérias. (CAMPER e MCFETERS, 1979, HAAS e ENGELBRECHT, 1980).

A desinfecção por ozônio é um método eficiente para inativar os microrganismos presentes na água. A ação do ozônio causa ruptura na parede celular dos microrganismos, por serem mais reativos e oxidantes, demandando menor tempo de contato e tornando impossível sua reativação (SNATURAL, 2013). O processo de inativação dos microrganismos pelo

ozônio é complexo, pois o ozônio ataca vários constituintes celulares como proteínas, lipídios insaturados, entre outros (KHADRE *et al.*, 2001).

Outro método que se mostra eficiente, mas sem a adição de químicos é pela radiação de lâmpadas UV (ultravioleta). As lâmpadas do tipo arco de mercúrio são um dos principais componentes de um sistema de desinfecção UV. No reator de contato as lâmpadas de mercúrio são colocadas em tubos de quartzo para minimizar o efeito de resfriamento da água. Em reatores de não contato, as lâmpadas UV são suspensas externamente a um condutor transparente que conduz a água para desinfecção (BASTOS, 2007). O processo de inativação dos microrganismos pela radiação UV, consiste na absorção dessa radiação pelos componentes orgânico-musculares provocando uma desestruturação no material genético das células dos microrganismos, e assim eles são inativados (WEF, 1996).

A R-UV pertence ao espectro eletromagnético e está situada na faixa de 10 a 400 nm de comprimento de onda, entre os raios X e a luz visível (KOLLER, 1952 apud DANIEL, 2001). A subdivisão da faixa de R-UV entre os vários valores de comprimento de onda é: a) UV vácuo → 10 a 200 nm; b) UV C → 200 a 280 nm; c) UV B → 280 a 315 nm; d) UV A → 315 a 400 nm.

De acordo com Bolton (1999) apud Daniel (2001), o comprimento de onda de maior efeito bactericida é o de 254 nm, que está inserido na faixa do UV C. No entanto, Harm (1980) apud Daniel (2001) afirma que a absorção máxima de R-UV ocorre em 260 nm, e o comprimento de onda de 254 nm é relativo à emissão máxima de lâmpadas de baixa pressão de vapor de mercúrio. O intervalo de comprimento de onda compreendido entre 254 e 285 nm é considerado a faixa germicida ótima para a inativação de microrganismos. Quando se irradiam moléculas de água com R-UV de comprimento de onda menor que 190 nm, ocorre o rompimento de ligações acarretando a formação de radicais hidroxila (OH⁻) e hidrogênio (H⁺), poderosos agentes oxidantes e redutores, respectivamente. Portanto, processos de descontaminação, tanto em meio aquoso como em ar úmido, podem ser realizados com base nesse fenômeno (DANIEL *et al.*, 2001).

Hoje em dia, existem muitas alternativas com grande eficiência tecnológica para a remoção de patógenos, cabe ao técnico saber qual será mais eficiente para determinada situação em que a água se encontra.

2.6.2 Desinfecção por radiação solar

O sol é uma fonte de energia limpa e gratuita, acessível para todos, tanto de calor como de raios UV, onde essa fonte serve na metodologia como um sistema de desinfecção para as regiões que não possuem muitos recursos financeiros, onde usar-se a radiação UV solar não necessita a adição de agentes químicos e torna o processo de tratamento de água eficiente e sustentável (ACRA, 1984).

Segundo Anon (1988) apud Morgado (2008), a temperatura e radiação são a combinação perfeita para o mecanismo de inativação dos patógenos pela luz solar. Porém, Reed (1997) sugere que a condição de aerobiose da água é um outro fator que pode estar envolvido. Diante disso, deve-se considerar que a reação química de oxigênio dissolvido (O_2) na água em ozônio (O_3) como reator a radiação, se dá a inativação dos agentes patogênicos.

Uma maneira sustentável, é a utilização de garrafas pet, para o sistema de desinfecção. O uso do método SODIS por Bertholliti e Bello (2011) mostrou-se eficiente para comunidades isoladas e/ou de baixa renda, possibilitando melhorias reais na qualidade de vida dos moradores, sendo recomendada sua utilização em áreas com problemas de abastecimento de água potável.

Além disso, esse sistema de desinfecção mostra-se eficiente, propiciando a ausência total desses microrganismos após seis horas de tratamento. Os estudos de Almeida e Sousa (2015) revelam grande potencial quando a desinfecção é feita por radiação solar, com os seguintes resultados: Em análises microbiológicas verificou-se após 4 horas de exposição ao sol, onde a temperatura alcançou $31,6^{\circ}C$, um decréscimo de 57,7% de coliformes termotolerantes. Os valores de turbidez e pH das amostras antes e depois do tratamento se apresentam dentro do padrão estabelecido pelo ministério da saúde. Houve um drástico decaimento da concentração de C. Totais de 1600 NMP para 540 NMP em 5h de tratamento, restando 350 NMP após 6h de exposição. Para Escherichia coli e coliformes termotolerantes o tratamento através do sistema completo apresentou-se ainda mais eficiente levando a ausência desses microrganismos após seis horas de tratamento. A partir dos resultados obtidos, verificou-se que o protótipo se mostrou eficiente.

3 METODOLOGIA

A água da chuva foi tratada utilizando-se a tecnologia de filtração lenta, ou mais propriamente a tecnologia de ‘*BioSandFilters*’ (BSF). Para isso, ela foi coletada, transportada e armazenada em um reservatório (batelada). Esse reservatório alimentou o BSF. Após a filtração, a água foi desinfetada por radiação UV proveniente da luz solar.

3.1 CAPTAÇÃO DA ÁGUA DA CHUVA

A água utilizada para a realização desse estudo foi proveniente dos sistemas de captação e reservação das águas da chuva, existentes nos prédios da Universidade Federal da Fronteira Sul, *campus* Cerro Largo/RS. O sistema de captação, coleta e reservação das águas pluviais foram concebidos e construídos, com o propósito de reutilização dessas águas nos bacias sanitários da própria universidade, e assim são utilizados.

As águas pluviais são interceptadas pelos terraços do Bloco A e Bloco da sala dos professores. As águas interceptadas são conduzidas por canaletas até ralos. Os ralos são ligados a tubulações que conduzem essas águas até os reservatórios. Através de bombas, essas águas pluviais são enviadas até reservatórios elevados e destinados aos bacias sanitários dos banheiros da universidade. Em períodos de estiagem, esse reservatório elevado permite o armazenamento da água proveniente da rede pública, a fim de que os banheiros não fiquem desabastecidos. Assim, muitas vezes, a água utilizada nesses bacias é mista (parte potável proveniente da rede e parte proveniente da chuva).

Os reservatórios de água pluvial são dois. Cada um com a capacidade de 15.000 L (Figura 4). Eles são interligados de maneira que, quando um está completamente cheio, este começa a levar água para o outro. Com o objetivo de utilização dessa água para estudo, foi acoplada junto à saída do reservatório de águas pluviais, uma torneira, que facilita a sua aquisição, conforme Figura 5. A coleta de água seguiu os procedimentos descritos no Manual Prático de Análises de Água da FUNASA de 2019.

Figura 4 - Reservatórios de água pluvial



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Figura 5 - Torneira acoplada na mangueira



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

3.2 ARMAZENAMENTO E TRANSPORTE DA ÁGUA BRUTA

Como o filtro foi construído no laboratório de Fenômeno dos Transportes (Laboratório 01), e o reservatório das águas pluviais encontra-se no Bloco dos professores, essa água precisou ser levada (em alíquotas diárias de 50 litros), até o reservatório que alimentou o filtro. Essa água da chuva armazenada pelos reservatórios foi coletada em galões de plásticos. O transporte dos galões foi realizado por um carrinho do Bloco dos Professores até o laboratório de Fenômenos de Transporte onde foi montado o sistema de filtração lenta para tratamento dessa água. Os 50 litros de água foram colocados no barrilete que alimentou o filtro, durante 4 dias na semana no período matutino.

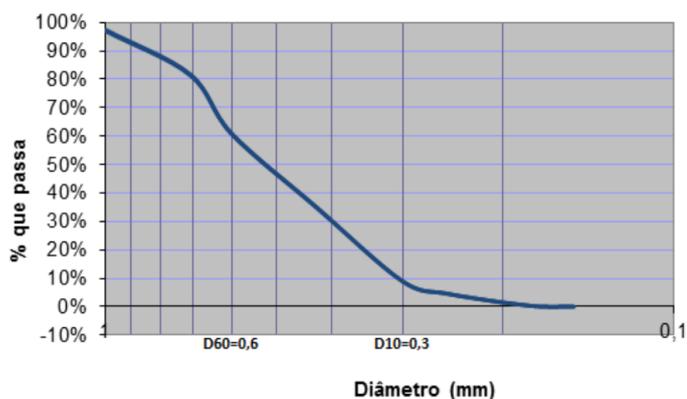
3.3 MÓDULO EXPERIMENTAL

3.3.1 Filtro Lento -*BioSandFilter (BSF)*

O Sistema de filtração lenta foi adaptado de trabalhos de conclusão de curso anteriores, realizados no mesmo *campus* da universidade (SILVEIRA. E. K., 2018), para um *BioSandFilter (BSF)*. Foi construído um BSF descendente, utilizando-se um cano de PVC (policloreto de vinila) com 3,6 mm de espessura, 2 metros de altura e diâmetro de 150 mm, totalizando uma área de filtração de 0,0176 m². Utilizou-se como leito filtrante areia fina, com 40 cm de altura do leito.

A areia possui diâmetro específico de 0,3 mm e coeficiente de desuniformidade (CU) igual a 2, conforme ensaios granulométricos realizados por Silveira (2018), observados na Figura 6.

Figura 6 - Curva granulométrica da areia



Fonte: SILVEIRA, 2018.

Para a camada suporte utilizou-se 30 cm de brita nos tamanhos 01 e 02. Para o dreno foi utilizada uma tampa de PVC de 250 mm, onde foi criado um orifício para a saída da água. Acoplada a esse orifício, instalou-se uma mangueira de silicone com diâmetro de 15 mm, ultrapassando 2 centímetros à camada suporte. Para aumentar a resistência da tubulação de saída, introduziu-se um tubo de inox com diâmetro menor que a mangueira. Para a vedação foi utilizado cola instantânea, de epóxi, e por fim silicone, conforme mostra a Figura 7 da estrutura já montada.

Figura 7 - Estrutura suporte do filtro



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Nota: a) Dreno para a saída de água. b) Tampa de PVC. C) Mangueira de Silicone.

O BSF descendente foi alimentado por um barrilete com capacidade de 50 litros de água, disposto acima do filtro. Tanto BSF quanto o barrilete foram fixados à parede para garantir estabilidade ao sistema, conforme Figura 8.

Figura 8 - Sistema de filtração lenta



Fonte: Elaborado pelo autor, 2020.

Nota: a) Barrilete de 50L. b) Filtro lento com os reservatórios de água da chuva (acoplado a uma bomba que leva água bruta até o barrilete) e reservatório de água filtrada.

3.3.2 Desinfecção

Optou-se pela utilização de garrafas PET transparentes de 1 L, que armazenaram a água após o tratamento por BSF. Essas foram expostas ao sol, entre as 10 horas da manhã às 16 horas da tarde, no verão de 2021, entre os meses de janeiro e fevereiro, recebendo as radiações solares, que promovem a desinfecção. Escolheu-se essa metodologia, devido a simplicidade de construção e operação, baixo custo e elevada eficiência, relatada na literatura (FECHINE, 2002).

As garrafas foram as incolores, pois, as cores afetam a absorbância da radiação solar UV-A. Assim optou-se por sua utilização (WEGELIN, *et al.*, 2000; SODIS, 2003).

O sol emite aproximadamente como um corpo negro a 5527 °C e, por isso, para a radiação solar, este valor máximo fica no centro da faixa visível, em aproximadamente 0,5 m. Para um corpo à temperatura ambiente (27°C) a emissão máxima ocorre em torno dos 10 m. O Corpo Negro é um absorvedor e emissor perfeito adotado como padrão em relação ao qual as propriedades radiantes de superfícies reais podem ser comparadas (RORIZ, 2011).

Devido a estes fatos, metade da garrafa PET foi pintada de preto para garantir melhor absorção, porém foi virada para baixo, permitindo que o sol passasse pela parte transparente transitando pela água e eliminando os patógenos, conforme Figura 9.

Figura 9 - Garrafa PET



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Segundo o Instituto Mexicano de Tecnologia de Água (IMTA), para melhor eficiência, deve-se utilizar um concentrador solar onde pode ser adquirido e construído com materiais simples, como chapas de aço ou placas de madeira revestidas com papel alumínio, onde garante remoção de 99,99% de microrganismos patógenos e a inativação de coliformes totais com 4 horas de exposição (HERRERA, 2003). Esse elemento também foi acoplado ao sistema de desinfecção. O concentrador solar para este estudo foi feito com o material de papelão e papel alumínio (Figura 10).

Figura 10 - Concentrador solar



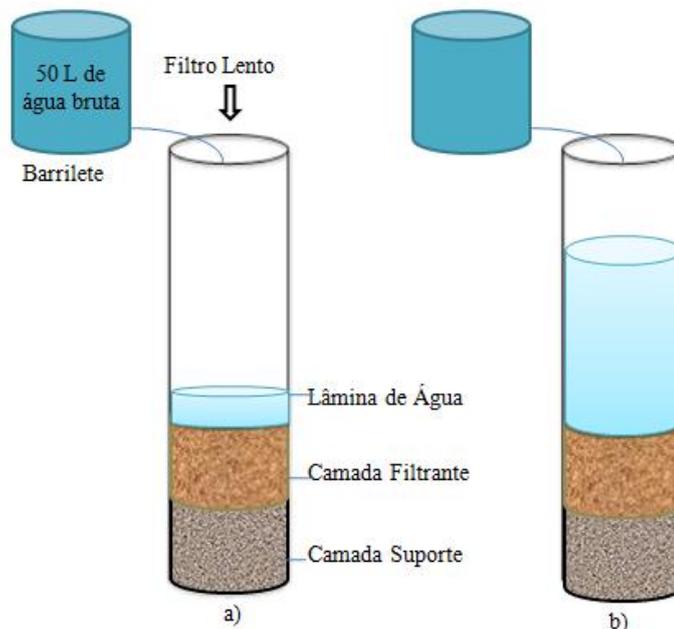
Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

3.4. PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

O experimento foi realizado do dia 11 de janeiro até o dia 09 de março de 2021. Nesse período o barrilete foi alimentado, de forma diária, durante 4 dias da semana, (às 8 horas da manhã), com 50 litros de água bruta, provenientes dos reservatórios de captação pluvial. Uma alíquota dessa água bruta foi retirada para análise. A filtração ocorreu em bateladas de 50 litros. A carreira de filtração, então, foi avaliada por número de bateladas até perda de carga máxima, e necessidade de limpeza.

Posterior ao abastecimento do barrilete, a torneira que alimentou o filtro BSF foi liberada, a uma taxa máxima de $4 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ ($\sim 50 \text{ ml}/\text{min}$). Todo o processo de filtração deveria ocorrer em 24 horas, de acordo com a variação da taxa de filtração. Essa variação nas taxas de filtração e períodos de filtração (em batelada) ocorreu devido a variação da vazão de alimentação do BSF pelo barrilete, o qual não mantinha uma carga constante. Assim, à medida que diminuía a lâmina de água dentro dele, reduzia a vazão de saída pela torneira.

Figura 11 – Esquema do procedimento experimental



Fonte: elaborada pela autora, 2021. Nota: a) Filtro lento em funcionamento. b) Filtro lento que precisa de manutenção de limpeza, com altura da lamina de água maior e redução na vazão de saída do filtro.

Como o tratamento foi realizado batelada, não foi acompanhada a evolução do filtro, quanto ao seu grau de amadurecimento, tampouco a evolução da perda de carga durante as carreiras de filtração (tendo como o fim das carreiras a limpeza do filtro). Somente foram controladas as taxas de filtração e o número de rodadas (bateladas) entre os processos de limpeza.

Toda a água filtrada foi coletada através da mangueira de saída, e armazenada em bombonas esterilizadas, posicionadas imediatamente a saída do filtro, onde foi retirada uma alíquota para análise.

Após, essa água filtrada foi envasada em uma garrafa PET transparente de 2 litros, devidamente esterilizadas, e dispostas ao sol por 6 horas (das 10 horas da manhã até as 16 horas da tarde), para a promoção da desinfecção pelas radiações UV provenientes da luz solar. Metade dessa garrafa foi pintada de preto e acoplada ao concentrador construído em papel alumínio. Esse processo de desinfecção foi acompanhado, através da coleta de dados dos índices de radiação solar da estação meteorológica automática da UFFS, nos dias em que foram realizados os processos de desinfecção, de forma a analisar e comparar esses índices, com a presença ou não de coliformes presentes nessa água.

3.4.1 Análise de parâmetros físico-químicos e microbiológicos

Como já mencionado, o tratamento foi realizado por batelada. Não houve um acompanhamento durante os processos de tratamento. Assim, os 50 litros de água pluvial (bruta) coletados dos reservatórios foram analisados e dispostos no barrilete para alimentar o BSF. Somente após a filtração completa dos 50 litros pelo BSF, a água filtrada foi analisada. Assim como, parcela dessa água filtrada foi disposta para desinfecção, e somente após o período de 6 horas, essa água foi analisada novamente.

Tanto a água bruta, quanto a água filtrada pelo BSF e a água desinfetada por radiação UV proveniente da luz solar, foram analisadas, segundo os seguintes parâmetros: pH, temperatura (°C), cor aparente (uH), turbidez (uT), condutividade (uS/cm), alcalinidade (mg/L), conforme a Tabela 4, além dos parâmetros microbiológicos de coliformes totais e *E. Coli*. Todos os parâmetros foram analisados em triplicata, com exceção dos parâmetros microbiológicos para a detecção de coliformes, devido a uma limitação de material do existente econômica para a compra do mesmo.

Tabela 4– Parâmetros físico químicos analisados na água da chuva bruta e após tratamento por filtração lenta associada a desinfecção UV

Parâmetro	Unidade	Referência metodológica	Equipamento utilizado para medição
Condutividade elétrica	uS/cm	2510 B APHA (2005)	Sonda YSI Professional Plus
Cor aparente	UH	2120 APHA (2005)	Colorímetro Del Lab DLA-COR
pH		4500 APHA (2005)	Sonda YSI Professional Plus
Temperatura	°C	2550b APHA (2005)	Sonda YSI Professional Plus
Turbidez	uT	2130 APHA (2005)	Turbidímetro HACH 2100P

Fonte: APHA, 2005.

Para análise de coliformes totais e *E. Coli*, foram usados nutrientes como estimulantes em testes de crescimento microbiológicos, através de um método chamado ColiTest. O ColiTest foi desenvolvido para detecção simultânea de Coliformes totais e *E.coli* através da

técnica da cultura. O meio de cultura ColiTest possui em sua formulação de substâncias, nutrientes, MUG e inibidores que, devidamente balanceados, inibem o crescimento de bactérias Gram-positivas, favorecem o crescimento de bactérias do grupo Coliformes e facilitam a identificação de *E.coli* através da fluorescência e indol (LKP, 2020). Foram feitos 3 testes por dia, um para a água bruta, outro para a água filtrada e o terceiro para água desinfetada. As alíquotas de 100 ml foram postas nos tubos esterilizados, ao qual foram adicionados os sachês para a cultura e posterior levados para a estufa à 35°C e incubados por 24h, conforme roteiro indicado pelo fabricante do ColiTest (LKP, 2020).

LKP diagnostica que ao final do processo, se a cor da amostra permanecer púrpura, significará que não há presença de coliformes. Porém, se a cor mudar de púrpura para amarelo, haverá a presença de coliformes totais. Para a verificação da presença de *E.Coli* deve-se realizar um novo teste. Nessa verificação, 10 ml dessa amostra amarelada devem ser recolhidos em um tubo de ensaio esterilizado. A essa alíquota devem ser adicionadas 4 gotas do reativo kovacs para prova Indol nos tubos. Se houver a presença de *E. Coli*, um alo avermelhado se formará à superfície do líquido no tubo de ensaio, em poucos segundos. Vale ressaltar que, quando adquirido o Kit do ColiTest, junto aos sachês de meio de cultura, vieram todos os frascos devidamente esterilizados, além do reagente Kovacs para verificação de presença de *E. Coli*. Esse teste indica apenas a presença ou ausência de coliformes, sem sua quantificação.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste item encontram-se descritos os resultados obtidos por meio da análise dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos obtidos para água da chuva bruta e após tratamento pelo sistema de filtração lenta e sistema de desinfecção por radiação solar UV.

4.1 OPERAÇÃO DO BSF E CARREIRA DE FILTRAÇÃO

Posterior ao abastecimento do barrilete, a torneira que alimentou o filtro BSF foi liberada, a uma taxa que variou entre 1,5 a 4 m³/m².d (entre 19 a 50 mL/min). Todo o processo de filtração ocorreu entre 17 a 44 horas, de acordo com a variação da taxa de filtração. Essa variação nas taxas de filtração e duração dos períodos de carreira, como já mencionado, ocorreram devido a variação da vazão de alimentação do BSF pelo barrilete, o qual não mantinha uma carga constante. Assim, à medida que diminuía a lâmina de água dentro dele, reduzia a vazão de saída pela torneira. Também foi observado que, por vezes, a torneira acoplada a esse barrilete, sofria colmatação, o que provocava a diminuição da vazão de saída pela mesma, mas sempre permanecendo entre as taxas anteriormente mencionadas.

Tabela 5 – Carreira de filtração

Carreira de Filtração	Tempo (dias ou bateladas)	Taxa de Filtração (m³/m².d)
1	6	1,82
2	9	2,6
3	15	2,37
Média	10	2,26

Fonte: elaborada pela autora, 2021.

As carreiras de filtração tiveram duração média de 10 bateladas de 50 litros, variando de 6 a 15 bateladas e uma taxa de filtração média de 2,26 m³/m².d (28,35 mL/min).

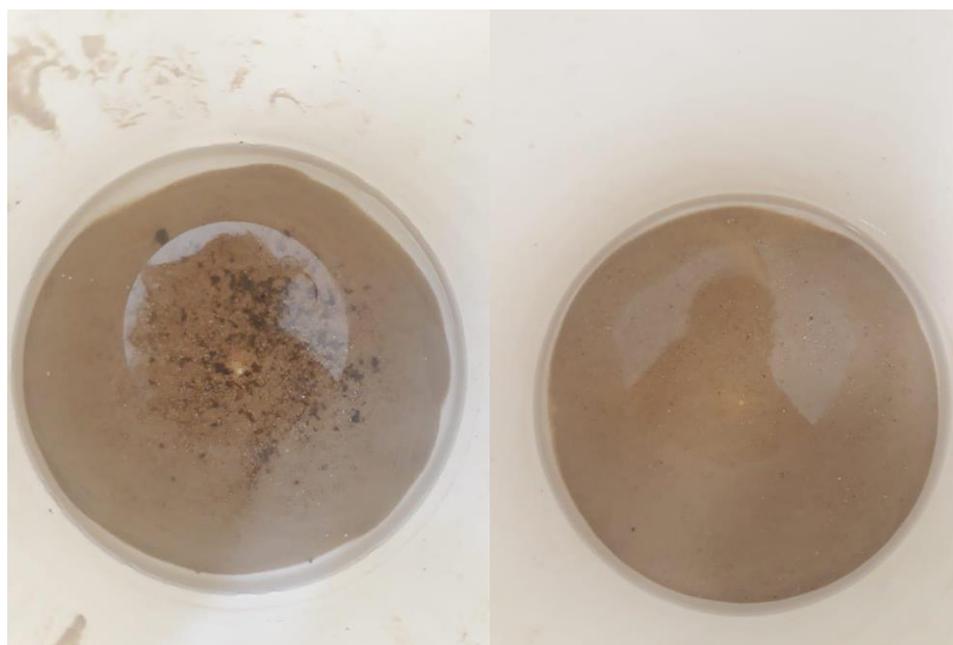
A primeira carreira de filtração iniciou-se no dia 11 de janeiro de 2021 às 08:00 h com término no dia 21 de janeiro de 2021 às 08:00 h, quando a perda de carga atingiu seu ápice, perfazendo 6 bateladas de 50 litros e uma taxa de filtração média nesse período de 1,82 m³/m².d (22,75 ml/min).

A segunda carreira iniciou dia 25 de janeiro de 2021 às 8h e encerrou no dia 08 de fevereiro de 2021 às 8h. perfazendo 9 bateladas de 50 litros e uma taxa de filtração média nesse período de 2,6 m³/m².d (32,6 ml/min). A terceira carreira iniciou dia 10 de fevereiro às

08:00 h e encerrou dia 04 de março às 8h. perfazendo 15 bateladas de 50 litros e uma taxa de filtração média nesse período de 2,37 m³/m²d (29,7 ml/min). Observou-se que, com o passar do tempo de operação, houve um aumento na duração dessas carreiras de filtração, e apesar da variação das taxas, houve uma maior produção de água, à medida que essas carreiras de filtração aconteciam. Acredita-se que esse fenômeno tenha ocorrido devido à aclimatação entre as diversas populações de microorganismos que colonizam o filtro, e assim um melhor funcionamento deste (SALATI, 2010).

O processo de limpeza entre as três carreiras de filtração deu-se por raspagem de 3 a 5 cm da camada superficial de areia, onde era colocado em um recipiente e lavada em água potável. Na Figura 10 podemos observar a raspagem dos primeiros centímetros do filtro com o antes e depois da limpeza de areia.

Figura 12 - Antes e após a limpeza da areia



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

4.2 QUALIDADE DA ÁGUA

A qualidade da água tratada foi comparada aos padrões estabelecidos pela Portaria n^o 888 de 2021 do Ministério da Saúde, devido ao grau de qualidade alcançado após o tratamento. Os demais parâmetros que não são reportados pela portaria estão relacionados ao desempenho do filtro. Como observado na Tabela 6, os parâmetros analisados apresentaram

padrões de qualidade equivalentes aos padrões de potabilidade exigidos pela portaria de consolidação n° 888 do Ministério da saúde.

Tabela 6- Comparação dos parâmetros analisados no processo de tratamento da água da chuva com os padrões de potabilidade da água

Parâmetro	Água bruta	Água filtrada	Água destilada	Padrões de potabilidade da água
Turbidez (uT)	1,17 ±1,12	1,67 ±0,91	0,87 ±0,86	1
Cor aparente (uH)	7,33± 4,21	3,7 ± 4,16	2,47 ±3,62	15 (VMP)
Condutividade elétrica (uS/cm)	14,70 ± 2,51	16,71 ± 4,48	16,38±3,52	-
pH	7,86 ± 1,19	7,48 ± 0,89	7,19 ± 0,73	6,0 – 9,5
Alcalinidade (mg/L)	57,33 ± 22,73	21,33 ± 25,15	18,67 ± 22,85	-
Coliformes totais (NMP/100ml)	Presente em 50% das amostras. Ausente em 50% das amostras	Presente em 13% das amostras. Ausente em 87% das amostras	Ausente em 100% das amostras	Ausente em 100 mL
Coliformes termotolerantes (NMP/100 ml)	Presente em 50% das amostras. Ausente em 50% das amostras	Presente em 13% das amostras. Ausente em 87% das amostras	Ausente em 100% das amostras	Ausência em 100 mL

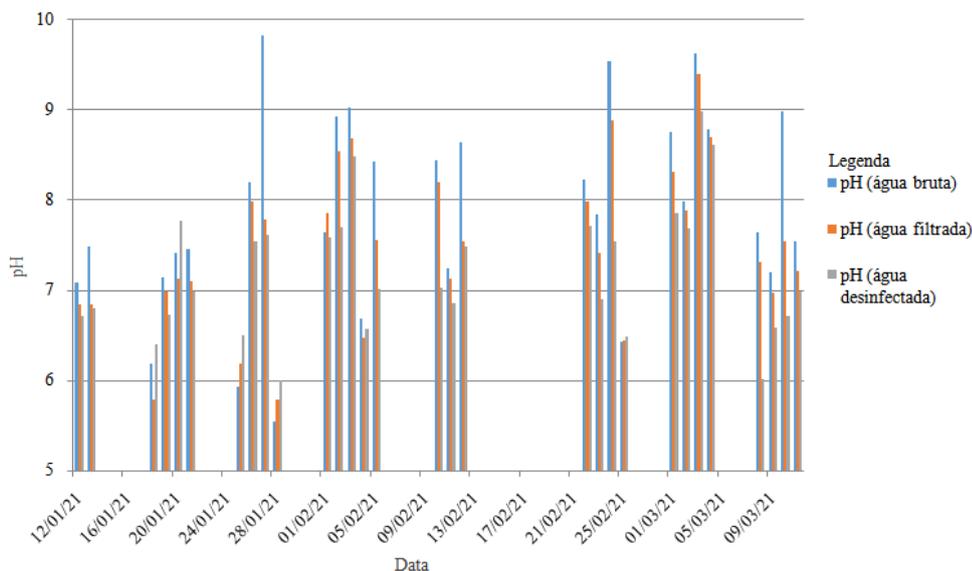
Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

4.2.1 pH

O pH corresponde ao potencial hidrogeniônico de uma solução. Ele é determinado pela concentração de íons de hidrogênio (H⁺) e serve para medir o grau de acidez, neutralidade ou alcalinidade de determinada solução.

No gráfico da Figura 13 é possível observar uma redução dos valores de pH à medida que os processos de tratamento se sucedem. O pH da água bruta é mais elevado. Após o processo de filtração há uma redução desses valores e são menores ainda após a desinfecção.

Figura 13 - Gráfico de valores do pH na água bruta, filtrada e desinfectada



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

O que ocorreu nesse processo pode ser entendido da seguinte maneira: os sais presentes na água e elevam o seu pH, vão sendo eliminados durante os sucessivos processos de tratamento, fazendo o seu valor diminuir (RAVI. T.C *et al*, 2020).

O pH das águas da chuva, geralmente, nas condições normais, é levemente ácido (5,6), devido ao ácido carbônico presente na atmosfera (REIS, 1996). Porém, na maioria das amostras foi possível observar um pH mais elevado, isso pode estar relacionado a área de estudo, pois há pouca incidência, ou quase nula, de poluição atmosférica na região por não haver muitas indústrias que produzem os gases poluentes e também ao fato de o pH estar relacionado com a alcalinidade, e conseqüentemente a presença de minerais na água. Segundo Backes (2007) a água da chuva pode conter elementos minerais resultante de atividades agropastoris, que ocorre na região de Cerro Largo/RS.

Além disso, o pH influencia no desenvolvimento dos microrganismos presentes na camada microbiológica dos filtros lentos (SORGO, 2019). O pH na faixa de 6,5 a 9,5 contribui para o crescimento bacteriano, efetivando o sistema de filtração (OLIVEIRA; FLOR; OLIVEIRA, 2010), o que provavelmente favoreceu o funcionamento do sistema.

4.2.2 Alcalinidade

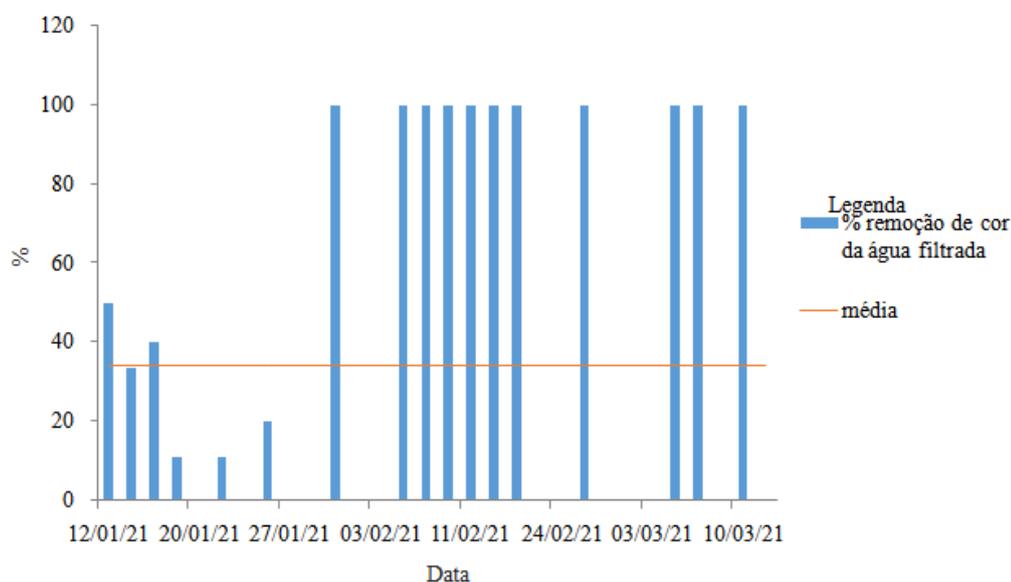
Não foi observada alteração da alcalinidade entre os processos no decorrer do tratamento. Sabe-se que a alcalinidade está relacionada ao pH, onde a alcalinidade é capaz de

quantificar os íons presentes na água para neutralizar esse pH (ROBERTO, 2018). Sperling (2017) relata que a faixa de pH entre 4,4 e 8,3 que se encontra na água, corresponde a presença de bicarbonatos, o que não foi analisado neste estudo, porém, como a maioria dos experimentos de água bruta, filtrada e desinfetada ficaram com valores nessa faixa de pH, certamente haveria uma correlação entre esses parâmetros. Um fato que pode responder a essa ausência de alteração da alcalinidade no decorrer do processo de tratamento é a baixa precisão do método utilizado.

4.2.3 Cor Aparente (UH)

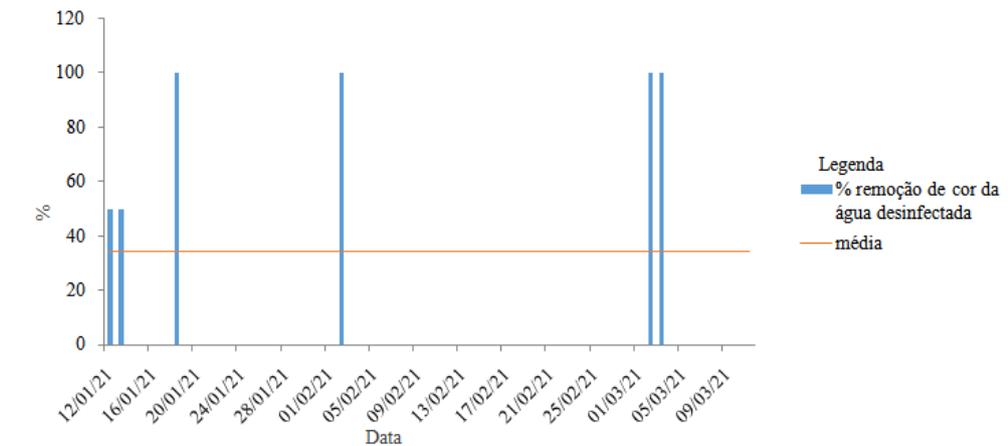
As substâncias dissolvidas e alguns sólidos em suspensão na água estão relacionadas com a cor, onde algumas não são possíveis de remover através de processos físicos como a filtração lenta (DI BERNARDO 1993). A cor está relacionada à concentração de ácido húmico que se mostra proporcional com a atividade bacteriana (FERNANDES, CAVALCANTE e BATISTA, 2019). Porém foi possível obter uma remoção na maioria dos experimentos em índices de até 100%, como mostra o gráfico da Figura 14 e Figura 15.

Figura 14 - Gráfico de remoção de cor no processo de filtração



Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

Figura 15 - Gráfico de remoção de cor no processo de desinfecção



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Na figura 14, pode-se observar remoção de 100% da cor aparente na maioria das amostras, e as que estão em zero (que não aparecem no gráfico da Figura 14) correspondem a cor aparente que já foi removida após a filtração. Nos estudos de Fernandes *et al* (2019), demonstra-se que a concentração de ácido húmico é proporcional ao crescimento bacteriano e a presença de cor aparente em água. Assim, após a exposição da água filtrada por 6h ao sol, ele observou a eliminação de coliformes, e por consequência a remoção da concentração de ácido húmico, que está relacionada à presença de a cor aparente. Assim, também foi observado por esse estudo, onde houve a eliminação de coliformes, e de acordo com os estudos apontados por Fernandes *et. al.* (2019), consequentemente redução da cor aparente, em virtude disso.

4.2.4 Turbidez

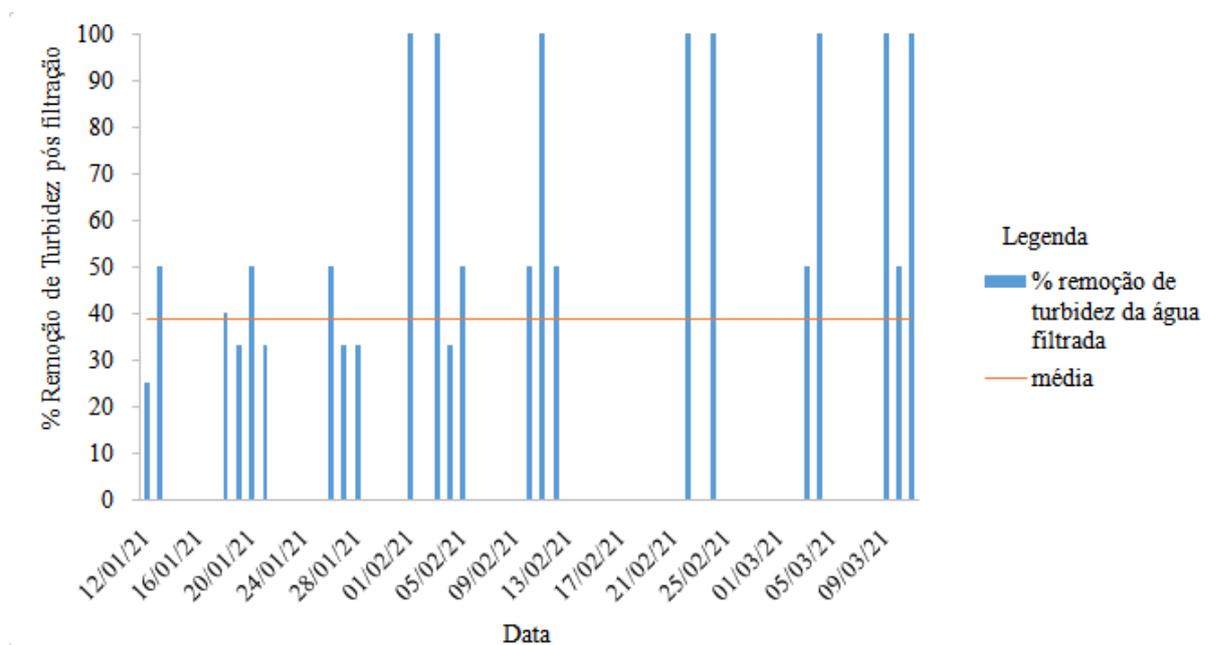
A turbidez está relacionada com a quantidade de sólidos suspensos na água (de origem natural como, por exemplo, areia, silte e/ou matéria orgânica), que sofre interferência da passagem de luz na água (RAPOSO, BARROS e JÚNIOR, 2009). A presença de sólidos suspensos que ocasionam turbidez nas águas provenientes da chuva está relacionada as partículas suspensas na atmosfera, mas substancialmente relacionadas a superfícies de captação dessa água.

Quanto à turbidez, o esperado seria que no início da carreira de filtração a remoção desse parâmetro fosse menor, e à medida que acontecessem as bateladas de filtração, essa remoção aumentasse, pois o filtro ganharia maturidade e melhoraria a qualidade da água

(BASTOS, 2007). Contudo, como foi observado na Figura 14, o comportamento da remoção da turbidez não ocorreu exatamente assim. Primeiro, pelo fato de as análises serem realizadas por batelada, onde não foi possível verificar a evolução do filtro nesse sentido. Mas, observou-se uma excelente remoção no início das carreiras, quase todas acima de 50%. A explicação para isso pode estar relacionada ao processo de limpeza do mesmo. A limpeza foi realizada por raspagem. Como foi um processo bastante complexo de realizar, em virtude das dimensões do filtro, essa raspagem pode não ter retirado completamente o *schmutzdecke*, mantendo a atividade dessa camada biológica em maiores profundidades que a presumida, e tendo ação efetiva nas bateladas posteriores. E à medida que, as bateladas foram acontecendo, as partículas foram carreadas pela filtração prejudicando a qualidade inicial (SABOGAL – PAZ. L. P, CAMPOS. L. C, BOGUSH. A e CANALES. M., 2020).

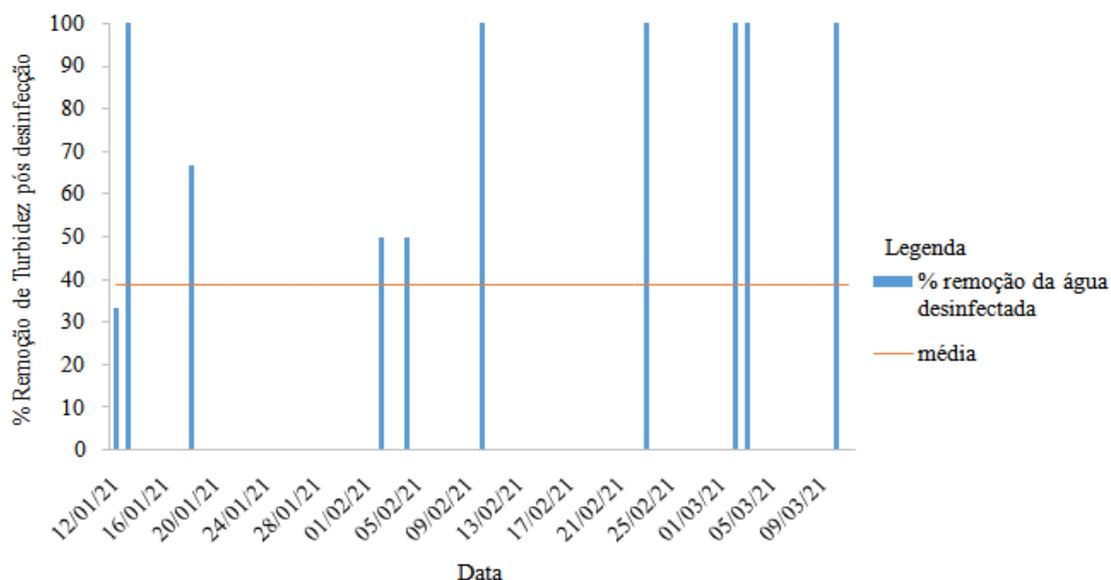
Na figura 16, pode-se observar a redução de 50% turbidez da água bruta pós filtração em metade das amostras e 100% de redução na outra metade por desinfecção. A filtração lenta tem como um dos objetivos a remoção de sólidos presentes na água, ou seja, haverá remoção de turbidez da água filtrada consequentemente (SORGATO, 2019).

Figura 16 - Gráfico da remoção de turbidez no processo de filtração



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Figura 17 - Gráfico da remoção de turbidez no processo de desinfecção



Fonte: Elaborada pelo autor, 2021.

Na Figura 17 pode-se observar remoção de 100% turbidez da água filtrada na maioria dos experimentos pós desinfecção e nos outros casos a turbidez já havia sido removida no processo anterior.

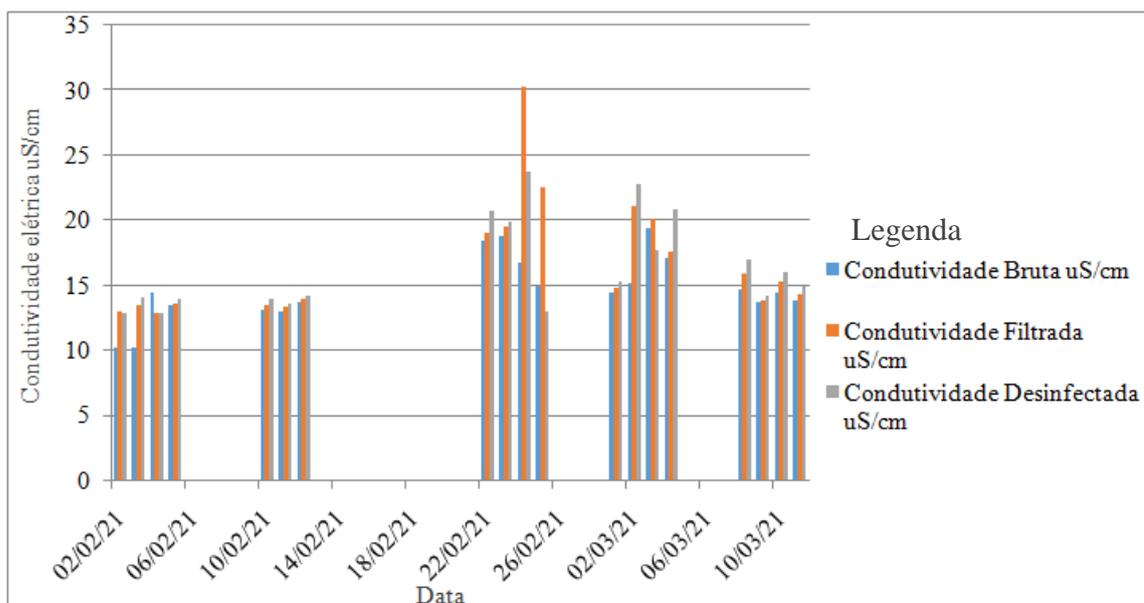
Algumas peculiaridades observadas referente a não remoção da turbidez estão relacionadas à formação de algas na mangueira de saída do BSF. No sistema de desinfecção, o processo de oxidação fotocatalítica pela radiação UV, provavelmente fez com que, a presença dessa matéria orgânica se precipitasse, formando cristais de sólidos que se dissolveram na água, assim não havendo redução de turbidez após esse processo (PASCOAL, *et al.*, 2007).

4.2.5 Condutividade Elétrica

Segundo a Companhia de Ambiental do Estado de São Paulo - CETESB (1992), os sólidos dissolvidos e em suspensão que são compostos de substâncias orgânicas e/ou inorgânicas, que apresentam partículas com diâmetros inferiores a 1,2 μm e em suspensão partículas com diâmetros superiores. A condutividade elétrica se relaciona com os sais indicando a quantidade de íons mono e multivalentes contidos no líquido (SAMPAIO, *et al.*, 2007). Devido a isso, foram feitas análises de condutividade elétrica, de forma a correlacionar a essa presença de sólidos totais dissolvidos (EMBRAPA, 2021).

Na Figura 18, podemos observar o comportamento da condutividade elétrica nas amostras pós-filtração e pós-desinfecção. Pode-se notar que há um aumento da condutividade elétrica à medida que, os tratamentos são realizados.

Figura 18 - Gráfico da condutividade elétrica da água bruta, filtrada e desinfetada



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

Sabe-se que os sólidos presentes na água bruta estão associados aos sólidos suspensos e dissolvidos. Além disso, há a formação de microrganismos nas superfícies de captação da água da chuva, após vários dias sem sua ocorrência. Esses microrganismos são carreados ao reservatório após a ocorrência do evento. (ROCHA, REIS e ARAÚJO, 2011). Assim, quando a água da chuva é encaminhada para o reservatório, leva consigo os sólidos que estavam presentes na área de captação, onde devido a ação da gravidade e seu peso molecular, quando não agitados, tendem a sedimentar para o fundo do reservatório. Como a água da chuva, foi coletada após algumas ocorrências de precipitação, encontrou-se concentrações consideráveis de condutividade elétrica e por consequência a presença de sólidos nessa água bruta (KARESZTESI. Á *et al*, 2020).

Conforme apresentado na Figura 19, foi observada a formação de algas na mangueira de saída do BSF. A mangueira de silicone, por ser transparente, permitiu a passagem de luz. Além do que, a filtração lenta, e a intermitência do BSF, podem caracterizar um ambiente lântico, favorecendo a proliferação das algas (THOMANN E MUELLER, 1987).

Figura 19 - Algas no duto de saída do filtro



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021.

A formação de algas acontece pelos principais fatores como luz e temperatura: quando há passagem de luz na água (pois como elas possuem clorofila e realizam a fotossíntese pela entrada de luz) e as altas temperaturas do verão (TORGAN, 1989).

As algas utilizam os nutrientes da decomposição da matéria orgânica para seu crescimento, assim em maior quantidade, eutrofizam a superfície e assim deixando a água com presença de sólidos. consideradas como sólidos em suspensão consideradas matéria orgânica presentes na água, e em grandes quantidades tornam-se sólidos dissolvidos (CETESB, 2006), justificando assim a elevação da condutividade elétrica após a filtração.

O aumento da condutividade elétrica da água após desinfectada pode estar relacionado à oxidação da matéria orgânica (as algas) durante a exposição pela radiação UV, precipitando e formando cristais o que pode aumentar a condutividade elétrica. Esse fenômeno ocorre porque no processo estão aliadas as reações de oxirredução induzidas pela radiação ultravioleta e a reação fotoquímica, provocadas pelo catalisador (garrafa PET no método SODIS) (PASCOAL, *et al.*, 2007).

4.2.6 Coliformes Totais e E. Coli

Conforme já mencionado, a contaminação microbiana das águas é extremamente importante, devido ao seu potencial patogênico. Na água, é relativamente comum a presença de bactérias do gênero Enterobacteriaceae (coliformes), que podem ser responsáveis por uma variedade de doenças, principalmente infecções intestinais (MURRAY, 2000 & TORTORA,2000).

Os coliformes totais são bacilos gram-negativos, aeróbios ou anaeróbios facultativos, não esporogênicos, oxidase-negativos, que fermentam lactose com produção de gás a $35,0 \pm 0,5^{\circ}\text{C}$ em 24-48 horas. Estes coliformes fazem parte da microbiota residente do trato gastrointestinal do homem e de alguns animais. A presença de coliformes totais não é uma indicação útil de contaminação fecal, pois este grupo inclui diversos gêneros e espécies de bactérias não entéricas como Serratia e Aeromonas. No entanto, a sua presença e número são indicativas da qualidade higiênico-sanitária de um produto. Em condições normais, os coliformes não são, por si só, patogênicos, porém algumas linhagens ou a proliferação destes microrganismos podem causar diarreias e infecções urinárias (JAWETZ,2000 & SILVA, 2001).

Os coliformes termotolerantes diferenciam-se dos coliformes totais por fermentarem lactose com produção de gás a uma temperatura de $44,5 \pm 0,2^{\circ}\text{C}$ em 24 horas. O principal representante do grupo termotolerante e o indicador mais específico de contaminação fecal e de eventual presença de organismos patogênicos é a Escherichia coli (E.Coli.). E em virtude disso, a determinação de presença/ausência na água, torna-se de extrema importância, quando busca-se fazer uma indicação para o seu uso, para fins potáveis ou não.

De acordo com os resultados obtidos para as análises desses parâmetros antes e após os diferentes processos de tratamento, observou-se que na água bruta havia a presença de coliformes totais em 50% das amostras, e em todas elas havia a presença de E.Coli. Nas análises realizadas para a água filtrada, havia a presença de coliforme totais em apenas 13% das amostras, e em todas elas havia a presença de E. Coli. Já nas águas desinfetadas não foi detectada a presença de coliformes, conforme apresentada na Tabela 7.

Tabela 5– Remoção de coliformes no tratamento da água da chuva

Parâmetro	Água bruta	Água filtrada	Água desinfectada	Padrões de potabilidade da água
Coliformes Totais (NMP/100ml)	Presente em 50% das amostras. Ausente em 50% das amostras	Presente em 13% das amostras. Ausente em 87% das amostras	Ausente em 100% das amostras	Ausente em 100 mL
Coliformes Termotolerantes (E.Coli.) (NMP/100 ml)	Presente em 50% das amostras. Ausente em 50% das amostras	Presente em 13% das amostras. Ausente em 87% das amostras	Ausente em 100% das amostras	Ausência em 100 mL

Fonte: Elaborado pela autora, 2021.

A presença de coliformes totais e *E. Coli* na água bruta é esperada, pois esses contaminantes chegam até ela através do contato com as áreas de captação dessa água da chuva (ROCHA, REIS e ARAÚJO, 2011), havendo presença em 50% das amostras analisadas. Contudo, foi detectada ausência em 50% das amostras analisadas, esse fato pode ser explicado por Sorgato (2019). De acordo com esse autor, as grandes quantidades de oxigênio dissolvido presentes no processo de captação da água contribuem para a ação microbiológica aeróbia eliminando a presença de coliformes (SORGATO, 2019).

A remoção de coliforme pelo BSF era esperada. A formação e ação do *Schmutzdecke*, contribuiu para a eliminação dos coliformes totais e *E. Coli* em 87% das amostras (BELLAMY, *et al.*,1985). Não foi realizada a redução de oxigênio dissolvido na água, mas ele possui papel preponderante na ação dessa camada biológica. O consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos promove a inibição de parasitas, bactérias e vírus provenientes da água bruta (MANZ, 2007).

A eliminação de coliformes totais e *E. Coli* em 100% das amostras de água desinfectada está relacionada ao processo de oxidação fotocatalítica que faz a inibição dos microrganismos, quando expostos a radiação solar, por um período de 6h diárias, além de, o fato do, concentrador solar ter aumentado o aquecimento da água e potencializado o funcionamento do SODIS (CORDEIRO, LEITE e DEZOTTI, 2004; PATERNIANI e SILVA,

2005). Por não haver presença de coliformes totais e termotolerantes na água desinfetada, esse processo de tratamento atingiu o objetivo esperado. Na figura 20 podemos observar a presença de coliformes na água bruta.

Figura 20 - Coliformes totais e termotolerantes



Fonte: Elaborado pelo autor, 2021. Nota: a) Coliformes apenas na água bruta. b) Sem presença de coliformes nas amostras de água bruta, filtrada e desinfetada

4.3 ÍNDICES DE RADIAÇÃO SOLAR

Observou-se que no período de realização do experimento durante os meses de janeiro, fevereiro e início de março de 2021, as condições necessárias para a realização do tratamento por desinfecção através da radiação solar foram satisfatórias para sua efetiva aplicação, conforme indicado pelo Guia de aplicações do SODIS (EAWAG / SANDEC, 2002), a água a uma temperatura de 30°C, necessita de 555 W.h/m² (radiações solares de comprimento de onda entre 350-450 nm, por 6 horas de meia-latidade do sol de verão de meio-dia) para alcançar uma redução de 3 log de coliformes fecais. Abaixo desta temperatura, somente a radiação UVA terá efeito. (CAVALLINI, 2018).

Na tabela 8, observa-se os valores de radiação solar obtidos nos meses de análise.

Tabela 8 - Valores de radiação solar de Janeiro à Março

Parâmetro		Média± Desvio Padrão	Máxima	Mínima
Radiação (Wh/m ²)	Solar	1059,5 ± 195,96	1376	548

Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

4.10 DESINFECÇÃO POR RADIAÇÃO SOLAR (W/M²)

A radiação solar máxima registrada durante o período de realização do experimento foi de 1376 Wh/m², onde verificou-se, a eliminação de 100% dos coliformes remanescente da água. Mas, mesmo em dias de menor radiação (548 W/m²) houve a eliminação total de coliformes.

O que pode ter potencializado o funcionamento do sistema, foram o emprego do fundo negro da garrafa (metade foi pintada de preto) e o uso do concentrador solar, otimizando a captação dos raios solares, e direcionando esses para o fluido (Figura 21).

Figura 21 - Sistema de desinfecção



Fonte: Elaborada pela autora, 2021.

Foi observado também, que nos dias em que a garrafa PET ficou exposta ao sol, a mesma ficou danificada, conforme Figura 22.

Figura 22 - Deformação da garrafa PET no processo de desinfecção



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2021.

Segundo Wegelin *et al* (1994) a determinação da vida útil de um material, quando exposto ao sol, como a garrafa PET, é determinada pela transmitância de UV, chegando a um comprimento de onda de 257 nm. Nesse ponto há uma redução da vida útil do material, caindo para até 6 meses, se o uso for contínuo e, isso ocorre pelas modificações ópticas e mecânicas da garrafa PET e pelas reações fotoquímicas (WEGELIN *et al.*, 2000).

Essas reações não causam nenhum efeito na água. Estudos realizados por Wegelin (2008) demonstraram que o método SODIS (desinfecção solar de água) não oferece riscos à saúde humana, pois os elementos carcinogênicos são insignificantes, quando há modificação do material pela incidência solar. Lembrando que as garrafas PET não possuem Bisfenol A (BPA) em sua composição.

Não foi possível estabelecer correlação entre os índices de radiação solar obtidas pela estação automática meteorológica da UFFS campus Cerro Largo, e os demais parâmetros analisados, como turbidez e cor aparente. Muito provavelmente não houve correlação pela interferência de outros elementos, com o concentrador solar e o fundo negro. Contudo, é sabido e foi constatada a melhoria desses parâmetros após o processo de desinfecção. E que há uma relação entre a magnitude dos índices de radiação com o grau de remoção desses parâmetros já citados, conforme indicam os estudos de Santos *et. al.* (2009).

5 CONCLUSÃO

A filtração lenta associada ao sistema de desinfecção por radiação solar conseguiu eliminar da água 100% de coliformes totais e E. Coli. Essa tecnologia associada mostrou-se bastante eficiente e como resultados promissores na remoção desses contaminantes microbiológicos.

Os filtros lentos BSF mostraram-se eficientes para a remoção de Coliformes Totais e E. Coli, conforme já relatados amplamente pela bibliografia, alcançando remoção de 100% para ambos os parâmetros. Houve também uma remoção satisfatória dos parâmetros de cor aparente (100%) e turbidez (50%). Segundo Murtha, Heller e Líbano (1997), o filtro lento vem sendo subutilizado no país, onde pode se configurar em uma alternativa simples e economicamente viável para o tratamento de águas de abastecimento para comunidades de pequeno porte no Brasil, além de, possuir vantagens em relação aos processos convencionais nos quesitos: custo de implantação, operação e manutenção; facilidade operacional e redução da utilização de produtos químicos.

Verificou-se através de análises microbiológicas, que após 6 horas de exposição ao sol onde a temperatura alcançou 31,6°C, que houve uma remoção total de coliformes totais e E. Coli remanescentes da filtração lenta, pela ação da radiação solar. Observou-se também que após o processo de desinfecção houve um decréscimo dos parâmetros de cor aparente e turbidez em remoção de 100% para os dois parâmetros, contudo, não foi possível encontrar uma correlação com os índices de radiação solar registrados pela estação automática instalada no campus da universidade.

Os parâmetros pH, alcalinidade e condutividade, permaneceram praticamente estáveis durante o tratamento e comportaram-se de acordo com o esperado.

Não é possível garantir a potabilidade da água, pois não foram realizadas todas as análises determinadas pela portaria de consolidação nº5 do Ministério da Saúde. Conforme já comentado na revisão bibliográfica, o Instituto de pesquisas tecnológicas (IPT), em publicação realizada em 2015, recomenda evitar o consumo da água da chuva, pois ela pode conter contaminantes, e seu uso somente é indicado ao consumo em situações extremas (quando não houver água de melhor qualidade), e desde que, a água tenha sido coletada de forma adequada, passando por um sistema de filtração e por um processo de desinfecção. Além do que, nessa mesma publicação, é indicado outros usos possíveis para a água da chuva tratada,

como o banho, lavagem de roupas e lavagem de louças, o que já auxiliaria no consumo doméstico.

A pesquisa feita em escala piloto pode ser colocada em prática. É viável que seja realizada em maior escala, para atender maior demanda. Constata-se através da realização desse estudo, que essas tecnologias associadas podem ser uma opção para regiões do Brasil, que passam por situações de crise hídrica. Esse tratamento alternativo possui grandes vantagens como, a alta eficiência na remoção de coliformes e custo benefício em sua montagem.

Recomendações para trabalhos futuros

Recomenda-se uma análise mais ampla dos parâmetros de qualidade da água para verificar seu enquadramento dentro dos quesitos pré-determinados pela portaria de consolidação nº05 do Ministério da saúde, e assim, indicar seu uso ou não ao consumo.

Também se recomenda um melhoramento do sistema filtração lenta intermitente (BSF), e um acompanhamento mais apurado de seus mecanismos de funcionamento, visto que, a formação da camada biológica está muito suscetível a variação da qualidade da água bruta, taxas de filtração, temperatura, oxigênio dissolvido, intermitência entre as bateladas, entre outros parâmetros.

Sugere-se ainda, um estudo para otimizar o tempo de exposição das águas filtradas durante o processo de desinfecção, além de buscar estabelecer a relação entre os parâmetros de qualidade da água analisados, com os índices de radiação e o tempo de exposição.

REFERÊNCIAS

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. **Instalações prediais de águas pluviais – Procedimentos**: NBR 10844. Rio de Janeiro,1989.

ABNT - Associação Brasileira De Normas Técnicas. **Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. NBR 15527. Rio de Janeiro, 2007.

AMMAR. A., RIKSEN. M., OUESSAR. M, e RITSEMA. C. **Identification of suitable sites for rainwater harvesting structures in arid and semi-arid regions: A review**. International Soil and Water Conservation Research, Volume 4, Issue 2,2016,

ANA - **Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico** . Uso da água. 2020.

ACRA. A, RAFFOUL. Z, R KARAHAGOPIAN. Y. **Solar Disinfection of Drinking Water and Oral Rehydration Solutions: Guidelines for Household Application in Developing Countries**, UNICEF, 1984.

ALI. A. M, SHAFIEE M. E, BERGLUND. E.Z. Agent-based modeling to simulate the dynamics of urban water supply: Climate, population growth, and water shortages. **Sustainable Cities and Society**. Volume 28. 2017.

ALMEIDA. D. F. C. **Controle e Redução de Perdas Reais em Sistemas de Abastecimento de Água**. Universidade de São Paulo - Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária, São Paulo, 2003.

ALMEIDA. M. S, SOUSA. A. O, ALMEIDA. A. P. A. **Tratamento de água: Sistema filtro lento acoplado a um canal de garrafas PET**. II Workshop Internacional Sobre Água No Semiárido Brasileiro. 2015.

APHA -American Public Health Association. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. New York, NY, 20 ed., 2005.

ARTICULAÇÃO SEMIÁRIDO BRASILEIRO. **Programa Um Milhão de Cisternas**. Disponível em: Acesso em: 15 jan. 2015.

AMARAL, L. A. et al. **Uso da radiação solar na desinfecção da água de poços rasos**. Arquivos do Instituto Biológico, São Paulo, v. 73, n. 1, p. 45-50, 2006.

BACKES, A. **Precipitação pluviométrica e concentração de nutrientes minerais na água de chuva na região da Floresta Nacional de São Francisco de Paula**, Rio Grande do Sul, Brasil. Pesquisas, Botânica, v. 58, p. 331-345, 2007.

BAILEY, R. T. et al. Sustentabilidade dos sistemas de captação de água da chuva para pequenas comunidades insulares. **Journal of Hydrology**, p. 137-146, 2018.

BASTOS. F.P **Tratamento De água de chuva através de filtração lenta e desinfecção Uv**. Universidade Federal Do Espírito Santo. Vitória, 2007.

BARRETT *et al* (1991). **O direito a uma educação eficaz**. *The Behavior Analyst*, 1991.

BERTHOLINI. T. M e BELLO.A. X. S. **Desinfecção de água para consumo humano através do método SODIS: Estudo de caso em localidade rural do município de Cuiabá - MT**. Universidade Federal de Mato Grosso. Cuiabá, 2011.

BERNI, I. et al. Health and ecological risk assessment based on pesticide monitoring in Saïss plain (Morocco) groundwater. **Environmental Pollution**, v. 276, p. 116638, 2021.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Portaria Nº 518, DE 25 de março de 2004**. Estabelece as responsabilidades por parte de quem produz a água, a quem cabe o exercício do controle de qualidade da água e das autoridades sanitárias, a quem cabe a missão de “vigilância da qualidade da água” para consumo humano. 2004.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Portaria Nº 2.914, De 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 2011.**

BRASIL. **Ministério da Saúde. Portaria Nº 888, DE 04 de maio de 2021.** Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. 2021.

BRASIL. **Lei Nº 12.787, De 11 de Janeiro de 2013.** Dispõe sobre a Política Nacional de Irrigação; altera o art. 25 da Lei nº 10.438, de 26 de abril de 2002; revoga as Leis nºs 6.662, de 25 de junho de 1979, 8.657, de 21 de maio de 1993, e os Decretos-Lei nºs 2.032, de 9 de junho de 1983, e 2.369, de 11 de novembro de 1987; e dá outras providências. 2013.

BRITO, C. N., ARAÚJO, E. G. e MARTÍNEZ-HUITLE, C. A. **Aplicação de métodos oxidativos avançados para a desinfecção de água.** Rev. Virtual Química, 2015.

CAMPER A.K. , MCFETERS G.A. **Lesão de cloro e a enumeração de bactérias coliformes transmitidas pela água.** Appl. Environ. Microbiol. 1979.

CASAGRANDE. J E SARMENTO. R. O. **Uso de modelagem matemática de qualidade de água no controle de cloro residual em sistemas de distribuição.** Universidade Federal Do Espírito Santo. 19o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995.

CAVALLINI, G. S.; DA SILVA ARAUJO, D. L. B.; LIMA, J. G. F. **Desinfecção de água de poço por radiação solar (SODIS).** DESAFIOS - Revista Interdisciplinar Da Universidade Federal Do Tocantins, v. 5, n. Especial, p. 66-73, 2018.

CAWST –Centre of Affordable Water and Sanitation Technology. **Biosand Filter manual design, construction, installation, operation and maintenance.** 2009.

CAWST –Centre of Affordable Water and Sanitation Technology. **Biosand Filter for Technicians.** Calgary, Alberta, Canada: 2012.

CETESB -Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Nota Técnica sobre tecnologia de controle-Indústria Têxtil -NT-22.** São Paulo, 1992.

CETESB. **Matéria Orgânica e Nutrientes.** Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/mortandade-peixes/alteracoes-fisicas-e-quimicas/materia-organica-e-nutrientes/>. Acesso em: 19/03/2021.

CORDEIRO, A. C. de S.; LEITE, S. G. F.; DEZOTTI, M. **Inativação por oxidação fotocatalítica de Escherichia coli e Pseudomonas sp.** Química nova, v. 27, n. 5, p. 689-694, 2004.

CHOPPARAPU. R. T., CHENNAIAH. M. B., SRIVALLI. G., RAJU. S. K., KUMAR. E. D, SYCAM. V. e DASARI. R. **Biodegradable polymer filter made from fiber composites for addition of minerals and salts to water, Materials Today: Proceedings, Volume 33, Part 8,** 2020.

CRUZ. F. **São Paulo sofreu pior crise de água da sua história em 2014.** Revista Agência Brasil. São Paulo, 2014.

DE MELO ROCHA, B. C. C.; REIS, R. P. A.; DE ARAÚJO, J. V. G. **Avaliação do volume necessário de descarte de água de chuva escoada sobre coberturas de diferentes materiais.** REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, v. 2, n. 1, 2011.

DETONI T. L e DONDONI. P. C. **A Escassez da água: um olhar global sobre a sustentabilidade e a consciência acadêmica.** Universidade Federal Tecnológica do Paraná, 2008.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico (Brasil). **Tratamento de águas de abastecimento por filtração em múltiplas etapas.** Rio de Janeiro: ABES, 1999.

DI BERNARDO, L e DI BERNARDO.A.D. **Métodos e técnicas de tratamento de água, 2ª ed.** São Carlos: Rima, 2005.

DI BERNARDO, L. **Métodos E Técnicas De Tratamento De Água,** Vol. 2. Abes, Rio De Janeiro, 1993.

DORMIDO. H. **These Countries Are the Most at Risk From a Water Crisis.** Revista Boomerang, 2019.

DUKE, W. F.; NORDIN, R. N.; BAKER, D.; MAZUMBER, A. The use and performance of BioSand filters in the Artibonite Valley of Haiti: a field study of 107 households. **Rural and Remote Health,** 2006.

EMBRAPA - Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Condutividade.** Disponível em: <https://www.cnpma.embrapa.br/projetos/ecoagua/eco/condu.html>. Acesso em: 19 abr. 2021.

EMB TEC - Embalagens Tecnológicas. **Contaminação do lençol freático por resíduos perigosos.** Rio Grande do Sul, 2018.

EAWAG/SANDEC. **Training manual for SODIS promotion,** Dübendorf, Suíça, p.1-88, 2005.

FAO. **Água na agricultura.** Roma, 1998.

FECHINE G.J.M, RABELLO M.S, SOUTO-MAIOR R.M. **The effect of ultraviolet stabilizer on the photodegradation of poly(ethyleneterephthalate).** Polymer Degradation and Stability, n. 75 Volume.1, 2002.

FERNANDES, C.; CAVALCANTE, F.; BATISTA, R. Desinfecção solar de efluentes sanitários. Natal: IFRN, 100 p., 2019.

FINKLER. L. A., HOFFMANN. J. I., BIRCK. A. Z ., OLIVEIRA. B. F., et al. **Avaliação da qualidade da água da chuva em um município da região das Missões/RS, suas potencialidades de uso e possíveis tratamentos.** Universidade Federal da Fronteira Sul. XIII ENAU. Cerro Largo, 2020.

FREITAS. E. S e GUDIO. R.D. Crise ecológica, escassez hídrica e ideologias: uma análise crítica da Carta de 2070. **Revista Sociedade e Natureza,** v. 27 n. 3, 2015.

FUNASA- Fundação Nacional de Saúde. **Manual Prático de Análise de Água**. Brasil, 2019.
GUEDES, T. L. **Tratamento de água de chuva através de microfiltração tangencial**.
Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico,
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2012.

HAAS C.N. , ENGELBRECHT R.S. **Dinâmica do cloro durante a inativação de coliformes, bactérias ácido-resistentes e leveduras**. Water Res. 1980.

HAGEMANN, S. E. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, 2009.

HESPANHOL, I. **Potencial de reúso de água no Brasil: agricultura, indústria, municípios, recarga de aquíferos**. Revista Brasileira de Recursos Hídricos - RBRH, Porto Alegre, ed. comemorativa, v.7, n.4, p.75-97, dez. 2002.

HERRERA, A. G., **Desinfección solar del agua**, IMTA – Instituto Mexicano de Tecnología del Agua. México, 2003.

Histórico das doenças de veiculação hídricas no Brasil. Revista Saneamento em Pauta, 2017.

HE, G. et al. **Impact of food consumption patterns change on agricultural water requirements: An urban-rural comparison in China**. Agricultural Water Management, v. 243, p. 106504, 2021.

HELLER, L; PÁDUA, V. L. de. **Abastecimento de água para consumo humano**. Editora UFMG. 2ª edição, Belo Horizonte, 2010.

HOEKSTRA, A. Y. **‘Virtual water trade: Proceedings of the International Expert Meeting on Virtual Water Trade’, Value of Water Research Report Series No 12, UNESCO-IHE, Delft, Netherlands, 2004**.

HUISMAN, L & WOOD, W. E. **Slow sand filtration**. World Health Organization, 1974.

HYMNO, F. SOUZA. **Influência do diâmetro do meio filtrante em filtros lentos retro laváveis**. Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico. Florianópolis, 2013.

IORIS. A. A. R. **Passado e presente da política de gestão dos recursos hídricos no Brasil**. Revista Finisterra, 2006.

JACOBI. R. J, EMPINOTTI. V. L e SCHMIDT. L. **Escassez hídrica e direitos humanos**. Ambiente & Sociidade. São Paulo, 2016.

JAWETZ, MELNIK, ADELBERG. **Microbiologia Médica** 21ª.ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan; 2000.

KANNO, G. G. et al. Estimation of rainwater harvesting potential for emergency water demand in the era of COVID-19. The case of Dillatown, Southern, Ethiopia. **Environmental Challenges**, v. 3, p. 100077, 2021.

KENYON (1929). In: SILVA, A. S., BRITO, L. T. L., ROCHA, H. M. (1988) - **Captação de água da chuva no semi-árido brasileiro: Cisternas rurais II; Água para consumo humano**. EMBRAPA-CPATSA. Circular técnica Petrolina, 2016.

KERESZTESI. Á. *et al.* **Assessing the variations in the chemical composition of rainwater and air masses using the zonal and meridional index**. Atmospheric Research, Volume 237, 2020.

KHADRE, M. A., YOUSEF, A. E. e KIM, J. G. **Microbiological Aspectsof Ozone Applications in Food**. A Review. Jour. Fd. Scie., 2001.

L. A. DANIEL. **Processos de Desinfecção e Desinfetantes Alternativos na Produção de Água Potável**. Prosab (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico). Abes (Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental), Rio de Janeiro, 2001.

LEAL, G. C. G.; DE FARIAS, M. S. S.; ARAUJO, A. F. **O processo de industrialização e seus impactos no meio ambiente urbano**. Qualitas revista eletrônica, v. 7, n. 1, 2008.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3ª edição, Campinas:Átomo, 2010.

LI. K, HAJAR. S, DING. Z, DOOLING. T, et al. Dynamicoptimizationof input productionfactors for urban industrial watersupplyanddemand management. **Journalof Environmental Management**. Volume 27, 2020.

LI, Y. et al. The association bet ween toxic pesticide environmental exposureand Alzheimer's disease: A scientometricand visualization analysis. **Chemosphere**, p. 128238, 2020.

LLANOS. E.G, BARROSO. P.D e RAMÍREZ. R.R. Analysisofconsumerawarenessofsustainablewaterconsumptionbythewaterfootprintconcept**Science of The Total Environment**,V. 721, 2020.

MANZ, D. H. **BioSandWaterFilter Technology: Household Concrete Design**. Apr. 30,2007.

MARNOTO, M. J. E. **Expansão da areia durante a retrolavagem dos filtros lentos – influência sobre a qualidade da água para abastecimento e a duração das carreiras**. 79 p.Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental),Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina,Florianópolis, 2008.

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

MIORANTO. T., BRIÃO. V.B e GIRARDELLI. L.**Potabilização de água da chuva por ultrafiltração**. Eng. Sanit. Ambient. vol.22 no.3 Rio de Janeiro May/June. 2017.

MILLINGTON, N. **Producingwaterscarcity in São Paulo, Brazil: The 2014-2015 watercrisisandthebindingpoliticsofinfrastructure**. PoliticalGeography, v. 65, p. 26-34, 2018.

MORGADO, W. F. F. **Desinfecção de águas naturais por radiação solar utilizando os bioindicadores: Escherichia coli e Clostridium perfringens.** Dissertação (Mestrado em Engenharia do Meio Ambiente) - Universidade Federal do Goiás, Goiânia, 2008.

MULWAFU. W, CHIPETA. C, CHAVULA. G, A. FERGUSON. A, NKHOMA. BG, CHILIMA. G. **Gestão da demanda de água no Malawi: problemas e perspectivas para sua promoção.** Malawi, 2003.

MURTHA. N. A e HELLER. L. **A filtração lenta em areia como alternativa tecnológica para o tratamento de águas de abastecimento no Brasil.** Universidade Federal De Minas Gerais. 19o Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1995.

MURTHA. N. A. **Avaliação da influência de variáveis hidráulicas, parâmetros de projeto e das características da água bruta na eficiência de filtros lentos de areia.** Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1998.

OLIVEIRA, A. N.; FLOR, N. S.; OLIVEIRA, L. A. **Influência do pH e temperatura sobre a atividade amilolítica de rizóbios isolados de solos da Amazônia.** Acta Amazonia, vol. 40, n.v. Amazônia, 2010.

OMS - Organização Mundial da Saúde e UNICEF - Fundo das Nações Unidas para a Infância **Progresso em água potável, saneamento e higiene: atualização de 2017 e linhas de base dos ODS.** Suíça, 2017.

Ozônio. Snatural Tecnologias Ambientais LTDA. 2013.

PALA, G. K. et al. Rainwater harvesting - A review on conservation, creation & cost-effectiveness. **Materials Today: Proceedings**, 2021.

PASCOAL, S. de A. et al. **Aplicação de radiação UV artificial e solar no tratamento fotocatalítico de efluentes de curtume.** Química nova, v. 30, n. 5, p. 1082-1087, 2007.

PASCHOALETO A. R. *et al.* **PNUMA - Programa das Nações Unidas para Meio Ambiente.** Sinus 2014, 2014.

PATERNIANI, J. E. S.; CONCEIÇÃO, C. H. Z. de. Eficiência da pré-filtração e filtração lenta no tratamento de água para pequenas comunidades. **Engenharia Ambiental**, vol. 1, n.1, p. 17-24, Espírito Santo do Pinhal, 2004.

PATERNIANI, J. E. S.; SILVA, M. J. M. da. Desinfecção de efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (SODIS): avaliação do uso do dispositivo para concentração dos raios solares. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 10, n. 1, p. 09-13, 2005.

PICCOLI, A. S. et al. **A Educação Ambiental como estratégia de mobilização social para o enfrentamento da escassez de água,** Ciência & Saúde Coletiva, v. 21, n. 3, p. 797-808, 2016.

PIZZOLATTI, B. S. **Estudo de limpeza de filtro lento por raspagem e retrolavagem.** 120p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2010.

POERSCH, F. C. de A. **Sistema de filtros lentos descendentes com retrolavagem sem reservatório elevado**. 90 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2012.

RAPOSO, A. A.; BARROS, LF de P.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. P. M. **O parâmetro de turbidez das águas como indicador de impactos humanos na dinâmica fluvial da bacia do rio maracujá - Quadrilátero Ferrífero/MG**. In: XIII Simpósio Brasileiro de Geografia Física Aplicada. Viçosa: UFV, 2009.

REYNEKE, B. et al. **Rainwater treatment technologies: Research needs, recent advances and effective monitoring strategies**. Current Opinion in Environmental Science & Health, v. 16, p. 28–33, 2020.

RICHARDS, S. et al. **Sustainable water resources through harvesting rainwater and the effectiveness of a low-cost water treatment**, Journal of Environmental Management, v. 286, p. 112223, 2021.

REHNER TA, KOLBO JR, TRUMP R, SMITH C, REID D. **Depression among victims of south Mississippi's methylparathion disaster**. Health Soc Work 2000.

REIS. E. F. J. **A importância dos estudos das chuvas ácidas no contexto da abordagem climatológica**. Feira de Santana, 1996.

REED, R.H. **Innovations in solar water treatment**. In: 23rd WEDC CONFERENCE WATER AND SANITATION FOR ALL: PARTNERSHIPS AND INNOVATIONS. Durban, South Africa, 1997.

ROBERTO. M. L. **Avaliação da qualidade da água bruta, tratada e distribuída de um estabelecimento produtor e comercializador de alimentos**. Juiz de fora, 2018.

ROCHA. B. B. B. M., REIS. R. P; A E ARAÚJO. J. V. G. **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, 2011.

RORIZ. V. F. **Construção efeitos de ondulação e rugosidade de superfícies sobre suas absortâncias e emitâncias: modelo teórico e experimental**. Universidade Estadual de Campinas Campinas, 2011.

SABOGAL-PAZ. L. P., CAMPOS. L. C., BOGUSH. A. e CANALES. M. **Household slow sand filters in intermittent and continuous flows to treat water containing low mineral ion concentrations and Bisphenol A**. Science of The Total Environment, Volume 702, 2020.

SARMENTO, M. I. de A. et al. **Captação e aproveitamento de água da chuva em residências rurais no Município de Nazarezinho - Paraíba**. Revista de Agroecologia no Semiárido, Paraíba, v. 1, n. 1, p. 24-33, 2017.

SÁNCHEZ .S COHIM. S, KALID. R. A. A review on physicochemical and microbiological contamination of roof-harvested rainwater in urban areas. **Sustainability of Water Quality and Ecology**, Volume 6. 2015.

SALATI, D. S. **Desempenho da filtração lenta com diferentes períodos de amadurecimento no tratamento de águas contendo elevadas densidades de células tóxicas de *Microcystis aeruginosa***. Dissertação (Mestrado em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos) - Universidade de Brasília, Brasília, 2010.

SAMPAIO, S. C. et al. **Relação entre série de sólidos e condutividade elétrica em diferentes águas residuárias**. Irriga, v. 12, n. 4, p. 569-574, 2007.

SANTOS, I. P. *et al.* **Integração de painéis solares fotovoltaicos em edificações residenciais e sua contribuição em um alimentador de energia de zona urbana mista**. Universidade Federal de 707 Revista Brasileira de Energias Renováveis, v.8, n.4, p.698- 707, 2019 .Santa Catarina – UFSC, Programa de pós-graduação em engenharia civil – PPGEC. Florianópolis - SC, fevereiro de 2009.

Sistema nacional de informações sobre saneamento –SNIS. **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos**. Brasília, 2019.

SCHMID, P. et al. **Does the reuse of PET bottles during solar water disinfection pose a health risk due to the migration of plasticisers and other chemicals into the water?**. Water research, v. 42, n. 20, p. 5054-5060, 2008.

SILVA, A. de S.; BRITO, LT de L.; ROCHA, H. M. **Captação e conservação de água de chuva no semi-árido brasileiro: cisternas rurais II - água para consumo humano**. EMBRAPA-CPATSA: SUDENE, 1988.

SILVA, M. C. C. da. **Estudo sobre sistemas de destilação solar direta para potabilização de água**. 2014. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2014.

SIZIRICI, B. Modified biosand filter coupled with a solar water pasteurizer decontamination study. **Journal of Water Process Engineering**, vol. 23, p. 277-284, 2018.

SOUZA, F. H. **Influência do diâmetro efetivo do meio filtrante em filtros lentos retrolaváveis**. 44 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental), Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

SOUZA JF, NETO MRF, SOUZA MAS, VENEU DM. **Aproveitamento de água de chuva para usos não potáveis na Universidade Severino Sombra**. Revista Eletrônica Teccen. Rio de Janeiro, 2016.

SORGATO. A. C. **Desempenho de filtro lento intermitente utilizando diferentes meios filtrantes e granulometrias**. Universidade Federal De Santa Maria. Frederico Westphalen. 2019.

SODIS; **Climatic Conditions: Solar Radiation**. Technical Note. 2003.

SPERLING, M.V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 4 ed. Belo Horizonte: UFMG, 2017.

TLEIMAT, B. W. Destilação Solar: La evoluciona de latecnica. Tecnologia para aproveitar La energia sola. Nueva York, Estados Unidos da América ,1979.

TOMANN, R. V e MULLER, J. A. **príncipesof surface waterqualitymodelingandcontrol. Harper andRow.** New York, 1987.

TORGAN, L.C. **Florações de algas: composição, causas e consequências.** Florianópolis, Ínsula (19): 15-39, 1989.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia.** 6. Ed. Porto Alegre: Artes Médicas Sul,2000.

TUCCI, C. E. M. **Gestão de Água Pluviais Urbanas.** Ministério das Cidades – Global WaterPartnership - Wolrd Bank – Unesco 2005.

Trata Brasil. **Dificuldade do acesso e distribuição de água no país,** 2019.

UN Water. **Adaptação às Mudanças Climáticas: o papel essencial da água.** 2011.

VASONCELOS. C e VENTURI. Í. **Você sabe o que são biofilmes?.** Revista Profissão Biotec. 2019

WALLACE, C. D.; BAILEY, R. T.; ARABI, M. Rainwater catchment system design usingsimulated future climate data. **JournalofHydrology,** v. 529, p. 1798–1809, out. 2015.

WEF - WaterEnvironment Federation. **WastewaterDisinfection.** Manual ofPractice FD-10. 1. ed. Alexandria, 1996.

WEGELIN,M., CANONICA,S., ALDER, A. C., MARAZUELA, D. et al. Does theSunlightChangethe Material andContentofPolyethyleneTerephthalate (PET) Bottles?. **JournalofWaterSuply:Researchand Technology - Aqua,** 2000.

WENDLING, C. S. **Avaliação da eficiência de filtro lento intermitente com camada suporte de rejeito de mineração e coagulação com moringa oleiferalam no tratamento domiciliar de água para abastecimento.** 147 p. Trabalho de Conclusão de Curso(Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária), Departamento de Engenharia eTecnologia Ambiental, Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, RS,2017.

WEGELIN,M., CANONICA,S., MECHSNER,K., FLEISHMANN,T., PESARO,F., METZLER,A., **Solar WaterDisinfection: ScopeonProcessandAnalysisofRadiationExperiments,** **JournalofWaterSuply: Researchand Technology - Aqua,** v. 43, n3, p.1994.

WEGELIN,M., CANONICA,S., ALDER, A. C., MARAZUELA, D., SUTER, M.J.F., BUCHELI, Th. D., HAEFLIGER, O. P. , ZENOBI, R., McGUIGAN, K. G., KELLY, M. T., IBRAHIM, P., LARROQUE, M.; **Does theSunlightChangethe Material andContentofPolyethyleneTerephthalate (PET) Bottles?, JournalofWaterSuply: Researchand Technology - Aqua,** 30 oct 2000.

WORRALL.F, BESIEN. T. **The vulnerability of groundwater to pesticide contamination estimated directly from observations of presence or absence in wells.** Journal of Hydrology. Volume 303, 2005.

MIORANDO, T.; BRIÃO, V. B.; GIRARDELLI, L.. **Potabilização de água da chuva por ultrafiltração.** *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, v. 22, n. 3, p. 481-490, 2017.

WHITE. S, G. MILNE. G RIEDY. C. **Análise de uso final: questões e lições.** WaterSci. Technol, 2004.

XAVIER. N. C., COSTA. L. M. F E COSTA. J. G. F. **Sistema de aproveitamento de águas pluviais em residência em Brasília/DF.** UNIP. Distrito Federal, 2019.

YOUNG-ROJANSCHI, C.; MADRAMOTOO, C. Intermittent versus continuo use peration of biosand filters. **WaterResearch**, vol. 49, p. 1-10, 2014.

ZANELLA, L. **Manual para captação emergencial e uso doméstico de água de chuva.** São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 2015.

ANEXO I

Resultados das Análises de água bruta, filtrada e desinfetada.

Carreira	Data	Dia	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	V	W	X	Y	Z	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG
2	12/01/21	1	21	24	4	3	25,0	38,7	2	33,3	20	10	50,00	34,20	5	50	34,20	-	-	-	7,1	6,9	6,7	1204	80	80	80	p	p	a	p	p	a	0	1204
3	13/01/21	2	24	24	2	1	50,0	38,7	0	100,0	15	10	33,33	34,20	5	50	34,20	-	-	-	7,5	6,9	6,8	1120	80	0	0	-	-	-	-	-	-	0	1120
6	18/01/21	3	30	31	5	3	40,0	38,7	1	66,7	5	3	40,00	34,20	0	100	34,20	-	-	-	6,2	5,8	6,4	1361	80	0	0	a	a	a	a	a	a	0	1361
7	19/01/21	4	24	26	3	2	33,3	38,7	2	0,0	9	8	11,11	34,20	8	0	34,20	-	-	-	7,1	7	6,7	1076	80	0	0	p	a	a	p	a	a	0	1076
8	20/01/21	5	24	24	2	1	50,0	38,7	1	0,0	8	8	0,00	34,20	8	0	34,20	-	-	-	7,4	7,1	7,8	1076	80	80	0	p	a	a	p	a	a	0	1076
9	21/01/21	6	14	48	3	2	33,3	38,7	2	0,0	9	8	11,11	34,20	8	0	34,20	-	-	-	7,5	7,1	7	918	0	0	0	-	-	-	-	-	-	0	918
10	25/01/21	7	19	24	1	1	0,0	38,7	1	0,0	8	8	0,00	34,20	8	0	34,20	-	-	-	5,9	6,2	6,5	1299	80	0	0	p	a	a	p	a	aa	0,5	1299
11	26/01/21	8	34	24	4	2	50,0	38,7	2	0,0	10	8	20,00	34,20	8	0	34,20	-	-	-	8,2	8	7,5	630	80	0	0	p	a	a	p	a	a	24	630
12	27/01/21	9	27	24	3	2	33,3	38,7	2	0,0	8	8	0,00	34,20	8	0	34,20	-	-	-	9,8	7,8	7,6	677	80	0	0	p	a	a	p	a	a	89	677
13	28/01/21	10	23	24	3	2	33,3	38,7	2	0,0	8	8	0,00	34,20	8	0	34,20	-	-	-	5,5	5,8	6	1331	80	0	0	p	a	a	p	a	a	12	1331
15	01/02/21	11	22	24	3	0	100,0	38,7	0	0,0	8	0	100,00	34,20	0	0	34,20	-	-	-	7,7	7,9	7,6	1146	80	0	0	p	a	a	p	a	a	0	1146
16	02/02/21	12	54	24	2	2	0,0	38,7	1	50,0	8	8	0,00	34,20	0	100	34,20	10	13	13	8,9	8,5	7,7	1118	80	0	0	a	a	a	a	a	a	0,3	1118
17	03/02/21	13	22	24	2	0	100,0	38,7	2		8	8	0,00	34,20	8	0	34,20	10	13	14	9	8,7	8,5	548	80	0	0	p	a	a	p	a	a	3,3	548
18	04/02/21	14	58	24	3	2	33,3	38,7	1	50,0	8	0	100,00	34,20	0	0	34,20	14	13	13	6,7	6,5	6,6	1376	80	0	0	-	-	-	-	-	-	3	1376
19	05/02/21	15	36	24	4	2	50,0	38,7	2	0,0	8	0	100,00	34,20	0	0	34,20	13	14	14	8,4	7,6	7	979	80	0	0	-	-	-	-	-	-	0,3	979
22	10/02/21	16	37	24	2	1	50,0	38,7	0	100,0	8	0	100,00	34,20	0	0	34,20	13	13	14	8,5	8,2	7	1049	40	0	0	p	a	a	p	a	a	0,5	1049
23	11/02/21	17	31	24	2	0	100,0	38,7	0	0,0	8	0	100,00	34,20	0	0	34,20	13	13	14	7,2	7,1	6,9	1007	40	0	0	p	a	a	-	a	a	0	1007
24	12/02/21	18	34	24	2	1	50,0	38,7	1	0,0	8	0	100,00	34,20	0	0	34,20	14	14	14	8,6	7,6	7,5	1238	40	0	0	-	-	-	-	-	-	2,3	1238
25	22/02/21	19	35	24	2	0	100,0	38,7	0	0,0	8	0	100,00	34,20	0	0	34,20	18	19	21	8,2	8	7,7	1088	40	40	40	p	a	a	p	a	a	18	1088
26	23/02/21	20	33	24	1	1	0,0	38,7	0	100,0	0	0	0,00	34,20	0	0	34,20	19	19	20	7,8	7,4	6,9	1127	40	40	40	p	a	a	p	a	a	0	1127
27	24/02/21	21	24	24	1	0	100,0	38,7	0	0,0	0	0	0,00	34,20	0	0	34,20	17	30	24	9,6	8,9	7,5	967	40	40	40	p	a	a	p	a	a	0,3	967
28	25/02/21	22	40	24	1	1	0,0	38,7	1	0,0	8	0	100,00	34,20	0	0	34,20	15	22	13	6,4	6,5	6,5	956	40	40	40	p	a	a	p	a	a	0	956
30	01/03/21	23	34	24	1	1	0,0	38,7	2		0	0	0,00	34,20	0	0	34,20	14	15	15	8,8	8,3	7,9	1130	40	40	40	a	p	a	a	p	a	0,3	1130
31	02/03/21	24	29	24	1	2		38,7	0	100,0	8	8	0,00	34,20	0	100	34,20	15	21	23	8	7,9	7,7	1137	40	40	40	a	p	a	a	p	a	3,3	1137
32	03/03/21	25	25	24	2	1	50,0	38,7	0	100,0	8	8	0,00	34,20	0	100	34,20	19	20	18	9,6	9,4	9	1139	40	40	40	a	p	a	a	p	a	2,3	1139

33	04/03/21	26	20	35	1	0	100,0	38,7	0	0,0	8	0	100,00	34,20	0	0	34,20	17	18	21	8,8	8,7	8,6	1176	40	40	40	p	a	a	p	a	a	0,3	1176
35	08/03/21	27	22	24	1	1	0,0	38,7	1	0,0	8	0	100,00	34,20	0	0	34,20	15	16	17	7,7	7,3	6	1102	40	40	40	a	a	a	a	a	a	0	1102
36	09/03/21	28	23	24	1	0	100,0	38,7	0	0,0	0	0	0,00	34,20	0	0	34,20	14	14	14	7,2	7	6,6	939	40	40	40	a	a	a	a	a	a	0	939
37	10/03/21	29	27	24	2	1	50,0	38,7	0	100,0	8	0	100,00	34,20	0	0	34,20	14	15	16	9	7,5	6,7	937	40	40	40	a	a	a	a	a	a	0	937
38	11/03/21	30	35	24	1	0	100,0	38,7	0	0,0	0	0	0,00	34,20	0	0	34,20	14	14	15	7,6	7,2	7	937	40	40	40	a	a	a	a	a	a	0	937

Fonte: Elaborado pelo autor (2021). Nota: Vazão média (mL/min) (A), Duração aproximada da carreira (horas)(B), Turbidez água bruta (uT) (C), Turbidez água filtrada (uT) (D), % remoção de turbidez da água filtrada (E), média (F), Turbidez água desinfetada (uT) (G), % remoção da água desinfetada (H), Cor aparente Bruta (uH) (I), Cor aparente filtrada (uH) (J), % remoção de cor da água filtrada (K), média (L), Cor aparente desinfetada (uH) (M), % remoção de cor da água desinfetada (N), média 2 (O), Condutividade Bruta uS/cm (P), Condutividade Filtrada uS/cm (Q), Condutividade Desinfetada uS/cm (R), pH (água bruta) (S), pH (água filtrada) (T), pH (água desinfetada) (U), radiação solar w/m (V), alcalinidade (água bruta) (W), alcalinidade (água filtrada) (X), alcalinidade (água desinfetada) (Y), Coliforme totais (água bruta) (Z), Coliforme totais (água filtrada) (AA), Coliforme totais (água desinfetada) (AB), coliformes termotolerantes (água bruta) (AC), coliformes termotolerantes (água filtrada) (AD), coliformes termotolerantes (água desinfetada) (AE), precipitação mm/d (AF), radiação solar w/m² (AG), presente (p), ausente (a).