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

GABRIEL TONIN

POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA POR FILTRAÇÃO EM DUPLA CAMADA DE AREIA E CARVÃO ATIVADO GRANULAR EM REATOR DE LEITO FIXO CONTÍNUO

CERRO LARGO
2026

GABRIEL TONIN

POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA POR FILTRAÇÃO EM DUPLA CAMADA DE AREIA E CARVÃO ATIVADO GRANULAR EM REATOR DE LEITO FIXO CONTÍNUO

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

Orientadora: Prof. Dra. Alcione Aparecida de Almeida Alves

Co-orientadora: Prof. Dra. Aline Raquel Muller Tones

CERRO LARGO
2026

Bibliotecas da Universidade Federal da Fronteira Sul - UFFS

Tonin, Gabriel
POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA POR FILTRAÇÃO EM DUPLA CAMADA DE AREIA E CARVÃO ATIVADO GRANULAR EM REATOR DE LEITO FIXO CONTÍNUO / Gabriel Tonin. -- 2026.
49 f.:il.

Orientadora: Prof.ª Dr.ª Alcione Aparecida de Almeida Alves
Co-orientadora: Prof. Dr.ª Aline Raquel Muller Tones

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Federal da Fronteira Sul, Curso de Bacharelado em Engenharia Ambiental e Sanitária, Cerro Largo,RS, 2026.

1. tratamento de água para consumo humano. 2. processos avançados de potabilização da água. 3. comunidades rurais. I. Alves, Alcione Aparecida de Almeida, orient. II. , Aline Raquel Muller Tones, co-orient. III. Universidade Federal da Fronteira Sul. IV. Título.

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

GABRIEL TONIN

POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA SUBTERRÂNEA POR FILTRAÇÃO EM DUPLA CAMADA DE AREIA E CARVÃO ATIVADO GRANULAR EM REATOR DE LEITO FIXO CONTÍNUO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Programa de Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS) como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Engenharia Ambiental e Sanitarista.

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 29/05/2026

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br
ALCIONE APARECIDA DE ALMEIDA ALVES
Data: 12/06/2026 09:46:48-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof.ª Dr.ª Alcione Aparecida de Almeida Alves – UFFS
Orientadora

Documento assinado digitalmente
gov.br
ALINE RAQUEL MULLER TONES
Data: 19/06/2026 09:00:59-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr.ª Aline Raquel Muller Tones – UFFS
Co-orientadora

Documento assinado digitalmente
gov.br
MANUELA GOMES CARDOSO
Data: 19/06/2026 08:47:50-0300
Verifique em https://validar.iti.gov.br

_____

Prof. Dr.ª Manuela Gomes Cardoso – UFFS
Avaliadora

Dedico este trabalho aos meus pais,
que não pouparam esforços para que eu
pudesse concluir meus estudos.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, por toda a paciência que tiveram comigo durante a graduação, agradeço aos professores que me auxiliaram neste período, agradeço a UFFS pela oportunidade de formação.

Olhem de novo para o ponto. É ali. É a nossa casa. Somos nós. Nesse ponto, todos aqueles que amamos, que conhecemos, de quem já ouvimos falar, todos os seres humanos que já existiram, vivem ou viveram as suas vidas. Toda a nossa mistura de alegria e sofrimento, todas as inúmeras religiões, ideologias e doutrinas econômicas, todos os caçadores e saqueadores, heróis e covardes, criadores e destruidores de civilizações, reis e camponeses, jovens casais apaixonados, pais e mães, todas as crianças, todos os inventores e exploradores, professores de moral, políticos corruptos, "superastros", "lideres supremos", todos os santos e pecadores da história da nossa espécie, ali – num grão de poeira suspenso num raio de sol (Sagan, 1994, não paginado).

RESUMO

No contexto do meio rural, a implementação de sistemas de tratamento de água torna-se ainda mais relevante, uma vez que grande parte dessas localidades não é atendida pelas redes públicas de abastecimento, mas majoritariamente por fontes de água alternativas, como poços, nascentes e cursos de água. Neste sentido, este trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho de um reator de leito fixo contínuo (RLFC) com filtração em dupla camada, areia e carvão ativado granular (CAG), seguido do processo de desinfecção por cloro, aplicado a potabilização de água destinada ao abastecimento público de área rural de um município da Região das Missões (RS). A metodologia consistiu na análise da eficiência do RLFC quanto aos parâmetros físico-químicos: alcalinidade, cloro residual livre, cor aparente, turbidez, pH, condutividade elétrica e; microbiológicos: Coliformes Totais e *Escherichia coli*, em comparação aos parâmetros estabelecidos pela na Portaria de Consolidação n° 5/2017 alterada pela Portaria n° 888/2021, ambas do Ministério da Saúde (MS). Os resultados indicaram que em relação a água bruta (AB) somente o parâmetro Coliformes Totais não atendia a Portaria de Consolidação n° 05/2017 e pela Portaria n° 888/2021 do MS e que os parâmetros alcalinidade e condutividade elétrica se encontravam de acordo com valores previstos na literatura para águas subterrâneas. A água tratada (AT) no RLFC com filtração em dupla camada em areia e CAG seguido de desinfeção por cloro, indicou que, dos parâmetros físico-químicos (a alcalinidade foi reduzida de 240 mg/L na AB para 120 mg/L na AT, a cor aparente apresentou variação de 0 a 1,4 uC na AB e de 0,7 a 110 uC na AT, a condutividade elétrica variou de 217,1 a 308,4 μS/cm na AB e de 131,4 a 396,8 μS/cm na AT, o pH foi reduzido de 8,4 na AB para 6,8 na AT, enquanto a turbidez apresentou valores entre 0,06 e 0,81 uT na AB e entre 0,53 e 58,6 uT na AT) , e microbiológicos avaliados e descritos nas Portarias n° 5/2017 e n° 888/2021, somente o parâmetro cloro residual livre estava acima dos valores máximos permitidos com concentrações entre 5 e 10 mg/L na AT, o parâmetro cloro residual livre acabou não atendendo as Portarias n° 5/2017 e n° 888/2021 por não haver uma remoção adequada dos resíduos da pastilha de cloro na tubulação o que acarretou em uma concentração elevada, os resultados referentes aos parâmetros microbiológicos demonstraram a eficiência do RLFC , não detectando a presença de Escherichia Coli nas amostras de água tratada, O que demonstra a eficiência do sistema na produção de água potável para o consumo humano.

Palavras-chave: tratamento de água para consumo humano, processos avançados de potabilização da água, comunidades rurais.

ABSTRACT

In rural areas, the implementation of water treatment systems becomes even more relevant, since a large portion of these communities is not served by public water supply networks and relies primarily on alternative water sources, such as wells, springs, and watercourses. In this context, the objective of this study was to evaluate the performance of a Continuous Fixed-Bed Reactor (CFBR) with dual-media filtration using sand and granular activated carbon (GAC), followed by chlorine disinfection, for the potabilization of water intended for public supply in a rural area of a municipality located in the Missões Region, Rio Grande do Sul, Brazil. The methodology consisted of assessing the efficiency of the CFBR regarding the physicochemical parameters alkalinity, free residual chlorine, apparent color, turbidity, pH, and electrical conductivity, as well as the microbiological parameters Total Coliforms and Escherichia coli, in comparison with the standards established by Consolidation Ordinance No. 5/2017, amended by Ordinance No. 888/2021, both issued by the Brazilian Ministry of Health. The results indicated that, regarding raw water (RW), only the Total Coliforms parameter did not comply with the requirements established by the legislation, while alkalinity and electrical conductivity were within the values reported in the literature for groundwater. The treated water (TW) produced by the CFBR with dual-media filtration using sand and GAC followed by chlorine disinfection showed that alkalinity decreased from 240 mg/L in RW to 120 mg/L in TW, apparent color ranged from 0 to 1.4 CU in RW and from 0.7 to 110 CU in TW, electrical conductivity varied from 217.1 to 308.4 μS/cm in RW and from 131.4 to 396.8 μS/cm in TW, pH decreased from 8.4 in RW to 6.8 in TW, and turbidity ranged from 0.06 to 0.81 NTU in RW and from 0.53 to 58.6 NTU in TW. Among the physicochemical and microbiological parameters evaluated according to Ordinances No. 5/2017 and No. 888/2021, only free residual chlorine exceeded the maximum permitted values, with concentrations ranging from 5 to 10 mg/L in TW. This non-compliance was attributed to the inadequate removal of chlorine tablet residues from the pipeline, resulting in elevated chlorine concentrations. The microbiological results demonstrated the efficiency of the CFBR, with no detection of Escherichia coli in the treated water samples, highlighting the system's effectiveness in producing drinking water suitable for human consumption.

Keywords: drinking water treatment, advanced water potabilization processes, rural communities.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB	Água Bruta
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AT	Água Tratada
COM	Compostos Orgânicos Naturais
ETA	Estação de Tratamento de Água
ETA	Estação de Tratamento de Água
FDA	Filtração Direta Ascendente
FDD	Filtração Direta Descendente
FiME	Filtração em Múltiplas Etapas
GAC	Carvão Ativado Granular
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MS	Ministério da Saúde
NOM	Compostos Orgânicos Naturais
PSA	Planos de Segurança da Água
RLFC	Reator de Leito Fixo Contínuo
TAS	Taxa de Aplicação Superficial
TCC	Tratamento em Ciclo Completo
UFFS	Universidade Federal da Fronteira Sul

Lista de Quadros

Quadro 1 – Instrumentos jurídicos e normas regulamentadoras vinculados a potabilidade da água no Brasil.....25
Quadro 2: Parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados.....28

Lista de Tabelas

Tabela 1 – Alcalinidade da água subterrânea pré e pós tratamento por filtração em dupla camada de areia e carvão ativado granular em Reator de Leito Fixo Contínuo.....31
Tabela 2 – Cloro residual livre da água subterrânea pré e pós tratamento por filtração em dupla camada de areia e carvão ativado granular em Reator de Leito Fixo Contínuo.....33
Tabela 3 – Cor aparente livre da água subterrânea pré e pós tratamento por filtração em dupla camada de areia e carvão ativado granular em Reator de Leito Fixo Contínuo.....34
Tabela 4 – Condutividade elétrica da água subterrânea pré e pós tratamento por filtração em dupla camada de areia e carvão ativado granular em Reator de Leito Fixo Contínuo.....36
Tabela 5 – pH da água subterrânea pré e pós tratamento por filtração em dupla camada de areia e carvão ativado granular em Reator de Leito Fixo Contínuo.....38
Tabela 6 – Turbidez da água subterrânea pré e pós tratamento por filtração em dupla camada de areia e carvão ativado granular em Reator de Leito Fixo Contínuo.....40

Lista de Figuras e Gráficos

Figura 1: Representação do RLFC.....28
Gráfico 2: Alcalinidade (Água Bruta x Água Tratada) 32
Gráfico 3: Cloro Livre (Água Bruta x Água Tratada) 34
Gráfico 4: Cor Aparente (Água Bruta x Água Tratada) 35
Gráfico 5: Condutividade Elétrica (Água Bruta x Água Tratada) 37
Gráfico 6: Concentração de pH (Água Bruta x Água Tratada) 39
Gráfico 7: Turbidez (Água Bruta x Água Tratada) uT.....42

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO 14
1.1 OBJETIVOS 15
1.1.1 Objetivo geral 15
1.1.2 Objetivos específicos 16
2 REFERENCIAL TEÓRICO 17
2.1 POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL 17
2.2 PRINCIPAIS SISTEMAS E PROCESSOS DE POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL 18
2.2.1 Principais processos envolvidos no sistema convencional de Potabilização de água 20
2.2.2 Filtração em dupla camada 22
2.2.3 Processos de potabilização de água vinculado ao sistema avançado 22
2.2.4 Processos de potabilização de água vinculado ao sistema simplificado 23
2.3 PRINCIPAIS INSTRUMENTOS JURÍDICOS NORTEADORES DA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL 24
3 MATERIAIS E MÉTODOS 26
3.1 TIPO DE ESTUDO 26
3.2 ÁREA E ÁGUA DE ESTUDO 26
3.3 REATOR DE LEITO FIXO BI FLUXO CONTINUO (RLFC) 27
3.3.1 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos 29
4 . RESULTADOS E DISCUSSÃO 31
4.1 VARIABILIDADE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS 31
4.1.1 Alcalinidade 31
4.1.2 Cloro residual livre 33
4.1.3 Cor aparente 35
4.1.4 Condutividade elétrica 37
4.1.5 pH 39
4.1.6 Turbidez 41
4.1.7 Coliformes totais e *Escherichia coli* 43
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS 44
REFERÊNCIAS 45

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o saneamento básico é tido como um direito fundamental assegurado pela constituição federal e regulamentado pela Lei Federal n° 11.445/2007, atualizada e alterada pela Lei Federal n° 14.026/2020. Esta legislação estabelece que o saneamento básico compreende o conjunto de serviços, infraestruturas e instalações operacionais relacionadas ao abastecimento de água potável, esgotamento sanitário, manejo dos resíduos sólidos, drenagem e manejo das águas pluviais urbanas, bem como a limpeza urbana (Brasil, 2007; Brasil, 2020).

Em relação ao abastecimento de água, dos 77,7 milhões de residências em 2023, em torno de 66,7 milhões (85,9%) do total possuíam acesso a rede geral de abastecimento de água. Segundo a situação do domicilio, pode-se constatar que, entre os 68,2 milhões em situação urbana, 93,4% possuíam acesso a rede geral de abastecimento de água, agora referente aos 9,5 milhões em situação rural, somente cerca de 32,3% tinham acesso a rede de abastecimento público (PNAD, 2023).

A potabilização da água representa uma etapa determinante no sistema de abastecimento público, sendo diretamente relacionada a promoção da saúde coletiva e a redução dos riscos associados a doenças de veiculação hídrica. O Ministério da Saúde, estabelece os padrões de qualidade que a água deve atender para ser considerada própria para o consumo humano, incluindo parâmetros microbiológicos, físicos e químicos conforme indicados na Portaria n° 5/2017, alterada pela Portaria n° 888/2021, ambas do Ministério da Saúde (MS). Sendo que, o cumprimento dessas portarias depende da atuação conjunta entre órgãos de vigilância sanitária e os responsáveis pelo fornecimento de água (Brasil, 2017; Brasil 2021).

Em relação ao tratamento de água para o abastecimento público, há vários processos desenvolvidos e aplicados com o intuito de assegurar a potabilidade da água, segundo (Di Bernardo, Dantas, 2005), os principais processos utilizados para a potabilização estão comumente vinculados ao sistema convencional em Estações de Tratamento de Água (ETA) compreendido pelos processos de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção, usualmente realizada por cloração, aplicados comumente em áreas urbanas e, em processos avançados como a aplicação de carvão ativado granular (CAG) tem sido uma alternativa para dar polimento as águas de consumo humano. Em contrapartida, em áreas rurais, as fontes de abastecimento frequentemente não contam com essas etapas de tratamento, limitando-se, quando existente, apenas à desinfecção por cloro (Silva *et al*., 2022).

Nesse contexto, a filtração rápida 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 micro-organismos e pode dispensar o descarte de água pré-filtrada no início da carreira de filtração (Di Bernardo, Dantas, 2005).

A utilização do CAG no processo de tratamento de água ocorre, geralmente, na forma de meio filtrante, através do qual a água permeia, possibilitando a ligação do composto de interesse à superfície dos poros do carvão por adsorção, até o momento em que o carvão não é mais capaz de reter substâncias. Nessa fase, o carvão precisa ser retirado, reativado ou substituído por outro (Brandão, Silva, 2006; Müller, 2008).

Assim sendo, o presente estudo se justifica pela importância do saneamento básico como um direito garantido pela Constituição Federal de 1988, sendo de fundamental importância para a promoção da saúde pública e para a qualidade de vida, especialmente no que diz respeito ao acesso à água potável. Ainda, apesar dos avanços, os dados recentes demonstram desigualdades expressivas no acesso à água tratada, principalmente em áreas rurais do Brasil, onde menos de um terço das residências estão conectadas à rede pública de abastecimento (IBGE, 2023).

Oportunamente, a utilização de tecnologias eficientes no tratamento de água, como a dupla filtração em areia e CAG, é uma alternativa viável para ampliar o fornecimento de água de qualidade, mesmo em locais com infraestrutura limitada. Nesse caso, este estudo pretende contribuir para o desenvolvimento e a avaliação de processos de tratamento da água de abastecimento público no meio rural em conformidade com a Portaria n°05/2017 alterada pela Portaria GM/Ms n°888/2021 (Brasil, 2017; Brasil, 2021).

1.1 OBJETIVOS

Os objetivos deste trabalho estão organizados em objetivos geral e específicos, de forma a orientar a condução da pesquisa.

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho do tratamento de água subterrânea por filtração em dupla camada de areia e carvão ativado granular (CAG) em reator de leito fixo contínuo (RLFC).

1.1.2 Objetivos específicos

Caracterizar a água bruta (AB) de poço de abastecimento no meio rural de um município da região das missões, considerando os parâmetros físico-químicos e microbiológicos: alcalinidade, cloro residual livre, Cor aparente, Condutividade elétrica, pH, Turbidez, Coliformes totais e *Escherichia coli*.

Avaliar a conformidade dos parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água bruta (AB) e avaliar a conformidade destes parâmetros na água tratada (AT) após a filtração em dupla camada em areia e CAG no RFLC, bem como comparar os resultados obtidos com os valores estabelecidos pela Portaria n° 5/2017, alterada pela Portaria n° 888/2021 do Ministério da Saúde (MS).

2 REFERENCIAL TEÓRICO

Neste tópico estão elencados os aspectos fundamentais sobre a potabilização de água no Brasil, os processos convencionais e avançados para o tratamento de água de abastecimento.

2.1 POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL

A potabilização da água no Brasil é de grande importância para a defesa da saúde pública, uma vez que o acesso à água de qualidade não abrange toda a população. Nesse contexto, a abordagem dos *Water Safety Plans* (WSPs), conforme discutido (Vurro *et al*., 2021), demonstra a alta aplicabilidade de sistemas de tratamento no contexto brasileiro, uma vez que propõe uma metodologia sistemática para garantir a qualidade da água destinada ao consumo urbano e rural. No Brasil seria necessário a implementação de táticas semelhantes para amenizar os problemas relacionados a saúde e saneamento básico, sobretudo em sistemas de abastecimento de pequeno porte e em regiões mais carentes de saneamento básico (Damke, Pasini, 2020).

O Brasil é marcado por um sistema de saneamento básico e de tratamento de água deficiente em várias comunidades, dessa forma a necessidade de assumir o uso de práticas que possam fazer o melhor controle das possíveis fontes de contaminação. É possível garantir a segurança da água por meio de avaliações de risco sistemáticas e ações corretivas previas. Segundo Vurro *et al*. (2021), essas práticas se tornam importantes no Brasil, onde as fraquezas dos pequenos sistemas de abastecimento ainda comprometem a universalização da água potável (SNIS, 2016).

A maior parte da água limpa que é consumida se transforma em esgoto que é reintroduzido nos rios e lagos. Estas nascentes, uma vez contaminadas, podem conter microrganismos que provocam diferentes doenças como a diarreia, hepatite, cólera e febre tifoide. Além dos microrganismos, as águas dos rios e lagos contêm diversas partículas indevidas para o consumo da população. Daí a necessidade de se tratar a água para que esta volte a ser propícia para o consumo humano (Rocha, Rosa e Cardoso, 2009).

O estado do Rio Grande do Sul (RS) apresentou 44,87% dos municípios com sistema de potabilização de água na zona urbana, e apenas 15,89% na zona rural. Em suma, verificou-se a necessidade de políticas públicas destinadas a implantação, recuperação e expansão de sistemas de potabilização de água na zona rural, buscando contribuir na saúde e bem-estar destas comunidades (Bialas *et al.*, 2024).

De acordo com Silva (2019), as áreas rurais pela maior dificuldade de as prefeituras ou companhias de saneamento fazerem a distribuição da água de consumo humano, caracterizam-se pelo uso de fontes alternativas, como os poços subterrâneos, para a solução de abastecimento de água que atenda a população e atividades socioeconômicas. Por outro lado, por desenvolverem predominantemente atividades agropastoris e agrícolas, grandes geradoras de matéria orgânica, as fontes de abastecimento inseridas nessas áreas estão sujeitas a riscos de contaminação por efluentes resultantes destas atividades.

Diferentemente dos sistemas convencionais empregados em áreas urbanas, que operam com múltiplas etapas sequenciais, o presente estudo propõe um tratamento simplificado para a água subterrânea em área rural. O sistema de tratamento de águas em áreas urbanas, conforme operado pela Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP), é realizado por meio de um processo convencional dividido em múltiplas etapas sequenciais, que começam com a pré-cloração seguida da adição de cloro para remoção de matéria orgânica e metais e posteriormente a pré-alcalinização, com cal ou soda para ajuste do pH entre 6,0 e 9,0 (Pinheiro, Ribeiro, 2019). Segue-se a coagulação, com sulfato de alumínio ou cloreto férrico sob alta agitação para desestabilizar partículas de sujeira, e a floculação, com mistura lenta para formação de flocos. Posteriormente, ocorre a decantação em tanques para separar os flocos, a filtração por filtros de cascalho, areia e carvão antracito, a pós-alcalinização para nova correção do pH, a desinfecção com cloro antes da saída da estação e, por fim, a fluoretação com flúor para prevenção de cáries (SABESP, 2020).

2.2 PRINCIPAIS SISTEMAS E PROCESSOS DE POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL

Os sistemas de tratamento de água podem ser classificados em três categorias principais: convencional, simplificado e avançado. Cada um desses sistemas é composto por diferentes processos de potabilização, os quais têm por objetivo garantir a qualidade da água destinada ao consumo humano. Entre os processos que integram esses sistemas, a desinfecção é comum tanto ao sistema convencional quanto ao simplificado, enquanto a coagulação é exclusiva do sistema convencional (Bialas *et al.*, 2024)

Os principais processos que compõem cada tipo de sistema de tratamento, podem ser observados na sequência:

a) Sistema Convencional composto por processos de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção (Richter, 2009), enquanto que, o Sistema Simplificado composto por processos de filtração e desinfecção (Tonetti *et al*., 2010).

b) Sistema Simplificado é composto por processos de pré-filtração, filtração lenta e desinfecção (Di Bernardo *et al*., 1999; Machado e Di Bernardo, 1997), o sistema simplificado reduz etapas para viabilizar o tratamento em áreas rurais e comunidades vulneráveis (Carneiro, 2025).

c) Sistema Avançado composto por processos de inclui os processos do sistema convencional, acrescidos de tecnologias como filtração por membranas, ozonização, radiação ultravioleta e adsorção por carvão ativado, voltadas à remoção de contaminantes específicos e maior eficiência de purificação (Bialas *et al.*, 2024).

Segundo o mesmo autor, essa categorização evidencia a complexidade crescente entre os sistemas, sendo o simplificado predominante em áreas rurais, como apontado no estudo, e o convencional mais comum em zonas urbanas com infraestrutura consolidada. O avançado é reservado para contextos com maior exigência de qualidade ou com águas altamente contaminadas.

Os sistemas de tratamento de água potável variam em complexidade, estes sistemas são constituídos pelos: sistemas convencional, simplificado e avançado. Cada um desses sistemas é composto por um conjunto específico de processos de potabilização, que são aplicados de acordo com as características da água bruta e com as condições locais de abastecimento. De modo geral, sistemas mais completos envolvem múltiplas etapas físico-químicas e biológicas, enquanto alternativas simplificadas priorizam técnicas de fácil implementação e operação, especialmente em áreas rurais, e os sistemas mais avançados incorporam tecnologias adicionais para a remoção de contaminantes específicos e melhoria da qualidade final da água (Rocha *et al.*, 2024).

O processo convencional de potabilização da água, também chamado como ciclo completo, é muito utilizado no Brasil no meio urbano e engloba as etapas de coagulação, floculação, sedimentação, filtração e desinfecção. Esse conjunto de operações unitárias propicia a remoção progressiva de impurezas físicas, químicas e biológicas da água bruta, garantindo que a água esteja em conformidade com a legislação (Ismail, Pires, 2022). O tratamento simplificado de água é um sistema de baixo custo e de instalação simplificada, é baseado nas etapas de filtração e desinfecção por cloro conferindo assim que a água esteja dentro dos padrões estabelecidos pela legislação Portaria de Consolidação n° 05/2017 alterada pela Portaria n° 888/2021 (Freitas *et al.*, 2021). Referente ao sistema avançado, os processos que se

destacam são, filtração/adsorção em carvão ativado, troca iônica, osmose reversa e nanofiltração, oxidação avançada, eletrocoagulação, estes processos de tratamento de água melhoram a eficiência do tratamento, possibilitando atender padrões de potabilidade mais rigorosos e atender os requisitos quanto a segurança sanitária (Xue *et al*., 2018).

2.2.1 Principais processos envolvidos no sistema convencional de Potabilização de água

Na etapa de clarificação, se encontra o processo de coagulação que consiste na a junção das impurezas quando adicionados os agentes coagulantes, é uma etapa indispensável para a remoção das partículas solidas suspensas no meio do efluente**.** Floculação: é a mistura rápida das impurezas para que possa haver a aglomeração das mesmas, e assim após essa aglomeração os flocos passam para os decantadores onde são removidos**.** A decantação pode ser entendida como um fenômeno físico natural onde os sólidos suspensos e outros contaminantes vão parar no fundo "através da força gravitacional" (Delmonico *et al.*, 2020).

Sequencialmente o processo de filtração, consiste na passagem da água contaminada por um filtro especifico que é especializado em remover determinado tipo de poluente ou impureza. Na fluoretação ocorre aadição de flúor na forma de ácido fluorsilicico, fluoreto de sódio entre outros para prevenir a remoção do esmalte dos dentes. Por outro lado, a desinfecção possui o objetivo de prevenir, corrigir e eliminar a presença de microrganismos da água, por esse motivo é usado um desinfetante na água "geralmente cloro e ozônio" (Di Bernardo, Dantas, 2005).

Na sequência, para a filtração direta descendente, a água tratada percorre o meio filtrante partindo dos grãos mais finos em direção aos mais grossos, o que permite uma remoção eficiente das partículas em suspensão logo no início do percurso, gerando maior confiança sanitária ao efluente final. Sendo amplamente adotada em ETA que operam com filtração direta, é recomendada para mananciais com turbidez e cor relativamente baixas, sendo uma alternativa simples e econômica em comparação aos sistemas convencionais, que exigem etapas adicionais como sedimentação ou flotação (Pereira *et al*., 2023). Para os autores, embora o filtro descendente apresente um progresso mais rápido da perda de carga, o que diminui a duração das operações de filtração, a eficiência na remoção de turbidez e de microrganismos indicadores, como bactérias formadoras de esporos aeróbias, é ligeiramente superior à observada em filtros ascendentes, dependendo das condições operacionais adotadas.

O tratamento em ciclo completo utiliza coagulação, geralmente com um sal de alumínio ou ferro, em um processo de varredura. Nesse processo, ocorre a formação de precipitados do

metal coagulante, nos quais as impurezas ficam aprisionadas. A mistura inicial ocorre na unidade de mistura rápida, que pode ser hidráulica ou mecanizada, de acordo com a vazão da água, a variabilidade na qualidade da água bruta e as condições de operação e manutenção. Após a coagulação, a água passa por um processo de agitação lenta, permitindo que os flocos cresçam e atinjam massa e tamanho adequados para serem removidos nos decantadores (por sedimentação) ou nos flotadores (por flotação), que pode ocorrer em unidades tanto mecanizadas quanto hidráulicas (Di Bernardo, Dantas, 2005).

Para adequar a intensidade da agitação às características da água bruta, recomenda-se o uso de unidades mecanizadas, embora a floculação hidráulica seja preferível quando viável. Os decantadores podem ser do tipo convencional, com grandes tanques de escoamento horizontal ou vertical, ou de alta taxa, que utilizam módulos plásticos ou placas paralelas para otimizar o processo. A água clarificada proveniente dos decantadores ou flotadores é finalmente filtrada em unidades de escoamento descendente, com um meio filtrante granular composto, geralmente, por areia ou uma combinação de antracito e areia com granulometria controlada. Dependendo da vazão e do número de unidades de filtragem, é recomendada a filtração com taxa declinante variável, evitando o uso de dispositivos de controle de nível ou de taxa. A lavagem do meio filtrante é realizada com água ou com uma combinação de ar e água para garantir a remoção eficaz das impurezas acumuladas (Di Bernardo, Dantas, 2005).

A filtração direta descendente (FDD) consiste em uma tecnologia de tratamento de água na qual os filtros atuam como única barreira física para remoção de material em suspensão, sendo particularmente aplicável a mananciais com baixa turbidez e baixa cor verdadeira. Nesse processo, o escoamento ocorre no sentido descendente: a água percola inicialmente pela camada de grãos mais finos do leito filtrante e, posteriormente, pela camada de grãos mais grossos, conferindo maior segurança sanitária ao efluente tratado. Em comparação com as ETA convencionais, a FDD proporciona redução de 30% a 50% nos custos de implantação, diminuição das despesas operacionais e de manutenção, menor consumo de coagulante e energia elétrica, além de gerar menor volume de lodo. Contudo, como o tempo de detenção hidráulica é reduzido, a tecnologia exige controle mais rigoroso da dosagem de produtos químicos diante de flutuações na qualidade da água bruta (Lima *et al.*, 2019).

Na filtração direta descendente, a água bruta pode ser coagulada com sais de alumínio ou ferro, sendo possível adicionar um polímero como auxiliar de floculação ou optar por um polímero catiônico, que atua por neutralização de cargas. Comparada ao método de coagulação, essa técnica utiliza doses menores de coagulante e, geralmente, um pH mais baixo. A unidade de mistura rápida deve formar flocos pequenos e resistentes ao cisalhamento durante a filtração.

Dependendo do tamanho e da distribuição das partículas na água bruta, das características do meio filtrante e da taxa de filtração, a etapa de floculação pode ser necessária ou não antes da filtração (Di Bernardo, Dantas, 2005).

Segundo o mesmo autor, se recomenda a filtração direta descendente, o uso de uma taxa de filtração declinante variável em vez de constante. O meio filtrante é geralmente composto por antracito e areia ou apenas areia com granulometria uniforme, o que favorece a penetração de impurezas no material granular e permite carreiras de filtração mais longas. Para garantir o funcionamento adequado da estação, a lavagem do meio filtrante deve ser realizada com ar e água. Devido às diversas variáveis envolvidas, raramente é possível adotar parâmetros de projeto fixos. Em ETA com ciclo completo, existe a possibilidade de desviar a água coagulação ou pré-floculada diretamente para os filtros durante períodos de estiagem, quando turbidez e cor são menores.

2.2.2 Filtração em dupla camada

A dupla filtração, no contexto dos filtros bi fluxo, consiste na utilização de uma camada filtrante composta por dois materiais distintos, usualmente antracito na porção superior e areia na porção inferior. Essa montagem do sistema possibilita que a água a ser tratada passe primeiro por um meio mais poroso, que impede as partículas maiores, e consiga em seguida passar por um meio de menor granulometria, que faz a remoção das partículas mais finas, contribuindo assim para a melhoria da qualidade da água filtrada. Além disso a utilização de uma dupla camada filtrante favorece um equilíbrio hidráulico de maior eficácia entre os fluxos ascendente e descendente dentro do filtro, diminuindo a colmatação precoce da camada superior e aumentando a eficiência do processo de filtração. Como resultado, essa tecnologia possibilita a operação em taxas de filtração mais elevadas, mantendo desempenho satisfatório ao longo da carreira de filtração (Hamann, Mckinney, 1968; Vignesan *et al*., 1983).

2.2.3 Processos de potabilização de água vinculado ao sistema avançado

No campo do tratamento de água, destacam-se diferentes processos avançados que estão sendo aplicados com o objetivo de aumentar a eficiência da potabilização e atender as demandas da legislação referente a qualidade da água. Entre esses métodos, a filtração com carvão ativado granular, ozonização, processos oxidativos avançados, são relevantes pois possibilitam maior

remoção de micro-organismos resistentes e de contaminantes emergentes (Ferreira, Rodrigue, Silva, 2025).

No sistema de tratamento avançado de água, são aplicadas tecnologias mais sofisticadas que vão além dos processos tradicionais. Entre os principais processos utilizados, estão a filtração por membranas, a adsorção em CAG, os processos de oxidação avançada. Tais processos são especialmente importantes quando se trata de remover contaminantes específicos ou quando a água apresenta uma carga poluente mais elevada, garantindo assim uma qualidade superior da água tratada, ideal para atender padrões mais rigorosos de potabilidade ou a depender da qualidade da água bruta a ser tratada (Agnesini *et al*., 2025).

Dentre os principais processos avançados a filtração em GAC é uma técnica amplamente adotada em estações de tratamento de água potável com a capacidade de remover compostos orgânicos naturais (CON) e contaminante traço, como pesticidas e substâncias que causam sabor e odor. Além disso, o GAC atua na redução de precursores de subprodutos da desinfecção elementos que podem formar compostos potencialmente prejudiciais após o tratamento com cloro. Devido à alta capacidade de adsorção do GAC, ele é especialmente eficaz na remoção de frações húmicas de CON de tamanhos pequenos a intermediários (Di Bernardo, Dantas, 2005).

2.2.4 Processos de potabilização de água vinculado ao sistema simplificado

Os sistemas simplificados de tratamento de água são compostos geralmente pelos processos de desinfecção, a adição de cloro à água bruta antes da distribuição pela fluoretação, que consiste na adição controlada de flúor. Já o sistema convencional, amplamente consolidado no país, contempla etapas mais abrangentes, como clarificação, filtração e desinfecção. Os sistemas avançados empregam processos ainda mais eficientes na remoção de contaminantes, destacando-se o uso de membranas, a adsorção e outras tecnologias complementares (Rollemberg, Magalhães, 2020).

O processo de desinfecção por cloro da água visa a eliminação ou inativação de organismos patogênicos que causam doenças, além de outros organismos indesejáveis. Esses patógenos podem sobreviver na água por períodos prolongados, com a duração de sua viabilidade variando com a temperatura: em torno de 21° C, sobrevivem por várias semanas e em baixas temperaturas, podem persistir por meses (Cubillos, 1981). A sobrevivência desses organismos é influenciada não apenas pela temperatura, mas também por fatores ecológicos,

fisiológicos e morfológicos, como pH, turbidez, disponibilidade de oxigênio, nutrientes, presença de outros organismos competidores, resistência a substâncias tóxicas e capacidade de formação de esporos (Rossin, 1987). A desinfecção não é sinônimo de esterilização, embora possa ser realizada até alcançar um nível próximo à esterilização (Di Bernardo, Dantas, 2005).

A cloração é um método comum de desinfecção em sistemas de abastecimento de água e serve tanto para a destruição de organismos patogênicos quanto para a oxidação de compostos presentes na água, que afetam suas características sensoriais e físico-químicas. A desinfecção é o objetivo principal da cloração, levando ao uso frequente dos termos “desinfecção” e “cloração” como sinônimos (Meyer, 1994). O cloro, ao exercer sua ação desinfetante, forma um residual que atua como uma barreira contra a recontaminação da água ao longo do sistema de distribuição. Esse residual é essencial para assegurar a qualidade microbiológica da água até o ponto de consumo, garantindo que eventuais contaminações secundárias sejam neutralizadas antes de chegarem ao usuário final (Di Bernardo, Dantas, 2005).

2.3 PRINCIPAIS INSTRUMENTOS JURÍDICOS NORTEADORES DA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA NO BRASIL

No contexto da gestão sustentável dos recursos hídricos subterrâneos, os instrumentos legais e normativos que regulam a perfuração, operação e monitoramento de poços para o abastecimento de água subterrânea desempenham papeis necessários, assegurando não apenas a qualidade da água destinada ao consumo humano, mas também a proteção do meio ambiental e a saúde pública (Barbosa, Barbosa, 2012).

Quadro 2 – Instrumentos jurídicos e normas regulamentadoras vinculados a potabilidade da água no Brasil.

Legislação	**Descrição**
Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021	Altera o Anexo XX da Portaria de Consolidação nº 5/GM/MS, de 28 de setembro de 2017, para dispor sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.
Portaria nº 5, de 28 de setembro de 2017	Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde.

ABNT NBR 12216/1992	Esta norma fixa as condições exigíveis na elaboração de projeto de estação de tratamento de água destinada à produção de água potável para abastecimento publico

Fonte: Autor (2026).

Diante do Quadro 1, observa-se que a Portaria nº 888/2021, a Portaria de Consolidação nº 5/2017 e a ABNT NBR n° 12.216:1992 representam os principais instrumentos legais e técnicos que orientam, no Brasil, o controle da qualidade da água e o projeto de estações de tratamento para abastecimento público. O cumprimento dos padrões de potabilidade estabelecidos por essas normas trata-se de uma medida necessária para a proteção da saúde da população (Brasil, 2017; Brasil, 2021; ABNT, 1992).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste item estão descritos o tipo de estudo, a área e a água estudo, bem como as principais análises para a avaliação de desempenho do Reator de Leito Fixo Continuo (RLFC), especialmente quanto à sua eficiência no processo de potabilização de água subterrânea do meio rural. Os experimentos foram realizados nos laboratórios da Universidade Federal da Fronteira Sul (UFFS), *Campus* Cerro Largo/RS, com o apoio da estrutura fornecida pelo Laboratório de Águas e Ecotoxicologia (LAE) a água tratada gerada foi devidamente descartada, seguindo as normas ambientais e legislação vigente.

3.1 TIPO DE ESTUDO

O estudo foi conduzido por meio de uma pesquisa experimental, conforme a abordagem metodológica descrita por Lakatos e Marconi (2003), envolvendo a realização de analises em laboratório. A partir desses procedimentos, foi possível observar, medir e interpretar os dados obtidos, permitindo uma análise tanto qualitativa quanto quantitativa, o que possibilita uma avaliação mais concreta do desempenho do RLFC referente a potabilização da água rural.

3.2 ÁREA E ÁGUA DE ESTUDO

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), o município de Cerro Largo, localizado na região noroeste do estado do Rio Grande do Sul (RS), possui uma população estimada de 13.705 habitantes, distribuída em uma área territorial de 176,742 km², resultando em uma densidade demográfica de 74,59 habitantes por km². Quanto a distribuição populacional, observa-se que a distribuição populacional se concentra majoritariamente na zona urbana com 83,0% da população enquanto os 17,0% da população restante se concentram na zona rural, o nível de escolarização até o ensino básico é de 98,2% (IBGE, 2022).

A área de coleta da amostra está localizada na latitude 28°23’19.7” sul e longitude 55°06’15,7” oeste. O clima na área de estudo é quente e temperado, com pluviosidade média anual de 1.842 mm e possuindo temperatura média de 20.7 °C (IBGE, 2022).

O corpo hídrico utilizado como fonte de água desta pesquisa é proveniente de fonte subterrânea, coletada diretamente de um poço em área rural localizado no município de Cerro Largo/RS.

3.3 REATOR DE LEITO FIXO BI FLUXO CONTINUO (RLFC)

O RLFC foi projetado, dimensionado e construído com o objetivo de contribuir para a potabilização da água destinada ao abastecimento público de áreas e urbanas com baixo acesso a água potável. Além da remoção de partículas, o sistema também foi desenvolvido com foco na eliminação de micropoluentes, especialmente aqueles relacionados a compostos de agrotóxicos, conforme descrito por (Alves, 2018), apesar de, neste estudo o foco seja atendimento de parâmetros físico-químicos e microbiológicos exceto micropoluentes tais como os compostos agrotóxicos.

A estrutura do RLFC foi construída em aço inoxidável, e em termos de filtração atendeu às diretrizes estabelecidas pela norma ABNT NBR n° 12.216:1992 (ABNT, 1992), que orienta os critérios para o projeto de estações de tratamento de água (ETA) voltadas à produção de água potável para o consumo público.

Para a realização da operação do RLFC foram utilizados 400 L de água bruta coletada diretamente do poço de água subterrânea localizada em Cerro Largo/RS. Antes de dar início a operação do reator foram feitos testes de vazão para possibilitar manter todo o processo de filtração a uma vazão constante de 2,6 L/min com taxa de aplicação superficial aproximada de 120 $m^3\ m^{-2}\ d^{-1}$.

Para determinar a eficiência do sistema de tratamento foram realizas coletas de água bruta (entrada do RLFC) e as na saída do RLFC, após no intervalo de 10 minutos, totalizando dois tipos de amostras, água bruta (AB), água tratada do leito filtrante (ATF). Ao mesmo tempo foi monitorado a vazão de saída do reservatório e a perda de carga do sistema, tendo em vista o objetivo de avaliar o desempenho hidráulico e a eficiência dos processos de filtração do reator.

O procedimento de operação contou com um total de 21 coletas de água bruta (AB) e um total de 18 coletas de água tratada (AT).

O RLFC opera por meio de processos de filtração e adsorção, utilizando materiais filtrantes definidos pela ABNT NBR n° 12.216:1992 e como material adsorvente, como o carvão ativado.

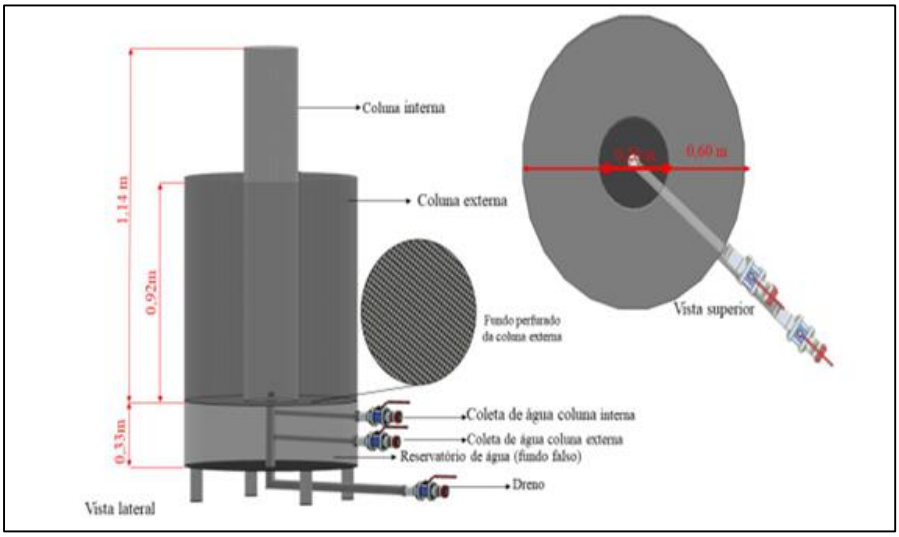
O fluxo de filtração adotado foi do tipo descendente, seguindo a seguinte ordem: a água percola pela camada de CAG, na sequência pela camada de areia e, por fim, pela camada suporte composta por seixos rolados. A camada de CAG exerce função filtrante e adsorvente. O CAG empregado no estudo é de origem comercial, produzido a partir do epicarpo do babaçu (*Orbignya phalerata*) e ativado fisicamente com vapor de água, seguindo as especificações do

fabricante. Antes da utilização no reator, o CAG foi submetido a limpeza conforme os procedimentos estabelecidos pela norma ASTM D6586 (2008), que consistiu na lavagem com água normal por pelo menos cinco vezes, seguida de lavagem com água destilada por mais cinco vezes e posterior secagem em estufa. O CAG foi alocado no leito com granulometria de 1,18 mm e altura total de 0,45 m.

Logo abaixo da camada de CAG, foi posicionada a camada filtrante de areia, que exerce função exclusivamente filtrante. Sua preparação iniciou-se com o peneiramento por meio de malha de 0,25 mm, seguido da lavagem com hipoclorito de sódio a 10%. Em seguida, foi realizada a lavagem com água (cinco vezes) e posterior lavagem com água destilada (cinco vezes). Após a limpeza, a areia foi levada à estufa para secagem a 110 °C por um período de 24 horas e, em seguida, armazenada em bandeja esterilizada até o momento da utilização. A areia compôs uma camada de 0,25 m de altura, com granulometria de 0,555 mm.

Por fim, na base do RLFC, foi disposta a camada suporte, que diferentemente das camadas anteriores não exerce função adsorvente, sendo formada exclusivamente por seixos rolados. Sua finalidade é oferecer suporte estrutural ao leito filtrante e garantir a distribuição uniforme do fluxo de água e da água de lavagem. Essa camada foi composta por várias camadas de seixos rolados com tamanhos variando entre 25 mm e 2 mm, dispostos e divididos em uma altura total de 0,25 m, com distribuição granulométrica decrescente no sentido ascendente, conforme preconiza a ABNT NBR n° 12.216:1992 (ABNT, 1992). Na Figura 1, está apresentado o desenho esquemático do RLFC.

Figura 1: Representação do RLFC



Autor: Martins, 2024

3.3.1 Parâmetros físico-químicos e microbiológicos

Os parâmetros físico-químicos e microbiológicos foram analisados na água bruta com coleta pré-tratamento ao RLFC e pós-tratamento pelo RLFC. Todos os procedimentos foram realizados no LAE da UFFS. A caracterização da água bruta e a eficiência do RLFC levou em conta os parâmetros listados do Quadro 2.

Quadro 2: Parâmetros físico-químicos e microbiológicos analisados.

Parâmetro Analisado	**Unidades**	**Método**	**Equipamento**
Alcalinidade	mg/L	9211 B APHA 2012	Kit Pool Test®
Cloro residual livre	mg/L	9211 B APHA 2012	Kit Pool Test®
Coliformes Totais	Presença ou Ausência	SM 9221 C APHA 2005	Kit COLItest®
Condutividade elétrica	µS/cm	2510 B APHA 2005	Sonda multiparâmetro YSI professional plus
Cor aparente	uH	2120 B APHA 2005	Calorímetro Del Lab® DLA-COR
Escherichia coli (NMP 100 m/L)	Presença ou Ausência	SM 9221 F APHA, 2005	Kit COLItest®
pH	-	4500 B APHA 2005	pHmetro Hanna, HI 2221
Turbidez	uT	2130 B APHA 2005	Turbidímetro PoliControl AP 2000

Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Com base nos procedimentos descritos, foram analisadas 21 amostras de AB e 18 amostras de AT provenientes do RLFC, operado com vazão constante de 2,6 L/min e taxa de aplicação superficial de 120 $m^3/m^{-2}/d^{-1}$. Os dados coletados incluem medições de parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água subterrânea proveniente de poço localizado em área rural de Cerro Largo/RS, além do monitoramento contínuo da vazão de saída e da perda de carga do sistema. Esses dados permitiram avaliar o desempenho do RLFC nos processos de filtração e adsorção promovidos pelas camadas de CAG, areia e seixos rolados, especialmente quanto ao atendimento dos padrões de potabilidade para consumo humano em áreas rurais, sendo que os resultados serão analisados na sequência deste trabalho.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta seção são apresentados e discutidos os resultados obtidos referentes ao funcionamento do RLFC. Na análise consideram-se os parâmetros avaliados, sua conformidade com os limites estabelecidos pela Portaria de Consolidação n° 05/2017 e Portaria de Consolidação n° 888/2021 do Ministério da Saúde, bem como a eficiência do sistema de tratamento e suas eventuais limitações operacionais.

4.1 VARIABILIDADE DOS PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

A eficiência do RLFC considerou os parâmetros de potabilidade da água, bem como sua comparação com os padrões estabelecidos pelas Portarias nº 5/2017 e nº 888/2021, quando possível.

4.1.1 Alcalinidade (mg/L)

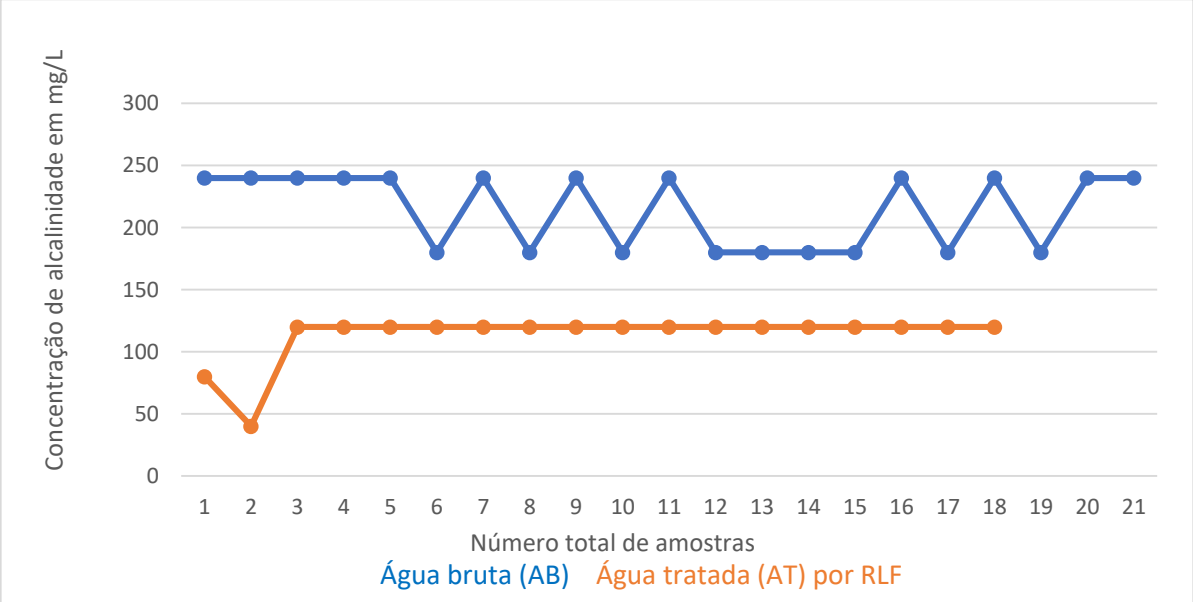
Os resultados referentes ao parâmetro alcalinidade na água bruta (AB) e na água tratada (AT), foram obtidos a partir das análises das amostras de água coletadas durante o processo de filtração, encontram-se apresentados na Tabela 1 e Gráfico 2.

Tabela 1 – Alcalinidade da água subterrânea pré e pós tratamento por filtração em dupla camada de areia e carvão ativado granular em Reator de Leito Fixo Contínuo.

N° amostra	Água Bruta (AB) em mg/L	Água Tratada (AT) por RLFC em mg/L
01	240	80
02	240	40
03	240	120
04	240	120
05	240	120
06	180	120
07	240	120
08	180	120
09	240	120
10	180	120
11	240	120
12	180	120
13	180	120
14	180	120
15	180	120
16	240	120
17	180	120
18	240	120
19	180	
20	240	
21	240	

Fonte: Autor (2026).

Gráfico 2: Alcalinidade (Água Bruta x Água Tratada).



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os valores de alcalinidade da AB variaram de 180 mg/L a 240 mg/L, enquanto que, os valores de alcalinidade da AT variaram de 40 mg/L a 120 mg/L.

As Portaria n° 5/2017 e Portaria n° 888/2021 do MS não apresentam valores estabelecidos para a alcalinidade (Brasil, 2017; Brasil 2021), portanto, a alcalinidade é tratada como parâmetro descritivo da qualidade da água e não como um critério normativo.

Estudos realizados por (Piratoba *et al*., 2017) em água de abastecimento de fonte superficial indicaram que há variabilidade na alcalinidade da água de abastecimento em detrimento da fonte de abastecimento, os valores variaram de 28 mg/L a 232 mg/L, os valores analisados em laboratório referentes a água bruta (AB) oscilaram entre 180 mg/L e 240 mg/L e os valores referentes a água tratada oscilaram de 40 mg/L a 120 mg/L estando dentro do estabelecido e de acordo com a literatura observa-se que o RLFC foi eficiente para reduzir a alcalinidade da água do estudo.

4.1.2 Cloro residual livre (mg/L)

Os resultados referentes ao parâmetro cloro livre na (AB) e na (AT), obtidos ao longo do período de monitoramento, encontram-se apresentados na Tabela 2 e no Gráfico 3.

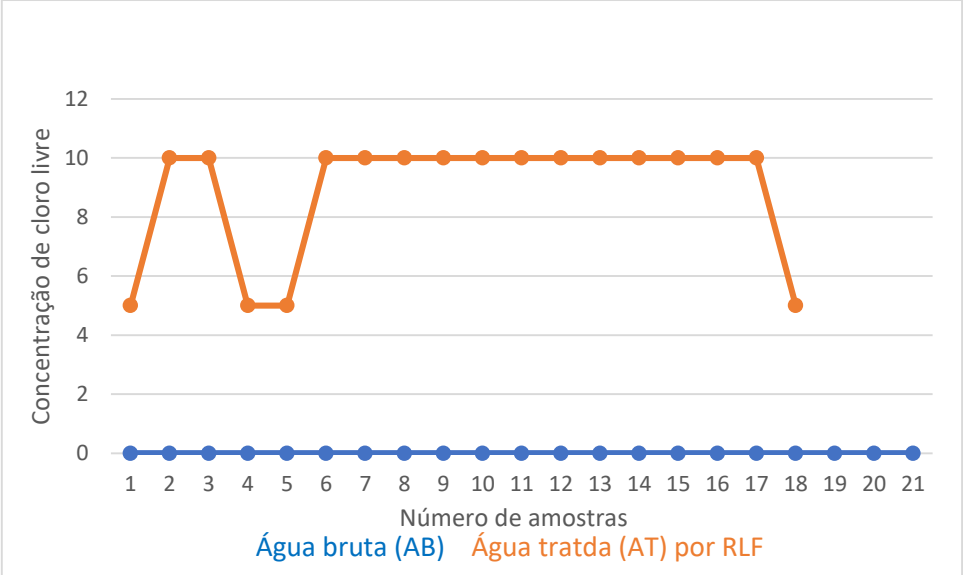
Tabela 2 – Cloro residual livre da água subterrânea pré e pós tratamento por filtração em dupla camada de areia e carvão ativado granular em Reator de Leito Fixo Contínuo.

N° amostra	Água Bruta (AB) em mg/L	Água Tratada (AT) por RLFC em mg/L	Valores estabelecidos nas Portarias n° 5/2017 e n° 888/2021
01	0	5	0,2 a 2 mg/L
02	0	10	0,2 a 2 mg/L
03	0	10	0,2 a 2 mg/L
04	0	5	0,2 a 2 mg/L
05	0	5	0,2 a 2 mg/L
06	0	10	0,2 a 2 mg/L
07	0	10	0,2 a 2 mg/L
08	0	10	0,2 a 2 mg/L
09	0	10	0,2 a 2 mg/L
10	0	10	0,2 a 2 mg/L
11	0	10	0,2 a 2 mg/L
12	0	10	0,2 a 2 mg/L
13	0	10	0,2 a 2 mg/L
14	0	10	0,2 a 2 mg/L
15	0	10	0,2 a 2 mg/L
16	0	10	0,2 a 2 mg/L
17	0	10	0,2 a 2 mg/L

18	0	5	0,2 a 2 mg/L
19	0		0,2 a 2 mg/L
20	0		0,2 a 2 mg/L
21	0		0,2 a 2 mg/L

Fonte: Autor (2026).

Gráfico 3: Cloro Livre (Água Bruta x Água Tratada)



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Com base nos resultados obtidos, observou-se que o parâmetro de cloro livre atendeu a Portaria n° 5/2017 e Portaria n° 888/2021 do MS parâmetro em todas as amostras de AB, porém não atendeu ao valor estabelecido de (0,2 mg/L a 2mg/L) pelas referidas Portarias em todas as amostras de AT. Tal resultado possivelmente se deu devido a falha no ajuste ao processo de cloração comercial acoplado ao RLFC.

Estudos realizado por Souza *et al*. (2022), em água de abastecimento apresentaram resultados muito distintos (0,01 mg/L) do presente trabalho, segundo a Portaria n° 888/2021 do MS que estabelece VMP de até 5 mg/L, e valores mínimos de até 0,2 mg/L.

A importância do cloro residual livre vem do artigo 34 da Portaria de Consolidação n° 05/2017 que estabelece manutenção obrigatória de no mínimo 0,2 mg/L em toda a extensão do sistema de distribuição, ou seja, está vinculada a prevenção de doenças de veiculação hídrica e para garantir a potabilidade da água para o consumo humano. Segundo (Bialas *et al*, 2024) apenas 15,89% na zona rural apresentou um sistema de potabilização de água no (RS), A falha no sistema de cloração está associada ao erro referente a remoção dos resíduos da pastilha de cloro na tubulação o que acarretou em uma concentração alta durante a desinfecção da água.

4.1.3 Cor aparente (uC)

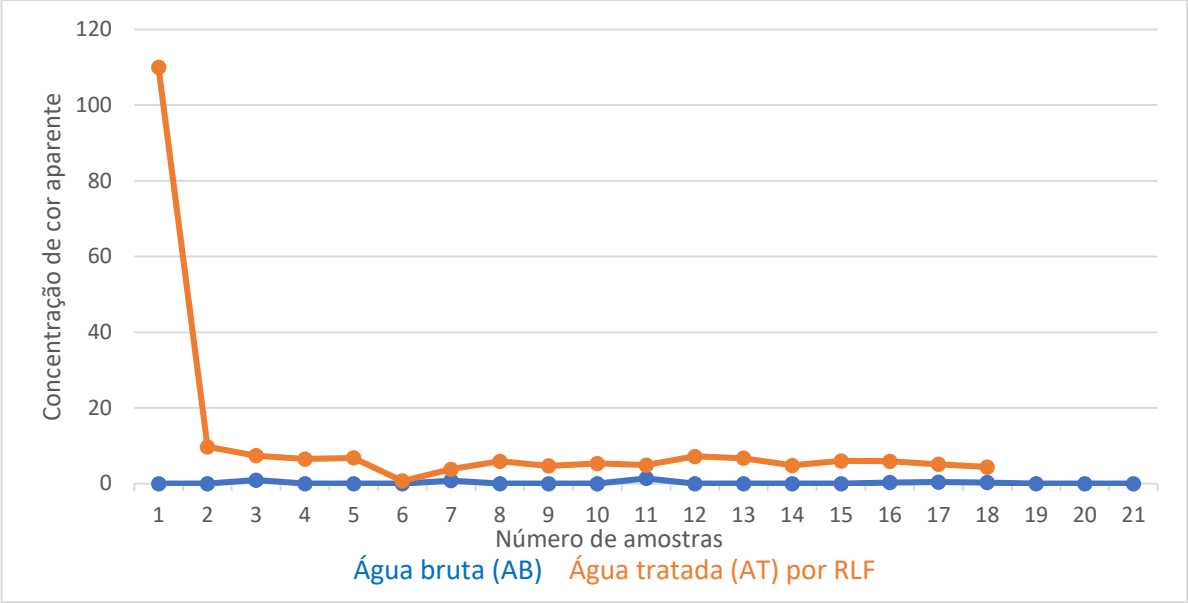
Os resultados referentes ao parâmetro cor aparente na água bruta (AB) e na água tratada (AT), obtidos ao longo do período de monitoramento, encontram-se apresentados na Tabela 3 Gráfico 4.

Tabela 3 – Cor aparente da água subterrânea pré e pós tratamento por filtração em dupla camada de areia e carvão ativado granular em Reator de Leito Fixo Contínuo.

N° amostra	Água Bruta (AB) em uC	Água Tratada (AT) por RLFC em uC	Valores estabelecidos nas Portarias n° 5/2017 e n° 888/2021
01	0	110	15 uC
02	0	9,7	15 uC
03	0,9	7,4	15 uC
04	0	6,5	15 uC
05	0	6,8	15 uC
06	0	0,7	15 uC
07	0,8	3,8	15 uC
08	0	5,9	15 uC
09	0	4,7	15 uC
10	0	5,3	15 uC
11	1,4	4,9	15 uC
12	0	7,2	15 uC
13	0	6,7	15 uC
14	0	4,8	15 uC
15	0	6	15 uC
16	0,3	5,9	15 uC
17	0,4	5,1	15 uC
18	0,3	4,4	15 uC
19	0		15 uC
20	0		15 uC
21	0		15 uC

Fonte: Autor (2026).

Gráfico 4: Cor Aparente (Água Bruta x Água Tratada).



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os valores de cor aparente da AB variaram de 0 uC a 1,4 uC, enquanto que, os valores vinculados a cor aparente da AT variaram de 0,7 uC a 110 uC. Com base nos resultados obtidos nas análises realizadas, observa-se que com exceção da primeira coleta de AT, todos os demais valores de cor aparente das amostras avaliadas permaneceram, dentro do limite estabelecido pela portaria vigente.

De acordo com a Portaria nº 888/2021 do MS, o valor máximo permitido para cor aparente em água destinada ao consumo humano é de 15 unidades de cor (uC).

Estudos realizado por Souza *et al*. (2022), em água de abastecimento apresentaram resultados de redução de um terço da cor aparente após o tratamento no RLF-BF permanecendo abaixo dos VMP definidos na Portaria n° 888/2021 do MS. A importância da cor aparente está associada à presença de matéria orgânica e outros compostos dissolvidos na água. Mesmo sendo considerada um indicador auxiliar, sua desconformidade com os padrões estabelecidos pode sinalizar a ocorrência de problemas na qualidade da água, além de gerar rejeição por parte dos consumidores devido ao aspecto estético. Ademais, conforme determinado na Portaria n° 05/2017. De acordo com Santana *et al.* (2021), a cor aparente é associada a presença de matéria orgânica e minerais, oriundos de impurezas naturais ou industriais.

Segundo Lin, Chen e Wang (2010) que fizeram a verificação das partículas liberadas pelo CAG durante o início da operação do filtro para tratamento de água, segundo os autores estas partículas são carregadas até que o meio filtrante do RLFC atinja a estabilização, a elevada cor aparente da primeira amostra esta atribuída ao processo de condicionamento do leito

filtrante, observando-se que as amostras posteriores apresentaram estar dentro do limite das Portarias n° 05/2017 e 888/2021.

4.1.4 Condutividade elétrica (µS/cm)

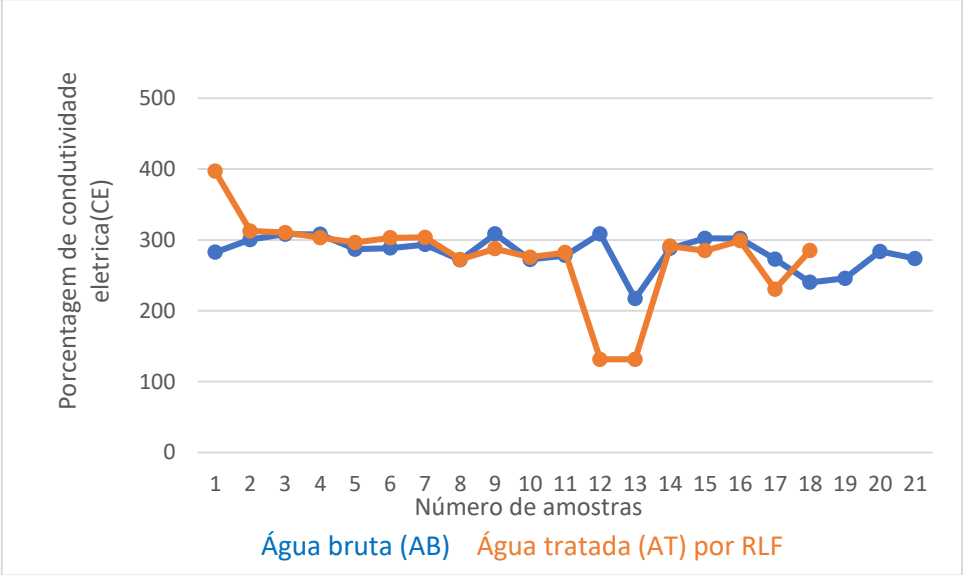
Os resultados referentes ao parâmetro condutividade elétrica na água bruta (AB) e na água tratada (AT), obtidos ao longo do período de monitoramento, encontram-se apresentados na Tabela 4 e no Gráfico 5.

Tabela 4 – Condutividade elétrica da água subterrânea pré e pós tratamento por filtração em dupla camada de areia e carvão ativado granular em Reator de Leito Fixo Contínuo.

N° amostra	Água Bruta (AB) em µS/cm	Água Tratada (AT) por RLFC em µS/cm
01	282,5	396,8
02	300,3	312,6
03	308	310,4
04	307,9	303,1
05	286,7	296,3
06	288,3	302,8
07	293,3	303,5
08	271,7	272,4
09	308,2	287,4
10	272,3	275,5
11	277,9	282
12	308,4	131,4
13	217,1	131,4
14	288	291,1
15	302,1	284,8
16	301,9	298,7
17	272,9	230,4
18	240	285
19	245,6	
20	283,6	
21	273,7	

Fonte: Autor (2026).

Gráfico 5: Condutividade Elétrica (Água Bruta x Água Tratada).



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os valores de condutividade elétrica da AB variaram de 217,1 µS/cm a 308,4 µS/cm. Enquanto que, os valores vinculados a condutividade elétrica da AT variaram de 131,4 µS/cm a 396,8 µS/cm.

De acordo com a portaria n° 5 de 2017 e Portaria n° 888/2021 do MS não há valores estabelecidos para a condutividade elétrica, portanto, a condutividade elétrica é tratada como parâmetro descritivo da qualidade da água e não como um critério normativo.

A condutividade é necessária para se fazer uma correta estimativa da quantidade de íons dissolvidos na água (sais minerais), indica possíveis contaminações auxilia no monitoramento da eficácia dos processos de tratamento, os resultados alcançados durante a filtração no RLFC apontam que a salinidade da água encontrasse entre 250 e 750 µS/cm o que caracteriza uma salinidade media Lima, França, Loiola, (2014).

Segundo os mesmos autores, estudos realizados em água de abastecimento subterrânea indicaram que há variabilidade na condutividade elétrica da água de abastecimento em detrimento da fonte de abastecimento subterrânea. Os valores de condutividade elétrica obtidos nos poços analisados variaram, corroboraram ao resultados deste estudo, apresentando

condutividade elétrica mínima de 257 µS/cm e máxima de 3.900 µS/cm, refletindo desde águas de salinidade média até águas com salinidade muito alta. Portanto, os valores de condutividade elétrica apresentados no Gráfico 4 encontram-se de acordo com a literatura.

4.1.5 pH

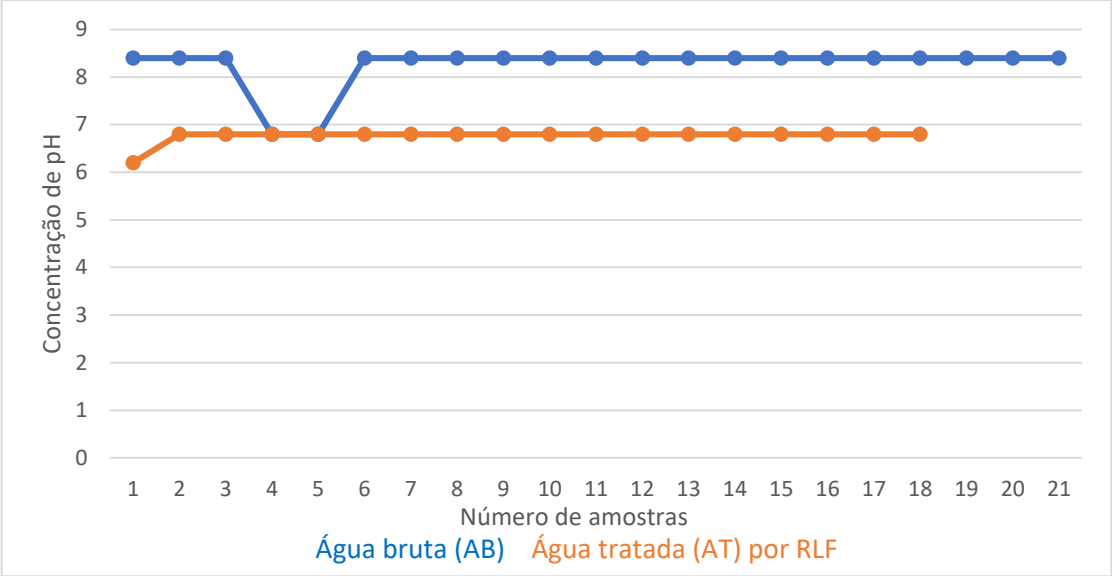
Os resultados referentes ao parâmetro pH na água bruta (AB) e na água tratada (AT), obtidos ao longo do período de monitoramento, encontram-se apresentados na Tabela 5 e no Gráfico 6.

Tabela 5 – pH da água subterrânea pré e pós tratamento por filtração em dupla camada de areia e carvão ativado granular em Reator de Leito Fixo Contínuo.

N° amostra	Água Bruta (AB)	Água Tratada (AT) por RLFC	Valores estabelecidos nas Portarias n° 5/2017 e n° 888/2021
01	8,4	6,2	6,0 a 9,0
02	8,4	6,8	6,0 a 9,0
03	8,4	6,8	6,0 a 9,0
04	6,8	6,8	6,0 a 9,0
05	6,8	6,8	6,0 a 9,0
06	8,4	6,8	6,0 a 9,0
07	8,4	6,8	6,0 a 9,0
08	8,4	6,8	6,0 a 9,0
09	8,4	6,8	6,0 a 9,0
10	8,4	6,8	6,0 a 9,0
11	8,4	6,8	6,0 a 9,0
12	8,4	6,8	6,0 a 9,0
13	8,4	6,8	6,0 a 9,0
14	8,4	6,8	6,0 a 9,0
15	8,4	6,8	6,0 a 9,0
16	8,4	6,8	6,0 a 9,0
17	8,4	6,8	6,0 a 9,0
18	8,4	6,8	6,0 a 9,0
19	8,4		6,0 a 9,0
20	8,4		6,0 a 9,0
21	8,4		6,0 a 9,0

Fonte: Autor (2026).

Gráfico 6: Concentração de pH (Água Bruta x Água Tratada)



Fonte: elaborado pelo autor (2026).

Os valores de pH das amostras de água apresentam resultados que variaram de 6,2 a 8,7 mantendo-se em torno do ponto de neutralidade (pH 7). Em que as amostras de AB ficaram com pH em 8.4 e a ATF ficou com pH em 6,8 após tratamento pelo RLFC. Comparando a AB (pH 8,4) e ATF (pH 6,8) houve uma variação média de 1,6 em relação ao pH.

De acordo com a Portaria n°5/2017 do MS, que estabelece o valor do pH entre 6 e 9, sendo assim, todos os resultados encontrados para o pH estão dentro dos padrões estabelecidos.

Estudos realizado por Souza *et al*. (2022), em água de abastecimento apresentaram resultados que variam em torno de 7,2 a 9 (AB) para os valores da água tratada filtrada (ATF) tende a neutralidade, a faixa de pH indicada pela Portaria n°888/2021 do MS está em torno de 6 a 9 corroborando com os resultados deste estudo. De acordo com Heller e Pádua (2010), o controle do valor do pH é fundamental, pois influencia no processo de desinfecção da água.

4.1.6 Turbidez (uT)

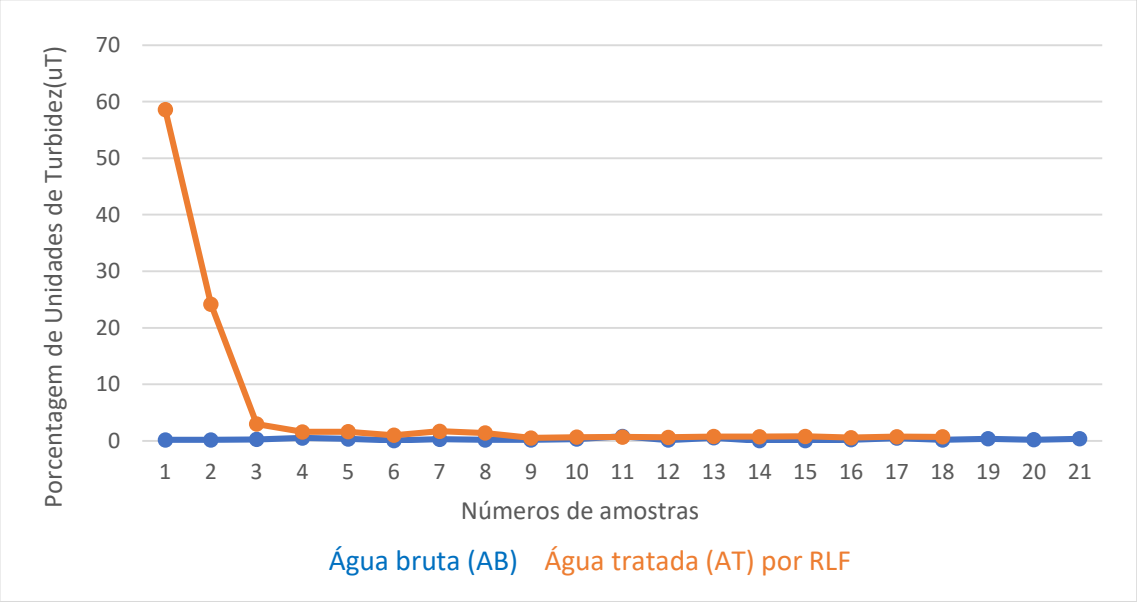
Os resultados referentes ao parâmetro turbidez na água bruta (AB) e na água tratada (AT), obtidos ao longo do período de monitoramento, encontram-se apresentados na Tabela 6 e no Gráfico 7.

Tabela 6 – Turbidez da água subterrânea pré e pós tratamento por filtração em dupla camada de areia e carvão ativado granular em Reator de Leito Fixo Contínuo.

N° amostra	Água Bruta (AB) em uT	Água Tratada (AT) por RLFC em uT	Valores estabelecidos nas Portarias n° 5/2017 e n° 888/2021
01	0,19	58,6	5 uT
02	0,18	24,2	5 uT
03	0,27	2,97	5 uT
04	0,51	1,6	5 uT
05	0,34	1,61	5 uT
06	0,06	1	5 uT
07	0,28	1,71	5 uT
08	0,17	1,39	5 uT
09	0,19	0,53	5 uT
10	0,31	0,65	5 uT
11	0,81	0,7	5 uT
12	0,14	0,63	5 uT
13	0,56	0,78	5 uT
14	0,03	0,76	5 uT
15	0,08	0,81	5 uT
16	0,2	0,57	5 uT
17	0,48	0,75	5 uT
18	0,18	0,73	5 uT
19	0,38		5 uT
20	0,22		5 uT
21	0,38		5 uT

Fonte: Autor (2026).

Gráfico 7: Turbidez (Água Bruta x Água Tratada) uT.



Fonte: Elaborado pelo autor (2026).

Os valores de turbidez da AB variaram de 0,06 uT a 0,81 uT enquanto que, os valores vinculados a turbidez da AT variaram de 0,53 uT a 58,6 uT.

De acordo com a Portaria nº 888/2021 do MS, o valor máximo permitido para turbidez em água destinada ao consumo humano é de 5 uT. Com base nos resultados obtidos nas análises realizadas, observa-se que os valores de turbidez das amostras avaliadas permaneceram dentro do limite estabelecido pela portaria vigente com exceção das amostras (1 e 2) da água tratada (AT) que excederam o limite permitido de 5 uT. Dessa forma, os resultados indicam que o parâmetro analisado apresentou níveis considerados adequados em relação ao padrão de potabilidade estabelecido.

O aumento de turbidez nas amostras iniciais de (AT) pode ser atribuído ao arraste de finos de carvão ativado que ocorre quando partículas de pequena dimensão, não devidamente fixadas ao leito filtrante, são carregadas pelo escoamento da água, liberando material sólido em suspensão no efluente tratado (Parra, Patricio, 2022), segundo Lin, Chen e Wang (2010), Os valores iniciais elevados de turbidez analisados nas amostras de AT estão relacionados ao período inicial de operação do RLFC e do arraste dos finos de CAG, segundo os mesmos autores, a liberação destas partículas é comum durante as etapas iniciais do funcionamento de filtros que utilizam CAG. A redução da turbidez nas coletas subsequentes indica que o sistema atingiu sua estabilidade operacional, evidenciando que os valores elevados observados

inicialmente representaram um evento pontual e não uma deficiência permanente do processo de tratamento.

4.1.7 Coliformes totais e *Escherichia coli*

De acordo com as análises microbiológicas da AB e da AT, não houve detecção de *Escherichia coli* nas amostras avaliadas, apresentando, portanto, resultados negativos para esses microrganismos indicadores de contaminação fecal, e, dessa forma, os resultados coletados sugerem condições sanitárias satisfatórias nas amostras analisadas.

A não detecção de Escherichia coli na água analisada é um resultado sanitariamente favorável, pois atende ao exigido pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que estabelece a ausência desse microrganismo como padrão de potabilidade. De acordo com Kaper, Nataro e Mobley (2004), a Escherichia coli é uma bactéria de origem fecal e um indicador de contaminação fecal. Logo, a ausência de contaminação fecal recente indica que a água não está contaminada, o que demonstra que a condição da água de abastecimento é adequada para o consumo rural e que o sistema de tratamento é eficaz.

Os resultados das análises microbiológicas das amostras de água provenientes do poço de abastecimento subterrâneo indicaram ausência de coliformes totais nas amostras iniciais de água bruta (até a amostra 3). Contudo, a partir das análises (da amostra 12 e 21), foi observada a presença desses microrganismos na água bruta. Em contrapartida, após o tratamento no reator RLFC, não foi detectada a presença de coliformes totais em nenhuma das amostras de água tratada (AT) durante toda a operação.

A remoção de todos os Coliformes Totais demonstra que o sistema de tratamento foi altamente eficiente. Para comunidades rurais que tem pouco acesso à água tratada de qualidade, esse resultado é suma importância, significa que as famílias poderão ter uma fonte de água tratada e própria para o consumo, reduzindo drasticamente o risco doenças de veiculação hídrica. Logo a instalação deste sistema se mostra não apenas tecnicamente viável como também se adequa a esta situação, mas também um gesto concreto de cuidado e promoção da saúde no campo, os resultados obtidos assemelham-se com os resultados obtidos por Mondin (2023), onde ele obteve uma remoção de 99,2 % de remoção de Coliformes Totais.

Estudos realizado por Souza *et al*. (2022), em água de abastecimento apresentaram presença de coliformes totais e termotolerantes nas amostragens 0 e 10 de AB e ATF, e no atual estudo as amostras apresentaram presença nas análises na decima segunda coleta e na vigésima primeira coleta.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com os objetivos propostos e os resultados obtidos pode-se concluir que: O tratamento da água subterrânea por filtração em dupla camada de areia e CAG em RLFC apresentou-se como eficiente, exceto para o parâmetro cloro residual livre.

No tocante a água subterrânea sem tratamento (AB) para os parâmetros de cor aparente, pH e turbidez ficaram dentro do limite permitido pela Portaria n° 05/2017, alterada pela Portaria n° 888/2021, os parâmetros que não eram abrangidos pelas portarias também ficaram de acordo com o descrito pela literatura

A água tratada (AT) por filtração em dupla camada de areia e CAG em RLFC, pode ser considerada potável se considerado os parâmetros de cor aparente, pH, turbidez, Coliformes Totais e *Escherichia coli*, pois tais parâmetros estavam em conformidade com os valores estabelecidos pela Portaria n° 05/2017 e Portaria n° 888/2021. No entanto, ajustes dos processos de cloração de fazem necessários para garantir residual de cloro livre inferior a 5 mg/L e, desta forma atender integralmente aos parâmetros elencados neste estudo.

O RLFC foi capaz de melhorar a qualidade da água de abastecimento das amostras de (AT), logo conclui-se que a utilização do RLFC pode contribuir como sistema de potabilização de água para o consumo em situação de vulnerabilidade de acesso a água tratada no meio rural.

A tecnologia utilizada apresenta a limitação de baixa capacidade de vazão, o que inviabiliza o atendimento às demandas hídricas de comunidades com maior densidade populacional ou com consumo elevado.

Por fim, são sugeridos estudos futuros que considerem a viabilidade econômica, bem como de análise dos demais parâmetros descritos nas Portarias n° 05/2017 e n° 888/2021 do MS.

REFERÊNCIAS

ABNT NBR n° 12.216:1992. Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público.

Agnesini, M. V.; Martinez, M.S.; Pisani Junior, R.; Paschoalato, C. F. P. R.; Dantas, A. D. B.; Di Bernardo, L. Avaliação da remoção de diuron em água com uso de tecnologias complementares associadas ao tratamento em ciclo completo. Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales, v. 16, n. 1, p. 1–17, 2023. Disponível em: https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2023.16.1.79359. Acesso em: 14 jul. 2025.

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. 2017. Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2017.

Alves, A. A. A.; Ruiz, G. L. O.; Nonato, T. C. M.; Laura, C. M.; Sens, M. L. Performance of the fixed-bed of granular activated carbon for the removal of pesticides from water supply. Environmental Technology, v. 26, p. 1–11, 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1080/09593330.2018.1435731. Acesso em: 23 de abril de 2026.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR N° 10.520: informação e documentação: citações em documentos: apresentação. Rio de Janeiro: ABNT, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR N° 12.216: projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro: ABNT, 1992.

Barbosa, E. M.; Barbosa, M. F. N. Direito de águas: arranjo jurídico-institucional, política e gestão. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/496583/000952690.pdf. Acesso em: 23 de abril de 2026.

Brandão, C. C. S.; Silva, A. S. Remoção de cianotoxinas por adsorção em carvão ativado. In: PADUA, V. L. (coord.). Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Disponível em: https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=450. Acesso em: 13 jul. 2025.

BRASIL. Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2007/lei/l11445.htm. Acesso em: 20 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Disponível em: http://www.portalsinan.saude.gov.br/images/documentos/Legislacoes/Portaria_Consolidacao_5_28_SETEMBRO_2017.pdf. Acesso em: 21 abr. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2.914, de 12 de dezembro de 2011. Disponível em: https://www.normasbrasil.com.br/norma/portaria-2914-2011_235549.html. Acesso em: 13 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518, de 25 de março de 2004. Disponível em:https://www.normasbrasil.com.br/norma/portaria-518-2004_187440.html. Acesso em: 13 jul. 2025.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021. Diário Oficial da União: Brasília, DF, 2021.

Carneiro, Ana Clara Magalhães. "Avaliação de um sistema simplificado de tratamento de água utilizado em uma área subnormal em Ouro Preto-MG." (2025). Disponível em: https://monografias.ufop.br/handle/35400000/7752. Acesso em: 29 de abril de 2026.

Chiquim, M. S.; Souza, S. S.; Ferreira, J. V. T.; Alves, A. A. A. Estudo da eficiência de um Reator de Leito Fixo Bi-fluxo (RLF-BF) para potabilização de água de abastecimento. In: Simpósio de Pós-graduação do Sul do Brasil, 2022, Chapecó - RS. Estudo da eficiência de um Reator de Leito Fixo Bi-fluxo (RLF-BF) para potabilização de água de abastecimento, 2022. v. 2. Disponível em: https://portaleventos.uffs.edu.br/index.php/simpos-sul/article/view/16639/11475. Acesso em: 19 de abril de 2026.

Cubillos, A. Qualidade e Controle da Poluição da Água. Mérida: CIDIAT/Centro Interamericano de Desenvolvimento Integral de Águas e Terras, 1981. (Série Ambiente e Recursos Naturais Renováveis, 14). (Mimeo.)

Damke, P.; Pasini, P. A importância da potabilidade da água no saneamento básico para a promoção da saúde pública no Brasil. Revista Teccen. Disponível em: (incompleto). Acesso em: 28 abr. 2025.

De Lima, J. O. G.; França, A. M. M.; Loiola, H. G. Implicações hidroquímicas da condutividade elétrica e do íon cloreto na qualidade das águas subterrâneas do semiárido cearense. Revista Virtual de Química, v. 6, n. 2, p. 279-292, 2014. Disponível em: DOI: 10.5935/1984-6835.20140020. Acesso em: 15 abril 2026.

Delmonico, E. L.; Constantino, A. F.; Carneiro, C. Uso de polímeros catiônicos e aniônicos como auxiliares no tratamento de água. Revista Mosaicos, v. 2, n. 1, p. 44–54, 2020. Acesso em: 13 jul. 2025.

Di Bernardo, L.; Brandão, C.C.S.; Heller, L. Tratamento de Águas de Abastecimento por Filtração em Múltiplas Etapas. (Ed.) PROSAB-Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. ABES–Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro. 1999.

Di Bernardo, L.; Dantas, A. D. B. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2. Ed. São Paulo: RIMA, 2005.

Ferreira, A. J. A.; Rodrigues, F.; Silva, S. Ozonização como processo de desinfecção da água para consumo humano. Aracê, v. 7, n. 5, p. 24859–24879, 2025. Disponível em: https://doi.org/10.56238/arev7n5-226. Acesso em: 7 set. 2025.

Francisco, A. A. Avaliação da remoção de Microcystis e microcistinas no tratamento de água. 2025. Disponível em: https://repositorio.uel.br. Acesso em: 5 maios 2025.

Freitas, J. F.; Dias, R. Q.; Vinha, M. B. Agroindústria familiar: orientações para tratamento simplificado da água. 2021. Disponível em: https://biblioteca.incaper.es.gov.br/digital/handle/123456789/4286. Acesso em: 8 set. 2025.

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. Florianópolis: UFSC, 2019. Disponível em: https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/214501. Acesso em: 23 de abril de 2026.

Hamann, W.; Mckinney, R. E. Upflow filtration. Journal of the American Water Works Association, 1968.

Heller, L.; Pádua, V.; L. Abastecimento de água para consumo humano. 2. Ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2010.

IBGE. Características gerais dos domicílios e dos moradores 2023: PNAD Contínua. Disponível em: https://biblioteca.ibge.gov.br. Acesso em: 4 maios 2025.

IBGE. Em 2023, um em cada três domicílios rurais era abastecido por rede geral de água. Disponível em: https://agenciadenoticias.ibge.gov.br. Acesso em: 30 mar. 2026.

Ismail, I. A. L.; Pires, E. C. Avaliação do tratamento por clarificação da água de lavagem de filtros. Revista AIDIS, v. 15, n. 2, p. 745–756, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.22201/iingen.0718378xe.2022.15.2.79426. Acesso em: 28 abr. 2025.

Júnior Bialas, M.; Martins, R. W.; Tones, A. R. M., Alves, A. A. de A. Tratamento de água na zona urbana e rural das regiões funcionais do estado do Rio Grande do Sul. Epitaya E-Books, 1(58), 23-38, 2024. Disponível em: https://doi.org/10.47879/ed.ep.2024984p23. Acesso em: 16 de abril de 2026.

Kaper, J. B.; Nataro, J. P.; Mobley, H. L. Pathogenic Escherichia coli. Nature Reviews Microbiology, 2(2), 123-140, 2004. Disponível em: https://www.nature.com/articles/nrmicro818. Acesso em: 02 de maio de 2026.

L14026. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 22 de abril de 2027.

Lakatos, E. M.; Marconi, M. A. Fundamentos de metodologia científica. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003. Disponível em: https://docente.ifrn.edu.br/olivianeta/disciplinas/copy_of_historia-i/historia-ii/china-e-india/view. Acesso em: 20 de abril de 2026.

Lima, J. K. L. Avaliação Da Filtração Direta Descendente No Tratamento De água De Manancial Com Baixa Turbidez E Cor Elevada. 2019. Disponível em: http://memoria.ifrn.edu.br/handle/1044/1689. Acesso em: 05 de abril de 2026.

Lin, T., Chen, W., & Wang, L. (2010). Propriedades das partículas no filtro de carvão ativado granular durante o tratamento de água potável. Journal of Environmental Sciences (China), 22(5), 681–688. Disponível em: https://doi.org/10.1016/s1001-0742(09)60163-7. Acesso em 10/06/2026.

Machado, Renato e Di Bernardo, Luiz. Dimensionamento de filtros rápidos por gravidade com taxa declinante variável. 1997, Anais. Foz do Iguaçu: ABES, 1997. Acesso em: 29 abril de 2026.

Martins, R. W. Tratamento de água de abastecimento do meio rural por coagulação orgânica e dupla filtração em areia e carvão ativado granular. 2024. Disponível em: https://rd.uffs.edu.br/bitstream/prefix/8907/1/MARTINS.pdf. Acesso em: 22 de abril de 2026.

Meyer, S. T. O uso de cloro na desinfecção de águas, a formação de trihalometanos e os riscos potenciais à saúde pública. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S0102-311X1994000100011. Acesso em: 19 de abril de 2026.

Mondin, Giovanni Andrade. Remoção de coliformes totais e Escherichia coli em fotobiorreator tubular com e sem suporte para imobilização e biomassa. Universidade Estadual Paulista (UNESP), 10 Dez. 2023. Disponível em: https://hdl.handle.net/11449/252462. Acesso em: 01 de maio de 2026.

Müller, C. C. Avaliação da utilização de carvão ativado em pó na remoção de microcistina. 2008. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – UFRGS, Porto Alegre, 2008.

Parra, C.; Patricio, V. Filtro de carbón activado granular, en la mejora de la calidad del agua cruda, en la parroquia 10 de agosto, de la ciudad de Puyo. Universidad Internacional SEK, 2022. Disponível em: https://repositorio.uisek.edu.ec/handle/123456789/4694. Acesso em: 01 de maio de 2026.

Pereira, Á. L. D. S.; Brandão, C. C. S.; Ginoris, Y. P.; Alves, C. P. P. Filtração direta de fluxo ascendente e filtração direta descendente: Uma comparação com ênfase na remoção de bactérias formadoras de esporos aeróbicas e microsferas fluorescentes como substitutos para a remoção de oocistos de criptosporídio. Água, 2023, 15, 4012. https://doi.org/10.3390/w15224012. Acesso em: 17 de abril de 2026

Pinheiro, J. H. P. A.; Ribeiro, L. G. R. Monitoramento de recursos hídricos e parâmetros de qualidade de água em bacias hidrográficas. In: Américo-Pinheiro, J. H. P.; Benini, S. M. (orgs.). Bacias hidrográficas: fundamentos e aplicações. 2 ed.: ANAP, 2019. 204 p. Acesso em: 17 de abril de 2026.

Piratoba, A. R. A.; Ribeiro, H. M. C.; Morales, G. P.; Gonçalves, W. G. Caracterização de parâmetros de qualidade da água na área portuária de Barcarena (PA). Ambiente & Água, v. 12, p. 435–456, 2017. Disponível em: https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1910. Acesso em: 4 abr. 2026.

Richter, C. A. Água: métodos e tecnologia de tratamento. Editora Blucher, 2009.

Rocha, F. R. J. Sistema de tratamento de água subterrânea em áreas rurais para abastecimento humano com filtração lenta não convencional. 2024. Disponível em: https://ri.ufs.br/jspui/handle/riufs/21132. Acesso em: 18 de abril de 2026.

Rocha, J. C.; Rosa, A. H.; Cardoso, A. A. Introdução à química ambiental. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2009. 256 p. ISBN 978-85-7780-469-6

Rollemberg, S.; Magalhães, J. Técnicas Simplificadas de Tratamento de Água. Revista Virtual de Química, v. 12, n. 2, 2020.

Rossin, A. C. Desinfecção. In: Técnica de Abastecimento e Tratamento de Água (V. 2). CETESB/ASCETESB, 1987.

SABESP. Tratamento de água. Disponível em: http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=47. Acesso em: 17 de abril de 2026.

Santana, A. B. C.; Lopes, A. F.; Mendes, A. P.; De Lima, Y. K. K. Análise de dados do sistema de informação de vigilância da qualidade da água para consumo humano (Sisagua) no estado do Amazonas, 2016-2020. Vigilância Sanitária em Debate: Sociedade, Ciência & Tecnologia, 9(4), 25-34, 2021. Disponível em: https://www.redalyc.org/journal/5705/570572979004/570572979004.pdf. Acesso em: 01 de maio de 2026.

Silva, A. S. Qualidade de água de abastecimento na zona rural de Santa Rita - PB e propostas de melhoria. João Pessoa, 2019. 102 f. Dissertação (Mestrado) – UFPB/CCEN. Acesso em: 17 de abril de 2026.

Silva, C. M.B.; Costa, D. R.; Costa, H. P.; Carmo, S. J. M.; Ferreira, J. E. S. M.; Dantas, D. R. S.; Frota, S. S.; Azevedo, V. N. G.; Vieira Filho, J. G. B.; Garcia, C. V. L. C. Avaliação da qualidade da água consumida em comunidades rurais do Brasil: revisão bibliográfica. Disponível em: https://doi.org/10.51249/easn06.2022.871. Acesso em: 22 de abril de 2026.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). Diagnóstico dos serviços de água e esgoto. Brasília: Ministério das Cidades, 2016.

SOCIEDADE AMERICANA DE TESTES E MATERIAIS. ASTM D6586-03. West Conshohocken: ASTM International, 2008.

Tonetti, A. L.; Coraucci Filho, B.; Bertoncini, E. I.; Oliveira, R. A.; Stefanutti, R. "Avaliação de um sistema simplificado de tratamento de esgotos visando a utilização em áreas rurais." Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, 14.2 (2010): 227-234. Disponível em: https://doi.org/10.1590/S1415-43662010000200015. Acesso em: 18 de abril de 2026.

Vignesan, S.; Benjamin, M.; Ramaswamy, S. Dual-media filtration and biflow filters. Journal of Environmental Engineering, 1983.

Vurro, M.; Manfredi, C.; Lopalco, P. Water safety plan approach. International Journal of Environmental Research and Public Health, v. 18, n. 8, 2021. Disponível em: https://doi.org/10.3390/ijerph18084360. Acesso em: 28 abr. 2025.

WEATHER SPARK. Clima característico em Cerro Largo (RS), Brasil. Disponível em: https://pt.weatherspark.com. Acesso em: 10 jun. 2025.

Xue, J.; Guo, B.; Gong, Z. Processos Físico-Químicos. Water Environment Research, 2018, 1º de outubro; 90(10):1392-1438. Disponível em: doi: 10.2175/106143018X15289915807263. PMID: 30126488. Acesso em: 19 de abril de 2026.