



INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO TOCANTINS
CAMPUS PALMAS
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA CIVIL

RODRIGO ROGER FILGUEIRA PONTES

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA TECNOLOGIA DE DUPLA FILTRAÇÃO NA
REMOÇÃO DA TURBIDEZ: ESTUDO DE CASO DE UMA ETA NO NORTE DO PAÍS**

PALMAS

2025

RODRIGO ROGER FILGUEIRA PONTES

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA TECNOLOGIA DE DUPLA FILTRAÇÃO NA
REMOÇÃO DA TURBIDEZ: ESTUDO DE CASO DE UMA ETA NO NORTE DO
PAÍS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II)
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel no Curso
Superior de Engenheiro Civil do Instituto
Federal do Tocantins, Campus Palmas.

Orientador: Dr. Giulliano Guimarães Silva

PALMAS

2025

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Bibliotecas do Instituto Federal do Tocantins

P813a Pontes, Rodrigo Roger Filgueira
AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA TECNOLOGIA DE DUPLA
FILTRAÇÃO NA REMOÇÃO DA TURBIDEZ: ESTUDO DE CASO DE
UMA ETA NO NORTE DO PAÍS / Rodrigo Roger Filgueira Pontes. –
Palmas, TO, 2025.
45 f. : il. color.

Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia
Civil) – Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do
Tocantins, Campus Palmas, Palmas, TO, 2025.

Orientador: Giulliano Giumarães Silva

1. Tratamento de água. 2. Dupla Filtração. 3. Turbidez. I. Silva,
Giulliano Giumarães. II. Título.

CDD 624

A reprodução total ou parcial, de qualquer forma ou por qualquer meio, deste documento é autorizada para fins
de estudo e pesquisa, desde que citada a fonte.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica do IFTO com os dados fornecidos
pelo(a) autor(a).**

RODRIGO ROGER FILGUEIRA PONTES

**AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DA TECNOLOGIA DE DUPLA FILTRAÇÃO
NA REMOÇÃO DA TURBIDEZ: ESTUDO DE CASO DE UMA ETA NO NORTE DO
PAÍS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC II)
apresentado como requisito parcial para obtenção
do título de Bacharel no Curso Superior de
Engenheiro Civil do Instituto Federal do Tocantins,
Campus Palmas.

Aprovado em: 04/07/2025

BANCA AVALIADORA

Documento assinado digitalmente
 **GIULLIANO GUIMARAES SILVA**
Data: 19/08/2025 08:13:17-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Giulliano Guimarães Silva

Orientador

Documento assinado digitalmente
 **LUCIANE DE PAULA MACHADO**
Data: 19/08/2025 11:26:54-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dra. Luciane de Paula Machado

Membro da Banca Avaliadora

Documento assinado digitalmente
 **ELAINE DA CUNHA SILVA PAZ**
Data: 19/08/2025 10:44:01-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Me. Gabriel Antonio Ribeiro Souza

Membro da Banca Avaliadora

RESUMO

O desenvolvimento das cidades e das atividades industriais e agropecuárias tem intensificado a demanda por água potável de qualidade, ao mesmo tempo, em que compromete a integridade dos mananciais superficiais. Diante desse cenário, torna-se necessário o uso de tecnologias de tratamento mais eficientes e economicamente viáveis. A tecnologia de Dupla Filtração (DF), composta por um filtro ascendente de pedregulho (FAP) seguido por um filtro rápido descendente (FRD), surge como uma alternativa promissora para o enfrentamento desse desafio. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da tecnologia em uma estação de tratamento localizada na região Norte do Brasil, por meio da análise de dados reais de turbidez ao longo de um ano (2021). Os resultados obtidos nos Filtros Rápidos Descendentes (FRDs) 001 e 002 apresentaram desempenho superior, com eficiências de remoção superiores a 93% mesmo em meses críticos, como maio (FRD 001 – 93%) e agosto (FRD 002 – 95%). A tecnologia apresentou alta estabilidade operacional e capacidade de atendimento aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, destacando-se como uma solução viável para sistemas de abastecimento em regiões com águas brutas de qualidade variável.

Palavras-chave: dupla filtração, turbidez, tratamento de água, filtros rápidos, qualidade da água.

ABSTRACT

The development of cities and the expansion of industrial and agricultural activities have intensified the demand for high-quality drinking water, while simultaneously compromising the integrity of surface water sources. In this context, the use of more efficient and economically viable treatment technologies has become essential. The Dual Filtration (DF) technology — composed of an Upflow Gravel Filter (FAP) followed by a Rapid Downflow Filter (FRD) — emerges as a promising alternative to address this challenge. This study aimed to evaluate the efficiency of the DF system at a treatment plant located in Northern Brazil, through the analysis of real turbidity data collected over the course of one year (2021). The results from Rapid Downflow Filters (FRDs) 001 and 002 showed excellent performance, with removal efficiencies above 93%, even in critical months such as May (FRD 001 – 93%) and August (FRD 002 – 95%). The technology demonstrated high operational stability and compliance with the potability standards established by Brazilian Ordinance GM/MS No. 888/2021, standing out as a viable solution for water supply systems in regions with variable raw water quality.

Keywords: dual filtration, turbidity, water treatment, rapid filters, water quality.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FA	Filtro ascendente
FAP	Filtro ascendente de pedregulho
FAAG	Filtro ascendente de areia grossa
FRD	Filtro rápido descendente
DF	Dupla filtração
ANA	Agência Nacional de Águas
VMP	Valores máximos permitidos
ETA	Estação de tratamento de água
DQO	Demanda Química de Oxigênio
CAG	Carvão ativado granulado

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Croqui do funcionamento do filtro de dupla filtração.....	20
Figura 2 – Planta da estação de tratamento de água por dupla filtração.....	24
Figura 3 - Corte longitudinal do projeto hidráulico da ETA de Dupla Filtração.	25
Figura 4 - Detalhe da composição granulométrica do meio filtrante do FAP.	25
Figura 5 - Detalhe da composição granulométrica do meio filtrante do FRD.	26
Figura 6 - Fluxograma indicando os pontos de coleta de dados da turbidez.	28
Figura 7 - Valores máximos para turbidez obtidos na saída dos filtros ao longo do ano.	31
Figura 8 - Valores médios de turbidez na saída dos filtros ao longo do ano..	32
Figura 9 - Distribuição percentual da turbidez da água filtrada pelo Filtro Rápido Descendente (FRD 001) ao longo do ano.....	33
Figura 10 - Distribuição percentual da turbidez da água filtrada pelo Filtro Rápido Descendente (FRD 002) ao longo do ano.....	34
Figura 11 - Valores médios para turbidez na Saída do Tratamento e na Captação.....	36
Figura 12 - Amostras não conformes para o filtro 001.	37
Figura 13 - Amostras não conformes para o filtro 002.	38
Figura 14 - Eficiência de remoção de turbidez dos filtros ao longo do ano.	39

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Problema de pesquisa.....	10
1.2 Justificativa.....	11
1.3 Objetivos	13
1.3.1 Objetivo Geral.....	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
2. REVISÃO DE LITERATURA.....	14
2.1 Contextualização da Qualidade da Água no Brasil	14
2.2 Parâmetro Turbidez como Indicador de Qualidade	15
2.3 Tecnologias convencionais de filtração	17
2.4 Fundamentos da Dupla Filtração	18
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	24
3.1. Caracterização da Estação de tratamento de água	24
3.2 Método	27
3.3. Coleta de dados	28
3.4. Análise de dados.....	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	30
5. CONCLUSÃO	39
REFERÊNCIAS	41

1. INTRODUÇÃO

O crescimento urbano acelerado, aliado a intensificação das atividades industriais e agropecuárias tem tornado cada vez mais evidente a crescente demanda por água potável. No entanto, os processos de urbanização e crescimento populacional desordenados tem desencadeado impactos negativos sobre os recursos hídricos, especialmente os mananciais superficiais, resultando na sua poluição e degradação qualitativa (Fortes; Barrocas; Kligerman, 2019). Diante desse cenário, o tratamento da água destinada ao abastecimento público torna-se cada vez mais desafiador, exigindo investimentos em alternativas tecnológicas mais eficazes para garantir os padrões de potabilidade preconizados na Portaria GM/MS nº 888, de 4 de maio de 2021 do Ministério da Saúde (Brasil, 2021).

A expansão de áreas metropolitanas contribui diretamente para a contaminação dos cursos d'água, à medida que resíduos domésticos e industriais, lançados de forma inadequada, alteram profundamente as características físico-químicas e biológicas das águas superficiais (Haque, 2022; Singh *et al.*, 2022). A proteção dos recursos hídricos utilizados para o abastecimento de água potável exige o cumprimento dos padrões mínimos de qualidade, não apenas na água distribuída para a população, mas também na água *in natura* captada (Fortes; Barrocas; Kligerman, 2019). A qualidade da água pode ser afetada pelo uso e ocupação do solo, exigindo monitoramento contínuo (Lee *et al.*, 2009). Assim, é importante considerar a relação entre os parâmetros de qualidade da água, o crescimento populacional e as mudanças no uso do território na região estudada.

Os prejuízos da poluição aos mananciais podem ser referentes à destruição da fauna e flora, decorrentes da alteração características da água como o teor de oxigênio, matéria orgânica, pH, e temperatura, ou referentes à saúde pública, sendo relacionados principalmente a critérios bacteriológicos, que interferem diretamente nos processos de potabilização das águas naturais (Silva, 2009).

No Brasil, os mananciais de superfície constituem a principal fonte de abastecimento de água. De acordo com o Atlas Águas: Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano (ANA, 2021), aproximadamente 57% das sedes urbanas brasileiras utilizam mananciais superficiais, enquanto 14% dependem de abastecimento misto, predominantemente superficial, totalizando 3.169 sedes

urbanas (Brasil, 2021). Esses dados evidenciam a predominância da captação superficial e, conseqüentemente, a necessidade urgente de adotar tecnologias de tratamento mais eficazes, capazes de enfrentar os desafios impostos pela constante degradação dos corpos hídricos.

Diante a necessidade de aprimorar a padrões sanitários da água filtrada, surgiram estudos propondo a filtração rápida descendente precedida da filtração direta ascendente, originando a dupla filtração. Essa tecnologia apresenta vantagens em relação ao tratamento convencional em ciclo completo, destacando-se pelo menor custo e pela maior eficiência no tratamento de água com pior qualidade, possibilita o uso de taxas de filtração mais elevadas no filtro ascendente, oferece maior segurança do ponto de vista operacional em relação às variações bruscas de condições físico-químicas da bruta, apresenta melhor remoção de microrganismos aumentando a segurança em relação à desinfecção final (Di Bernardo, 2004; Sabogal-Paz et al., 2015).

Pesquisas voltadas à superação das limitações das tecnologias convencionais de filtração direta ascendente e filtração direta descendente no tratamento de águas com contaminação relativamente elevada, evidenciam que na dupla filtração grande parte das necessidades de tratamento poderiam ser satisfeitas com o uso desta tecnologia (Sabogal-Paz; Di Bernardo, 2007; De Oliveira, 2013). Vários estudos sobre a dupla filtração com filtro ascendente em pedregulho sob diferenciadas condições de qualidade de água bruta como turbidez elevada, ocorrência de picos de turbidez, presença de substâncias húmicas, de taxas de filtração, de número de descargas de fundo intermediárias, tem sido realizados com o intuito de melhor investigar suas reais potencialidades e limitações (Megda, 1999; Cirne, 2014).

Torna-se fundamental o desenvolvimento e o domínio de tecnologias ou combinações de processos que sejam mais adequados às variadas condições dos mananciais brasileiros, contribuindo para a universalização do acesso à água segura (Silva, 2009). Com base nesse contexto, o presente trabalho teve como objetivo avaliar a eficiência de um sistema de dupla filtração, composto por filtro ascendente de pedregulho e filtro rápido descendente, na remoção da turbidez e na melhoria da qualidade final da água em uma unidade de tratamento localizada na região Norte do Brasil.

1.1 Problema de pesquisa

O aumento da degradação dos mananciais superficiais no Brasil tem dificultado a garantia da qualidade da água destinada ao consumo humano, principalmente em sistemas de captação expostos à turbidez elevada e à presença de matéria orgânica. Nesse contexto, surge a necessidade de investigar soluções que aliem eficiência operacional e viabilidade econômica no processo de tratamento.

Diante disso, a questão central deste estudo é: A tecnologia de dupla filtração, composta por filtro ascendente de pedregulho e filtro rápido descendente, é eficaz na remoção da turbidez e na melhoria da qualidade da água em uma unidade de tratamento localizada na região Norte do Brasil?

Os resultados do estudo podem fornecer subsídios técnicos para a adoção de alternativas mais adequadas ao tratamento de águas superficiais com baixa qualidade, contribuindo para a segurança do abastecimento público e para aprimoramento das políticas de gestão de recursos hídricos em contextos semelhantes.

1.2 Justificativa

Os sistemas convencionais de tratamento de água, compostos por etapas como coagulação, floculação, sedimentação e filtração, são amplamente utilizados no Brasil. No entanto, esses sistemas exigem altos investimentos em infraestrutura e operação, além de enfrentarem limitações significativas na remoção eficiente da turbidez, especialmente quando aplicados a águas brutas com qualidade variável. Essas limitações tornam-se ainda mais evidentes em regiões onde os mananciais superficiais, principais fontes de abastecimento, estão sujeitos a grandes oscilações em seus parâmetros de qualidade, como turbidez, cor e presença de sólidos suspensos (Di Bernardo, 2004; Duarte, 2011).

No contexto regional, especialmente no Norte do Brasil, os mananciais superficiais utilizados para abastecimento público frequentemente apresentam características físico-químicas instáveis ao longo do dia. A presença da turbidez elevada, sólidos em suspensão e matéria orgânica dissolvida comprometem a eficiência dos processos convencionais de tratamento, demandando o desenvolvimento e a aplicação de tecnologias alternativas que conciliem desempenho, viabilidade econômica e sustentabilidade (Lima, 2019; Castro-Jiménez et al., 2022).

Diante desses desafios, a busca por tecnologias alternativas que possam superar as deficiências dos métodos convencionais tem ganhado destaque, visando não apenas à eficiência no tratamento, mas também à redução de custos e à sustentabilidade dos processos. A tecnologia de dupla filtração, que combina um filtro ascendente com um filtro rápido descendente, tem se mostrado uma alternativa promissora. Essa abordagem permite o uso de taxas de filtração mais elevadas, oferece maior segurança operacional frente às variações da qualidade da água bruta e potencialmente reduz o consumo de produtos químicos, como coagulantes e floculantes, resultando em uma diminuição dos custos operacionais e em um processo mais sustentável (Sabogal-Paz et al., Dantas, 2006).

Estudos recentes reforçam a viabilidade da dupla filtração. Santana et al. (2023) realizaram um estudo na Estação de Tratamento de Água Castello Branco, em Pernambuco, onde foi demonstrado que a utilização de um clarificador ascendente em pedregulho com cinco camadas resultou em redução significativa da turbidez e cor

da água tratada, além de permitir a diminuição em 50% da dosagem de coagulante. Da mesma forma, Benetti et al. (2018) demonstraram que a dupla filtração é eficaz no tratamento de águas eutrofizadas na região Norte do Brasil, promovendo melhorias substanciais na qualidade da água distribuída à população.

Apesar dessas vantagens, a eficiência da dupla filtração na remoção da turbidez ainda precisa ser amplamente estudada e validada em diferentes cenários operacionais, especialmente em regiões com características específicas, como a região Norte do Brasil, onde a qualidade da água bruta pode variar significativamente ao longo do ano. A partir dos resultados obtidos, espera-se fornecer informações técnicas robustas que possam subsidiar a implementação dessa tecnologia em larga escala, contribuindo para o aprimoramento dos processos de potabilização da água e para a garantia de um abastecimento mais seguro e sustentável.

Além disso, os achados deste estudo podem ter aplicação prática imediata, especialmente em estações de tratamento localizadas em contextos semelhantes ao do distrito de Luzimangues (TO), onde a pesquisa foi conduzida. A validação da eficiência da dupla filtração nesse cenário pode orientar a reestruturação de sistemas existentes, reduzir o consumo de coagulantes e a necessidade de lavagens frequentes dos filtros, otimizando os custos operacionais. Com isso, o estudo contribui diretamente para a modernização tecnológica das ETAs locais e para a consolidação de práticas mais eficientes e sustentáveis no setor de saneamento.

1.3 Objetivos

1.3.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência do sistema de dupla filtração em escala real, com filtro ascendente de pedregulho e filtro rápido descendente, na remoção da turbidez em uma unidade de tratamento na região norte do Brasil.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Avaliar o desempenho do sistema de dupla filtração em relação à remoção da turbidez, comparando os resultados com os padrões de potabilidade estabelecidos pela portaria GM/MS nº 888/2021;
- Analisar a influência das variações de turbidez da água bruta no desempenho do sistema de dupla filtração;
- Identificar as eficiências mínima e máxima de remoção de turbidez nos filtros ascendente de pedregulho (FAP) e filtros rápidos descendentes (FRD) ao longo do período de operação;
- Discutir as vantagens da tecnologia de dupla filtração em comparação com sistemas convencionais de tratamento de água, destacando sua aplicabilidade em regiões com mananciais superficiais de qualidade variáveis.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Contextualização da Qualidade da Água no Brasil

A água é essencial para a vida e a saúde humana, sendo considerada um direito universal. No entanto, quando contaminada, pode tornar-se veículo para agentes patogênicos responsáveis por diversas doenças, como hepatites, diarreias infecciosas, cólera, leptospirose, entre outras. A Organização Mundial da Saúde (OMS, 2023) destaca que o acesso à água potável segura é fundamental para a saúde pública, desempenhando papel fundamental em atividades de consumo direto, uso doméstico, produção de alimentos e recreação. Ainda assim, dados globais estimam que cerca de dois bilhões de pessoas consomem água contaminada por fezes, com impactos diretos sobre a saúde, especialmente em comunidades vulneráveis (WHO, 2022).

No cenário brasileiro, os desafios relacionados à qualidade e disponibilidade de água são amplificados por fatores como urbanização desordenada, descarte irregular de esgoto, degradação de mananciais e eventos extremos decorrentes das mudanças climáticas. Apesar do Brasil possuir cerca de 12% da disponibilidade mundial de água doce, sua distribuição é desigual e a infraestrutura de saneamento é precária em diversas regiões, principalmente nas áreas rurais e periféricas urbanas. Estima-se que apenas 0,07% da água do planeta esteja efetivamente disponível para o consumo humano, e essa proporção torna-se ainda mais crítica quando considerada a crescente pressão antrópica sobre os recursos hídricos (National Geographic, 2023).

Historicamente, os critérios de avaliação da qualidade da água evoluíram de características sensoriais, como cor, odor e sabor, para parâmetros físico-químicos e microbiológicos controlados por normativas técnicas. A preocupação com a potabilidade da água remonta à antiguidade, quando já se observavam métodos rudimentares de tratamento, como a decantação, filtração com areia e carvão, e a exposição à luz solar. No século XVII, já se recomendava o uso de recipientes de cobre, a fervura e o aquecimento da água para melhorar sua qualidade (Symons, 2006).

Com os avanços da ciência, os processos de tratamento foram aperfeiçoados, incorporando técnicas como a desinfecção química com cloro, a radiação ultravioleta, a ação oligodinâmica de metais como prata e cobre, e o uso de carvão ativado para

adsorção de contaminantes orgânicos. A filtração em leitos de areia, com suporte de pedregulhos, seguida de desinfecção, é atualmente uma das etapas mais importantes do tratamento convencional de água.

Dentre os parâmetros de qualidade, a turbidez destaca-se como um dos indicadores mais relevantes, sendo amplamente monitorado por sua associação com a presença de partículas em suspensão, como argilas, lodo, matéria orgânica e microrganismos, que podem interferir na eficácia da desinfecção. A turbidez representa, portanto, um indicador indireto da presença de contaminantes biológicos e químicos na água. Segundo Santé Canada (2003), a medição da turbidez reflete o conjunto de materiais coloidais e particulados presentes na água, sejam eles de origem mineral ou orgânica.

Além disso, o monitoramento da turbidez por meio da turbidimetria tem se mostrado uma ferramenta eficaz, tanto pela rapidez e sensibilidade da técnica quanto pela sua aplicabilidade em tempo real. Estudos como o de Maréchal et al. (2001) destacam que o uso da turbidimetria permite avaliar com precisão a poluição hídrica contínua, servindo de suporte técnico para a operação e o controle de sistemas de tratamento.

Diante desse panorama, garantir a qualidade da água para abastecimento público constitui um dos principais desafios da engenharia sanitária no século XXI. A crescente demanda hídrica, aliada à escassez de recursos em algumas regiões e à deterioração dos mananciais, exige a adoção de tecnologias de tratamento cada vez mais eficientes, com destaque para soluções capazes de lidar com a variabilidade da qualidade da água bruta, como é o caso da dupla filtração.

2.2 Parâmetro Turbidez como Indicador de Qualidade

Várias técnicas físico-químicas podem ser utilizadas para a eliminação da turbidez de uma água. Por exemplo, a turbidez pode ser reduzida por filtração com processo químico, lenta em areia, de diatomáceas, em membrana, ou qualquer outra técnica de filtração comprovada. A filtração com processo químico geralmente inclui a mistura de produtos químicos, a coagulação, a floculação, a sedimentação (ou a flotação por ar dissolvido) e a filtração rápida por gravidade (Thayer *et al.*, 2007).

O Ministério da Saúde, através da Portaria nº 888/2021, dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo

humano e seu padrão de potabilidade, preconiza que as águas provenientes de manancial superficial devem ser submetidas a processo de filtração (Brasil, 2021).

De acordo com a NBR 12.216/1992 - Projeto de Estação de Tratamento de Água para Abastecimento Público, os Filtros são unidades destinadas a remover partículas em suspensão, em caso de a água a tratar ser submetida a processo de coagulação, seguido ou não de decantação, ou quando comprovado que as partículas capazes de provocar turbidez indesejada possam ser removidas pelo filtro, sem necessidade de coagulação (ABNT, 1992).

Conforme Di Bernardo (2004), a turbidez vem se consolidando como um dos principais parâmetros na avaliação do desempenho das estações de tratamento. Além dos benefícios diretos, a remoção da turbidez por meio dos processos de filtração resulta na remoção efetiva de protozoários (Betancourt; Rose, 2004; Bastos; Brandão; Cerqueira, 2009).

De acordo com a Portaria nº 888/2021, o Anexo II traz limites de Turbidez para Água Pós-Desinfecção (para Águas Subterrâneas) ou para Água Pós-Filtração, que, por sua vez, estabelece os valores máximos permitidos (VMP) para o parâmetro Turbidez (uT), conforme demonstra o Quadro 1.

Quadro 1 - VMP para turbidez (uT).

Tratamento de Água	VMP (1)	Nº de Amostras	Frequência
Filtração rápida (tratamento completo ou filtração direta)	0,5 uT(2) em 95% das amostras. 1,0 uT no restante das amostras mensais coletadas	01	A cada 2 horas

Fonte: Brasil (2021) modificado pelo autor (2025).

A contaminação por protozoários e outros organismos patogênicos veiculados na água podem provocar a transmissão de doenças infecciosas, tais como legionelose, febre, cólera, tifoide e gastroenterites (Madigan *et al.*, 2016). Os protozoários *Cryptosporidium spp.* e *Giardia spp.* configuram na atualidade um grande desafio para a produção de água potável e segura (WHO, 2011).

A alta resistência dos cistos e oocistos aos processos de desinfecção tradicionalmente aplicados em estações de tratamento de água (cloração) – sendo os

oocistos de *Cryptosporidium* mais resistentes que os cistos de *Giardia* (Betancourt; Rose, 2004), tornou estes organismos referência em normas de qualidade da água, uma vez que o controle destes acarretaria o controle de outros patógenos de mais fácil remoção (Oliveira; Bastos, Silva, 2018).

2.3 Tecnologias convencionais de filtração

Filtração é o processo de retenção de partículas sólidas suspensas na água que objetiva remoção de microrganismos e substâncias orgânicas e inorgânicas contidas no meio líquido. A filtração rápida consiste na passagem de água pré-condicionada através de uma camada de material granular com velocidade de aproximação entre $8,3 \text{ cm.min}^{-1}$ a 42 cm.min^{-1} , variação correspondente a taxas de filtração entre $120 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$ a $600 \text{ m}^3.\text{m}^{-2}.\text{dia}^{-1}$, respectivamente. Os sólidos removidos da água e acumulados nos vazios intergranulares caracterizam a filtração rápida com efeito de profundidade e quando a retenção ocorre preponderantemente na camada superficial do meio filtrante, tem-se a filtração de superfície, característica principal da filtração lenta embora possa ocorrer em filtros rápidos descendentes de camada única de areia. O pré-tratamento de águas superficiais por coagulação química é essencial para se obter eficiente remoção de partículas; às vezes faz-se necessária a adição de polímeros auxiliares de coagulação antes da filtração para garantir efetiva retenção das partículas no meio filtrante (Duarte, 2011).

A eficiência da filtração está diretamente relacionada com o desempenho de processos antecedentes como coagulação (dose e tipo de coagulante, pH de coagulação, tempo e gradiente de mistura rápida), floculação (tamanho e resistência de flocos, tempo, escalonamento e gradiente de agitação), decantação ou flotação (taxa de fluxo, velocidade ascensional ou de sedimentação, densidade dos flocos). Outros fatores intervenientes no processo são o nível de controle operacional, tipo de meio filtrante, execução de lavagem e grau de capacitação de operadores, dentre outros. O tipo de material filtrante e granulometria do meio filtrante constituem as principais variáveis de projeto que interferem no desempenho de filtros; areia, carvão mineral antracitoso, granada e CAG são materiais mais empregados para esta finalidade (Duarte, 2011).

A filtração em multi etapas é um tratamento híbrido que mostra-se uma alternativa robusta para fontes de água superficiais de qualidade variável em comunidades rurais com baixa operação e custos de manutenção (Castro-Jiménez *et al.*, 2022). Na mesma direção, combinando coagulantes com filtração em vários estágio melhora a eficiência na remoção de turbidez e microorganismos como coliformes e *E. coli*. (Castro-Jiménez *et al.*, 2022).

2.4 Fundamentos da Dupla Filtração

No processo de dupla filtração, a água é direcionada primeiramente ao pré-tratamento feito através de um filtro ascendente (FA). Este filtro é constituído de material granular e tem como função remover impurezas presentes na água bruta. Neste tipo de filtro, a água entra pela parte inferior e passa pelo meio filtrante até a parte superior, onde o meio filtrante pode ser constituído de pedregulho ou areia grossa. A granulometria do material filtrante influencia a qualidade da pureza da água após o processo de filtração e os custos de implantação do sistema, visto que filtros com materiais filtrantes de menor granulometria demandam maiores cargas hidráulicas e, conseqüentemente, maior consumo de energia para funcionamento do sistema (Sabogal-paz *et al.*, 2015).

O estudo de Di Bernardo (2006) destacou as seguintes vantagens do método de filtração direta por fluxo ascendente: (a) o fluxo da água durante a filtração, do meio filtrante de maior granulometria para o de menor, resulta em menores perdas de carga no sistema, por conta da remoção de parte das impurezas no meio filtrante de granulometria maior, (b) redução da quantidade necessária de coagulante por metro cúbico de água tratada em comparação com as estações de tratamento de água de ciclo completo, (c) diminuição da área e do custo necessário para implantação do sistema, pois neste método as unidades de floculação e sedimentação são eliminadas, (d) redução dos custos de operação e manutenção em comparação com os sistemas de tratamento de ciclo completo, pois consome menos energia e produz menos lodo.

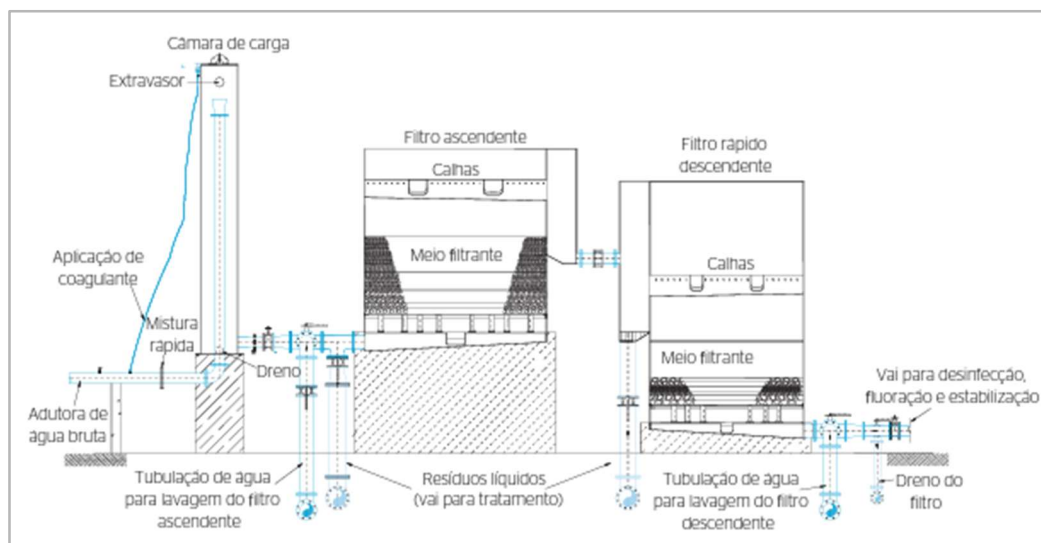
Apesar dessas vantagens, o processo de filtração direta por fluxo ascendente apresenta limitações em termos de qualidade microbiológica e físico-química da água bruta, especificamente em condições de turbidez temporariamente alta, cor verdadeira

ou concentração de algas. Nessas circunstâncias, é recomendado um tratamento complementar utilizando o filtro de descida rápida, constituindo assim um sistema de filtração em duas etapas. Além das vantagens implícitas conferidas pela filtração direta em contracorrente, a filtração em duas etapas permite o tratamento de água de qualidade extremamente ruim e a aplicação de taxas de filtração mais altas. Além disso, é menos suscetível a variações abruptas na qualidade da água bruta, proporciona uma taxa geral de remoção de microrganismos mais alta e não requer a descarga do efluente do filtro ascendente no início do ciclo de filtração (ou seja, filtração para descarte) (Di bernardo, 2006).

O filtro rápido descendente (FRD) funciona de maneira contrária em relação ao filtro ascendente (FA), com a água entrando pela parte superior, passando pelo meio filtrante e saindo pela parte inferior do sistema. Neste modelo, o material filtrante possui valores menores de granulometria, resultando em uma maior eficiência e qualidade da água tratada. Normalmente o meio filtrante é composto por areia, porém, podem ser utilizados outros materiais de granulometria similar. Após a finalização do processo de dupla filtração, a água está preparada para as fases seguintes de tratamento para garantir os padrões de potabilidade (Lima, 2011).

No sistema de Dupla Filtração (DF), o processo inicia-se com a aplicação de coagulante na água bruta, que é então conduzida à câmara de carga de cada filtro ascendente. A partir dessa câmara, o efluente entra pela parte inferior do filtro, promovendo a retenção inicial de partículas em suspensão. Em seguida, a água pré-filtrada é coletada e encaminhada ao filtro rápido descendente (FRD), responsável por complementar a remoção das impurezas remanescentes. Após a filtração, a água segue para as etapas finais de desinfecção, fluoretação e estabilização antes de ser distribuída ao consumo humano (Figura 1). O filtro ascendente pode ser constituído por areia grossa (FAAG) ou pedregulho (FAP), e essa escolha define a configuração específica do sistema de DF adotado (Real; Sabogal Paz; Daniel, 2012).

Figura 1 - Croqui do funcionamento do filtro de dupla filtração.



Fonte: Sabogal-Paz et al. (2010).

Dependendo do arranjo de alimentação das unidades filtrantes, tanto a filtração ascendente como a descendente podem funcionar com taxa constante ou com taxa declinante. A instalação pode possuir um conjunto de filtros ascendentes, seguido de outro conjunto de filtros descendentes ou ter diversas unidades de dupla filtração, cada uma delas constituída de um filtro ascendente e de um descendente (Di Bernardo *et al.*, 2003).

Di Bernardo *et al.* (2003) destaca o uso da dupla filtração como uma das mais promissoras tecnologias de tratamento de água, estimando-se que grande parte das necessidades de tratamento poderiam ser satisfeitas com o uso desta tecnologia. Di Bernardo (2004) ainda ressalta que, após investigações realizadas sobre a dupla filtração, os resultados revelaram o grande potencial desta tecnologia por ser considerada mais viável econômica e operacionalmente que o tratamento em ciclo completo.

Segundo Megda (1999), a eficiência do sistema de DF utilizando FAP como pré-tratamento para a posterior filtração com FRD é relativamente alta quanto à remoção de turbidez, com o efluente final apresentando turbidez sempre inferior a 1 uT.

O estudo de Gusmão (2001) comparou dois sistemas diferentes de dupla filtração, diferenciando-se apenas a pré-filtração destes, onde o sistema 01 foi composto por filtro FAAG seguido por FRD e o sistema 02 com FAP seguido por FRD. O FRD do sistema 01 mostrou-se, em alguns casos, desnecessário devido à

qualidade da água efluente do pré-tratamento do FAAG. Isso sugere que o tipo de material filtrante utilizado influencia diretamente no desempenho na redução da carga particulada, com o sistema 01 demonstrando maior capacidade de tratamento na etapa ascendente, reduzindo a necessidade de etapas subsequentes.

Kuroda (2002) avaliou o desempenho do sistema composto por filtração direta ascendente em pedregulho seguida da filtração rápida descendente. A investigação experimental foi realizada em instalação piloto, variando-se a taxa de filtração nos filtros ascendente (60 a 240 m³/m² d) e descendente (100 a 240 m³/m² d) com e sem execução de descargas de fundo intermediárias no ascendente. A água bruta foi proveniente de um manancial superficial com pH entre 6,5 e 7,5, valores de turbidez compreendidos entre 8,5 e 21 uT, cor verdadeira entre 19 e 50 uH e alcalinidade entre 6,7 e 10 mg CaCO₃/L. Adicionalmente, verificou-se o comportamento da instalação, para uma condição simulada de ocorrência de pico de turbidez de 380 uT, com curta duração. Em função dos resultados obtidos foi possível realizar considerações com relação à ocorrência de desprendimento/ carreamento contínuo de flocos no filtro ascendente e constatar as influências da execução de descargas de fundo intermediárias, com produção de efluentes de melhor qualidade e carreiras de filtração mais prolongadas. O filtro ascendente com taxa de filtração de 120 m³/m². d foi capaz de absorver o pico de turbidez de 380 uT, produzindo efluente pré-filtrado com valores de turbidez entre 0,3 e 5,7 uT, e o filtro descendente, com taxa de filtração de 180 m³/m². d produziu efluente final com valores consistentemente menores que 1 uT, e na maior parte do tempo menores que 0,1 uT.

Saldanha (2002) avaliou um sistema de dupla filtração em escala real, Estação de Tratamento de Água de São Carlos (ETA II), composta de três unidades de dupla filtração que funcionam em paralelo, a qual trata água bruta proveniente do Ribeirão do Feijão. O material filtrante foi caracterizado e foram verificadas as condições operacionais da ETA II, definindo-se e acompanhando-se os principais problemas. Após esta etapa, foi realizada uma comparação da ETA em escala real com a escala piloto. Os resultados mostraram que a ETA II apresentou baixa produção efetiva de água e qualidade do efluente muitas vezes insatisfatória decorrente principalmente da existência de caminhos preferenciais e falta de material filtrante, confirmando, portanto, a importância da distribuição e da dosagem adequada de coagulante, bem como, a necessidade da qualificação dos operadores, evitando a ocorrência de problemas operacionais.

De Paula (2003) estudou em instalação piloto de dupla filtração com filtro ascendente em areia grossa e filtro descendente em areia, combinações de taxas de filtração variando de 120 a 360 m³/m².d no ascendente e de 200 a 400 m³/m².d no descendente, com simulação de um pico de turbidez de curta duração da ordem de 380 uT para as taxas de filtração de 160 m³/m².d no filtro ascendente e de 300 m³/m².d no filtro descendente. A turbidez resultante nos efluentes dos filtros apresentou-se menor que 1,0 uT nas 19 horas de duração da carreira de filtração. Um sistema de dupla filtração, com filtro ascendente de pedregulho e filtro descendente de areia foi operado em paralelo a este sistema, por Kuroda (2002), com variações de taxas de filtração no filtro ascendente de 60 a 240 m³/m².d e no filtro descendente de 100 a 240 m³/m².d. O método de descargas de fundo intermediárias com esvaziamento total do filtro apresentou mais eficiência na recuperação da carga hidráulica, comparado ao método em que o esvaziamento se dava até o topo do meio filtrante. Para os dois sistemas, o efluente final apresentou valores dentro dos limites de potabilidade permissíveis pela Portaria 518.

Dantas (2004) estudou a eficiência de 2 sistemas de tratamento de água por dupla filtração, sendo o primeiro (sistema 1) composto por FAAG seguido por FRD e o segundo (sistema 2) por FAP seguido por FRD. As águas brutas utilizadas para o estudo foram separadas com base nas suas turbidez, com a primeira apresentando valores em torno de 100uT e a outra em 300uT. Durante o estudo, as taxas de filtração se mostraram menores nos filtros ascendentes em comparação com os filtros descendentes. Os resultados indicaram que ambos os métodos são eficazes na produção de água filtrada, apresentando resultados de turbidez consistentemente abaixo de 0,5uT. Os resultados de produção efetiva de água filtrada mostraram-se dependentes de fatores como a turbidez da água bruta, taxas de filtração utilizadas e cargas hidráulicas disponíveis.

Os experimentos de Patil e Munavalli (2016) avaliaram a eficiência do pré-tratamento de águas cinzas com filtros ascendentes e descendentes. Os resultados obtidos apresentaram dados consistentes da remoção da turbidez, demanda química de oxigênio (DQO) e microrganismos patogênicos, com valores médios de 70, 27 e 56%, respectivamente. Após a análise dos resultados, destacaram a importância do pré-tratamento com filtros ascendentes e descendentes no refinamento da qualidade da água tratada, assim como a necessidade do estudo da granulometria do material empregado no meio filtrante para o desempenho do sistema.

A dupla filtração possui muitas vantagens, dentre elas: 1) permite o tratamento de água com qualidade muito baixa, 2) podem ser utilizadas taxas de filtração mais elevadas nos filtros ascendentes, 3) é seguro em relação às mudanças bruscas da qualidade da água bruta, 4) a remoção quanto aos microrganismos é maior que a filtração ascendente e descendente, aumentando a segurança em relação à desinfecção final; e 5) não tem necessidade de descarte do FAP no início da carreira, pois esta água pode ser filtrada ainda nos filtros descendentes (Di Bernardo, 2004).

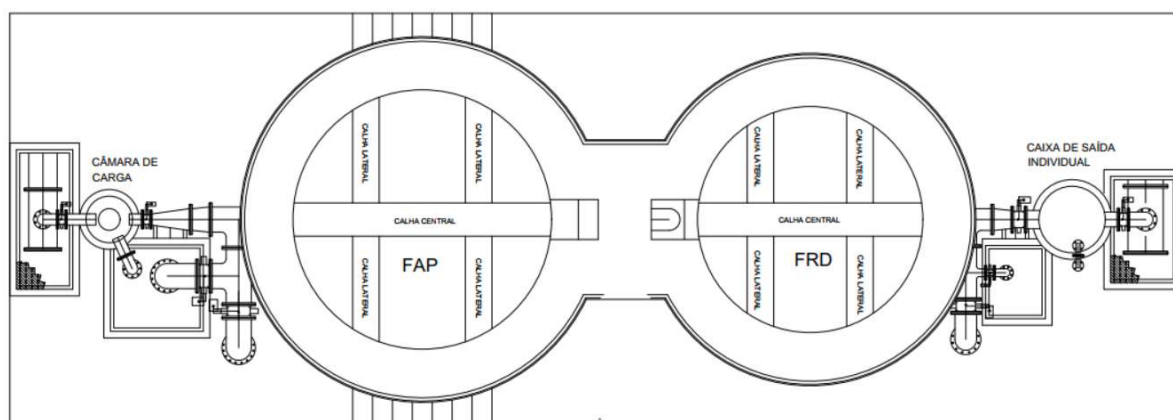
3. PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

3.1. Caracterização da Estação de tratamento de água

A pesquisa foi conduzida na Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada no distrito de Luzimangues, Porto Nacional, no estado do Tocantins. Esta planta conta com duas linhas de tratamento, cada uma com capacidade para processar 17 L/s, totalizando uma capacidade de 34 L/s para toda a unidade. O sistema de Dupla Filtração utilizado na planta é composto por um Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP), seguido de um Filtro Rápido Descendente (FRD), ambos com características específicas de materiais filtrantes e capacidade de remoção de turbidez.

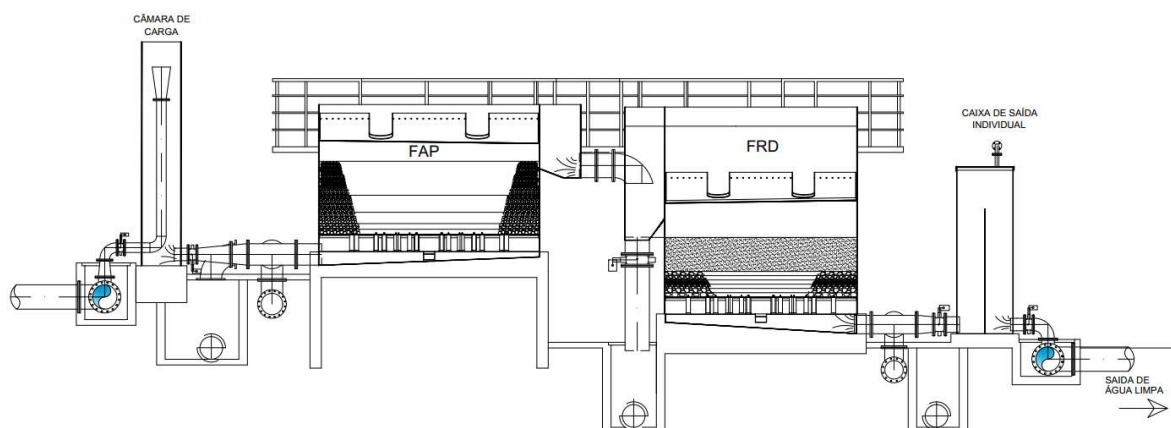
A estrutura do sistema de Dupla Filtração e as dimensões dos filtros e unidades associadas serão descritas, destacando as características hidráulicas e operacionais da planta. As duas unidades incluem a câmara de carga, o FAP, o FRD e a caixa de saída individual, conforme ilustrado na Figura 2 e 3.

Figura 2 – Planta da estação de tratamento de água por dupla filtração.



Fonte: Fornecido pela concessionária (2024).

Figura 3 - Corte longitudinal do projeto hidráulico da ETA de Dupla Filtração.



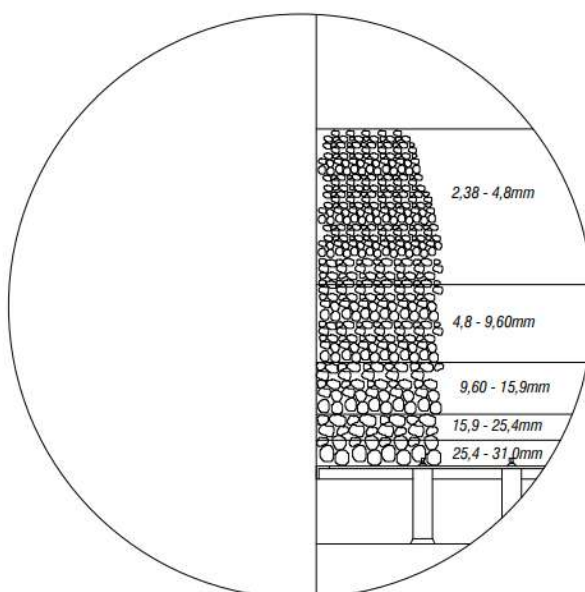
Fonte: Fornecido pela concessionária (2024).

A seguir são listadas as principais características e dimensões das principais unidades do sistema de Dupla Filtração:

- Câmara de Carga: diâmetro de 0,70 m, construída em chapa metálica, na qual o nível d'água varia com o tempo de funcionamento do FAP até que seja atingido o nível máximo correspondente a carga hidráulica total de 0,80 m, momento em que a unidade de dupla filtração deverá ser retirada de operação para lavagem;

- Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP): diâmetro de 3,40 m, construído em chapa metálica, possui cinco camadas de pedregulho (Figura 4), com espessura total de 1,30 m e tamanho dos grãos variando de 25,4 a 31 mm (10 cm de espessura) na base, 15,9 a 25,4 mm (10 cm de espessura), 9,6 a 15,9 mm (20 cm de espessura), 4,8 a 9,6 mm (30 cm de espessura) e de 2,38 a 4,8 mm (60 cm de espessura) na superior. A camada de pedregulho estará apoiada em uma placa perfurada, localizada 0,3 m acima do fundo, constituindo o fundo falso. Neste, entra a água coagulada e a água para lavagem. Na parte superior, têm-se calhas providas de orifícios para coleta da água pré-filtrada;

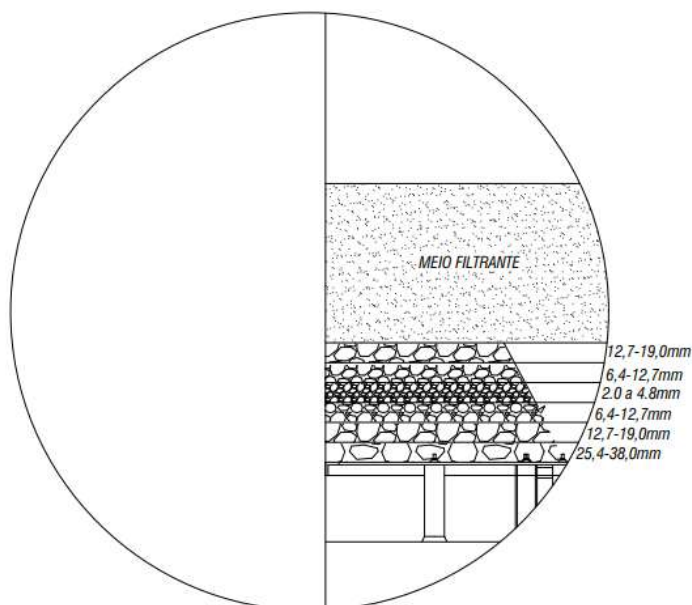
Figura 4 - Detalhe da composição granulométrica do meio filtrante do FAP.



Fonte: Fornecido pela concessionária (2024).

- Filtro Rápido Descendente (FRD): a água proveniente do filtro ascendente é encaminhada ao filtro descendente por meio de tubulação e entrará pela calha de coleta de água de lavagem do FRD de 3,90 m de diâmetro e verte no seu interior, passando pelo meio filtrante (Figura 5) constituído de areia com 0,60 m de espessura e grãos de tamanho compreendido entre 0,30 e 1,41 mm, apoiado sobre uma camada suporte de pedregulho com espessura de 0,45m, disposta sobre uma placa perfurada. Esta placa está situada a cerca de 30 cm acima do fundo, constituindo o fundo falso, no qual está localizada a tubulação de saída de água filtrada e a de aplicação de água para lavagem; carga hidráulica total de 1,40 m.

Figura 5 - Detalhe da composição granulométrica do meio filtrante do FRD.



Fonte: Fornecido pela concessionária (2024)

- Caixa de Saída Individual: para manter o nível de água no FRD sempre acima do topo do meio filtrante, a água filtrada será encaminhada a uma caixa de saída individual com vertedor. Das caixas individuais, a água filtrada das quatro novas unidades será conduzida por meio de tubulação até união com a tubulação de água filtrada existente e encaminhamento para a câmara de contato.

3.2 Método

A metodologia adotada nesta pesquisa caracteriza-se como aplicada e exploratória, uma vez que busca gerar conhecimento voltado à solução de um problema específico em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) localizada na região Norte do Brasil. A abordagem aplicada visa à obtenção de resultados úteis à prática profissional e técnica no campo do saneamento, enquanto o caráter exploratório se justifica pela necessidade de aprofundar o conhecimento sobre a eficiência da tecnologia de dupla filtração (DF) em condições operacionais reais.

O estudo foi conduzido em escala real, com base na análise dos dados operacionais de uma planta que emprega a tecnologia de Dupla Filtração, composta por um Filtro Ascendente de Pedregulho (FAP) seguido por um Filtro Rápido Descendente (FRD). Os dados de turbidez foram obtidos por meio do software de monitoramento utilizado pela concessionária responsável pela operação do sistema

de abastecimento de água. As medições foram realizadas em diferentes pontos do processo, incluindo a água bruta, os filtros e a água final tratada.

Os valores de turbidez máxima e média foram analisados a partir de registros mensais compreendendo o período de janeiro a dezembro de 2021. Para garantir representatividade e permitir a avaliação da eficiência do sistema ao longo de diferentes condições hidrológicas e sazonais, foram consideradas as seguintes etapas:

- a) turbidez da água bruta;
- b) turbidez da água na saída de cada filtro (FRD 001 e FRD 002);
- c) turbidez da água tratada final.

Esses dados foram organizados, tabulados e representados graficamente, com o objetivo de determinar a eficiência de remoção da turbidez em cada fase do sistema de filtração. A eficiência foi estimada com base na diferença entre os valores de turbidez da água bruta e os valores obtidos após a filtração, sendo os resultados confrontados com os limites estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que define o padrão de potabilidade para o parâmetro turbidez em sistemas de filtração rápida.

3.3. Coleta de dados

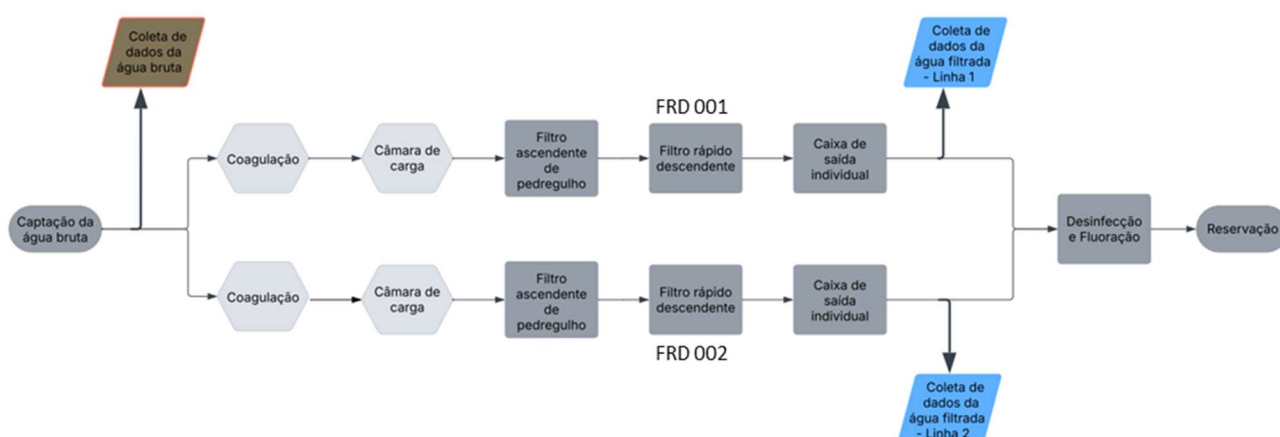
A coleta de dados foi realizada em quatro momentos distintos ao longo do processo de tratamento de água. A seguir, estão os pontos de coleta de turbidez:

Ponto 1: Antes da coagulação, para medir a turbidez da água bruta captada.

Ponto 2: Após a filtração no Filtro Rápido Descendente (FRD), antes da reservação de água tratada, na linha de tratamento 1.

Ponto 3: Após a filtração no Filtro Rápido Descendente (FRD), antes da reservação de água tratada, na linha de tratamento 2.

Figura 6 - Fluxograma indicando os pontos de coleta de dados da turbidez.



Fonte: Elaborado pelo autor (2024).

3.4. Análise de dados

Os dados de turbidez coletados foram tabulados e analisados quantitativamente, com o objetivo de calcular a eficiência de remoção da turbidez proporcionada pelo sistema de Dupla Filtração. Para cada momento de coleta, a eficiência foi determinada com base na diferença entre a turbidez da água bruta e a turbidez da água tratada, considerando a remoção de partículas em cada etapa do processo.

Os resultados foram comparados com os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, especificamente para a turbidez da água filtrada. A análise também aborda as variações de turbidez ao longo do período de operação, a fim de verificar a resiliência do sistema frente às flutuações de qualidade da água bruta.

Os dados foram organizados em planilhas eletrônicas e analisados por meio de estatísticas descritivas, incluindo cálculo de médias, desvios-padrão, frequências relativas e percentuais de conformidade. Além disso, foi realizada análise gráfica comparativa entre os filtros, com vistas a identificar padrões sazonais e possíveis anomalias operacionais. A comparação entre os valores observados e os limites normativos foi feita por meio de gráficos de linha e colunas.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para avaliar a eficiência do sistema de dupla filtração, foi realizada a análise da turbidez da água em diferentes etapas do processo ao longo dos 12 meses do ano de 2021, considerando dois filtros rápidos descendentes (FRD 001 e FRD 002). Essa análise permite avaliar o desempenho do sistema de dupla filtração sob diferentes condições operacionais. A Tabela 1 demonstra os percentuais mensais de amostras dentro das faixas de turbidez estabelecidas pela Portaria GM/MS nº 888/2021, que define como padrão ideal turbidez $\leq 0,30$ uT, com tolerância de até 0,50 uT em 95% das amostras.

Com base nesses critérios, observou-se que o sistema apresentou, de modo geral, bons índices de conformidade, mas com oscilações que merecem atenção.

Tabela 1 – Resultados de turbidez da água filtrada dos Filtros Rápidos Descendentes (FRDs) 001 e 002.

Meses	FRD 001				FRD 002			
	$\leq 0,30$	$0,30 < \text{uT} \leq 0,50$	$0,5 < \text{uT} \leq 1,0$	$> 1,0$	$\leq 0,30$	$0,30 < \text{uT} \leq 0,50$	$0,5 < \text{uT} \leq 1,0$	$> 1,0$
jan/21	90,6%	9,4%	0,0%	0,0%	77,8%	22,2%	0,0%	0,0%
fev/21	95,2%	4,8%	0,8%	0,0%				
mar/21	44,6%	55,4%	0,0%	0,0%				
abr/21	31,0%	69,0%	19,9%	0,0%				
mai/21	65,0%	35,0%	3,56%	0,0%				
jun/21	74,6%	25,4%	0,0%	0,0%				
jul/21	87,1%	12,9%	0,7%	0,0%				
ago/21	84,4%	15,6%	0,0%	0,0%	74,6%	25,4%	0,0%	0,0%
set/21	77,2%	22,8%	0,0%	0,0%	69,9%	30,1%	0,0%	0,0%
out/21	86,1%	14,1%	0,0%	0,0%	86,0%	14,0%	0,0%	0,0%
nov/21	86,6%	13,4%	0,0%	0,0%	83,9%	16,1%	0,0%	0,0%
dez/21	82,9%	17,1%	0,0%	0,0%	77,5%	21,7%	0,9%	0,0%

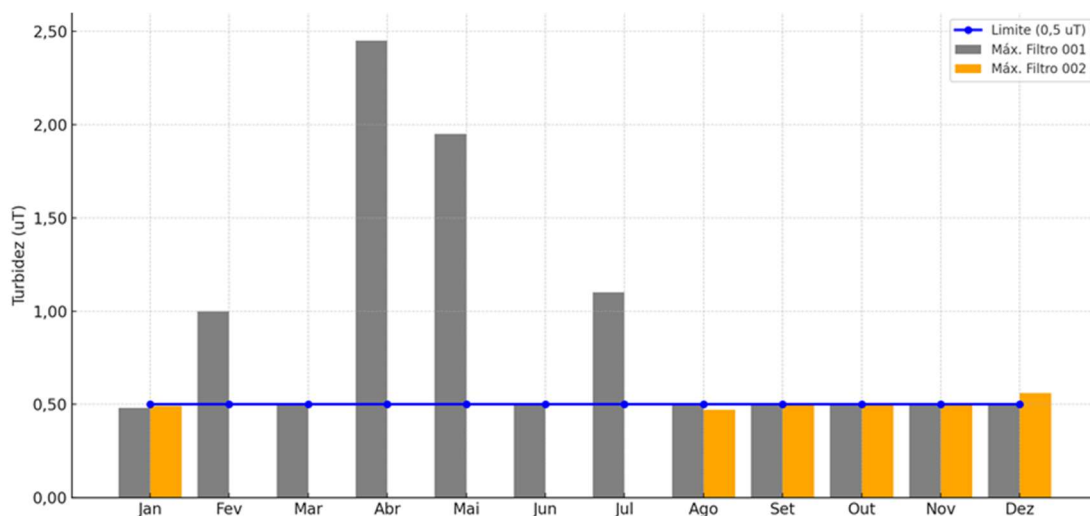
Fonte: Autoria própria (2025).

A Figura 7 apresenta os valores máximos mensais de turbidez registrados na saída de cada filtro. Observa-se que o filtro 001 apresentou picos superiores a 0,5 uT

nos meses de fevereiro, abril, maio e julho. No caso do filtro 002, apenas em dezembro foi verificado um valor máximo ligeiramente acima do limite ideal.

A variação da turbidez observada ao longo dos meses pode estar associada a fatores, entre eles a sazonalidade climática, especialmente durante o período chuvoso, quando o aumento do escoamento superficial intensifica a carga de sedimentos, matéria orgânica e poluentes nos corpos hídricos (ANA, 2023; Haque, 2022). Esse processo favorece a entrada de material alóctone nos mananciais, elevando significativamente os níveis de turbidez da água bruta. Além disso, oscilações na qualidade da água podem estar relacionadas a aspectos operacionais da ETA, como falhas pontuais na dosagem de coagulantes, variações nas taxas de filtração ou deficiências na periodicidade de retrolavagem dos filtros (Di Bernardo, 2004; Duarte, 2011).

Figura 7 - Valores máximos para turbidez obtidos na saída dos filtros ao longo do ano.



Fonte: Autoria própria (2025).

Este resultado isolado não pode ser considerado uma não conformidade, uma vez que a Portaria nº 888/2021 preconiza que 95% das amostras devem estar abaixo de 0,5 uT. Contudo, alguns estudos apontam (Bastos; Brandao; Cerqueira, 2009) que o fornecimento de água microbiologicamente segura ocorre em tais condições: água filtrada (filtração rápida): $\leq 0,5$ uT: remoção de 2,5 log (99,7%) de cistos de *Giardia* no tratamento em ciclo completo (0,5 log na decantação e 2 log na filtração) e 2 log (99%) na filtração direta; $\leq 0,3$ uT: remoção de 3 log (99,9%) de oocistos de *Cryptosporidium*

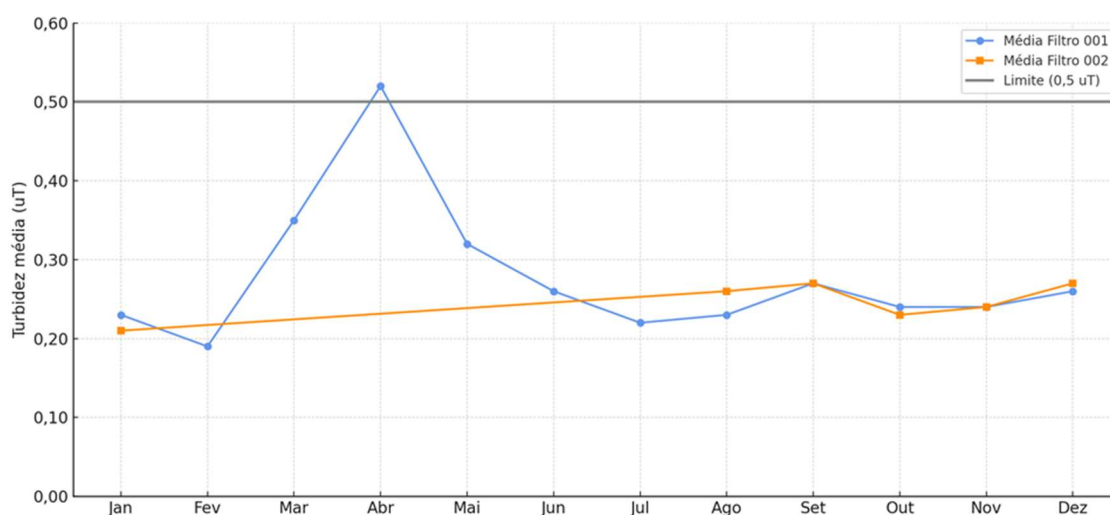
no tratamento em ciclo completo (0,5 log na decantação e 2,5 log: filtração) e 2,5 log na filtração direta.

A Figura 8 demonstra os valores médios mensais de turbidez obtidos na saída dos filtros. É notável a concentração da maior parte dos resultados em torno de 0,3 uT, evidenciando a eficiência da dupla filtração, principalmente nos meses com menor turbidez na água bruta. Em abril/2021 – mês com maior valor de turbidez média, 69% das amostras analisadas apresentaram valores entre 0,3 e 0,5 uT.

Como o resultado de abril/2021 foge do padrão para o sistema, pode-se atribuir o desvio a ocorrências operacionais pontuais, uma vez que no mês seguinte o Filtro 001 não apresentou amostras com concentração de turbidez acima de 0,5 uT, com 65% das amostras mensais com concentração inferior à 0,30 uT.

Ainda no que tange à Figura 8, é válido mencionar que o Filtro 02 não apresentou concentração média superior à 0,5 uT e ainda, que majoritariamente os resultados de turbidez da água filtrada são inferiores à 0,3 uT.

Figura 8 - Valores médios de turbidez na saída dos filtros ao longo do ano.



Fonte: Autoria própria (2025).

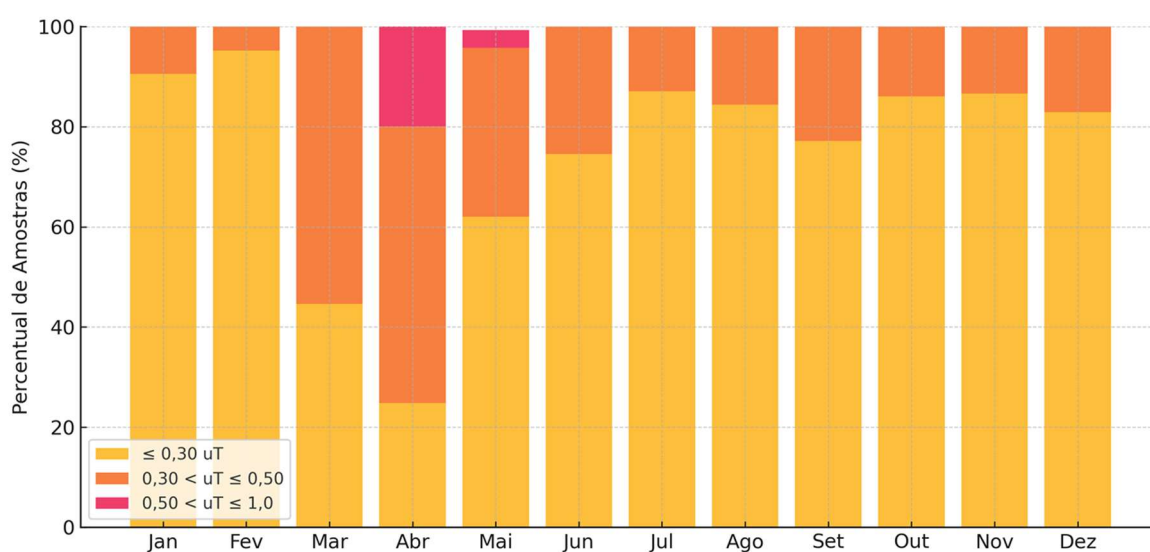
Para uma visão mais detalhada do comportamento dos filtros ao longo do ano, foram elaborados gráficos de distribuição percentual para cada faixa de turbidez (Figuras 9 e 10).

O FRD 001 demonstrou desempenho satisfatório na maior parte do ano, com destaque para os meses de janeiro, fevereiro, junho, julho, outubro, novembro e

dezembro, em que mais de 80% das amostras registraram turbidez inferior a 0,30 uT. Esses resultados indicam a efetividade da dupla filtração na remoção de partículas, assegurando a qualidade da água tratada conforme os parâmetros normativos. A elevada porcentagem de amostras com turbidez muito baixa durante esses períodos reforça a capacidade do sistema de manter um padrão de filtragem eficiente, mesmo diante de variações sazonais.

No entanto, os meses de março e abril apresentaram desempenhos inferiores, especialmente abril, quando 19,9% das amostras ultrapassaram 0,5 uT. Esse dado representa um sinal de alerta, pois indica que o sistema operou fora dos limites ideais estabelecidos pela normativa vigente. Março também demonstrou queda no desempenho, com mais da metade das amostras (55,4%) situadas entre 0,30 e 0,50 uT, embora ainda dentro dos limites aceitáveis.

Figura 9 - Distribuição percentual da turbidez da água filtrada pelo Filtro Rápido Descendente (FRD 001) ao longo do ano.



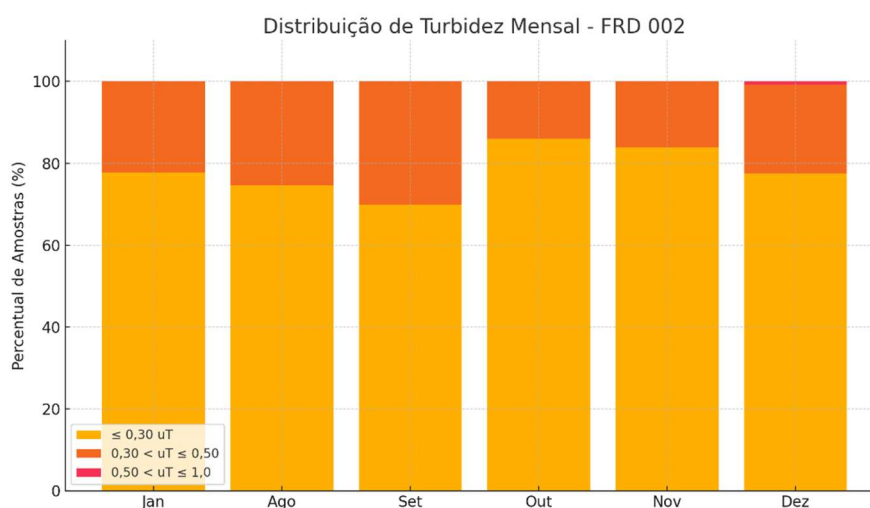
Fonte: Autoria própria (2025).

Para o FRD 002, os dados disponíveis indicam um desempenho consistente em janeiro, com 77,8% das amostras abaixo de 0,30 uT e 22,2% entre 0,30 e 0,50 uT. Em alguns meses não houve registros completos, impossibilitando a comparação mensal entre os dois filtros. Ainda assim, os dados parciais sugerem que o sistema

de dupla filtração é eficaz na maior parte do tempo, mas pode ser sensível a variações sazonais da qualidade da água bruta.

Nos meses com dados disponíveis (agosto a dezembro), observou-se comportamento semelhante ao do FRD 001, com predominância de amostras com turbidez $\leq 0,30$ uT. Outubro e novembro, por exemplo, apresentaram, respectivamente, 86% e 83,9% das amostras dentro da faixa ideal. Dezembro, embora com desempenho ligeiramente inferior, ainda manteve 77,5% das amostras abaixo de 0,30 uT e apenas 0,9% acima de 0,5 uT, o que indica conformidade com os padrões normativos e confirma a estabilidade do sistema.

Figura 10 - Distribuição percentual da turbidez da água filtrada pelo Filtro Rápido Descendente (FRD 002) ao longo do ano.



Fonte: Autoria própria (2025).

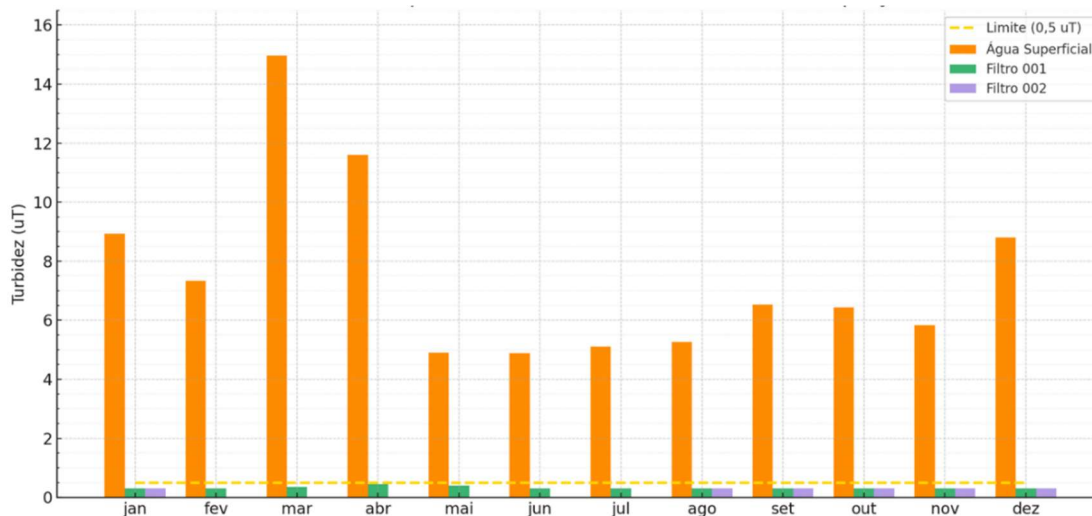
A comparação entre os dois filtros indica que ambos apresentam desempenhos compatíveis e satisfatórios, embora o FRD 001 tenha revelado maior sensibilidade a variações sazonais de qualidade da água bruta. A ausência de dados completos do FRD 002 nos meses iniciais limita conclusões mais detalhadas, mas os dados disponíveis reforçam a confiabilidade do sistema de dupla filtração quando operado sob condições controladas. As discrepâncias pontuais sugerem a necessidade de ajustes operacionais específicos, como controle mais rigoroso da coagulação, manutenção da granulometria do meio filtrante e otimização da frequência de lavagem dos filtros, para garantir maior estabilidade mesmo em períodos críticos.

De modo geral, os resultados obtidos confirmam que o sistema de dupla filtração é uma solução eficaz e robusta para o tratamento de águas com variabilidade de turbidez. A predominância de valores abaixo de 0,50 uT ao longo do ano valida a escolha tecnológica para regiões com mananciais instáveis, como no caso da ETA estudada. Entretanto, a identificação de episódios de desempenho aquém do esperado também evidencia a importância de um monitoramento contínuo, manutenção preventiva e gestão operacional eficaz para garantir que a qualidade da água tratada permaneça dentro dos padrões de potabilidade, mesmo diante de situações adversas.

Conforme cita Di Bernardo *et al.* (2003), a tecnologia de dupla filtração desponta como uma das mais promissoras tecnologias de tratamento de água, com grande potencial operacional e econômico. Para evidenciar que esta tecnologia satisfaz o preconizado pela normativa vigente, bem como características do manancial, a Figura 11 indica os valores de turbidez da água superficial (bruta) e filtrada.

É de suma importância destacar que mesmo quando o manancial apresentou variações das concentrações de turbidez, os resultados de turbidez da água filtrada mantiveram-se, em geral, abaixo de 0,5 uT. Cumpre ainda mencionar que a elevação dos valores de turbidez da água bruta pode estar diretamente relacionada com a elevação da turbidez da água filtrada (Filtro 001) evidenciada na Figura 11.

Figura 11 - Valores médios para turbidez na Saída do Tratamento e na Captação.



Fonte: Autoria própria (2025).

Foram compiladas as quantidades de amostras não conformes para o Filtro 001, Filtro 002 e para a saída do tratamento da ETA, sendo representados gráfica e respectivamente nas Figuras 12 e 13. Percebe-se que, exceto para os meses de abril e maio – o que também pode ser atribuído à problemas operacionais pontuais e/ou alteração das características do manancial, a quantidade de amostras não conformes esteve preponderantemente próxima a zero.

No Filtro 001, observa-se um aumento significativo nas amostras fora do padrão nos meses de abril e, em menor escala, maio e julho. Em abril, o número de amostras acima de 0,5 uT ultrapassou 80, representando aproximadamente 28,6% do total coletado naquele mês. Tal ocorrência pode estar associada a alterações na qualidade da água bruta, como aumento da turbidez devido a chuvas intensas ou à presença de material orgânico em suspensão. Além disso, interferências operacionais, como atrasos na retrolavagem dos filtros ou falhas na dosagem de coagulantes, também podem ter contribuído para esse resultado. Nos demais meses, a quantidade de amostras fora dos padrões permaneceu praticamente nula, o que reforça a eficiência e estabilidade operacional do Filtro 001 quando em regime normal de funcionamento.

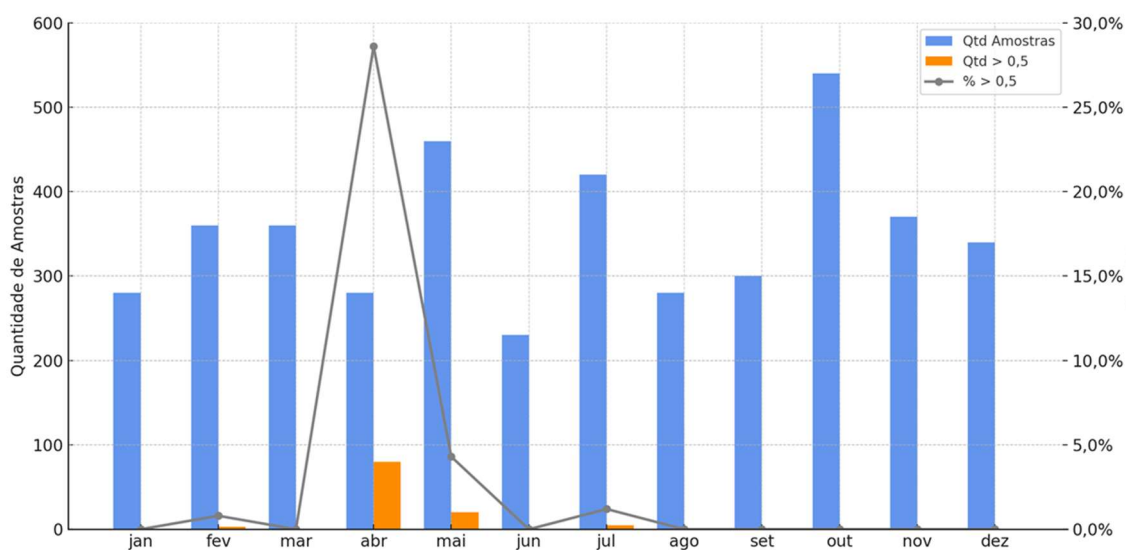
No caso do Filtro 002, os resultados indicam um desempenho ainda mais estável. A única ocorrência de amostras com turbidez acima de 0,5 uT foi registrada no mês de dezembro, com um total de 3 amostras não conformes, representando cerca de 0,91% do total mensal — valor abaixo do limite de 5% estabelecido pela

Portaria GM/MS nº 888/2021. Tal fato demonstra que, mesmo com aumento da carga de entrada, o sistema foi capaz de manter a qualidade da água dentro dos padrões.

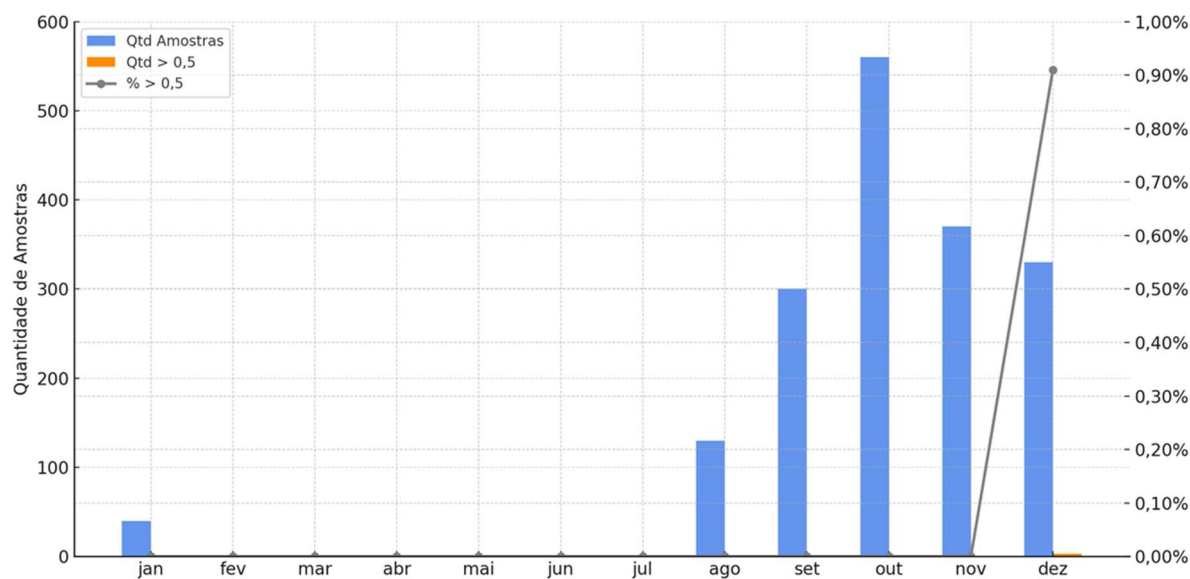
Importante destacar que o Filtro 002 entrou em operação somente a partir de agosto, o que explica a ausência de dados nos meses anteriores. A partir da sua ativação, o filtro apresentou comportamento consistente e aderente aos parâmetros de potabilidade, com zero amostras não conformes entre agosto e novembro.

Esses resultados evidenciam que o sistema de dupla filtração, composto por FAP seguido por FRD, apresentou excelente desempenho no controle da turbidez, mesmo em períodos de possível estresse operacional ou sazonalidade da qualidade da água bruta. Os dados reforçam a viabilidade da tecnologia para aplicação em contextos de mananciais com variações significativas na qualidade da água.

Figura 12 - Amostras não conformes para o filtro 001.



Fonte: Autoria própria (2025).

Figura 13 - Amostras não conformes para o filtro 002.

Fonte: Autoria própria (2025).

A eficiência de remoção de turbidez é um dos indicadores mais relevantes para avaliar o desempenho de sistemas de filtração. A Figura 14 demonstra que tanto o Filtro 001 quanto o Filtro 002 mantiveram altos níveis de eficiência ao longo do período analisado, confirmando a efetividade da tecnologia de Dupla Filtração implantada.

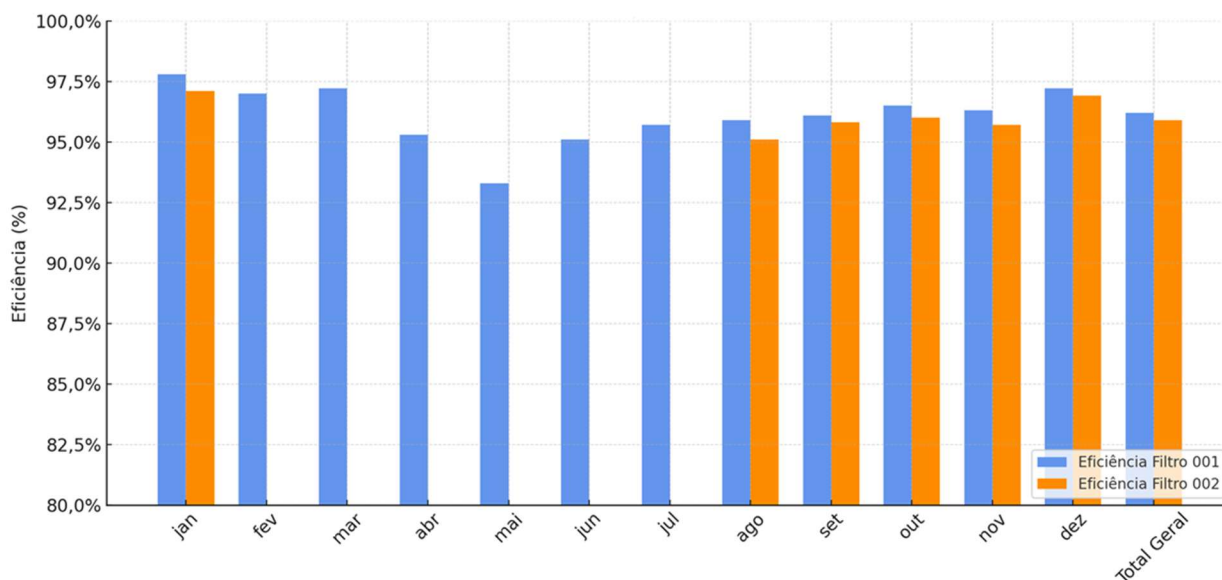
O Filtro 001, em operação durante todo o ano, apresentou variações esperadas ao longo dos meses, com eficiências variando entre 93,3% (maio) e 97,8% (janeiro). Mesmo em maio, considerado o mês com menor desempenho, o filtro superou os 93%, valor considerado excelente para padrões operacionais em condições reais. Esse pequeno declínio pode estar relacionado a oscilações na qualidade da água bruta ou a interferências operacionais, como aumento na carga de sólidos suspensos, necessidade de retrolavagem mais frequente ou instabilidade na dosagem de coagulantes.

O Filtro 002, por sua vez, iniciou sua operação em agosto de 2021, e desde então apresentou desempenho bastante estável, com eficiência mínima de 95,1% (agosto) e máxima de 96,9% (dezembro). Os resultados indicam que o filtro iniciou seu funcionamento em condições operacionais controladas, demonstrando rápida adaptação e bom desempenho desde o início da sua operação.

A eficiência média geral ao final do período foi superior a 96% para ambos os filtros, o que evidencia a robustez da solução adotada frente às exigências da Portaria

GM/MS nº 888/2021, que determina parâmetros rigorosos de qualidade para a água tratada.

Figura 14 - Eficiência de remoção de turbidez dos filtros ao longo do ano.



Fonte: Autoria própria (2025).

5. CONCLUSÃO

Os resultados obtidos no estudo evidenciam que a tecnologia de Dupla Filtração é eficaz na remoção da turbidez em sistemas de abastecimento que utilizam mananciais superficiais de qualidade variável. Ao longo do ano de 2021, mesmo diante de oscilações sazonais e condições adversas, a eficiência de remoção de turbidez manteve-se consistentemente acima de 93%, atendendo aos critérios estabelecidos pela legislação vigente.

O desempenho estável dos filtros, aliado à baixa ocorrência de amostras fora do padrão, demonstra a robustez e a viabilidade técnica da tecnologia para aplicação em escala real. Ainda que tenham sido registradas não conformidades pontuais em determinados meses, estas foram atribuídas a ajustes operacionais e não à limitação da tecnologia adotada.

Além da eficiência comprovada, os resultados sugerem que a Dupla Filtração pode contribuir para a redução do consumo de insumos químicos, a otimização dos ciclos de lavagem dos filtros e o aumento da segurança operacional dos sistemas de

tratamento, representando uma alternativa sustentável, econômica e eficaz frente aos sistemas convencionais.

Considerando o cenário de degradação dos mananciais e aumento da pressão sobre os recursos hídricos, especialmente em regiões com bacias hidrográficas impactadas por atividades antrópicas, recomenda-se a ampliação do uso da Dupla Filtração em contextos similares, como forma de assegurar a qualidade da água distribuída à população e fortalecer a resiliência dos sistemas públicos de abastecimento.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA), Cuidando das águas: soluções para melhorar a qualidade dos recursos hídricos. Agência Nacional de Águas; Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente. 154p.-Brasília:ANA, 2013.Disponível em: <https://capacitacao.ana.gov.br/conhecerh/handle/ana/2489>. Acesso em 30 jan. 2022.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Atlas Brasil - Abastecimento Urbano de Água: Volume 1 - Panorama Nacional. Brasília: ANA, 2010. Disponível em: <https://bibliotecadigital.economia.gov.br/handle/123456789/154>. Acesso em: 14 maio 2025.

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). Atlas Águas: Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano. Brasília: ANA, 2021. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br/centrais-de-conteudos/publicacoes/atlas-aguas-seguranca-hidrica-do-abastecimento-urbano>. Acesso em: 13 maio 2025.

Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. Atlas Águas: Segurança Hídrica do Abastecimento Urbano. Brasília: ANA, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/ana/pt-br>. Acesso em: 15 jul. 2025.

BASTOS, R. K. X.; BRANDÃO, C. C. S.; CERQUEIRA, D. A. Tratamento de água e remoção de protozoários. **Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo**. ABES, Projeto PROSAB, Rio de Janeiro, 392p, 2009.

BENETTI, A. D.; QUEIROZ, S. C. B.; DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; SILVA, G. G. Dupla filtração para o tratamento de água eutrofizada na região norte do Brasil. **Revista DAE**. Vol. 66, n. 212 (set. 2018), p. 41-60, 2018.

BETANCOURT, W.Q. & ROSE, J.B. (2004) **Drinking water treatment processes for removal of *Cryptosporidium* and *Giardia***. Veterinary Parasitology, v. 126, n. 1-2, p. 219-234.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS nº 888 de 04 de maio de 2021, Brasília, Brasil.

CAPELO-NETO, J.; LIMA, J. A. P. **Dupla filtração modificada utilizando filtro de pressão a montante de filtro ascendente no tratamento de águas eutrofizadas**. Scielo Brasil. vol. 20. nº 01. pág. 89-102. 2015.

CASTRO-JIMÉNEZ, Camilo C.; GRUESO-DOMINGUEZ, Maria C.; CORREA-OCHOA, Mauricio A.; SALDARRIAGA-MOLINA, Julio C.; GARCÍA, Edwin F. **A Coagulation Process Combined with a Multi-Stage Filtration System for Drinking**

Water Treatment: An Alternative for Small Communities. Water, v. 14, n. 20, p. 3256, 2022.

CIRNE, J. R. R. **Influência da granulometria e taxas de filtração no tratamento de água utilizando dupla filtração.** Natal, 2014. 106p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

CIRNE, J. R. R.. **Tecnologia de dupla filtração para o tratamento de água eutrofizada: revisão.** Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências CONAPESC. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Feditorarealize.com.br%2Feditora%2Fanais%2Fconapesc%2F2019%2FTRABALHO_EV126_MD1_SA6_ID2458_01082019201422.pdf&clen=435017&chunk=true. Acesso em: 30 jan. 2022.

CIRNE, José Raniery Rodrigues. **Influência da granulometria e taxas de filtração no tratamento de água utilizando dupla filtração.** 2014. Dissertação.

DANTAS, A. D.B. **Desempenho de Sistemas de Dupla Filtração no Tratamento de Água com Turbidez Elevada.** 2004. 301 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, USP.

DE PAULA, Donizeti. **Avaliação da dupla filtração para tratamento de água superficial utilizando filtração ascendente em areia grossa.** 2003.

DE OLIVEIRA, Daniele Cristina. **Avaliação da eficiência da dupla filtração para remoção de turbidez em uma estação de tratamento de água.** 2013. Monografia.

DI BERNARDO, A. S. **Desempenho de sistemas de dupla filtração no tratamento de água com turbidez elevada.** São Carlos, 2004. 281p. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

DI BERNARDO, L.; BOTARI, A. **Modelação da perda de carga na filtração direta ascendente em meio granular de areia grossa e pedregulho.** Scielo Brasil. vol. 14. nº 02. pág. 245-256. 2009.. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.scielo.br%2Fj%2Fesa%2Fa%2FYq8Y78XqMGcvWT6FMBRvkGp%2F%3Flang%3Dpt%26format%3Dpdf&clen=218658&chunk=true> Acesso em: 15 jan. 2022.

DI BERNARDO, L.; BOTARI, A. **Modelação matemática macroscópica da perda de carga e da remoção de sólidos suspensos totais na filtração direta descendente.** Scielo Brasil. vol. 12. nº 02. pág. 1495-159. 2007.. Disponível em: <chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcgiclfindmkaj/viewer.html?pdfurl=https%3A%2F%2Fwww.scielo.br%2Fj%2Fesa%2Fa%2FYq8Y78XqMGcvWT6FMBRvkGp%2F%3Flang%3Dpt%26format%3Dpdf&clen=218658&chunk=true> Acesso em: 15 jan. 2022.

DUARTE, Marco Antonio Calazans. **Tratamento de água para consumo humano de reservatório eutrofizado através de pré e interoxidação, adsorção em carvão ativado e dupla filtração**. 2011. 301 f. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

FRANCO, M.; SILVA, G.; PATERNIANI, J. **Water treatment by multistage filtration system with natural coagulant from Moringa oleifera seeds**. Tech. Pap. Eng. Agríc. 2012, 32, 989–997. [CrossRef]

FORTES, Ana Carolina Chaves; BARROCAS, Paulo Rubens Guimarães; KLIGERMAN, Débora Cynamon. A vigilância da qualidade da água eo papel da informação na garantia do acesso. **Saúde em Debate**, v. 43, n. spe3, p. 20-34, 2019.

GUSMÃO, P. T. (2001). **Utilização de Filtração Direta Ascendente como Pré-Tratamento à Filtração Rápida Descendente para Tratamento de Água para Abastecimento**. São Carlos. 335 p. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

HAQUE, S. E. Urban water pollution by heavy metals, microplastics, and organic contaminants. In: **Current directions in water scarcity research**. Elsevier, 2022. p. 21-43.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). (2008) *Pesquisa de Saneamento Básico*. Brasília: IBGE. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pnsb/default.asp?o=23&i=P>>. Acesso em: 05 jan. 2022.

LEE, S. W.; HWANG, S. J.; LEE, S. B.; HWANG, H. S.; SUNG, H. C. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. **Landscape and urban planning**, v. 92, n. 2, p. 80-89, 2009.

LIMA, José Airton Pereira. **Dupla filtração utilizando filtro de pressão à montante de filtro ascendente em mananciais eutrofizados**. 2011. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2011.

MADIGAN, Michael T. et al. Microbiologia de Brock-14ª Edição. Artmed Editora, 2016.

MEGDA, C. R (1999). **Filtração direta ascendente em pedregulho como pré-tratamento à filtração rápida descendente**. São Carlos. 170 p. Dissertação (mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

MUSHILA, C.N.; OCHIENG, G.M.; OTIENO, F.A.O.; SHITOTE, S.M.; SITTERS, C.W. **Hydraulic design to optimize the treatment capacity of Multi-Stage Filtration units**. Phys. Chem. Earth 2016, 92, 85–91.

NATIONAL GEOGRAPHIC. Earth's fresh water. Washington, D.C.: National Geographic Society, 2023. Disponível em: <https://education.nationalgeographic.org/resource/earths-fresh-water/>. Acesso em: 15 maio 2025.

NATIONAL GEOGRAPHIC. The freshwater crisis. Washington, D.C.: National Geographic Society, 2022. Disponível em: <https://www.nationalgeographic.com/environment/article/freshwater-crisis>. Acesso em: 15 maio 2025.

OLIVEIRA, Keila Castro; BASTOS, Rafael Kopschitz Xavier; SILVA, Carolina Ventura da. **Esporos de bactérias aeróbias são bons indicadores da eficiência do tratamento de água? Um estudo exploratório**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, v. 23, p. 1103-1109, 2018.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). Água potável. Ficha informativa. Genebra: OMS, 2023. Disponível em: <https://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/drinking-water>. Acesso em: 15 maio 2025.

PATIL, Y. M.; MUNAVALLI, G. R. **Performance evaluation of an Integrated On-site Greywater Treatment System in a tropical region**. *Ecological Engineering*, v. 95, p. 492-500, 2016. DOI: 10.1016/j.ecoleng.2016.06.078.

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO (2003) Dupla Filtração. In: DI BERNARDO, L. (coord.), MENDES, C. G. N., BRANDÃO, C.C.S., SENS, M. L., PÁDUA, W. L. Tratamento de água para abastecimento por filtração direta. PROSAB. São Carlos: Rima, 2003.

QUEIROZ, S. C. B. *et al.* **Dupla filtração para tratamento de água eutrofizada na região norte do Brasil**. Revista DAE. núm. 212. vol. 66. 2018. Disponível em: chrome-extension://efaidnbmnnnibpcajpcglclefindmkaj/viewer.html?pdfurl=http%3A%2F%2Frevistadae.com.br%2Fartigos%2Fartigo_edicao_212_n_1733.pdf&clen=591376&chunk=true. Acesso em: 30 jan. 2022.

QUEIROZ, S. C. B.; **Utilização da dupla filtração, oxidação e adsorção com carvão ativado pulverizado no tratamento de água eutrofizada**. Dissertação do Programa de Pós-graduação em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

SABOGAL-PAZ, Lyda Patricia; DI BERNARDO, Luiz. Eficiência e risco na seleção da tecnologia de dupla filtração. 2007. Anais 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

SABOGAL-PAZ, Lyda Patricia; MARQUES, Eduardo; ABICHABKI, Fabiana Butti; SAKAMOTO, Jaqueline Akiko. **Avaliação técnico-econômica da tecnologia**

de tratamento de água de dupla filtração. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 20, n. 4, p. 525-532, out./dez. 2015. DOI: 10.1590/S1413-41522015020040129909.

SÁNCHEZ, L.; MARIN, L.; VISSCHER, J.; RIETVELD, L. **Low-cost multi-stage filtration enhanced by coagulation-flocculation in upflow gravel filtration.** *Drink. Water Eng. Sci*, 5, 73–85, 2012.

SANTANA, J. E.; SILVA, M. A.; OLIVEIRA, R. A.; PEREIRA, L. F.; COSTA, D. C. Clarificador de fluxo ascendente em pedregulho com cinco camadas para tratamento de água bruta com presença de algas: estudo piloto na estação de tratamento de água Castello Branco/PE. **Cadernos Técnicos de Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 3, n. 1, p. 31–37, 2023.

SILVA, G. G. *et al.* **Tratamento de água de reservatórios por dupla filtração, oxidação e adsorção em carvão ativado granular.** *SciELO Brasil*. vol. 17. núm. 01. pág. 71-80. 2012. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/esa/a/C54LvNwPcQtt9h4wvkCnXhy/?lang=pt>. Acesso em: 30 jan. 2022.

SINGH, N.; POONIA, T.; SIWAL, S. S.; SRIVASTAV, A. L.; SHARMA, H. K.; MITTAL, S. K. Challenges of water contamination in urban areas. In: **Current directions in water scarcity research**. Elsevier, 2022. p. 173-202.

THAYER, Béchir Ben; RIAHI, Khalifa; BOUDHRAA, Houda. **Élimination de la turbidité par oxygénation et filtration successives des eaux de la station de Sfax (Sud de la Tunisie).** *Revue des sciences de l'eau*, Québec, v. 20, n. 4, p. 355-365, 2007. DOI: 10.7202/016910ar.

TORRES-LOZADA, Patricia; AMEZQUITA-MARROQUÍN, Claudia Patricia; AGUDELO-MARTÍNEZ, Karen Daniela; ORTIZ-BENÍTEZ, Natalia; MARTÍNEZ-DUCUARA, David Santiago. **Evaluation of turbidity and dissolved organic matter removal through double filtration technology with activated carbon.** *Revista DYNA*, v. 85, n. 205, p. 234-239, jun. 2018. DOI: 10.15446/dyna.v85n205.65488.

WORLD HEALTH ORGANIZATION *et al.* Water quality and health-review of turbidity: information for regulators and water suppliers. 2017.