

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

**JULIANA BERNADETE THOMAS**

**PROCESSO PRELIMINAR DE RETROLAVAGEM EM REATOR DE  
LEITO FIXO BIFLUXO (RLF-BF) APLICADO A POTABILIZAÇÃO  
DE ÁGUA SUBTERRÂNEA DO MEIO RURAL**

**CERRO LARGO/RS**

**2022**

JULIANA BERNADETE THOMAS

PROCESSO PRELIMINAR DE RETROLAVAGEM EM REATOR DE  
LEITO BIFLUXO (RLF-BF) APLICADO A POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA  
SUBTERRÂNEA DO MEIO RURAL

Trabalho de conclusão do curso de graduação  
apresentado como requisito para obtenção do  
grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e  
Sanitária da Universidade Federal da Fronteira  
Sul.

Orientadora: Prof. Dra. Alcione Aparecida de Almeida Alves

Coorientadora: Prof. Dra. Aline Raquel Müller Tones

**CERRO LARGO**

**2022**

**Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS**

Thomas, Juliana Bernadete  
PROCESSO PRELIMINAR DE RETROLAVAGEM EM REATOR DE  
LEITO BIFLUXO (RLF-BF) APLICADO A POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA  
SUBTERRÂNEA DO MEIO RURAL / Juliana Bernadete Thomas. --  
2022.

67 f.

Orientadora: Alcione Aparecida de Almeida Alves  
Co-orientadora: Aline Raquel Müller Tones  
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) -  
Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de  
Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Cerro  
Largo,RS, 2022.

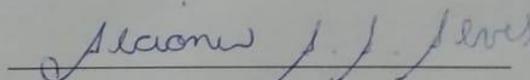
I. Alves, Alcione Aparecida de Almeida, orient. II.  
Tones, Aline Raquel Müller, co-orient. III. Universidade  
Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

JULIANA BERNADETE THOMAS

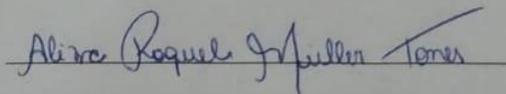
Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul, como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Este trabalho de conclusão de curso foi defendido e aprovado pela banca em:  
18/08/2022.

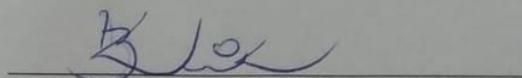
BANCA EXAMINADORA



Prof.<sup>a</sup> Dra. Alcione Aparecida de Almeida Alves - UFFS  
Orientadora



Prof.<sup>a</sup> Dra. Aline Muller Tones - UFFS  
Coorientadora



Tecnólogo Ambiental Roberto Birck  
Avaliador

## AGRADECIMENTOS

Inicialmente quero agradecer a Deus, por ter me concedido persistência para não desistir nos momentos mais difíceis na elaboração desse trabalho de conclusão de curso, assim podendo concluir mais uma etapa da minha vida.

A minha família, mãe (Margarida Maria Colling Thomas), meu pai (Ruben Rafael Thomas), por terem condições financeiras por emprestarem um carro somente para mim, e, contudo, poder ir no Laboratório da UFFS todos os dias que precisei, e apoio que necessitei nessa caminhada universitária. E também a minha irmã (Juciele Margarete Thomas), cunhado (Elivelton Juliani) e sobrinha (Rafaela Thomas Juliani), por todo o apoio e assim a encarar todos esses desafios propostos por esse trabalho.

A minha orientadora desse trabalho, Alcione Aparecida de Almeida Alves, por todos os ensinamento e contribuições ao longo desse período de elaboração desse grandioso trabalho. E a minha coorientadora Aline Muller Tones pelo conhecimento dividido durante esse processo de trabalho de conclusão de curso (TCC). Obrigada por todas as chamadas de atenção.

Aos meus colegas/amigos (Stefani Sulzbacher de Sousa, Júlia Vilela, Rafaela Roberta Morelato, Poliana Ribas Tolfo, Adolfo Kuhne Tânia Thais Neunfeld), por me ajudar em grande parte da montagem do reator, das análises e escrita que precisei aprender para dar continuidade a esse belo trabalho.

A todos os professores da Universidade Federal da Fronteira Sul, do Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, que de alguma forma me ajudaram na realização e contribuição nesse estudo.

Aos técnicos Jonas, Rodrigo e demais técnicos que de alguma forma sempre me ajudaram durante o processo de análises e construção do reator em escala piloto no laboratório 3, na sala 114.

A Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), por se tornar um local de grande aprendizagem em minha vida, durante os melhores anos de vida que vivi até o momento.

E também agradeço as empresas (Ferragens Mauri, Rodar Pneus e Bamberg Instalações), por nos ajudar/emprestar seus equipamentos, para eu e minha colega Stefani Sulzbacher conseguirmos desenvolver e montar o reator.

Por fim, a todos os meus amigos (Isadora Thomas Barbosa, Larissa Thomas, Paula Ester Sebastiani, Luís Felipe Thomas, Larissa Thomas, Ana Lires da Silva, Gustavo Luiz Garcia e Caroline Mallmann) e familiares que de alguma forma ou de outra me incentivaram, ajudaram na elaboração e conclusão dessa pesquisa. Muito obrigada.

## RESUMO

As tecnologias de tratamento aplicadas a potabilização de água no meio rural brasileiro são insipientes e a proposição de novas tecnologias precisam atender aos padrões de potabilidade descritos na Portaria n° 888/2021 do Ministério da Saúde (MS). Sendo assim, o objetivo desse estudo foi analisar a eficiência de um processo preliminar de Retrolavagem Reator de Leito Fixo Bi-fluxo (RLF-BF) desenvolvido por Alves (2018), em escala piloto. Para tanto, realizou-se 15 carreiras de filtração no RLF- BF, o qual contemplava o processo de filtração (areia) e filtração/adsorção com carvão ativado granular proveniente do epicarpo do babaçu com granulometrias média de 1 mm. Após a realização de 15 carreiras de filtração e atingido a máxima perda de carga se realizou o processo de retrolavagem do leito filtrante em sentido ascendente com expansão máxima do leito filtrante de aproximadamente 125%. Após o processo de retrolavagem se realizou novamente 10 carreiras de filtração. Foram analisados os parâmetros turbidez (uT), cor aparente (uH), absorvância ( $\lambda-254$  nm), potencial Hidrogeniônico (pH), cloro livre ( $\text{mg L}^{-1}$ ), alcalinidade ( $\text{mg L}^{-1}$ ), dureza cálcica ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e coliformes totais e termotolerantes, nas carreiras de filtração pré e pós retrolavagem e durante a retrolavagem. A água utilizada nas carreiras de filtração antes e após a retrolavagem era oriunda de poço artesiano com origem no meio rural do município de Cerro Largo e a água retrolavagem de poço de abastecimento público de responsabilidade Companhia Rio Grandense de Saneamento (CORSAN). A retrolavagem atingiu a perda de carga máxima no leito filtrante realizado com expansão do leito filtrante em aproximadamente 125 % demonstrou redução de 98,72 e 94,83 % em relação aos parâmetros cor aparente e turbidez, respectivamente. Demonstrando ser eficiente nas condições de estudo realizadas.

**Palavras-chaves:** Tratamento de água de abastecimento público, filtração rápida, limpeza de filtro de areia.

## ABSTRACT

The treatment technologies applied to water purification in rural Brazil are insipient and the proposition of new technologies must meet the potability standards described in Ordinance No. 888/2021 of the Ministry of Health (MS). Therefore, the objective of this study was to analyze the efficiency of a preliminary Bi-Flow Fixed Bed Reactor Backwash (RLF-BF) process developed by Alves (2018), on a pilot scale. To this end, 15 filtration runs were carried out in the RLF-BF, which included the process of filtration (sand) and filtration/adsorption with granular activated carbon from the babassu epicarp with average granulometries of 1 mm. After carrying out 15 filtration rows and reaching the maximum head loss, the filter bed backwashing process was carried out in an upward direction with a maximum expansion of the filter bed of approximately 125%. After the backwash process, 10 filtration runs were carried out again. The parameters turbidity (uT), apparent color (uH), absorbance ( $\lambda - 254$  nm), hydrogenion potential (pH), free chlorine (mg L<sup>-1</sup>), alkalinity (mg L<sup>-1</sup>), calcium hardness (mg L<sup>-1</sup>) and total and thermotolerant coliforms, in the pre and post backwash filtration runs and during the backwash. The water used in the filtration lines before and after the backwash came from an artesian well originating in the rural area of the municipality of Cerro Largo and the backwash water from a public supply well under the responsibility of Companhia Rio Grandense de Saneamento (CORSAN). The backwash to reach the maximum head loss in the filter bed performed with expansion of the filter bed in approximately 125% showed a reduction of 98.72 and 94.83% in relation to the apparent color and turbidity parameters, respectively. Proving to be efficient in the conditions of study carried out. The study was carried out at the Water and Ecotoxicology Laboratory of the Federal University of Fronteira Sul (UFFS), Campus Cerro Largo/RS.

**Keywords:** Public supply water treatment, rapid filtration, sand filter cleaning.

## **LISTA DE FIGURAS**

Figura 1 – Visualização dos regimes de fluidização durante o processo de retrolavagem em filtros de areia

Figura 2 – Localização de Cerro Largo no estado do Rio Grande do Sul-Brasil

Figura 3 – Construção leito adsorvente

Figura 4 – Imagem dos frascos com ausência de coliformes totais e termotolerantes

Figura 5 – Imagem dos frascos com ausência de coliformes totais e termotolerantes (retrolavagem)

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Alguns dos principais padrões de potabilidade descritos na Portaria nº 888/2021 do MS.

Tabela 2 – Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água de abastecimento público

Tabela 3 – Testes de expansão do leito filtrante para a realização da retrolavagem

Tabela 4 – Perda de carga durante as carreiras de filtração no RLF-BF

Tabela 5 – Cor aparente do RLF-BF

Tabela 6 – Turbidez da AB, TA-F e AT-FA durante as carreiras de filtração no RLF-BF

Tabela 7 – Absorvância ( $\lambda - 254$  nm) durante as carreiras de filtração no RLF-BF

Tabela 8 – Valores de pH da AB, AT-F e AT-FA durante as carreiras de filtração no RLF-BF

Tabela 9 – Alcalinidade da AB, AF e AA durante as carreiras de filtração no RLF-BF

Tabela 10 – Presença/ausência de coliformes totais e termotolerantes da AB, AT-F e AT-FA durante as carreiras de filtração no RLF-BF

Tabela 11 – Características gerais do processo de retrolavagem no leito filtrante

Tabela 12 – Cor aparente ( $\mu$ H) da AB-R e da AR da retrolavagem do leito filtrante

Tabela 13 – Turbidez da AR e AB-R do leito filtrante

Tabela 14 – Absorvância ( $\lambda - 254$  nm) da AB-R e da AR do leito filtrante.

Tabela 15 – Alcalinidade da AB-R e da AR do leito filtrante

Tabela 16 – Potencial Hidrogeniônico (pH) da AB-R e da AR do leito filtrante.

Tabela 17 - Perde Carga do leito filtrante e filtrante/adsorvente no RLF-BF após retrolavagem

Tabela 18 - Cor aparente da AB, AT-F e AT-FA no RLF-BF após o processo de retrolavagem

Tabela 19 – Turbidez da AB, AT-F e AT-FA no RLF-BF após o processo de retrolavagem

Tabela 20 – Absorvância ( $\lambda - 254$  nm) da AB, AT-F e AT-FA no RLF-BF após a retrolavagem

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul
RLF-BF	Reator de Leito Fixo Bi Fluxo
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CORSAN	Companhia Rio grandeense de Saneamento
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
ONU	Organização das Nações Unidas
SIAGAS	Sistema de Informações de Águas Subterrâneas
CPRM	Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais
VMP	Valor Máximo Permitido
MS	Ministério da Saúde
CAG	Carvão Ativado Granular
VAR	Valor da Água de Retrolavagem
VAB	Valor da Água Bruta
PNAD	Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios
SSAs	Sistemas Simplificados de Abastecimento
TAS	Taxa de Aplicação Superficial
SAI	Sistema de Abastecimento Individual
SAC	Sistema de Abastecimento Coletivo

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>13</b>
<b>1.1</b>	<b>OBJETIVOS .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.1</b>	<b>Objetivo Geral .....</b>	<b>15</b>
<b>1.1.2</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>16</b>
<b>1.2</b>	<b>JUSTIFICATIVA.....</b>	<b>16</b>
<b>2</b>	<b>REFERENCIAL TEÓRICO.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1</b>	<b>A POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA NO MEIO RURAL.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.1</b>	<b>Principais Processos De Potabilização De Água No Meio Rural.....</b>	<b>20</b>
<b>2.1.1.1</b>	<b>Retrolavagem em filtro de areia .....</b>	<b>22</b>
<b>2.2</b>	<b>ALGUNS DOS PRINCIPAIS DISPOSITIVOS JURÍDICOS APLICADAS A POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL .....</b>	<b>26</b>
<b>3</b>	<b>MATERIAIS E MÉTODOS.....</b>	<b>28</b>
<b>3.1</b>	<b>TIPO DE ESTUDO .....</b>	<b>28</b>
<b>3.2</b>	<b>CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO.....</b>	<b>28</b>
<b>3.3</b>	<b>REATOR LEITO FIXO DE BI-FLUXO (RFL-BF) .....</b>	<b>30</b>
<b>3.2.1</b>	<b>CARREIRAS DE FILTRAÇÃO.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2.1.1</b>	<b>Parâmetros analíticos.....</b>	<b>32</b>
<b>3.2.2</b>	<b>RETROLAVAGEM DO MEIO FILTRANTE .....</b>	<b>33</b>
<b>4</b>	<b>RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>35</b>
<b>4.1</b>	<b>CARREIRAS DE FILTRAÇÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO/ADSORÇÃO .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.1</b>	<b>Perda de Carga .....</b>	<b>35</b>
<b>4.1.2</b>	<b>Cor Aparente (uH) .....</b>	<b>36</b>
<b>4.1.3</b>	<b>Turbidez (uT) .....</b>	<b>38</b>
<b>4.1.4</b>	<b>Absorvância (<math>\lambda - 254</math> nm).....</b>	<b>39</b>

4.1.5	Dureza Cállica ( $\text{m L}^{-1}$ ).....	40
4.1.6	Cloro Livre ( $\text{m L}^{-1}$ ).....	41
4.1.7	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	41
4.1.8	Alcalinidade ( $\text{m L}^{-1}$ ).....	42
4.1.9	Coliformes totais e termotolerantes.....	44
4.2	EFICIÊNCIA DOS TESTES PRELIMINARES DE RETROLAVAGEM DO LEITO FILTRANTE DO RLF-BF.....	46
4.2.1	Cor Aparente ( $\mu\text{H}$ ) .....	46
4.2.2	Turbidez (uT) .....	47
4.2.3	Absorvância ( $\lambda - 254 \text{ nm}$ ).....	48
4.2.5	Dureza Cállica ( $\text{mg L}^{-1}$ ) .....	49
4.2.6	Cloro Livre ( $\text{mg L}^{-1}$ ) .....	49
4.2.7	Alcalinidade ( $\text{mg L}^{-1}$ ).....	49
4.2.8	Potencial Hidrogeniônico (pH).....	50
4.2.9	Coliformes Totais e Termotolerantes.....	51
4.3	EFICIÊNCIA DA FILTRAGEM APÓS A RETROLAVAGEM.....	51
4.3.1	Perda de Carga .....	51
4.3.2	Cor Aparente (uH) .....	52
4.3.3	Turbidez (uT) .....	53
4.3.4	Absorvância ( $\lambda - 254 \text{ nm}$ ).....	55
4.3.7	Cloro Livre ( $\text{mg L}^{-1}$ ) .....	56
4.3.8	Alcalinidade ( $\text{mg L}^{-1}$ ).....	56
4.3.9	Potencial Hidrogeniônico (pH) .....	57
4.3.10	Coliformes totais e termotolerantes.....	57
5	CONCLUSÃO.....	58
	REFERÊNCIAS .....	59

## 1 INTRODUÇÃO

A água é considerada uma parte integrante do bem-estar de todos os seres vivos, afinal, ela é indispensável para o sustento da vida, ademais, também é de extrema importância para as atividades desenvolvidas no meio agrícola e industrial. Nesse cenário, a Organização Mundial de Saúde (OMS), discorre sobre diversas informações fundamentais voltadas ao uso da água, enfatizando a necessidade de 50 a 100 litros de água por pessoa, diariamente, para garantir a satisfação das necessidades mais básicas e a minimização dos problemas de saúde. Em relação à distribuição da água, a OMS afirma que a fonte deve estar localizada a uma distância máxima de 1.000 metros da residência e reitera que o tempo máximo para a realização de sua coleta é 30 minutos (OHCHR; UN-HABITAT; WHO, 2010). Entretanto, nesse meio há problemáticas notáveis, pois a maior parte da população que apresenta problemas de acesso a água potável possui, somente, 5 litros por dia para a sua sobrevivência (UNDP; WATKINS, 2006).

Diante disso, no Brasil, de acordo com os dados apresentados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), no ano de 2014, 84,53% dos domicílios brasileiros estavam conectados à rede geral de distribuição de água. Mas, é importante destacar que esse número considera tanto os domicílios em áreas urbanas como os presentes em áreas rurais e entornos, no entanto, não há dados concretos acerca da real área de cobertura em ambientes rurais. Outrossim, conforme dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios (PNAD) - IBGE, 93,37% dos domicílios localizados em áreas urbanas estavam ligados à rede de distribuição de água, por outro lado, apenas 30,33% dos domicílios em zonas rurais e entornos possuíam acesso a esse tipo de serviço (BRASIL, 2016).

Outra informação preponderante é acerca da exploração da água subterrânea no Brasil, que é caracterizada por ser intensa (ANA, 2010), apresentando um percentual de 52% dos 5.570 municípios brasileiros com abastecimento total, 36% de forma parcial e 16% por águas subterrâneas. Nesse contexto, no país, é estimado a existência de cerca de 400 mil poços perfurados sobre diversos aquíferos que, dependendo tanto da sua geologia como das condições climáticas, são utilizados para o processo de abastecimento (ZOBY; MATOS, 2002).

Ao analisar as regiões do país, nota-se que a Região Sul é destacada devido à concentração de 17,4% dos poços perfurados, dos quais 35% (19.512) estão localizados, especificamente, no estado do Rio Grande do Sul (CPRM, 2020). Nesse contexto, a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, constata a importância do abastecimento de água por fontes subterrâneas, afinal, conforme a pesquisa, o Rio Grande do Sul tem 430 (86,7%) municípios

abastecidos por poços profundos e 18 (3,6%) por poços rasos. Trata-se de um percentual bem elevado, se levar em consideração os 195 municípios que utilizam captações de fontes superficiais, ou seja, 39,3% (IBGE, 2008).

Apesar de considerável uso, as preocupações com a poluição das águas subterrâneas só foram limitadas em nosso país porque os usuários dos recursos subterrâneos, sejam eles privados ou governamentais, ainda desconhecem sua importância e ignoram as graves consequências de sua poluição (HIRATA, 1993). Uma razão para este fato é que, diferentemente da contaminação das águas superficiais que ocorre na maioria das vezes, a contaminação das águas subterrâneas é pouco perceptível e sua extração é tão difundida que é difícil identificar o problema. As medidas de conservação ou cessação são aplicadas tardiamente e, quando a contaminação se torna aparente, geralmente já é em grande medida (CUSTODIO, 1996).

À medida que ocorre a recarga das águas subterrâneas, na maioria dos casos, as atividades que ocorrem no solo podem ameaçar a qualidade das águas subterrâneas devido à infiltração do excesso de água da chuva no solo. Nesse sentido, é imprescindível estar atento à poluição de aquíferos, que são intensos nos locais em que ocorre o descarte da carga contaminante gerada pela atividade antrópica, como: urbana, industrial, agrícola, mineradora, e não há um controle adequado, assim, certos componentes excedem a capacidade de atenuação das camadas do solo gerando problemáticas (FOSTER, 2002).

Nesse contexto, salienta-se que as zonas rurais sofrem mais com a falta de abastecimento de água potável porque a distância resulta no aumento de custo, manutenção e expansão da rede de distribuição. Portanto, em áreas com maior população, a densidade da rede de distribuição é maior em 84,72%. Em geral, as áreas rurais ainda apresentam serviço instável e orçamentos apertados (IBGE, 2017).

Com o propósito de tratar estas águas previamente ao abastecimento público, tem sido comum o tratamento simplificado, em que o cloro e flúor são adicionados à água, antes da distribuição para a população (SCHIAVO, 2007).

No entanto, devido a redução da qualidade das águas os sistemas de tratamento convencional e avançado, têm sido identificados como necessários para a remoção de poluentes e compostos específicos das águas servidas a população (ALVES, 2017).

Dentre estes, a filtração é um dos processos mais antigos e utilizados no tratamento de água, os filtros podem ser classificados em: descendente ou ascendente, dependendo da direção do fluxo de água, que pode ser lento ou rápido, dependendo também da faixa de taxas de

filtração em que a unidade opera. No entanto, eles podem ser classificados de acordo com o arranjo e composição da camada filtrante e a pressão existente (LEME, 1990).

A adsorção em Carvão Ativado Granular (CAG), como pós filtração, mostrou ser bastante eficiente para assegurar a qualidade da água final nas análises realizadas, especialmente com relação à matéria orgânica que poderia estar contida no CAG (SILVA; NAVAL; BERNARDO; DANTAS, 2012).

Em ambos os processos, a retrolavagem que consiste na passagem da água através do filtro em sentido contrário ao fluxo de filtragem se faz necessária, pois tem o objetivo de remover partículas orgânicas e inorgânicas retidas no meio filtrante e possibilitar maior tempo de uso do material filtrante (SALCEDO; TESTEZLAF; MESQUITA, 2011).

Entretanto, em área rural, se fez necessário a reestruturação de configurações de processos/sistemas de potabilização e para tanto o Reator de Leito Fixo Bi-Fluxo (RLF-BF), desenvolvido por Alves (2018), que considera a utilização destes processos em sistema Bi-Fluxo foi aplicado a este estudo.

O referido reator possui como característica geral a utilização de ambos os fluxos ascendente e descendente, o controle da expansão do meio filtrante a possibilidade de aplicação no meio rural, logo após a exploração da água subterrânea e a economicidade nos custos de implantação. Tais vantagens apresentadas pelos reatores de leito fixo, têm destaque no cenário atual, em que há aumento das demandas por água potável e a falta de tratamento efetivo no meio rural brasileiro (GHISI, 2019).

## 1.1 OBJETIVOS

Os objetivos desse trabalho foram norteados em geral e específicos.

### 1.1.1 Objetivo Geral

Verificar o processo de retrolavagem em Reator de Leito Fixo Bi - Fluxo (RLF-BF) aplicado a potabilização de água subterrânea do meio rural.

### 1.1.2 Objetivos Específicos

Realizar carreiras de filtração no RLF-BF e analisar os parâmetros-físico químicos, Turbidez (uT), Cor Aparente (uH), Absorbância ( $\lambda - 254$  nm), Potencial Hidrogénico pH, Cloro Livre ( $\text{mg L}^{-1}$ ), Alcalinidade ( $\text{mg L}^{-1}$ ), Dureza Cálctica ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e os parâmetros microbiológicos, Coliformes Totais e Termotolerantes na forma qualitativa de ausência a e presença de coliformes.

Avaliar o processo de retrolavagem com expansão máxima do meio filtrante (areia) em aproximadamente 125 %.

Analisar os parâmetros-físico químicos, Turbidez (uT), Cor Aparente (uH), Absorbância ( $\lambda - 254$  nm), Potencial Hidrogénico pH, Cloro Livre ( $\text{mg L}^{-1}$ ), Alcalinidade ( $\text{mg L}^{-1}$ ), Dureza Cálctica ( $\text{mg L}^{-1}$ ) e os parâmetros microbiológicos, Coliformes Totais e Termotolerantes na forma qualitativa de ausência a e presença de coliformes, após o processo de retrolavagem do leito filtrante do RLF-BF.

## 1.2 JUSTIFICATIVA

A relevância da temática está centrada, principalmente, na importância de pesquisas voltadas ao acesso à água potável e ao saneamento básico, pois se trata de um direito humano básico, fundamental e universal, sendo indispensável à vida com dignidade. Outrossim, a Organização das Nações Unidas (ONU) reafirma e reconhece como “condição para o gozo pleno da vida e dos demais direitos humanos” (ONU, 2010).

A existência da dicotomia acerca do tratamento jurídico da água entre o homem e o meio ambiente frente a sua utilização econômica é o problema enfrentado até os dias de hoje pelo direito público. Com efeito, o acesso à água e ao saneamento integra o conteúdo mínimo do direito à dignidade da pessoa humana, devendo-se respeitar a qualidade; a água há de ser potável; a quantidade, ou seja, o suficiente para a sobrevivência; a prioridade de acesso humano, em caso de escassez; e a gratuidade, ao menos no que diz respeito ao mínimo necessário para a sobrevivência humana (MAIA, 2017).

A dificuldade de encontrar sistemas adequados para o saneamento básico no meio rural, o que também possibilita a contaminação bacteriana da água, é a captação da água (PRADO, 2010).

Na zona rural as fontes de abastecimento de água são bastante vulneráveis à contaminação, pois a captação e o armazenamento da água geralmente são, por vezes

realizados em poços inadequadamente vedados, poços rasos ou em represas onde a probabilidade de contaminação é ainda maior por estarem próximas de fossas sépticas e ocupação de animais na área (AMARAL, 2003).

Para fins de possibilitar a melhoria da qualidade da água, os processos de filtração e adsorção tem se mostrados eficientes na purificação da água para fins potáveis, além de poderem eliminar cor, odor, mau gosto e remover substâncias orgânicas dissolvidas através do mecanismo de adsorção. Também permite o tratamento de água de pior qualidade, possibilita o uso de taxas de filtração mais elevadas, oferece maior segurança com relação às variações bruscas de qualidade da água bruta, apresenta maior remoção global de microrganismos (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

E, com o intuito de tornar eficiente o funcionamento do processo de filtração, a retrolavagem do leito filtrante é indispensável. Resumidamente, durante a retrolavagem a camada filtrante é fluidizada, expandindo-se devido ao fluxo reverso da água, assim, o método deve ser baseado em vazões predeterminadas e controladas para o alcance dos objetivos que consistem na eficiência de limpeza desejada e evitar a perda de areia. Assim, é de extrema importância determinar o fluxo e a pressão de retrolavagem visando sua adequação para a expansão suficiente da areia, logo, algumas características vão influenciar e devem ser observadas, como o modelo de filtro usado, o tamanho das partículas e da uniformidade da areia. (SALCEDO; TESTEZLAF; MESQUITA, 2011).

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste item foram apresentadas as principais características da potabilização da água em meio rural brasileiro, os sistemas e processos de potabilização, a retrolavagem de filtro de areia e a legislação ambiental brasileira vinculada a potabilização de água.

### 2.1 A POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA NO MEIO RURAL

Nas zonas rurais brasileiras, os serviços de saneamento prestados têm sido considerados precários tanto em termos de existência, quanto em relação a avaliação da eficiência. Porém, há relação entre a saúde e o bem-estar da população com a disponibilidade de água potável, uma vez que, a falta deste recurso em quantidade ou qualidade, resulta em baixa qualidade de vida e eleva o nível de propagação de doenças. O problema se agrava especialmente quando as políticas governamentais que contemplam tratamento de água para consumo humano, em sua maioria, as zonas urbanas contribuindo para a falta de sistemas apropriados de abastecimento de água e do saneamento como um todo (BRASIL, 2014).

No Brasil, a maior preocupação acerca do abastecimento de água potável começou a se fortalecer a partir da década de 1930, com a instituição dos departamentos federais e estaduais. À vista disso, é importante salientar que o Serviço Especial de Saneamento, criado na década de 1940, apresentava ações de saneamento e com regiões estratégicas para o poço de guerra, posteriormente, ampliando à atuação após a Segunda Guerra Mundial. E na década de 1950 foi criado o Serviço Autônomo de Água e Esgoto (SAAE), em diversos municípios do país, almejando autonomia municipal nesse setor (BRASIL, 2014).

Na atualidade, a prevenção, proteção e promoção da saúde estão relacionadas ao acesso à água potável, no entanto para que as soluções técnicas de saneamento se façam efetivas é necessário que estas atendam aos critérios de disponibilidade, qualidade, acessibilidade física, acessibilidade econômica e aceitabilidade, conforme estabelecido pela ONU da seguinte maneira (OHCHR, 2003. p.4-5):

Disponibilidade: O abastecimento de água para cada pessoa deve ser suficiente e contínuo para uso pessoal e doméstico. Esses usos geralmente incluem beber, saneamento pessoal, lavagem de roupa, preparação de alimentos, higiene pessoal e familiar. A quantidade de água disponível para cada pessoa deve corresponder às diretrizes da OMS. Alguns indivíduos e grupos também podem exigir água adicional devido à saúde, clima e condições de trabalho; Qualidade: A água necessária para cada uso pessoal ou doméstico deve ser segura, portanto, livre

de microrganismos, substâncias químicas e riscos radiológicos que constituem uma ameaça para a saúde de uma pessoa. Além disso, a água deve ser de cor aceitável, odor e gosto para cada pessoa ou uso doméstico; [...] Acessibilidade física: A água e instalações e serviços de água adequados, devem estar dentro de um alcance físico seguro para toda população a água suficiente (OHCHR, 2003. p.4-5).

Outrossim, é imprescindível avaliar também a solução de abastecimento que é considerada a mais adequada ao local. Dessa forma, para o contexto urbano, percebe-se vantagens evidentes na instalação um sistema que interligue os domicílios, promovendo ganhos de escala que tornam essa solução muito mais eficiente do que processos individualizados. Por outro lado, no meio rural, principalmente em regiões com baixa densidade demográfica e com problemas de escassez de fontes superficiais e subterrâneas, a instalação de estruturas coletivas de abastecimento de água muitas vezes se torna inviável economicamente (MOURA RAID, 2017), resultando assim na ausência de incentivos para o investimento público ou privado. Ademais, mesmo em áreas rurais onde há a possibilidade de instalação de sistemas coletivos, muitas vezes são necessárias soluções adaptadas às condições socioeconômicas da comunidade, como forma de garantir sua sustentabilidade com o tempo (SANTANA; RAHAL, 2020).

No contexto rural, o déficit de atendimento da população localizada no meio rural ainda é nítido, déficit esse que dificilmente será eliminado apenas com a concepção utilizada de sistema de abastecimento de água, com a infraestrutura necessária para tanto. No âmbito da política de segurança alimentar e da saúde se destaca que a perspectiva seria garantir pelo menos um acesso básico à água de qualidade, como elemento para a garantia do direito humano à alimentação adequada e saudável e à sobrevivência em condições dignas, buscando romper com as desigualdades tecnológicas e socioeconômicas existentes entre o meio rural e urbano (SANTANA; RAHAL, 2020).

O meio rural comumente é abastecimento por fonte subterrânea de água, por vezes contaminadas pelo lançamento *in natura* de esgoto doméstico e uso incorreto de agrotóxicos e fertilizantes (CETESB, 2022), os quais são transportados nos fluxos subterrâneos de acordo com às suas propriedades físico-químicas, bem como da matriz porosa onde ocorre a migração do poluente. Em síntese, os processos não destrutivos de redução na concentração da massa de um contaminante dissolvido nas águas subterrâneas envolvem uma redução da concentração do contaminante, mas não ocorre a remoção total do poluente (ALVAREZ; ILLMAN, 2006).

De acordo com o IBGE, 29.830.007 habitantes vivem na zona rural, representando 15,6% da população total do país (IBGE, 2011). Segundo o Censo de 2010 (IBGE, 2011), 72,5% da população que vive na zona rural recebe água de outras fontes com maior probabilidade de não atender aos padrões de água potável. Apenas 27,5% são atendidos por redes gerais de distribuição (IBGE, 2011). O histórico de saúde do Brasil corrobora esses dados. As ações relacionadas ao abastecimento de água são mais intensas nos centros urbanos, resultando em pequenas cidades carentes, áreas periurbanas e rurais (REZENDE; HELLER, 2008).

### **2.1.1 Principais Processos De Potabilização De Água No Meio Rural**

O saneamento básico constituído segundo a Lei Federal nº 14.026/2020, pelos serviços de abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo de resíduos sólidos e drenagem urbana é um direito do cidadão e engloba o conjunto de medidas que visa preservar ou modificar as condições do meio ambiente (BRASIL, 2020).

O sistema de abastecimento de água é um conjunto de obras, equipamentos e serviços utilizados para suprir necessidades da população, com o fornecimento de água potável para fins de consumo doméstico, industrial, serviços públicos e entre outros. Trata-se de um sistema com a finalidade de coletar água do meio ambiente, adaptar a qualidade ao padrão potável, armazenar e distribuir a água à população. O sistema pode ser planejado para satisfazer pequenas povoações ou regiões metropolitanas variando nas propriedades e no aspecto de suas instalações (ANDRADE, 2015).

Enquanto que, os processos de tratamento estão vinculados ao sistema de potabilização, e em meio aos principais sistemas de tratamento de água, é possível citar o tratamento com simplificado, sendo neste comumente aplicado o processo de cloração caracterizado pela adição de cloro na água antes da distribuição à população; o sistema convencional, dotado dos processos de coagulação, floculação, decantação, filtração, correção de pH, desinfecção (cloração) e fluoretação e; há ainda, o sistema avançado contempla, dentre outros os processos de oxidação, flotação, centrifugação, membranas filtrantes (ROSCHILD; GUEDES, 2016) e adsorção (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Para a definição de qual processo aplicar, cabe à inspeção sanitária averiguar o manancial, os sistemas e processos disponíveis, os equipamentos e instalações de um sistema de abastecimento, bem como os possíveis procedimentos de operações e manutenção, com o

objetivo de analisar a suficiência desses elementos para produzir e fornecer água para a população pública sob condições salubres (BRASIL, 2007).

Segundo o IBGE (2010) cerca de 66,6%, a população rural capta água de poços protegidos ou não, diretamente de cursos de água sem nenhum tratamento ou de outras fontes alternativas como a filtração através de filtros em suas residências ou a desinfecção por cloração direto na captação da água, podendo muitas vezes ser inadequados para consumo humano (CARNEIRO, 2017).

Entretanto, não se pode prever que somente a etapa de desinfecção seja suficiente para a remoção de poluentes das águas servidas a população, pois o propósito primário de sua existência não contempla a remoção de micropoluentes, mas a degradação e/ou inativação de micro-organismos assim como, a manutenção de residual do agente desinfetante na rede de distribuição de água, com propósito de garantir a qualidade da água desde a produção até ao consumo nas residências (ALVES, 2017).

No tocante a filtração, destacam-se a filtração rápida e a lenta. Segundo Huisman e Wood (1974), o processo de filtração lenta consiste na passagem da água a ser tratada por um meio filtrante, poroso, comumente com utilização de areia fina, sendo que, o material em suspensão fica retido na parte superficial da areia. Na filtração lenta, as velocidades de filtração permitem que a água passe lentamente pela camada que se forma na retenção e decantação de partículas, na parte superior do meio filtrante, sendo esta camada biologicamente ativa com função de contribuir com a redução de patógenos.

No entanto, a filtração lenta perdeu ao longo dos anos espaço pelo advento da coagulação e também pelo emprego da filtração rápida, na qual é possível tratar 50 vezes mais água com utilização da mesma área de filtração se comparado a filtração lenta. (DI BERNARDO; BRANDÃO; HELLER, 1999).

A filtração rápida também pode ser influenciada dependendo o tipo de pré-tratamento utilizado, sendo necessário um tratamento efetivo para garantir um bom funcionamento do filtro. Portanto, o pré-tratamento é determinado pela qualidade da água bruta utilizada (CRITTENDEN *et al.*, 2012). E, a retrolavagem em filtros de areia é necessária e complemento fundamental da filtração, pois visa conferir maior tempo de utilização do leito filtrante, bem como da qualidade da água (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

Como a filtração se dá em profundidade com a colmatação das sucessivas camadas de meio filtrante, ao ocorrer a filtração do filtro inteiro ou uma grande alteração na qualidade da água, a limpeza do filtro é indispensável, sendo ela, geralmente, realizada com a passagem de um fluxo de água em sentido ascensional (retrolavagem) para que ocorra uma fluidificação e,

consequentemente, expansão adequada do meio seja desencadeada para desprendimento das impurezas retidas (DI BERNARDO, 2003).

#### **2.1.1.1 Retrolavagem em filtro de areia**

A retrolavagem deve garantir a fluidificação dos meios filtrantes sem que ocorra a mistura das diferentes camadas. Posto isso, é importante que seja feita uma seleção correta dos materiais filtrantes para que ocorra uma boa separação durante a limpeza do filtro (ROECKER, 2021).

Especificamente, a retrolavagem, de acordo com *American Society of Agricultural and Biological Engineers* (ASABE, 1994) pode ser caracterizada como o procedimento de passagem da água através do filtro em sentido contrário ao fluxo de filtragem visando a remoção de partículas orgânicas e inorgânicas retidas no meio filtrante. Assim, todo sistema de filtração com areia deve possuir um mecanismo para reverter a direção do fluxo da água para facilitar sua limpeza. Além disso, como recomendado por Bernardo *et al.* (2005), o processo de retrolavagem em filtros de areia é imprescindível e complemento fundamental da filtração, resultando na melhoria da qualidade da água e diminuindo os níveis de turbidez presentes (BERNARDO *et al.*, 2005).

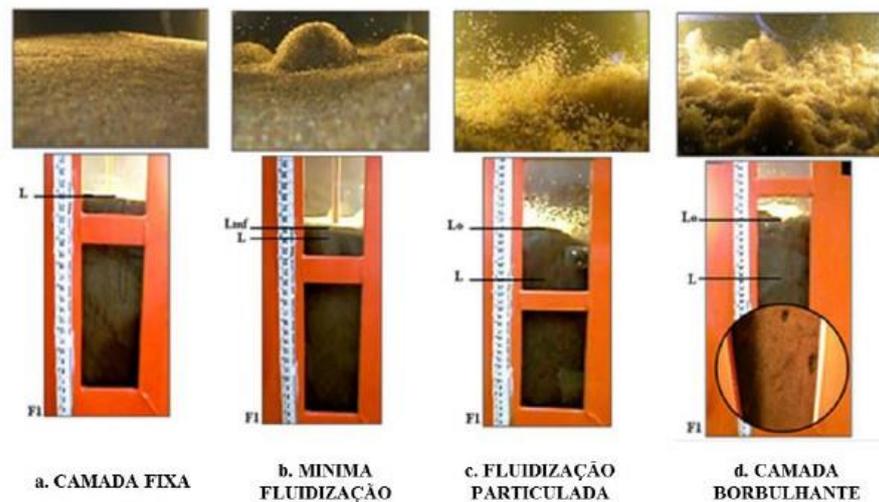
Dessa maneira, é importante destacar que esse procedimento engloba mecanismos associados às teorias de fluidização de leitos porosos, e é deliberada por Gupta e Sathiyamoorthy (1999), sendo um fenômeno caracterizado por dar propriedades de um fluido a um leito de partículas sólidas, pela ação ou efeito de passar um fluido através deste, a uma velocidade tal que consiga levantá-lo até uma determinada altura, evitando possíveis perdas de material do leito utilizado.

A fluidização é dependente de parâmetros especiais da dinâmica de forças presentes, como forças capilares, forças eletrostáticas e de parâmetros da velocidade mínima de fluidização. Essa velocidade que determina os momentos de transição entre a camada fixa e as camadas em movimento e seu conhecimento permite controlar a ocorrência dos regimes da fluidização para possibilitar o emprego de seus comportamentos em aplicações específicas (SALCEDO; TESTEZLAF; MESQUITA, 2011 . p.3).

Ainda, conforme enfatiza Lopez (2009), o processo de fluidização de leitos é constituído ao longo de sua ocorrência de fases ou diferentes comportamentos da camada que dão origem a diferentes regimes, permitindo que a fluidização seja aplicada em múltiplas áreas

de desenvolvimento. E, na retrolavagem de filtros de areia os regimes de fluidização que acontecem conforme apresentados por Salcedo (2010), na Figura 1.

Figura 1 - Regimes de fluidização durante o processo de retrolavagem em filtros de areia



Fonte: Salcedo (2010).

A camada fixa é o primeiro estado que emerge durante a fluidização (Figura 1a) e é caracterizada pelo comportamento estático sem movimento das partículas e baixas velocidades superficiais, mantendo a camada inicial (L). Um segundo estado de fluidização mínima ou bolhas localizadas foi identificado quando o primeiro grão começou a se mover, uma pequena elevação da camada (de L para Lmf) e espuma na superfície da camada (Fig. 1b) (SALCEDO; TESTEZLAF; MESQUITA, 2011).

O terceiro estado ocorre após fluidização mínima, quando a areia como um todo sofre uma expansão gradual, proporcional ao aumento da velocidade superficial, com movimento desordenado e agitado tanto na superfície quanto ao longo do leito, e as partículas de areia permanecem suspensas porque a camada está agora totalmente fluidificada. (Fig. 1c). Enquanto que, o último estado, chamado de estado da camada de bolhas, ocorre instantaneamente em altas velocidades de superfície (SALCEDO; TESTEZLAF; MESQUITA, 2011).

Segundo os mesmos autores, para aconselhar sobre as melhores opções de retrolavagem, é necessário primeiro analisar a qualidade da água utilizada, para determinar quais condições devem ser eliminadas. A identificação da ocorrência dos regimes de

fluidização em filtros de areia possibilita a determinação das variáveis de controle do retrolavagem que vão tornar o processo de limpeza da camada filtrante mais eficaz.

No processo de retrolavagem, à medida que o leito filtrante se expande de forma proporcional ao aumento da velocidade superficial, o processo de retrolavagem se altera, passando de uma velocidade mínima de fluidização para um estado de fluidização das partículas. Logo, a caracterização do processo de expansão da areia pode determinar o nível máximo de elevação do leito para evitar a perda do meio filtrante e garantir que as impurezas retidas sejam totalmente removidas (SALCEDO, 2010).

Em seguida, se dá a expansão do leito, que afeta significativamente a eficácia da limpeza, especialmente por duas razões, primeiramente, enfatiza-se que quando as partículas são desprendidas da camada, é mais fácil transportar as impurezas dos espaços intersticiais para fora do filtro, além disso, a existência de forças de cisalhamento durante o fluxo de água em torno das partículas auxilia na remoção das impurezas aderidas aos grãos (SIWIEC, 2007).

No processo de retrolavagem é fundamental definir o grau de expansão que o leito fluidizado deve alcançar para limpar efetivamente o meio de impurezas. Diante disso, Weber (1979), Cleasby (1972), e Akkoyunlu (2003), relata que a expansão mínima que uma camada deve sofrer para produzir a limpeza do meio filtrante é de 25% da altura total da camada. No entanto, é indispensável observar o tipo de material utilizado como meio filtrante, pois está inteiramente ligado à relação da expansão da camada com a eficiência de remoção. Além disso, há materiais de filtro que possuem boas propriedades de inchamento, mas não fornecem condições ideais de tamanho de partícula para reter partículas suspensas.

Em consonância, Pizarro Cabello (1996) ressaltou, que o processo de fluidificação engloba diferentes variáveis que são influenciadas pela geometria dos componentes e o processo de fabricação do equipamento, o regime de escoamento e a presença de correntes secundárias. E, dentre os equipamento/reactores que permitem a aplicação da retrolavagem.

Se destacam os reatores de leito fixo, especialmente por possuírem diversas vantagens exclusivas e valiosas, como a simplicidade de operação, baixo custo de construção e manutenção, além disso, não necessitam de quase nenhum equipamento auxiliar pois as partículas ficam fixas no leito, também não é necessário nenhum dispendioso dispositivo de separação a jusante e, por fim, ainda há a flexibilidade de operação (MORAES, 2004).

Em relação aos meios filtrantes, salienta-se que devem ser compostos por materiais com granulometria para reter quantidades consideráveis de sólidos e fluentes em suspensão durante a filtração, facilitando assim o processo de limpeza na retrolavagem (WEBER, 1979). Com o intuito de otimizar a operação do filtro, é necessário buscar um equilíbrio entre essas

condições, no entanto, devido ao grande número de parâmetros que afetam ambos os processos, é difícil chegar a essa posição. Sabe-se que a areia muito fina permite a melhor filtragem, entretanto não permite que os sólidos penetrem bem na camada. Por outro lado, a areia pode suportar longos processos de filtração deficiente, facilitando a limpeza do meio filtrante, mas exige altas taxas de fluxo para alcançar a expansão que permite a remoção de contaminantes (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

No processo de retrolavagem podem ser percebidas perdas de carga pela estrutura e componentes internos do filtro e pela camada filtrante. Assim, devido às características estruturais próprias apresentadas, os filtros de areia podem causar fenômenos distintos durante a passagem do líquido em seu interior, um deles é a influência dos componentes internos na perda de carga e determinada pelo tipo e pela estrutura e formato do componente. Dessa forma, por outro lado, a determinação da perda de carga localizada em conexões e peças especiais é complexa por causa das características estruturais do filtro (PUIG-BARGUES *et al.*, 2005).

Com a água de lavagem para a direção ascendente é feito o bombeamento, portanto, a altura do reservatório de água deve ser suficiente para superar a tubulação e acessórios, o fundo do filtro, a camada de seixo rolados, a queda de pressão do meio filtrante em expansão e a altura da água acima do topo do tanque de coleta de água de lavagem (DI BERNARDO E DANTAS, 2005).

Por isso é que, durante a retrolavagem, ocorre a fluidificação dos materiais filtrantes., sendo um processo caracterizado por ser uma operação unitária que envolve a interação sólido-líquido, logo, nesse fenômeno as partículas sólidas entram em estado de suspensão quando submetidas à passagem vertical e ascendente de um fluido distribuído uniformemente por uma placa perfurada que sustenta o leito (BURATINI, 2017).

No início do processo da fluidização, o atrito entre as partículas e o fluido é equivalente ao peso das partículas (RIBEIRO, 2005). Nesse sentido, o comportamento hidrodinâmico em um leito fluidizado é complexo e deve ser entendido para a realização de uma operação tão simples. Ademais, para entender como os sólidos se comportam quando fluidizados, vários parâmetros são usados, um dos principais é a velocidade mínima de fluidização, que está relacionada ao empuxo e ao atrito, em equilíbrio com a gravidade da partícula (ESCUADERO, 2010).

Por fim, no teste de retrolavagem, em que ocorre a movimento do leito, é analisada a água do leito filtrante resultante do fluxo inverso ao sentido de filtração, sendo necessário estar atento aos VMP estabelecidos para a atividade/uso fim a que será dado a água, como à

exemplo, considera-se para o abastecimento público, a Portaria de Consolidação nº 05/2017 e suas alterações descritas na Portaria nº 888/2021 do Ministério da Saúde (MS).

## 2.2 ALGUNS DOS PRINCIPAIS DISPOSITIVOS JURÍDICOS APLICADAS A POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL

Até a publicação da Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997 do CONAMA, as estações de tratamento de água (ETA) não eram consideradas fontes de poluição e desse modo sua implantação e funcionamento não eram objeto de licenciamento ambiental. A referida resolução traz em seu artigo 2º que:

Artigo 2º - A localização, construção, instalação, ampliação, modificação e operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras, bem como os empreendimentos capazes, sob qualquer forma, de causar degradação ambiental, dependerão de prévio licenciamento do órgão ambiental competente, sem prejuízo de outras licenças legalmente exigíveis (BRASIL, 1997. p.1).

Algumas mudanças em relação a legislação ainda estão sendo desencadeadas, pois recentemente foi inserida a Portaria GM/MS nº 888 de 4 de maio de 2021, contexto em que houve alteração no Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 05/2017 do MS, que dispõe sobre os parâmetros de controle e vigilância da qualidade das águas tratadas destinadas para o abastecimento público e o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS nº 05/2017, portanto, passa a vigorar na forma do Anexo a esta Portaria nº 888/21 (BRASIL, 2021), água para consumo humano e água potável apresentam as seguintes definições:

I - água para consumo humano: água potável destinada à ingestão, preparação e produção de alimentos e à higiene pessoal, independentemente da sua origem; II - água potável: água que atenda ao padrão de potabilidade estabelecido nesta Anexo e que não ofereça riscos à saúde; III - padrão de potabilidade: conjunto de valores permitidos para os parâmetros da qualidade da água para consumo humano, conforme definido neste Anexo (BRASIL, 2021).

O controle da qualidade da água é de responsabilidade do responsável pelo sistema de água ou solução alternativa. Portanto, cabe às autoridades municipais de saúde monitorar a qualidade da água à disposição de seus munícipes, verificar a qualidade e as práticas operacionais do sistema ou alternativas de abastecimento coletivo (BRASIL, 2021).

De acordo com o artigo 42, Seção 2, Capítulo VI, as amostras de qualidade da água para consumo humano provenientes de mananciais subterrâneos devem ser analisadas quanto à turbidez, cor verdadeira, pH, fósforo total, nitrogênio amoniacal total, condutividade elétrica e inorgânica, orgânica e inorgânica, parâmetros orgânicos e pesticidas (BRASIL, 2021).

Tabela 1 – Alguns dos principais padrões de potabilidade descritos na Portaria nº 888/2021 do MS.

<b>Parâmetro</b>	<b>Unidade</b>	<b>VPM (1)</b>
<b>Absorvância (<math>\lambda - 254 \text{ nm}</math>)</b>	u.a.	-
<b>Alcalinidade</b>	mg L <sup>-1</sup> CaCO <sub>3</sub>	-
<b>Coliformes Termotolerantes</b>	P/N (2)	Ausência em 100 mL
<b>Coliformes totais</b>	P/N (2)	Ausência em 100 mL
<b>Cor aparente</b>	uH	15,0
<b>pH</b>	-	6,0 a 9,0
<b>Turbidez</b>	uT	5,0

Fonte: Adaptado da Portaria nº 888/2021 do MS. Notas: (1) valor máximo permitido; (2) positivo ou negativo

A respeito dos parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água para abastecimento ao público. De acordo com o Art. 42º, § 2º, Capítulo VI, as amostragens da qualidade da água para consumo humano, supridos por manancial subterrâneo devem ser feitas análises dos parâmetros turbidez, cor verdadeira, pH, fósforo total, nitrogênio amoniacal total, condutividade elétrica e dos parâmetros inorgânicos, orgânicos e agrotóxicos (BRASIL, 2021).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item estão descritos o tipo de estudo, a caracterização da área de estudo, a característica da água e o período de estudo, o RLF-BI e sobre o meio filtrante da retrolavagem.

#### 3.1 TIPO DE ESTUDO

Realizou-se pesquisa experimental conforme descrito por Marconi e Lakatos (2003), acerca do processo de retrolavagem em RLF-BF, com abordagem quantitativa em termos de análise de carreiras de filtração e da eficiência do processo preliminar de retrolavagem no referido reator.

#### 3.2 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

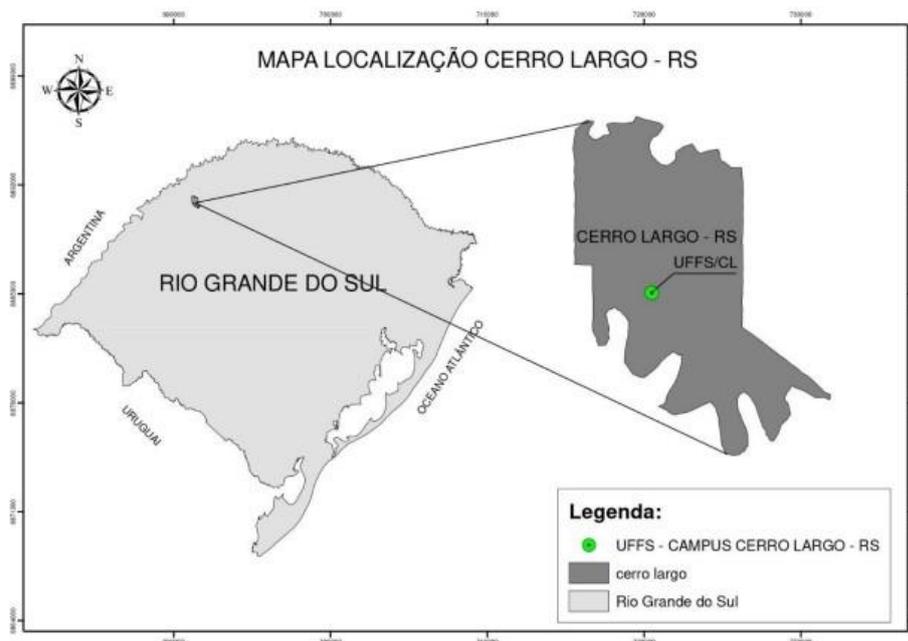
O estudo foi realizado no município de Cerro Largo, que possui seu abastecimento público realizado exclusivamente pela captação das águas subterrâneas do Sistema Aquífero Serra Geral I, assim, a disponibilidade e qualidade são fundamentais e estão inteiramente ligadas ao alcance do objetivo que é suprir as demandas hídricas do município.

No município, a distribuição da água potável é realizada de formas diferenciadas: no meio urbano o abastecimento é realizado por 13 poços da CORSAN, enquanto que, o abastecimento público rural é realizado por 23 poços da Prefeitura Municipal, distribuídos pelas localidades rurais próximas à área urbana. No entanto, há residências que não estão completamente ligadas ao abastecimento público, sendo a captações de água por sistema de abastecimento individual (SAI) ou sistema de abastecimento coletivo (SAC), seja por poços cacimba, poços tubulares, ou fontes de encosta e nascentes (SILVEIRA,2019).

Segundo o IBGE (2021), o município de Cerro Largo possui 14.243 habitantes e de acordo com IBGE (2010) a densidade populacional de 74,79 habitantes km<sup>-2</sup> e uma área territorial de 177,675 km<sup>2</sup>, dos quais 83,0% dos domicílios estão localizados na zona urbana e 17,0% na zona rural do município.

O presente estudo foi realizado no laboratório de Águas e Ecotoxicologia da Universidade Federal da Fronteira Sul, no município de Cerro Largo conforme especificação na Figura 2.

Figura 2 – Localização de Cerro Largo no estado do Rio Grande do Sul – Brasil



Fonte: Autora (2022).

### 3.2.1 COLETA DE ÁGUA E PERÍODO DE ESTUDO

Neste estudo foram utilizadas, água para a carreira de filtração, sendo está proveniente de poço tubular artesiano, do interior de Cerro Largo – RS. A água subterrânea analisada, segundo o Sistema de Informações de Águas Subterrâneas (SIAGAS) da Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM), 1988 de origem do aquífero Serra Geral, de solo argiloso, o poço tem de profundidade de 120 metros, com uma vazão específica de  $0,093 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1} \text{ m}^{-1}$  e após a estabilização tem uma vazão de  $9,375 \text{ m}^3 \text{ h}^{-1}$ . A responsável pela perfuração em 13 de setembro de 1988 e análise e a CORSAN.

E, a água de retrolavagem, sendo de origem das dependências da UFFS, que recebe a água tratada com cloração da CORSAN, de poço artesiano.

O estudo foi desenvolvido entre março/2022 a agosto/2022, nas dependências da Universidade Federal da Fronteira Sul- Cerro Largo/RS.

As atividades desenvolvidas de coleta de água foram de acordo com as normas estabelecida pela FUNASA, seguindo a Portaria GM/MS nº 888, de 04 de maio de 2021.

Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação GM/MS N° 5, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. (BRASIL, 2021. p.1).

As denominações vinculadas a águas deste estudo perfazem:

A água bruta (AB), sendo esta a água de poço artesiano de comunidade rural no município de Cerro Largo, a qual foi analisada previamente a entrada no RLF-BF e pós reservação.

A água tratada por filtração (AT-F), referente a cada carreira de filtração no leito filtrante do RLF-BF, sendo esta, a água de poço artesiano de comunidade rural no município de Cerro Largo que passou somente pelo filtro de areia e camada suporte do RLF-BF.

A água tratada por filtração/adsorção (AT-FA), referente a cada carreira de filtração no leito filtrante e no leito filtrante/adsorvente do RLF-BF, sendo esta, a água de poço artesiano de comunidade rural no município de Cerro Largo, que passou por filtro de areia, filtro/leito adsorvente de CAG e camada suporte de ambos no RLF-BF.

A água bruta utilizada para a retrolavagem (AB-R), sendo a água coletada no Laboratório Águas e Ecotoxicologia da UFFS, de origem de abastecimento público da CORSAN e analisada previamente a retrolavagem do leito filtrante no RLF-BF.

A água de retrolavagem (AR), sendo está a água sobrenadante coletada, do leito filtrante após o processo de retrolavagem do leito filtrante do RLF-BF.

### 3.3 REATOR LEITO FIXO DE BI-FLUXO (RFL-BF)

O RLF-BF foi desenvolvido por Alves (2018), sendo este um reator tubular, instalado na posição vertical. O RLF-BF, possui filtração em leito filtrante em fluxo descendente, e filtração/adsorção em fluxo ascendente, e se caracteriza como um reator dois leitos filtrantes.

A construção do RLF-BF considerou a ABNT NBR n° 12.216/1992 (ABNT, 1992), a qual orienta sobre a na elaboração de projeto de ETA destinada à produção de água potável para abastecimento público.

As principais características construtivas e operacionais do RLF-BF perfazem:

I - Leito filtrante com: a) filtro de areia com diâmetro médio de área  $0,276 \text{ m}^2$  e altura  $0,88 \text{ m}$ . b) volume total do filtro:  $0,00691 \text{ m}^3$  c) TAS:  $166,68 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ d}^{-1}$  d) camada suporte

constituída de: de seixos rolados no leito filtrante foi de 27 cm com 15 cm de areia sobre a camada suporte. e) fluxo: descendente.

II - Leito filtrante/adsorvente com: a) filtro de CAG com diâmetro médio de: 200mm; b) volume total do filtro: 0,0659 m<sup>3</sup>; c) TAS: 78,98 m<sup>3</sup> m<sup>-2</sup> d<sup>-1</sup>; d) camada suporte constituída de: seixos rolados de 9 cm e 5 cm de CAG. e) fluxo: descendente. As características físico-químicas do adsorvente CAG e o seu preparo foram descritas por Alves *et al.* (2019).

III – Reservatório de água com: a) volume total: 200 L

O RLF-BF foi construído em PCV, sendo bi-fluxo, ou seja, fluxo descendente para a filtração e ascendente para a filtração/adsorção, sendo todo o tratamento realizado por gravidade.

Na Figura 3 observa-se o RLF-BF desenvolvido por Alves (2018), construído em escala piloto no laboratório de Água e Ecotoxicologia da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) - *Campus Cerro Largo*.

Figura 3 – RLF-BF em escala piloto



Nota: Leito Filtrante/Adsorvente tem a altura de 1,05 m, e pontos de coleta de água do RLF-BF, água tratada por filtração (AT-F), água tratada por filtração e adsorção (AT-FA), e inserção de água para retrolavagem através da torneira nomeada como RETROLAVAGEM. Fonte: Autora (2022).

Em síntese, a água entrava no RLF-BF na parte superior, passando pela filtração, reservatório e filtração/ adsorção previamente antes de sua saída do RLF-BF.

Cabe destacar que, em geral a filtração rápida caracteriza-se pela necessidade de condicionamento prévio da água bruta com uso de coagulantes e utilização de taxas de filtração elevadas, tendo como consequência a predominância de mecanismos químicos e físicos de retenção de impurezas. No entanto, neste estudo, a água utilizada nas carreiras de filtração não passou por qualquer tratamento prévio.

### 3.2.1 CARREIRAS DE FILTRAÇÃO

Foi realizado 15 carreiras de filtração, e analisado posteriormente todos os resultados em triplicata.

#### 3.2.1.1 Parâmetros analíticos

Na Tabela 2 verifica-se os parâmetros, métodos e equipamentos usados nas amostras AB, ATF e ATF-A, que foram monitoradas de acordo com os parâmetros estabelecidos.

Tabela 2 – Parâmetros físicos, químicos e microbiológicos da água de abastecimento público

<b>Parâmetro (unidade de medida)</b>	<b>Método</b>	<b>Equipamento</b>
Cor aparente (uH)	4500 G (APHA, 2012)	Colorímetro Digimed
Turbidez (uT)	2130 (APHA, 2012)	Turbidímetro TECNOPON TB-2000
Coliformes totais	SM 9221 C (APHA, 2012)	Kit AQUATESTcoli®
Coliformes termotolerantes	SM 9221 F (APHA, 2012)	Kit AQUATESTcoli®
Absorvância ( $\lambda - 254$ nm) (u.a)	5910 B (APHA (1), 2012)	Espectrofotômetros UV-Visíveis

Dureza cálcica (mg L <sup>-1</sup> )	9211 (APHA, 2012)	Kit Pool Test®
pH	9211 (APHA, 2012)	Kit Pool Test®
Cloro Livre (mg l <sup>-1</sup> )	9211 (APHA, 2012)	Kit Pool Test®

Fonte: Autora (2022). Notas: (1) American Public Health Association, 2012; (2) presença ou ausência em 100 mg L<sup>-1</sup>; (3) potencial hidrogeniônico.

Estes parâmetros foram utilizados para as 15 carreiras de filtração antes da retrolavagem e 10 carreiras de filtração após o processo de retrolavagem, na forma de triplicata dos resultados obtidos.

### 3.2.2 RETROLAVAGEM DO MEIO FILTRANTE

Para a retrolavagem do leito filtrante foi preliminarmente realizado ensaio de expansão do leito filtrante considerando a altura disponível para a expansão da areia conforme pode ser observado na Tabela 3.

Tabela 3 – Testes de expansão do leito filtrante para a realização da retrolavagem

<b>Expansão no leito filtrante (%)</b>	<b>Tempo (min)</b>	<b>Altura de expansão do leito filtrante (cm)</b>	<b>Vazão da água na torneira m<sup>3</sup> h<sup>-1</sup></b>
10%	3,12	1	0,236
25%	3,43	3	0,236
50%	4,02	8	0,236
75%	4,05	11,5	0,236
100%	4,2	14	0,236
150%	5,2	24,5	0,236

Fonte: Autora (2022).

No ensaio de expansão, após passagem de água por 3 minutos e 12 segundos foi aberto o registro para a passagem de água no leito filtrante e obteve-se 10% de expansão do leito filtrante (areia). Com 3 minutos e 43 segundos, se obteve 25% de expansão do leito filtrante. Os 50% de expansão foi alcançado aos 4 minutos e 2 segundos, os 75% de expansão foram

obtidos com 4 minutos e 5 segundos, 100% de expansão com 4 minutos e 20 segundos, 150% com 5 min e 20 segundo de retrolavagem.

Foi ainda realizado testes de vazão com quintuplicata e obteve-se uma vazão média de entrada de  $5,68 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ , e para fins de identificação da expansão da areia do leito filtrante (areia) obteve-se a melhor expansão sem perda do material filtrante em aproximadamente 125% (19 cm). Para tanto, utilizou-se neste estudo a retrolavagem com 125% de expansão do leito filtrante.

Em cada retrolavagem foram coletadas a AB-R e a AR e analisados os parâmetros descritos na Tabela 2, em triplicata dos resultados obtidos.

A retrolavagem foi realizada apenas no leito filtrante do RLF-BF, sendo que esta função no RLF-BF é individual e não influenciou na movimentação do leito filtrante/adsorvente.

O processo preliminar de retrolavagem é assim denominado neste estudo, pois é tratado como uma análise preliminar dos ensaios de retrolavagem, visto que, não há configuração de reator igual ao utilizado no estudo, descrito na literatura.

Sendo assim, o processo de retrolavagem consistiu em após cada carreira de filtração, ou seja, ao atingir a perda de carga máxima sessou-se o processo de tratamento e fez-se a retrolavagem com vazão aproximada de  $5,68 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$ , expansão da areia em aproximadamente 125% (19 cm).

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse item estão elencados os resultados e discussões referentes ao processo de filtração antes e após a retrolavagem de acordo com suas eficiências de tratamentos e os parâmetros físicos-químicos.

### 4.1 CARREIRAS DE FILTRAÇÃO DO PROCESSO DE FILTRAÇÃO/ADSORÇÃO

Os parâmetros resultados acerca dos parâmetros analisados nas 15 carreiras de filtração realizadas durante a operação do RLF-BF, estão abaixo elencados.

#### 4.1.1 Perda de Carga

Os resultados de perda de carga (cm) do leito filtrante e adsorvente analisados em laboratório por meio de monitoramento da lâmina de água durante as carreiras de filtração no do RLF-BF, estão descritos na Tabela 4.

Tabela 4 – Perda de carga durante as carreiras de filtração no RLF-BF

<b>Carreira de Filtração</b>	<b>Perda de carga no leito filtrante (cm)</b>	<b>Perda de carga no leito filtrante/adsorvente (cm)</b>	<b>Tempo de operação (min)</b>
1	10	9	20
2	12	9	30
3	15	10	40
4	16	11	50
5	20	15	60
6	20	15	70
7	20	15	80
8	21	15	90
9	21	15	100
10	21	15	110
11	21	15	120
12	25	18	130

13	25	18	140
14	25	18	150
15	25	18	160

Fonte: Autora (2022).

Ao considerar as 15 carreiras de filtração realizadas, os resultados obtidos da perda de carga variaram entre 10 a 25 cm ao longo da operação do RLF-BF (2 h 40 min).

No leito filtrante, em 20 minutos de operação a perda de carga ficou em 10 cm, no tempo de 30 min a perda de carga correspondeu a 12 e em 100 min de operação resultou em 21 cm de perda de carga, a qual se manteve até o final da operação, sendo a perda de carga máxima possível igual a 88 cm.

Enquanto que, no leito filtrante/adsorvente, em 20/30 minutos de operação a perda de carga ficou em 9 cm, com 40 min de operação a perda de carga ficou em 11 cm, e partir de 50 min a 120 se estabilizou nos 15 cm. A partir do tempo de 130 min a 160 min obteve uma perda de carga máxima de 18 cm

Alves (2017) sugeriu que em RLF para potabilização de água o aumento da perda de carga pode estar relacionado principalmente retenção de material particulado, os quais são retidos pelo leito filtrante, reduzindo os poros disponíveis do leito adsorvente, diminuindo a vazão de saída de água e aumentando consequentemente a perda de carga e a colmatação dos leitos.

#### 4.1.2 Cor Aparente (uH)

Na Tabela 5 estão descritos os valores da AB, AT-F e AT-FA durante as carreiras de filtração no RLF-BF.

Tabela 5 – Cor aparente do RLF-BF

<b>Carreiras de filtração</b>	<b>AB (uH)</b>	<b>DP (AB)</b>	<b>AT-F (uH)</b>	<b>DP (AT- F)</b>	<b>AT-FA (uH)</b>	<b>DP (AT-FA)</b>
1	0,01	0	5,97	1,67	4,73	0,21
2	0,2	0	5,33	0,49	5,3	1,15
3	1,05	0	3,37	0,32	3,8	0,68
4	1,02	0	3,67	0,12	2,67	0,21

5	1,05	0	3,63	0,12	4,4	1,39
6	2,42	0	4,4	0,2	2,4	1,22
7	3,53	0	1,2	0,7	1,97	0,5
8	3,68	0	1,9	0,2	0,8	0,8
9	3,15	0	1,6	0,4	1,77	0,59
10	3,36	0	1,77	0,38	2,37	0,72
11	3,54	0	1,57	0,7	1,43	1,36
12	4,17	0	1,58	0,68	2,63	0,68
13	4,92	0	2,2	0,35	0,97	0,85
14	4,84	0	2,57	0,12	0,33	0,42
15	5,56	0	2,63	0,25	0,4	0,21

Nota: AB (Água Bruta), AT-F (Água Tratada Filtrada), AT-FA (Água Tratada por Filtração/Adsorção).  
Fonte: Autora (2022).

Os valores da cor aparente da AB iniciaram com 0,01 uH e aumentou ao longo das coletas de água do tanque de 200 L, atingindo após 15 carreiras de filtração 5,56 uH. Em relação a AT-F na carreira de filtração 1 o valor correspondia a 5,97 uH, no entanto houve redução do valor da cor aparente na carreira de filtração 12 (1,58 uH). Aa AT-FA iniciou com cor aparente em 4,73 uH e na última carreira de filtração (15) atingiu 0,4 uH.

Por meio da comparação entre AT-F e AT-FA no tocante a cor aparente, foi possível constatar que houve redução média 6,7 % da cor aparente da água, sendo o CAG eficiente na redução da cor aparente, demonstrando tendência em diminuir ao longo da operação. Então, o RLF-BF ao longo das carreiras de filtração possibilitou identificar que a AT-F e a AT-FA apresentaram redução média de 6,7 % da cor aparente, ficando dentro do VMP de 15,00 uH, estabelecido pela Portaria nº 888/2021 do MS.

Estes resultados vão ao encontro do que foi afirmado por Alves (2017), no estudo em que foi avaliado este parâmetro fazendo uso de água de abastecimento público, identificou-se que os resultados obtidos de cor aparente oscilam e são também valores comuns encontrados nas ETAs, logo, essas variações ocorrem tanto em escala real, quanto laboratorial.

É importante salientar que a cor aparente de origem natural, não antrópica, não apresenta risco a saúde humana, mas pode afetar a confiabilidade da água, além disso, a cloração afetada pela matéria orgânica dissolvida pode formar subprodutos como Trihalometanos (THM) (MAYER, 1994).

Enquanto que, a cor aparente de origem antrópica pode apresentar ou não toxicidade (VON SPERLING, 1996). Sendo que, as águas com cor aparente elevada implicam na

atividade operacional do tratamento de água, valores de água bruta inferiores a 5,00 uH podem dispensar da etapa de coagulação química, os valores superiores a 25,00 uH requerem a etapa de coagulação seguida por filtração.

#### 4.1.3 Turbidez (uT)

Na Tabela 6 observa-se os valores de turbidez da AB, TA-F e AT-FA obtidas durante as carreiras de filtração no RLF-BF.

Tabela 6 – Turbidez da AB, TA-F e AT-FA durante as carreiras de filtração no RLF-BF

<b>Carreiras de filtração</b>	<b>AB (uT)</b>	<b>DP (AB)</b>	<b>AT-F (uT)</b>	<b>DP (AT-F)</b>	<b>AT-FA (uT)</b>	<b>DP (AT-FA)</b>
1	0,55	0,07	3,06	0,05	8,21	0,49
2	0,58	0,18	2,77	0,05	6,94	0,39
3	0,35	0,12	2,94	0,06	7,24	0,21
4	0,66	0,12	1,74	0,04	6,7	0,23
5	0,42	0,13	1,36	0,04	6,54	0,19
6	0,33	0,18	1,33	0,01	6,22	0,015
7	0,33	0,18	1,34	0,05	6,33	0,12
8	0,35	0,16	1,27	0,05	6,38	0,13
9	0,77	0,09	1,11	0,05	6,18	0,11
10	0,37	0,09	1,12	0,08	5,98	0,10
11	0,39	0,06	1,11	0,09	5,94	0,20
12	0,34	0,08	1,06	0,05	5,83	0,22
13	0,37	0,08	1,04	0,06	5,1	0,23
14	0,50	0,09	1,19	0,08	5,14	0,13
15	0,38	0,08	1,14	0,02	4,93	0,14

Nota: AB (Água Bruta), AT-F (Água Tratada Filtrada), AT-FA (Água Tratada por Filtração/Adsorção). Fonte: Autora (2022).

Os valores da turbidez das amostras de água AB apresentaram resultados que variaram entre 0,55 a 0,38 uT. Enquanto que, na AT-F variou entre 3,06 a 1,14 uT e na AT-FA entre 8,21 a 4,93 uT.

Foi possível comparar as amostras de água, sendo que AB em comparação a AT-F ocorreu aumento da turbidez de 3,06 para 8,21 uT; considerando que, possivelmente o leito filtrante não reteve as partículas sólidas suspensas na água, principalmente das amostras 1 a 3. Nas amostras AB para AT-FA também não se obteve remoção, indicando possivelmente a interferência do CAG nas primeiras carreiras de filtração, aumentando, portanto, a turbidez da AT-FA, principalmente nas amostras 1 a 3, e sequencialmente apresentou valores estabilidade até a 15 amostra.

Os valores de turbidez da AT-F em comparação a AT-FA apresentaram redução, porém não atingiram o VMP de 5,00 uT estabelecido pela Portaria nº 888/2021 do MS.

Estes resultados confirmam o que foi descrito por Alves (2017), em estudo que avaliou o parâmetro turbidez utilizando-se de água de abastecimento público e identificou que o adsorvente (CAG) foi responsável por conferir turbidez à água tratada no início da operação da coluna de adsorção de CAG. Ou seja, a realização de um maior número de carreiras de filtração, poderá ao longo do tempo identificar se, os valores se mantêm ou haverá uma redução que considere atingir aos padrões de potabilidade condizentes a turbidez.

Cabe destacar que, a turbidez da água pode diminuir a eficiência da desinfecção, enquanto que a água com turbidez com valores inferiores a 20,00 uT pode dispensar da etapa de coagulação química, valores superiores a 50,00 uT precisam da etapa de coagulação ou pré-filtro antes de passar pela filtração (VON SPERLING, 1996).

#### 4.1.4 Absorvância ( $\lambda - 254$ nm)

Na Tabela 7, verifica-se os valores de absorvância ( $\lambda - 254$  nm) da AB, AT-F e AT-FA durante as 15 carreiras de filtração no RLF-BF.

Tabela 7 – Absorvância ( $\lambda - 254$  nm) durante as carreiras de filtração no RLF-BF

<b>Carreiras de filtração</b>	<b>AB (u.a)</b>	<b>DP (AB)</b>	<b>AT-F (u.a)</b>	<b>DP (AT-F)</b>	<b>AT-FA (u.a)</b>	<b>DP (AT-FA)</b>
1	0,016	0,001	0,021	0,005	0,024	0,007
2	0,049	0,003	0,024	0,001	0,021	0,008
3	0,080	0,002	0,020	0,007	0,022	0,002
4	0,013	0,001	0,026	0,003	0,027	0,002
5	0,014	0,003	0,024	0,002	0,023	0,001

6	0,010	0,004	0,023	0,002	0,024	0,004
7	0,016	0,005	0,014	0,001	0,096	0,001
8	0,017	0,007	0,019	0,005	0,027	0,002
9	0,019	0,001	0,016	0,001	0,020	0,001
10	0,029	0,008	0,045	0,008	0,038	0,005
11	0,039	0,001	0,046	0,001	0,098	0,005
12	0,015	0,005	0,034	0,005	0,019	0,003
13	0,017	0,001	0,078	0,001	0,072	0,001
14	0,018	0,00	0,026	0,007	0,023	0,002
15	0,019	0,001	0,027	0,003	0,024	0,002

Nota: AB (Água Bruta), AT-F (Água Tratada Filtrada), AT-FA (Água Tratada por Filtração/Adsorção). Fonte: Autora (2022).

Os resultados de absorvância ( $\lambda - 254$  nm) variaram ao longo dos pontos amostrais, entre 0,010 a 0,098 u.a. Ao analisar estes resultados percebeu-se que a absorvância ( $\lambda - 254$  nm) da amostra AB além de sofrer variações ao longo das carreiras de filtração, atingiu a máxima de 0,080 u.a. nas amostragens 1 e 15 e mínima na amostragem 6 com 0,010 u.a.

Foi possível comparar as amostras de água, sendo que AB para AT-F houve aumento médio de 19,4 % da absorvância ( $\lambda - 254$  nm), este resultado pode ter influência da coluna de areia, aumentando a presença de matéria orgânica ou material particulado na água. Nas amostras AB e AT-FA se obteve aumento médio de 26 % em relação a absorvância ( $\lambda - 254$  nm), indicando que provavelmente ocorreu o arraste de partículas de CAG mais finos (0,098 nm) e que ao longo das carreiras, o CAG foi melhor se ajustando ao leito filtrante/adsorvente reduzindo assim o arraste.

A absorvância ( $\lambda - 254$  nm) não é um parâmetro de potabilidade considerado pela Portaria nº 888/2021 do MS e, pode estar relacionada a presença de matéria orgânica nos corpos d'água (subterrâneos ou superficiais), sendo um possível indicador de poluição (VON SPERLING, 1996).

#### 4.1.5 Dureza Cálcica ( $\text{m L}^{-1}$ )

O resultado da dureza calcita correspondeu a 0  $\text{mg L}^{-1}$ , sendo assim a dureza cálcica se classifica água branda, não identificando a presença de teores de cátions (LIBÂNIO, 2010).

A dureza de cálcio medida pelos compostos de cálcio e a dureza total determinam os compostos de cálcio e magnésio presentes na água. Este parâmetro não está estabelecido na Portaria nº 888/2021 do MS, apenas se refere à dureza total de 300 mg L<sup>-1</sup> de VMP.

Pode-se classificar as águas, quanto a dureza, em: concentrações acima de 150 mg L<sup>-1</sup>, água é classificada como dura; teores entre 150 e 75 mg L<sup>-1</sup>, como moderadas e, abaixo de 75 mg L<sup>-1</sup> é chamada de água mole, segundo a Portaria MS nº888/2021. A água em estudo foi considerada mole, por se abaixo de 75 mg L<sup>-1</sup>

#### 4.1.6 Cloro Livre (m L<sup>-1</sup>)

Todos os resultados de cloro livre da AB, AT-F e AT-FA, foram inferiores a 0,01 mg L<sup>-1</sup>. Conforme a Portaria nº 888/2021 do MS o cloro livre para os padrões de potabilização para águas de captação de mananciais subterrâneos possui VMP de 5 mg L<sup>-1</sup>.

Ainda preconiza a obrigação de manter no mínimo 0,2 mg L<sup>-1</sup> de cloro residual livre ou 2 mg L<sup>-1</sup> de cloro residual combinado ou de 0,2 mg L<sup>-1</sup> de dióxido de cloro em toda a extensão do sistema de distribuição e nos pontos de consumo.

#### 4.1.7 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Na Tabela 8, verifica-se os valores de pH da AB, AT-F e AT-FA durante as carreiras de filtração no RLF-BF.

Tabela 8 – Valores de pH da AB, AT-F e AT-FA durante as carreiras de filtração no RLF-BF

<b>Carreiras de filtração</b>	<b>AB</b>	<b>AT-F</b>	<b>AT-FA</b>
1	9	9	7,2
2	9	9	7,2
3	9	9	7,2
4	9	9	7,2
5	9	9	7,2
6	9	9	7,2
7	9	9	7,2
8	9	9	7,6

9	9	9	7,6
10	9	9	7,6
11	9	9	7,6
12	9	9	8,4
13	9	9	8,4
14	9	9	7,6
15	9	9	7,6

Nota: AB (Água Bruta), AT-F (Água Tratada Filtrada), AT-FA (Água Tratada por Filtração/Adsorção). Fonte: Autora (2022).

Os valores de pH das amostras de água apresentaram resultados que variaram entre 7,2 a 9, se mantendo em condições alcalinas. Sendo que, em todas as carreiras de filtração a AB e AT-F, os valores se mantiveram em pH 9 ao longo de toda operação. As amostras de AT-FA variaram entre pH 7,2 e 8,4. Nessas amostras os valores de pH da AT-FA variaram de 7,2 a 8,4 ao longo da operação, apresentando tendência a neutralidade.

De modo geral, todos os resultados estavam de acordo com padrões de potabilidade descritos na Portaria nº 888/2021 do MS que estabelece o valor de pH entre 6 a 9.

O valor de pH pode estar atrelado a sólidos e gases dissolvidos, pode ser de origem natural por decomposição de rochas, absorção de gases da atmosfera e oxidação de matéria orgânica ou pode ser de origem antrópica pelo despejo esgoto doméstico e industrial (VON SPERLING, 1996).

O pH é importante no decorrer das etapas de tratamento de água, pois pH baixo (<6) pode causar corrosividade nas águas de abastecimento e pH elevado (>9) pode causar incrustações (DI BERNARDO; DANTAS, 2005).

#### 4.1.8 Alcalinidade (m L<sup>-1</sup>)

Na Tabela 9, observa-se os valores de alcalinidade da AB, AF e AA durante as carreiras de filtração no RLF-BF.

Tabela 9 – Alcalinidade da AB, AF e AA durante as carreiras de filtração no RLF-BF

<b>Carreiras de filtração</b>	<b>AB (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>AT-F (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>AT-FA (mg L<sup>-1</sup>)</b>
1	240	180	120
2	240	180	120
3	240	180	120
4	240	180	120
5	240	180	120
6	240	180	120
7	240	180	120
8	240	180	120
9	240	180	120
10	240	180	120
11	240	180	120
12	240	180	120
13	240	180	120
14	240	180	120
15	240	180	120

Nota: AB (Água Bruta), AT-F (Água Tratada Filtrada), AT-FA (Água Tratada por Filtração/Adsorção). Fonte: Autora (2022).

Os valores de alcalinidade das amostras de água apresentaram resultados que variaram entre 120 e 240 mg L<sup>-1</sup>. Sendo que, desde o início das carreiras de filtração, a alcalinidade da AB se manteve em 240 mg L<sup>-1</sup>.

Foi possível comparar as amostras de água, sendo que, na AF em comparação a AB houve redução média 75 % da alcalinidade, indicando que, possivelmente, a coluna de areia reteve algumas substâncias alcalinas, observando juntamente com o pH da AB que se manteve em 9, há presença de carbonatos e bicarbonatos, sendo estes, os principais contribuintes para neutralizar ácidos e estabilizar o pH. Nas amostras de AB e AF houve redução média de 50% da alcalinidade e o pH se manteve em média 9, mantendo as condições da primeira durante as carreiras de filtração.

Nas carreiras de filtração, a AF em comparação a AT-FA teve redução média de 66,6 % da alcalinidade e o pH também se manteve em média 7,52 demonstrando que os resultados

obtidos corroboram para que ocorra a neutralização dos ácidos e estabilização do pH, contribuindo, inclusive para eficiência no tratamento de água (LIBÂNIO, 2010).

Em águas subterrâneas a alcalinidade pode variar de acordo com a localização geográfica, devido aos minerais das rochas e o solo. As áreas com uma alta disponibilidade de rochas de calcário terão uma alcalinidade maior do que áreas com alta disponibilidade de granito (BAIRD, 2002).

A alcalinidade não é um parâmetro de potabilidade considerado pela Portaria nº 888/21 do MS, mas é importante conhecer os valores deste parâmetro, pois o condicionamento final da água em um tratamento pode exigir a adição de alcalinizante para manter a estabilidade do carbonato de cálcio e evitar problemas no sistema de abastecimento (DI BERNADO; DANTAS 2005).

#### 4.1.9. Coliformes totais e termotolerantes

Na Tabela 10, podem ser observados os resultados de presença/ausência de coliformes totais e termotolerantes da AB, AF e AA durante as carreiras de filtração no RLF-BF.

Tabela 10 – Presença/ausência de coliformes totais e termotolerantes da AB, AT-F e AT-FA durante as carreiras de filtração no RLF-BF

<b>Carreiras de Filtração</b>	<b>AB</b>	<b>AT-F</b>	<b>AT-FA</b>
1	Ausência	Presença	Ausência
2	Ausência	Presença	Ausência
3	Ausência	Presença	Ausência
4	Ausência	Presença	Ausência
5	Ausência	Presença	Ausência
6	Ausência	Presença	Ausência
7	Ausência	Presença	Ausência
8	Ausência	Presença	Ausência
9	Ausência	Presença	Ausência
10	Ausência	Presença	Ausência
11	Ausência	Presença	Ausência
12	Ausência	Presença	Ausência

13	Ausência	Presença	Ausência
14	Ausência	Presença	Ausência
15	Ausência	Presença	Ausência

---

Nota: AB (Água Bruta), AT-F (Água Tratada Filtrada), AT-FA (Água Tratada por Filtração/Adsorção). Fonte: Autora (2022).

Conforme pode ser observado na Tabela 10, os resultados obtidos nas carreiras de filtração (1 a 15) da AB e AT-FA não apresentaram resultados de presença de coliformes totais e termotolerantes em 100 mL de água. E, a AT-F, ou seja, após a AB passar pela filtração em areia se identificou presença de coliformes totais e termotolerantes, enquanto que na AT-FA, novamente se constatou a ausência de coliformes totais e termotolerantes.

Cabe destacar que a água do poço rural presente na amostra, possuía tratamento de desinfecção por cloração e, segundo Fernandes (2011), se a água passar por este processo de tratamento, seja com o emprego de cloro ou outro produto desinfetante, não deve conter organismos coliformes. Pois, conforme a Portaria nº 888/2021 do MS deve-se apresentar ausência de coliformes totais e termotolerantes em 100 mL de amostra, sendo que estes resultados apresentados não estão em conformidade com a legislação.

Com isso pode-se considerar contaminação cruzada ao longo das carreiras de filtração no RLF-BF vinculada possivelmente a areia e/ou seixos rolados e, para tanto sugere-se adotar o procedimento de higienização ainda mais seguro para fins de se evitar tal contaminação.

Estes parâmetros microbiológicos, se tratam dos microrganismos que desempenham diversas funções relacionadas com a transformação da matéria dentro dos ciclos biogeoquímicos, mas em termo de qualidade biológica da água possibilitam a transmissão de doenças vinculadas a águas. A detecção dos agentes patogênicos, como bactérias, protozoários e vírus são dificilmente detectados em amostra de água, por suas baixas concentrações (VON SPERLING, 1996).

O RLF - BF pode reter uma grande quantidade de biomassa, manter uma baixa taxa de crescimento bacteriano e manter a estabilidade em condições desfavoráveis, como flutuações na composição do fluxo, mudanças nas condições de operação e até na presença de substâncias tóxicas (ESCUDIÉ *et al.*, 2005).

## 4.2 EFICIÊNCIA DOS TESTES PRELIMINARES DE RETROLAVAGEM DO LEITO FILTRANTE DO RLF-BF

Na Tabela 11 observa-se os resultados de 5 testes de retrolavagens com especificação do tempo de retrolavagem, da vazão de entrada, do tempo de equilíbrio após o desligamento da água, bem como a expansão do leito filtrante.

Tabela 11 – Características gerais do processo de retrolavagem no leito filtrante.

<b>Retrolavagens</b>	<b>Vazão (m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup>)</b>	<b>TEA (min)</b>	<b>AEL-F (cm)</b>	<b>TE (min)</b>	<b>AEAE-LF (cm)</b>	<b>Porcentagem (%)</b>
R1	4,11	7,24	16,5	4,36	17	113,3
R2	4,54	5,7	17	6	17,5	116,6
R3	3,84	5,2	18	5	19	126,6
R4	4,8	5	18	4,8	19	126,6
R5	4,11	4,8	18,5	4,8	19	126,6

Nota: (R) retrolavagens, (TEA) Tempo de entrada da água, (AEL-F) Altura de Expansão do leito filtrante, (TE) Tempo de Equilíbrio e (AEAE-LF) Altura da Expansão Após o equilíbrio no leito filtrante. Fonte: Autora (2022).

Os 5 testes de retrolavagem do meio filtrante foram realizados com uma vazão média de entrada de água de 5,68 m<sup>3</sup> d<sup>-1</sup> e com uma expansão do leito filtrante próxima a 125% (19cm).

Destaca se que, a operação correta do processo de retrolavagem requer que a camada filtrante seja fluidizada, expandindo-se em consequência do fluxo inverso a da água. Esse procedimento deve ser baseado em vazões determinadas e controladas para atingir a eficácia desejada da limpeza e impedir perdas de areia da camada. (SALCEDO *et al.*, 2011, p. 1227).

### 4.2.1 Cor Aparente (μH)

Os resultados de cor aparente (μH) da AB-R e da AR estão descritos na Tabela 12.

Tabela 12 – Cor aparente ( $\mu\text{H}$ ) da AB-R e da AR da retrolavagem do leito filtrante

<b>Retrolavagens</b>	<b>AB-R (<math>\mu\text{H}</math>)</b>	<b>DP (AB-R)</b>	<b>AR (<math>\mu\text{H}</math>)</b>	<b>DP (AR)</b>
R1	0,13	0,153	28,83	1,53
R2	0,13	0,153	9,90	0,10
R3	0,13	0,153	1,63	0,21
R4	0,13	0,153	1,53	0,25
R5	0,13	0,153	0,37	0,12

Nota: (R) retrolavagem; AR (Valor da Água de Retrolavagem); VAB-R (Bruta de Retrolavagem).  
Fonte: Autora (2022).

Os resultados da cor aparente da AB-R não variaram, ou seja, se mantiveram em 0,13  $\mu\text{H}$ . No entanto a AR apresentou alterações de valores, ou seja, na retrolavagem 1 (R1) a cor aparente foi de 28,83  $\mu\text{H}$  e reduziu-se para 0,37  $\mu\text{H}$  após a R5.

Nota-se que após a segunda repetição da retrolavagem foi possível atender descrito pela Portaria n° 888/2021 do MS e se conseguiu atingir valores próximos a AB-R, na R5. Sendo ainda, na R5 obtido redução média de 98 % da cor aparente da AR, portanto o processo de retrolavagem foi satisfatório se considerado o parâmetro cor aparente.

#### 4.2.2 Turbidez ( $\mu\text{T}$ )

Os resultados de turbidez ( $\mu\text{T}$ ) das amostras estão descritos na Tabela 13.

Tabela 13 – Turbidez da AR e AB-R do leito filtrante

<b>Retrolavagens</b>	<b>AB-R (<math>\mu\text{T}</math>)</b>	<b>DP (AB-R)</b>	<b>AR (<math>\mu\text{T}</math>)</b>	<b>DP (AR)</b>
R1	0,27	0,081	23,23	0,17
R2	0,27	0,081	3,44	0,25
R3	0,27	0,081	1,07	0,086
R4	0,27	0,081	1,57	0,046
R5	0,27	0,081	1,2	0,047

Nota: (R) retrolavagem; AR (Valor da Água de Retrolavagem); AB-R (Bruta de Retrolavagem).  
Fonte: Autora (2022).

Foi possível comparar as amostras de água, sendo que AB-R para AR ocorreu aumentos da turbidez, considerando que, possivelmente, o leito filtrante reteve as partículas sólidas suspensas na água, principalmente nas amostras.

Nas amostragens AR, houve redução média de 50% da turbidez da água, sendo o CAG eficiente na redução da turbidez com valores satisfatórios, demonstrando tendência em diminuir ao longo da operação. Então o RLF-BF ao longo das amostragens teve AR em média 50 % de eficiência de redução da turbidez na água de estudo, ficando dentro do VMP de 5,00 uT estabelecido pela Portaria nº 888/21 do MS. As amostras 2 a 5 AR ficaram dentro do VMP estabelecido, com valor entre 3,44 a 1,2 uT, somente a amostra 1 ficou fora do padrão estabelecido.

#### 4.2.3 Absorvância ( $\lambda - 254$ nm)

Os resultados de absorvância ( $\lambda - 254$  nm) das amostras AB-R e AR estão descritos na Tabela 14.

Tabela 14 – Absorvância ( $\lambda - 254$  nm) da AB-R e da AR do leito filtrante.

<b>Retrolavagens</b>	<b>AB-R (nm)</b>	<b>DP (AB-R)</b>	<b>AR (nm)</b>	<b>DP (AR)</b>
R1	0,006	0,00001	0,102	0,00001
R2	0,006	0,00001	0,014	0,00001
R3	0,006	0,00001	0,006	0,00001
R4	0,006	0,00001	0,009	0,00001
R5	0,006	0,00001	0,007	0,00001

Nota: (R) retrolavagem; AR (Valor da Água de Retrolavagem); VAB-R (Bruta de Retrolavagem).

Fonte: Autora (2022).

Os resultados de absorvância ( $\lambda - 254$  nm) variaram ao longo dos pontos amostrais, entre 0,006 a 0,102 u.a. Ao analisar estes resultados percebeu-se que a absorvância ( $\lambda - 254$  nm) da amostra AR além de sofrer variações ao longo das amostras, atingiu a máxima de 0,102 u.a na R1 e mínima na R5 com 0,007 u.a.

A redução da absorvância é um indicativo da remoção matéria orgânica dissolvida e particulado. No comprimento de onda 254 nm há uma predominância de compostos orgânicos, sendo que uma grande parcela pode apresentar ácidos húmicos (APHA, AWWA e WEF, 2017).

#### 4.2.5 Dureza Cálcica (mg L<sup>-1</sup>)

Os valores obtidos em todas as análises AB-R e AR se mantiveram em 250 mg L<sup>-1</sup>, ou seja, o processo de retrolavagem não influenciou na alteração da dureza cálcica, e a água de estudo segundo a Portaria MS nº 888/2021 e considerada dura pois esta acima de 150 mg L<sup>-1</sup>.

A dureza de cálcio medida pelos compostos de cálcio e a dureza total determinam os compostos de cálcio e magnésio presentes na água (DI BERNARDO; DANTAS 2005). Este parâmetro não está estabelecido na Portaria MS nº 888/2021, apenas se refere à dureza total de 300 mg L<sup>-1</sup> VMP.

#### 4.2.6 Cloro Livre (mg L<sup>-1</sup>)

Todos os resultados de cloro livre das amostras AR e AB-R foram inferiores a 0,01 mg L<sup>-1</sup>. De acordo com a Portaria MS nº 888/21, o VMP de cloro livre para beber água de nascente subterrânea padrão é de 5 mg L<sup>-1</sup>. Portanto, o valor obtido é inferior ao valor declarado e, não houve qualquer alteração neste valor em detrimento da realização do processo de retrolavagem.

Cabe destacar que, a ausência de teor de cloro residual livre na água pode permitir a contaminação biológica na rede de distribuição de água, já que se faz a utilização de cloro para a desinfecção. O cloro utilizado para a desinfecção das águas de abastecimento público possui ampla ação germicida e é um agente desinfetante de baixo custo, forma compostos que permanecem na água, proporcionando a inativação de microrganismos após a sua aplicação, permanecendo ao longo das tubulações de distribuição e nos reservatórios para consumo humano (LIBÂNIO, 2010).

#### 4.2.7 Alcalinidade (mg L<sup>-1</sup>)

Os resultados da alcalinidade (mg L<sup>-1</sup>) das amostras da AB-R e da AR do leito filtrante estão descritos na Tabela 15.

Tabela 15 – Alcalinidade da AB-R e da AR do leito filtrante

<b>Retrolavagens</b>	<b>AB-R (mg L<sup>-1</sup>)</b>	<b>AR (mg L<sup>-1</sup>)</b>
R1	126	180
R2	126	120

R3	126	120
R4	126	120
R5	126	126

Nota: (R) retrolavagem; AR (Valor da Água de Retrolavagem); VAB-R (Bruta de Retrolavagem).  
Fonte: Autora (2022).

Os valores de alcalinidade das amostras de água apresentaram resultados que variaram entre 120 e 180 mg L<sup>-1</sup>. Sendo que, no início das amostras 1 de AB, obteve o valor de 180 mg L e a partir da R2 a R5 a alcalinidade se manteve em 126 mg L<sup>-1</sup>.

Foi possível comparar as amostras de água, sendo que AB teve redução média 66,6 % de 1 para o 2 da alcalinidade, indicando que, provavelmente, a coluna de areia reteve algumas substâncias alcalinas, observando juntamente com o pH da AB que se manteve em 7,6 a partir da 2 a 5 amostra e 7,2 na amostra 1, há presença de carbonatos e bicarbonatos, sendo estes os principais contribuintes para neutralizar ácidos e estabilizar o pH.

Nas amostragens AR teve os resultados de 126 mg L<sup>-1</sup>, demonstrando uma constância de alcalinidade durante a retrolavagem do leito filtrante do RLF-BF.

#### 4.2.8 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os resultados de pH das amostras AR e AB-R, descritos na Tabela 16.

Tabela 16 – Potencial Hidrogeniônico (pH) da AB-R e da AR do leito filtrante

Retrolavagens	AB-R	AR
R1	7,6	6,2
R2	7,6	7,2
R3	7,6	7,2
R4	7,6	7,2
R5	7,6	7,2

Nota: VAR (Valor da Água de Retrolavagem); VAB-R (Valor da Água Bruta de Retrolavagem).  
Fonte: Autora (2022).

Os valores de pH das amostras de água apresentaram resultados que variaram entre 6,2 a 7,6, se mantendo em condições alcalinas. As amostras de AR variaram entre pH 6,2 a 7,6,

enquanto que a AB apresentou valor de pH (7,6), o qual não variou ao longo da operação, apresentando tendência a neutralidade.

#### 4.2.9 Coliformes Totais e Termotolerantes

Os resultados obtidos das amostras de R1 e R5 da AR e AB-R, apresentaram resultados de ausência de coliformes totais e termotolerantes (p/a) em 100 mL de água.

De acordo com a Portaria nº 888/2021 do MS deve-se apresentar ausência de coliformes totais e termotolerantes em 100 mL de amostra, sendo que estes resultados apresentados estão em conformidade com a legislação.

Conforme a portaria que está em vigor, a água para consumo deve ser límpida, não possuir gosto e cheiro indesejável, ser isenta de microrganismos e substâncias em altas quantidades que possa acarretar riscos à saúde, isto é, a água destinada para o consumo humano deve atender aos parâmetros microbiológicos, físicos e químicos, como foi atendida nos resultados das retrolavagens (BRASIL, 2021; NASCIMENTO, 2013)

### 4.3 EFICIÊNCIA DA FILTRAGEM APÓS A RETROLAVAGEM

A eficiência do RLF-BF após o processo de retrolavagem estão descritas nos parâmetros abaixo elencados.

#### 4.3.1 Perda de Carga

Os resultados de perda de carga (cm) do leito filtrante e leito filtrante/adsorvente do RLF-BF estão descritos na Tabela 17.

Tabela 17 - Perde Carga do leito filtrante e filtrante/adsorvente no RLF-BF após retrolavagem

<b>Carreira de Filtração</b>	<b>Perda de carga no leito filtrante (cm)</b>	<b>Perda de carga no leito filtrante/adsorvente (cm)</b>	<b>Tempo de operação (min)</b>
1	10	9	20
2	12	9	30
3	15	10	40

4	16	11	50
5	20	15	60
6	20	15	70
7	20	15	80
8	21	15	90
9	21	15	100
10	21	15	110

Fonte: Autora (2022).

Os resultados obtidos da perda de carga variaram entre 10 a 25 cm ao longo da operação do RLF-BF (2 h 40 min) após o processo de retrolavagem.

No leito filtrante em 20 minutos de operação a perda de carga ficou em 10 cm, no tempo de 30 minutos a perda de carga correspondeu a 12 e em 100 minutos de operação resultou em 21 cm de perda de carga, a qual se manteve até o final da operação, sendo a perda de carga máxima possível igual a 88 cm. Após 2 h 40 min foi atingida a perda de carga máxima e cessada a realização dos ensaios.

De acordo com Di Bernardo (2003) conhecer a perda de carga é primordial em processos de filtração, pois este parâmetro é determinante em relação ao tempo que vai ser necessário para o processo de retrolavagem ou para a remoção dos leitos filtrante, pois se faz o processo de retrolavagem até chegar ao ponto que a saturação e a colmatação do leito filtrante e/ou adsorvente não influenciam na perda de carga (DI BERNARDO, 2003).

#### 4.3.2 Cor Aparente (uH)

A Tabela 18, estão descritos os valores dos resultados de cor aparente da AB, AT-F e AT-FA no RLF-BF após o processo de retrolavagem.

Tabela 18 - Cor aparente da AB, AT-F e AT-FA no RLF-BF após o processo de retrolavagem

<b>Carreiras de filtração</b>	<b>AB (uH)</b>	<b>DP (AB)</b>	<b>AT-F (uH)</b>	<b>DP (AT-F)</b>	<b>AT-FA (uH)</b>	<b>DP (AT-FA)</b>
0	1,12		7,4		9,13	
1	5,62		8,1		10	
2	5,81		2		3,4	

3	4,53	1,9	3,1
4	3,64	0,8	2,5
5	5,99	1,6	3
6	4,84	2,2	3,3
7	4,96	2,23	2,2
8	7,81	2,2	2,5
9	6,81	2,2	1,2
10	5,92	3,3	2

---

Nota: AB (Água Bruta), AT-F (Água Tratada Filtrada), AT-FA (Água Tratada por Filtração/Adsorção). Fonte: Autora (2022).

Após a retrolavagem do leito filtrante, os valores de cor aparente da AB se iniciaram em 1,12 uH e chegaram a 5,81 na amostra 2, e a partir da amostra 3 a 4 teve uma queda (4,53 a 3,64 uH) e novamente aumentou da amostra 4 a 8 para 7,81 uH e terminou na amostra 10 em 5,92uH.

Os valores de cor aparente da AT-F na carreira de filtração 1 foi de 7,4 uH e reduziu na carreira de filtração 4 para 0,8 uH, retornando a aumentar a partir da carreira de filtração 5 a 10, de 1,6 uH a 3,3 uH, respectivamente.

Os valores de cor aparente da AT-F em comparação a AT-FA demonstraram, na carreira de filtração 10 a cor aparente reduziu de 5 para 2, muito abaixo de 15 uH, demonstrando um resultado satisfatório e que poderia operar o RLF por muito mais tempo, ficando dentro do valor máximo permitido de 15,00 uH estabelecido pela Portaria nº 888/21 do MS.

A cor, em sistemas públicos de abastecimento de água, é esteticamente indesejável. A sua medida é de fundamental importância, visto que, água de cor elevada provoca a sua rejeição por parte do consumidor e o leva a procurar outras fontes de suprimento muitas vezes inseguras (FUNASA, 2013).

#### 4.3.3 Turbidez (uT)

Na Tabela 19, verifica-se os valores de turbidez de cor aparente da AB, AT-F e AT-FA no RLF-BF após o processo de retrolavagem.

Tabela 19 – Turbidez da AB, AT-F e AT-FA no RLF-BF após o processo de retrolavagem

<b>Carreiras de filtração</b>	<b>AB (uT)</b>	<b>DP (AB)</b>	<b>AT-F (uT)</b>	<b>DP (AT-F)</b>	<b>AT-FA (uT)</b>	<b>DP (AT-FA)</b>
0	0,55		2,41		10,88	
1	0,58		2,37		7,42	
2	0,35		1,97		7,50	
3	0,66		1,87		6,50	
4	0,42		1,83		5,90	
5	0,33		1,83		6,00	
6	0,33		1,70		5,65	
7	0,35		1,67		4,70	
8	0,77		1,60		4,78	
9	0,37		1,70		5,05	
10	0,39		1,73		5,01	

Nota: AB (Água Bruta), A-F (Água Tratada Filtrada), A-FA (Água Tratada Filtrada/Adsorção). Fonte: Autora (2022).

Após a retrolavagem do leito filtrante, os valores da turbidez das amostras de AB apresentaram resultados que variaram entre 0,33 e 0,77 uT. Nas carreiras de filtração foi possível identificar valores da AT-F houve que variaram entre 1,60 a 2,41 uT e na AT-FA entre 4,70 a 10,88 uT.

Foi possível comparar as amostras de água, sendo que a AB para VAT-F ocorreu aumento da turbidez, considerando que, possivelmente, o leito filtrante não reteve as partículas sólidas suspensas na água. Nas comparações entre a AB e a AT-FA também não se obteve remoção após a retrolavagem, indicando a probabilidade de interferência de material particulado presente nos filtros pós retrolavagem a qual resultou no aumento da turbidez da AT-FA.

De acordo com a portaria n° 888/2021 do MS, os valores de AB, AT-F vão atender uma sua totalidade os VMP. Mas em contrapartida os valores de AT-FA não atenderam em sua maioria o VMP, somente na carreira de filtração 7 e 8 serão aceitos por serem menores que 5uT.

A turbidez é de sua importância no processo de tratamento, a alta taxa de turbidez na água, forma flocos pesados que decantam mais rapidamente que a água com baixa turbidez. A

turbidez também apresenta algumas desvantagens como, a dificuldade da desinfecção pela proteção que ele pode dar aos microrganismos, portanto, no parâmetro organolético, a água deve ser incolor, insípido e inodoro (FUNASA, 2013; MONTEIRO *et al.*, 2015).

#### 4.3.4 Absorvância ( $\lambda - 254 \text{ nm}$ )

Na Tabela 20, observa-se os valores de Absorvância ( $\lambda - 254 \text{ nm}$ ) da AB, VAT-F e VAT-FA no RLF-BF após a retrolavagem.

Tabela 20 – Absorvância ( $\lambda - 254 \text{ nm}$ ) da AB, VAT-F e VAT-FA no RLF-BF após a retrolavagem

<b>Carreiras de filtração</b>	<b>AB (u.a)</b>	<b>DP (AB)</b>	<b>AT-F (u.a)</b>	<b>DP (AT-F)</b>	<b>AT-FA (u.a)</b>	<b>DP (AT-FA)</b>
1	0,016		0,021		0,027	
2	0,049		0,024		0,024	
3	0,080		0,020		0,023	
4	0,013		0,026		0,022	
5	0,014		0,024		0,023	
6	0,010		0,023		0,024	
7	0,016		0,014		0,096	
8	0,017		0,019		0,027	
9	0,019		0,016		0,020	
10	0,029		0,045		0,038	

Nota: AB (Água Bruta), AT-F (Água Tratada Filtrada), AT-FA (Água Tratada Filtrada/Adsorção).  
Fonte: Autora (2022).

Após a retrolavagem do leito filtrante, os resultados de absorvância ( $\lambda - 254 \text{ nm}$ ) variaram ao longo dos pontos amostrais, entre 0,010 a 0,096 u.a. Ao analisar estes resultados percebeu-se que a absorvância ( $\lambda - 254 \text{ nm}$ ) da amostra AB além de sofrer variações ao longo das amostras, atingiu a máxima de 0,080 u.a nas amostragens 1 e 10 e mínima na amostragem 6 com 0,010 u.a.

Foi possível comparar as amostras de água, sendo que da AB para a AT-F houve um aumento médio de 19,4 % da absorvância ( $\lambda - 254 \text{ nm}$ ), este resultado pode ter influência do desprendimento de material particulado previamente retido o leito filtrante, aumentando a

presença de matéria orgânica ou material particulado na água. Na comparação das amostras de AB para AT-FA se obteve aumento média de 26 % na absorvância ( $\lambda - 254$  nm), indicando que, possivelmente, ocorreu o arraste de partículas de CAG mais finos (0,096 nm) e, que ao longo das carreiras de filtração, o CAG foi se ajustando melhor ao leite, reduzindo assim o arraste.

Este não é um parâmetro da que está delimitado como essencial pela Portaria nº 888/2021 do MS, mas pode comparado de acordo com a turbidez maior, consequentemente será também a absorvância.

#### **4.3.7 Cloro Livre ( $\text{mg L}^{-1}$ )**

Todos os resultados de cloro livre das amostras AB, AT-F e AT-FA foram inferiores a  $0,01 \text{ mg L}^{-1}$ . Conforme a Portaria nº 888/21 do MS, o cloro livre para os padrões de potabilização para águas de captação de mananciais subterrâneos possui VMP de  $5 \text{ mg L}^{-1}$ . Sendo assim, o valor obtido foi menor que o estabelecido e não apresentou quaisquer variações pré e pós processo de retrolavagem.

No entanto, se recomenda que o teor máximo de cloro residual livre em qualquer ponto do sistema de abastecimento seja de  $2 \text{ mg L}^{-1}$  (BRASIL, 2011; FUNASA, 2013). O cloro é um produto químico adicionado durante o tratamento da água com o objetivo de eliminar bactérias e outros microrganismos patogênicos que podem estar presentes na água (SILVA *et al.*, 2017).

#### **4.3.8 Alcalinidade ( $\text{mg L}^{-1}$ )**

Os valores da Alcalinidade da filtragem após retrolavagem mantiveram-se os mesmos apresentados na Tabela 9, não havendo qualquer alteração em detrimento da realização do processo de retrolavagem

A alcalinidade está relacionada com a coagulação, redução da dureza e prevenção de corrosão em tubulações, sua origem de despejos industriais (SPERLING, 2014).

De acordo com Chaoman e Kimstack (1992), águas com baixa alcalinidade (menor que  $24 \text{ mg L}^{-1}$  de  $\text{CaCO}_3$ ) apresentam baixa capacidade de tamponamento e, assim são suscetíveis às mudanças no pH.

#### 4.3.9 Potencial Hidrogeniônico (pH)

Os valores de pH da filtração após retrolavagem mantiveram-se os mesmos apresentados na Tabela 10 (AB, AT-F e AT-FA). Assim se adequando a Portaria N° 888/21 do MS.

Cabe destacar que, o pH pode sofrer alteração também dependendo do tempo de armazenamento e da condição físico do reservatório, dada a exposição ambiental e/ou tipo de material utilizado na fabricação do mesmo. Exerce efeito indireto sobre a precipitação de elementos tóxicos, como metais, além de interferir na reatividade do cloro, a qual diminui com o aumento do pH (MUNIZ, 2013).

#### 4.3.10. Coliformes totais e termotolerantes

Não houve presença de coliformes totais e termotolerantes na água bruta, na areia (leito filtrante) e no CAG (leito adsorvente) após o processo de retrolavagem. Estando, portanto, de acordo com o estabelecido pela Portaria N° 888/21 do MS.

A conformidade das amostras para os parâmetros microbiológicos é importante porque contribui para a manutenção da saúde humana (QUEIROZ *et al.*, 2017). A ausência de coliformes termotolerantes e totais em todas as análises é indicativo de que os métodos de desinfecção utilizados no sistema de abastecimento se provaram eficientes na eliminação de micro-organismos patogênicos (YASUI, 2015).

Para os resultados da dureza, se mantiveram como na filtração antes da retrolavagem, mole sendo menor que  $75 \text{ mg L}^{-1}$ , e como dureza de cálcio e a dureza total determinada a partir de compostos de cálcio determinam os compostos de cálcio e magnésio presentes na água e, este parâmetro não é estabelecido na Portaria MS N° 888/21, apenas trata da dureza total com  $300 \text{ mg L}^{-1}$  de VMP.

## 5 CONCLUSÃO

A construção do RLF-BF seguiu o descrito em termos de filtração na ABNT NBR N° 12.216/1992 e ajustes construtivos foram realizados para fins de obtenção de funcionamento dos processos de filtração e filtração/adsorção por gravidade.

As carreiras de filtração no RLF-BF demonstraram a colmatação do leito filtrante e leito filtrante/adsorvente, com perda de carga igual a 10 e 19, respectivamente, com um tempo total de 180 min. Os parâmetros cor aparente, pH e cloro livre, atenderam ao descrito na Portaria N° 888/21 do MS, enquanto que o parâmetro de turbidez não estava de acordo com a referida Portaria e, os parâmetros alcalinidade, absorvância e dureza cálcica não estão estabelecidos na Portaria N° 888/21 do MS.

O processo de retrolavagem realizado após se atingir a perda de carga máxima no leito filtrante realizado com expansão do leito filtrante em aproximadamente 125 % demonstrou redução de 98,72 e 94,83 % em relação aos parâmetros cor aparente e turbidez, respectivamente. Estes resultados, indicam que o leito filtrante demonstrou ser eficiente nas condições de estudo realizadas.

As carreiras de filtração após a retrolavagem do leito filtrante do RLF-BF demonstraram que, os parâmetros cor aparente, e potencial hidrogeniônico atenderam ao descrito na Portaria N° 888/21 do MS, enquanto que o parâmetro, turbidez não estava de acordo com a referida Portaria e, os parâmetros alcalinidade, absorvância e dureza cálcica, não estão estabelecidos na Portaria N° 888/21 do MS.

Pode-se concluir, portanto, que o processo de retrolavagem se mostrou eficiente para os parâmetros cor aparente e turbidez e não demonstrou maior eficiência para os processos de filtração antes da retrolavagem e após a retrolavagem, sendo imperativo a realização de estudos futuros considerando: um maior número de testes de retrolavagem, realizar ensaios com tecnologias diferentes de retrolavagem para identificação do melhor processo ao RLF-BF. Para melhorar os valores de turbidez para serem aceitos pela Portaria n° 888/2021 do MS, seriam necessárias mais repetições de filtrações e até uma possível troca de areia no leito filtrante. Alguns itens construtivos também poderão possibilitar uma acuraria maior nas medições de vazão e TAS, a saber a inserção de registros de maior precisão.

## REFERÊNCIAS

ALVES, A. A. A.; RUIZ, G. L.O.; NONATO, T. C. M.; PELISSARI, C.; DERVANOSKI, A.; SENS, M. L.. **Combined microfiltration and adsorption process applied to public water supply treatment: water quality influence on pesticides removal**. ENVIRONMENTAL TECHNOLOGY *JCR*, v. 5, p. 1-11, 2019.

ALVES, A. A. A. **Emprego da tecnologia de adsorção em leito fixo de carvão ativado granular para a remoção de agrotóxicos carbamatos da água de abastecimento público**. Tese (Doutorado em Engenharia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Centro Tecnológico, Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental, Florianópolis, 2017.

ALVAREZ, P. J. J. & ILLMAN, W. A. **Bioremediation and natural attenuation: process fundamentals and mathematical models**. Wiley-Interscience. Published by John Wiley & sons, INC., 2006

ASTM. American Society for Testing Materials. **Standard practice for determination of adsorptive capacity of activated carbon by aqueous phase isotherm technique**. D3860-98. West Conshohocken: ASTM, 2014.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12216: **Projeto estação de tratamento de água para abastecimento público**: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

Agência Nacional de Águas (ANA). (2010). Atlas Brasil: Abastecimento urbano de água. Brasília: ANA. Disponível em: <<http://atlas.ana.gov.br/Atlas/forms/ResultadosEstado.aspx>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

ANDRADE, E. C. L. **Estudo de caso do abastecimento d'água do município de Santarém no Pará**. 2015. 71 p. Dissertação (Mestrado em Processos Construtivos e Saneamento Urbano) – Universidade Federal do Pará, Belém, 2015. Disponível em: Acesso em: 19 jan. de 2022.

AMARAL, Luiz Augusto do *et al.* **Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais**. Revista de Saúde Pública [online]. 2003, v. 37, n. 4 pp. 510-514. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S0034-89102003000400017>. Acesso: 11 Ago. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE VIGILÂNCIA SANITÁRIA (ANVISA). Nota técnica nº 23/2018/SEI/CREAV/GEMAR/GGTOX/DIRE3/ANVISA Disponível em: Disponível em: <http://portal.anvisa.gov.br/noticias> Acesso em: 22 fev. 2022

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23st. ed. Washington: American Public Health Association, 2017. 1496 p.

ASABE - AMERICAN SOCIETY AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. **Media Filters for Irrigation - Testing and Performance Reporting**. St. Joseph, 1994. (ANSI/ASAE S539).

AKKOYUNLU, A. **Expansion of granular water filters during backwash.** Environmental Engineering Science, Larchmont, v.20, n.6, p.655-665, 2003

AWWA. American Public Health Association. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater.** 22th ed. Washington: APHA-AWWA-WEF, 2012.

BACK, Lize Elena Kaufmann. **POTABILIZAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS EM ÁREA RURAL POR MEIO DA TECNOLOGIA DE ADSORÇÃO EM COLUNA DE LEITO FIXO DE CARVÃO ATIVADO GRANULAR.** 2018. 105 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, Campus Cerro Largo, Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2018. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/2342/1/BACK.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2022.

BERNARDO, S.; SOARES, A.A.; MANTOVANI, C.E. Manual de irrigação 7.ed. Viçosa: Universidade Federal de Viçosa, 2005. Cap. 9, p.483-548.

BOMBARDI, L. M. **Geografia do uso de agrotóxicos no Brasil e conexões com a União Europeia.** São Paulo: FFLCH, USP, 2017.

BOTERO, W. G. **Caracterização de lodo gerado em estações de tratamento de água: perspectivas de aplicação agrícola.** Quim. Nova, Vol. 32, No. 8, 2018- 2022, 2009.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução CONAMA nº 237, 1997: **Dispõe sobre a revisão e complementação dos procedimentos e critérios utilizados para o licenciamento ambiental.**

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação Nº 05, de 28 de setembro de 2017. **Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.** Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF 2017.

BRASIL. Consumo Sustentável: Manual de educação. Brasília- DF, 2005. 160 p. Disponível em: < <http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf> >. Acesso em: 19 jan. de 2022.

BRASIL. Lei nº. 11.445, de 05 de janeiro de 2007. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.** Brasília - DF, 2007. Disponível em: Acesso em: 19 de jan. de 2022.

BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. **Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.** Brasília - DF, 2020. Disponível em: Acesso em: 17 jun. 2022.

BRASIL. PORTARIA GM/MS Nº 888, DE 04 DE MAIO DE 2021. **Dispõe sobre procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.** Brasília - DF, 2021. Disponível em: Acesso em: 17 jun. 2022.

BRASIL. MINISTÉRIO DAS CIDADES. Gasto Público em Saneamento Básico – 2014. Brasília, Secretaria Nacional de Saneamento Ambiental – SNSA. MINISTÉRIO DAS CIDADES, 2016.

BRASIL. O saneamento básico no Brasil: Aspectos fundamentais. **Capacitação para elaboração de Planos Municipais de Saneamento Básico.** BRASIL. Ministério das Cidades, 2014.

Brazilian Journal of health Review Braz. J. Hea. Rev., Curitiba, v. 3, n. 4, p.7301-7324 jul./aug. 2020. ISSN 2595-68257321MUNIZ, J. M. **Avaliação microbiológica, física e química da água de escolas públicas municipais de Uberaba –MG**. Dissertação (Mestrado). Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Triângulo Mineiro – Campus Uberaba. Uberaba, 2013. p.14

BURATINI, Erica Regina. **Estudo Da Velocidade Mínima De Fluidização Através De Ensaio Reológicos De Materiais Particulados Com Diferentes Propriedades Superficiais**. 2017. 221 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Química., Centro Universitário Fei, São Bernardo do Campo, 2017. Disponível em: <https://repositorio.fei.edu.br/bitstream/FEI/48/1/fulltext.pdf>. Acesso em: 07 mar. 2022.

CARNEIRO, C. G. **Desenvolvimento e desempenho de sistemas alternativos de tratamento de água em localidades rurais da região serrana de santa catarina**. 2017. 215 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/186157/PGEA0586-D.pdf?sequence=-1&isAllowed=y>. Acesso em: 11 ago. 2022

CARVALHO, D. R. et al. **Avaliação da qualidade físico-química e microbiológica da água em um Campus Universitário de Ipatinga –MG**. Revista Digital de Nutrição. Ipatinga, v. 3, n. 5, 2009.

CETESB, **Poluição das águas subterrâneas**. Disponível em: <https://cetesb.sp.gov.br/aguas-subterraneas/informacoes-basicas/poluicao-das-aguas-subterraneas/>. Acesso em: 17 jun. 2022.

CLARK, R.; KING, J. **O Atlas da Água**. 1. ed. São Paulo: Publifolha, 2005. 128p. Disponível em: Acesso em: 19 jan. de 2022.

CLEASBY, J. L. Filtration In: WEBBER, W.J. **Physico-chemical processes for water quality control** New York: Wiley-Interscience, 1972. p.139.

CLEASBY, J.L.; LOGSDON, G.S. **Granular bed and precoat filtration**. In: AWWA. Water quality & treatment 5th ed. New York: Mc Graw Hill, 1999, cap.8, p.8.1-8.16.

CUSTODIO, E.; Llamas, M. R.; **Hidrologia Subterrânea**, 2<sup>nd</sup> ed., Ediciones Omega: Barcelona, 1996.

COSTA, V. D. **Hidrogeologia conceito e aplicações**. – Capítulo 3.2 – Hidrogeologia dos Meios Fissurados pág. 121 – 150. CPRM (2008).

CORTEZ, A. A.; BELTRÃO, Breno Augusto; PIMENTEL, Ernando Jeronimo; SILVA, José Carlos da; PEREIRA, Simeones Néri. **Projeto revitalização e instalação de sistemas simplificados de abastecimento no Nordeste**: implantação de sistema simplificado de abastecimento de água na comunidade sítio canto município de cariús - ce. Cariús - Ce: Cprm, 2007. 39 p. Disponível em:

<https://rigeo.cprm.gov.br/xmlui/bitstream/handle/doc/18102/canto.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 01 mar. 2022.

CPRM, Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais, SIAGAS, Sistema de Informações de Águas Subterrâneas, 1988. Disponível em: [http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe\\_poco.php?ponto=4300002603](http://siagasweb.cprm.gov.br/layout/detalhe_poco.php?ponto=4300002603). Acesso em: 21 fev. 2022.

CRITTENDEN, John C. et al. *MWH's Water Treatment*. Hoboken, NJ, USA: John Wiley & Sons, Inc., 2012. v. 4 Disponível em: <https://doi.org/10.1002/9781118131473>. Acesso em: 27 jan. 2022.

CHAPMAN, D; KIMSTACK, V. **The selection of water quality variables** *The selection of water quality variables*. London: Chapman & Hall Ltd., 1992. p. 51-117.

DI BERNARDO, L.; BRANDÃO, C. C. S.; HELLER, L. Filtração em múltiplas etapas. PROSAB 1- ed. Rio de Janeiro: ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1999.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. (2005). **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: Rima Editora, v. 2. 1584 p.

DI BERNARDO, L. DI. **Tratamento de água para abastecimento por filtração direta**. Rio de Janeiro: PROSAB, 2003.

DI BERNARDO, L.; PADUA, L.V. **Ensaio de bancada para estimar a perda de carga e a influência da floculação na filtração direta descendente**. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Porto Alegre – RS, 2000.

ESCUADERO, D. R. **Bed height and material density effects on fluidized bed hydrodynamics**. 2010. 117 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Graduate Theses And Dissertations, Iowa State University, Iowa, 2010.

FERREIRA, D.; MOTTA, A. C.; KREUTZ, L. C.; TONI, V.; LORO, V. L.; BARCELLOS, L. J. G. (2010) **Assessment of oxidative stress in Rhamdia quelen exposed to agrichemicals**. *Chemosphere*, v. 79, n. 9, p. 914–921.

FLORES, A. V. *et al.* **Organoclorados: um problema de saúde pública**. *Ambiente & Sociedade*, v. 7, n. 2, 2004.

FOSTER, S.; HIRATA, R.; GOMES, D.; D'EDLIA, M.; PARIS, M.; **Groundwater Quality Protection: a guide for water utilities, municipal authorities, and environment agencies**, The World Bank: Washington, 2002.

FURES, C. **Caracterização físico-química de água de poços artesianos no município de cerro largo – rs**. 2018. 52 f. TCC (Graduação) - Curso de Química Licenciatura, Química, Universidade Federal da Fronteira Sul, Cerro Largo, 2018. Disponível em: <https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/2477/1/Fures.pdf>. Acesso em: 21 fev. 2022.

FUNASA. Manual Prático de Análise de Água. 4ª edição. Brasília. Fundação Nacional de Saúde, 2013.

GASNIER, C.; DUMONT, C.; BENACHOUR, N.; CLAIR, E.; CHAGNONB, M-C; SÉRALINI, G-E. (2009) **Glyphosate-based herbicides are toxic and endocrine disruptors in human cell lines**. *Toxicology*, v. 262, n. 3, p. 184–191.

GLUSCZAK, L.; MIRON, D. S.; CRESTANI, M.; FONSECA, M. B.; PEDRON, F. A.; DUARTE, M. F.; VIEIRA, V. L. P. (2005). **Effect of glyphosate herbicide on acetylcholinesterase activity and metabolic and hematological parameters in piava (*Leporinus obtusidens*)**. *Ecotoxicology and Environmental Safety*, v. 65, n. 2, p. 237–241.

GHISI, Diego Brunelli. **Análise hidráulica de um filtro rápido bifluxo em escala piloto de dupla camada filtrante com descarga de fundo intermediária para tratamento de água de abastecimento**. 2019. 203 f. Pós-graduação - Curso de Engenharia Ambiental, Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2019. Disponível em: file:///D:/USUARIO/Desktop/TCC%201/PGEA0658-D.pdf. Acesso em: 21 fev. 2022.

GUPTA, C. K.; SATHIYAMOORTHY, D. **Fluid bed technology in materials processing**. New York: CRC Press, 1999. p.1-125.

HANKE, I.; WITTMER, I.; BISCHOFBERGER, S.; STAMM, C.; SINGER, H. **Relevance of urban glyphosate use for surface water quality**. *Chemosphere*, v. 81, n. 3, p. 422-429, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2010.06.067>

HELLER, L.; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 1º Ed. Minas Gerais: UFMG, 2006

HIRATA, R. C. A.; Rev. IG 1993, 14, 39.

HILL, C. G. Jr., **An Introduction to Chemical Engineering Kinetics & Reactor Design**, John Wiley & Sons, New York, 1977.

HUISMAN, L.; WOOD, W. E. **Slow sand filtration**. Geneva, Belgium: World Health Organization, 1974.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Agropecuário de Cerro Largo, RS 2017. Rio de Janeiro: IBGE, 2017.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2010. **Características da população e dos domicílios: resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2010. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE). (2008).

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Censo Demográfico 2021. **Características da população e dos domicílios: resultados do universo**. Rio de Janeiro: IBGE, 2021. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE).

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (2008). Pesquisa Nacional de Saneamento Básico. Tabela 1752 - Número de municípios, total e os com serviço de abastecimento de água, por tipo de captação, Tabela 1753 - Número de municípios, total e

os com captação de água, por existência e tipo de poluição ou contaminação na captação. Brasil: IBGE Disponível em: <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1752>>, <<https://sidra.ibge.gov.br/tabela/1753>>. Acesso em: 20 jun. 2022.

IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Agrotóxicos no Brasil: Padrões de uso, política da regulação e prevenção da captura regulatória. Texto para discussão. Brasília: IPEA, 2019.

LEME, F. P. **Teoria e técnicas de tratamento de água**. 2. Ed. Rio de Janeiro: ABES, 1990.

LOPEZ, L.P. **Simulación numérica de un lecho fluido bidimensional para la determinación de la Velocidad de mínima fluidización**. 2009. Tesis (Grado de Ingeniería Térmica) - Escuela Politécnica Superior, Universidad Carlos III de Madrid, Madrid, 2009.

LAKATOS, E. M; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

MACEDO, J. A. B. **Águas & Águas**. 3º Ed. Minas Gerais: CRQ – MG, 2007

MAIA, I. L. B. **O ACESSO À ÁGUA POTÁVEL COMO DIREITO HUMANO FUNDAMENTAL NO DIREITO BRASILEIRO**. Revista do CEPEJ, [S. 1.], n. 20, 2018. Disponível em: <https://periodicos.ufba.br/index.php/CEPEJ/article/view/27165>. Acesso em: 3 fev. 2022.

MASEL, R. I.; **Principles of adsorption and reaction on solid surfaces**. Vol. 3. John Wiley & Sons, 1996.

MORAES, E. R. **Modelagem e simulação de reatores catalíticos de leito fixo: avaliação de diferentes configurações para o fluido refrigerante**. 2004. 209 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004. Disponível em: <https://1library.org/document/zw094m1y-modelagem-simulacao-reatores-cataliticos-avaliacao-diferentes-configuracoes-refrigerante.html>. Acesso em: 29 nov. 2021.

MIZUKAWA, G. **Estratégias de diversificação da indústria de agrotóxicos: de sementes a biopesticidas**. 34 p. Monografia (Graduação em Ciências Econômicas). Universidade Federal do Paraná. Curitiba, 2016.

MOURA RAID, MARIELLE APARECIDA (2017), “**Soluções técnicas de abastecimento de água e modelos de gestão: um estudo em quinze localidades rurais brasileiras**”, dissertação de mestrado, Belo Horizonte, Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais.

Nascimento DC, Silva RCR, Pavanelli MF. **Pesquisa De Coliformes Em Água Consumida Em Bebedouros De Escolas Estaduais De Campo Mourão, Paraná**. Rev. Saúde e Biol. 2013. 8(1):21-6.

NATAL, D.; MENEZES, R.M.T. de; MUCCI, J.L.N. **Fundamentos de ecologia humana**. In: PHILIPPI JR., A. (Org). Saneamento, saúde e ambiente: Fundamentos para um desenvolvimento sustentável. Baueri, SP: Manole, 2005, cap. 3, p. 57-86.

OHCHR. Office of the High Commissioner for Human Rights. General Comment n°. 15: The Right to Water (Arts. 11 and 12 of the Covenant). Geneva: OHCHR; 2003.

OHCHR; UN-HABITAT; WHO. **The Right to Water - Fact Sheet** No. 35. Geneva. Office of the United Nations High Commissioner for Human Rights, United Nations Office, 2010.

ONU – ORGANIZAÇÃO DAS NAÇÕES UNIDAS. **Resolução da Assembleia Geral da Resolução** n° 64/292 de julho de 2010.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DE SAÚDE – OMS (2004). **Guidelines for Drinking-Water Quality**. Volume 1, Geneva, SW. 494p.

PAGANELLI, A.; Gnazzo, V.; Acosta, H.; López, S. L.; Carrasco, A. E. (2010). **Glyphosate-Based Herbicides Produce Teratogenic Effects on Vertebrates by Impairing Retinoic Acid Signaling**. Chemical Research in Toxicology, v. 23, n. 10, p. 1586–1595.

PIZARRO CABELLO, F. **Riegos localizados de alta frecuencia**. 3.ed. Madrid: Mundi Prensa, 1996. 513 p.

PUIG-BARGUÉS, J.; RAMÍREZ DE CARTAGENA, F.; BARRAGÁN, J. **Development of equations for calculating the head loss in effluent filtration in microirrigation systems using dimensional analysis**. Biosystems Engineering, London, v.92, n.3, p.383-390, 2005.

QUEIROZ, Â. M.de *et al.* **Qualidade da água de bebedouros em escolas públicas de Mossoró**. Revista Biociências, Taubaté, v. 23, n. 1, p. 46-52, 2017.

REBELO, S.; BAVARESCO, C. R. **Saúde Ambiental: Livro didático**. 1.ed.rev. - Palhoça: UnisulVirtual, 2011. 149 p.

RIO GRANDE DO SUL. Secretaria de Estado da Saúde do Rio Grande do Sul (SES). Portaria N° 320, de 24 de abril de 2014. Estabelece parâmetros adicionais de agrotóxicos ao padrão de potabilidade para substâncias químicas, no controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano no RS. Diário Oficial [do] Estado do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2014.

REIS FILHO, R. W.; Santos, R. L.; Vieira, E. M. (2007). **Poluentes emergentes como desreguladores endócrinos**. Journal of the Brazilian Society of Ecotoxicology, v. 2, n 3, p. 283–288.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO NETTO, J. M. **Tratamento d'água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Blucher, 1991

RIBEIRO, M. S. **Estudo fluidinamico de um leito fluidizado pulsado rotativo com partículas secas e úmidas**. 2005. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Química, Engenharia de Processos, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

RJ, PUC - (ed.). **Modelo de Transporte**. In: janeiro, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro: [S.I.]. p. 32-47. Disponível em: [https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/24594/24594\\_4.PDF](https://www.maxwell.vrac.puc-rio.br/24594/24594_4.PDF). Acesso em: 21 jun. 2022.

ROECKER, Pedro Bernardo. **Avaliação de diferentes combinações de camadas filtrantes em um filtro rápido descendente no tratamento de água (pré tratada por eletroflotação) contendo cianobactérias**. 2021. 65 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/223341/TCC%20Pedro%20Bernardo%20Roecker.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 29 nov. 2021.

ROMANO, R. M.; ROMANO, M. A.; OLIVEIRA, C. A. (2009). **Glifosato como desregulado endócrino químico**. *Ambiência*, v.5, n.2, p. 359–372

ROSCILD, Caroline Voser Pereira; GUEDES, Hugo Alexandre Soares. **TRATAMENTO DE ÁGUA: água para abastecimento público**. Pelotas: Centro de Engenharias - Ceng, 2016. 118 slides, color. Sem notas. Disponível em: <https://wp.ufpel.edu.br/hugoguedes/files/2018/11/Aula-7-Tratamento-de-%C3%A1gua-Caroline-Voser.pdf>. Acesso em: 01 mar. 2022.

SALCEDO, Juan C; TESTEZLAF, Roberto; MESQUITA, Márcio. **Processo da retrolavagem em filtros de areia usados na irrigação localizada**. *Engenharia Agrícola*, [S.L.], v. 31, n. 6, p. 1226-1237, dez. 2011. FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-69162011000600020>. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/eagri/a/S8zjCcCdsRT3tNzYqYFXGPc/?lang=pt>. Acesso em: 21 fev. 2022.

SANTANA, V. L; RAHAL, L. S. **Tecnologias sociais como impulso para o acesso à água e o desenvolvimento sustentável no meio rural brasileiro: a experiência do Programa Cisternas**. In: REPOSITÓRIO DE CASOS SOBRE O BIG PUSH PARA A SUSTENTABILIDADE NO BRASIL, 70., 2020, Brasil. **Repositório de casos sobre o Big Push para a Sustentabilidade no Brasil**. Brasil: O Escritório no Brasil da Comissão Econômica Para A América Latina e O Caribe (Cepal) das Nações Unidas., 2020. p. 1-16. Disponível em: <https://archivo.cepal.org/pdfs/bigpushambiental/Caso101-ExperienciaProgramaCisternas.pdf>. Acesso em: 03 fev. 2022.

SCHIAVO, M. L. **Sistemas e processos de tratamento de águas de abastecimento**. Orgs. Luis Alcides Schiavo Miranda e Luis Olinto Monteggia. - Porto Alegre: (S. n.), 2007. 148p

SILVA, G. G; NAVAL, Liliana Pena; BERNARDO, Luiz di; DANTAS, Angela di Bernardo. **Tratamento de água de reservatórios por dupla filtração, oxidação e adsorção em carvão ativado granular**. Palma (To): Scielo, 2012. 10 p. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-41522012000100011>. Acesso em: 10 ago. 2022.

SILVA, A. K. S. **Avaliação físico-química e microbiológica da água utilizada na preparação de merendas escolares de três escolas do município de missão velha -CE**. II Congresso Internacional das Ciências Agrárias. COINTER –PDVAgro, 2017.

SILVEIRA, L. M. **Estudo sobre a ocorrência de arsênio nas águas subterrâneas do sistema aquífero Serra Geral, no município de Cerro Largo – RS.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geologia) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2019.

SIWIEC, T. **The experimental verification of Richardson-Zaki law on example of selected beds used in water treatment.** *Electronic Journal of Polish agricultural Universities*, v.10, n.2, 2007. Disponível em: [www.ejpau.media.pl/volume10/issue2/art-05.html](http://www.ejpau.media.pl/volume10/issue2/art-05.html) Acesso em: 12 jan. 2022.

SUTHERLAND, D. *et al.* **Enhancing microalgal photosynthesis and productivity in wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production.** *Bioresource Technology*, v. 184, p. 222-229, 2015.

TIAN, H.; Li, Y.; Wang, W.; Wu, P.; Ru, S. (2012). **Exposure to monocrotophos pesticide during sexual development causes the feminization/demasculinization of the reproductive traits and a reduction in the reproductive success of male guppies (*Poecilia reticulata*).** *Toxicology and Applied Pharmacology*, v. 263, n. 2, p. 163–170.

UNDP; WATKINS, K. **Human Development Report 2006.** [s.l.] United Nations Development Programme (UNDP), 2006.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Editora UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** Universidade Federal de Minas Gerais, 4ª Ed., Belo Horizonte, 2014.

ZAIAT, M. **Desenvolvimento e análise de biorreatores anaeróbios contendo células imobilizadas para o tratamento de águas residuárias: reator anaeróbio horizontal de leito fixo reator anaeróbio operado em bateladas seqüências.** 2003. 122 f. Texto (Livro docência em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP, São Carlos, 2003.

ZANCUL, M. S. **Água e saúde.** *Revista Eletrônica de Ciências*. n. 32, 2006.

ZHENG, Y.; GU, T. **Analytical solution to a model for the startup period of fixed bed reactors.** *Chemical Engineering Science*, USA, v. 51, p. 3773-3779, 1996.

Zoby, J. L. G., Matos, B. (2002). **As águas subterrâneas no Brasil e sua inserção na política nacional de recursos hídricos.** XII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas. Florianópolis: ABAS.

WEBER JR., W.J. **Control de la calidad del agua. Procesos fisicoquímicos** Barcelona: Ed. Reverte, 1979.

YASUI, J. C. **Análise físico-química e microbiológica de água em residências localizadas no município de pacaembu/sp.** Trabalho de Conclusão de Curso (TCC). CAMPO MOURÃO, 2015.