AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DOS FILTROS DESCENDENTES DA ETA CUBATÃO

Karoline Ducci dos Santos[(1)]
Técnica em Química. Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária.

Endereço[(1)]**:** Rua João Hercílio dos Santos, 76 - Costa e Silva - Joinville - Santa Catarina - CEP: 89220-525 - Brasil - Tel: +55 (47) 99760-6379 - e-mail: karoline.ducci@aguasdejoinville.com.br

RESUMO

As estações de tratamento de água de ciclo completo incluem coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção, sendo a filtração essencial para remover partículas finas. O objetivo do estudo foi avaliar o desempenho dos filtros descendentes da ETA Cubatão quanto às condições do meio filtrante, transpasse de impurezas e eficiência da lavagem. Observou-se desnível superior a 5 cm no meio filtrante, podendo comprometer a distribuição da água de lavagem, embora espessura e camadas estejam adequadas. Verificou-se relação direta entre a turbidez da água decantada e filtrada, com maior transpasse no filtro 19. A lavagem mostrou-se fundamental para restabelecer a qualidade da água. A expansão do meio filtrante apresentou-se acima do recomendado pela literatura e a injeção de ar não apresentou homogeneização adequada nos filtros 19 e 24. Conclui-se que a expansão excessiva do meio filtrante e a menor homogeneidade da injeção de ar podem ter reduzido a eficiência da lavagem e contribuído para os maiores valores de turbidez da água filtrada. Recomenda-se a realização de análises periódicas do meio filtrante e da lavagem dos filtros, além de estudos mais longos para otimização do processo.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração rápida, Desempenho operacional, Tratamento de água.

INTRODUÇÃO

A água é um recurso natural essencial para a sobrevivência humana, porém para que possa ser consumida, necessita ser tratada, para promoção de saúde e prevenção de doenças. O processo de tratamento de água é um conjunto de operações que a tornam potável. Em uma Estação de Tratamento de Água (ETA) de ciclo completo normalmente estão presentes as operações de captação, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

A filtração é uma etapa do tratamento de água responsável pela remoção de partículas finas, por meio de interações físico-químicas entre o meio filtrante e os sólidos presentes na água efluente. Essa fase é fundamental para assegurar a qualidade da água destinada ao abastecimento público, pois constitui a etapa final de remoção de impurezas sólidas do processo (Seckler, 2017).

A Portaria GM/MS nº 888/2021 define os padrões de potabilidade da água destinada ao consumo humano, estabelecendo que a turbidez da água filtrada em filtros rápidos deve ser igual ou inferior a 0,5 NTU em 95% das amostras analisadas, podendo atingir até 1,0 NTU no percentual restante.

Problemas operacionais em filtros descendentes podem resultar no aumento da turbidez da água tratada, comprometendo a eficiência do sistema e podendo representar riscos à saúde pública. Alguns dos fatores que influenciam no bom funcionamento de um filtro são: carreira de filtração, água efluente, meio filtrante, velocidade de filtração, perda de carga e perturbações no fluxo de água passando pelo filtro (Richter, 1991).

A avaliação do desempenho dos filtros torna-se essencial para identificar falhas operacionais, como deficiência na lavagem, taxa de filtração inadequada e ocorrência de picos de turbidez, contribuindo para a otimização do processo, melhoria da qualidade da água tratada e suporte à tomada de decisão na operação da ETA.

Dessa forma, o objetivo do trabalho é avaliar o desempenho dos filtros descendentes da ETA Cubatão quanto às condições do meio filtrante, transpasse de impurezas e eficiência da lavagem.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O processo de tratamento de água é um conjunto de operações unitárias, de modo a torná-la apta para abastecimento público, conforme padrões de potabilidade da Portaria GM/MS nº 888 de 2021.

FILTRAÇÃO

A filtração é um processo de separação de fases que envolve fenômenos físicos e químicos, com o objetivo de remover impurezas da água por meio da sua passagem através de um meio poroso. Os filtros rápidos são constituídos, geralmente, por uma camada de areia e, em alguns casos, por uma camada adicional de material mais grosso e menos denso, como o antracito, disposta acima da areia, permitindo a operação com taxas de filtração mais elevadas (Richter, 1991).

No processo de filtração, a remoção de impurezas se dá pelos mecanismos de transporte e aderência.

O mecanismo de transporte é responsável pela passagem da partícula da fase líquida até a superfície do meio filtrante, sendo preponderantemente físico e regidos pelas condições operacionais como, taxa de filtração e características do meio filtrante. Os grãos de areia de filtros rápidos são em média 0,5 mm, dessa forma ficam retidos nos filtros partículas de diâmetros iguais ou superiores a 77,5 µm. Além disso, ocorrem processos de sedimentação, intercepção e transporte por difusão browniana para remoção das partículas nos filtros (Seckler, 2017).

O mecanismo de aderência caracteriza-se pelas forças superficiais envolvidas entre as partículas e os grãos do meio filtrante, sendo predominantemente de natureza química e dependente da eficiência da coagulação realizada na etapa anterior. As partículas que compõem o meio filtrante apresentam carga elétrica negativa, assim a aproximação de colóides promove interações que podem ser repulsivas ou atrativas, conforme sua carga superficial. Para que ocorra a remoção das partículas, é necessária sua desestabilização durante o processo de coagulação, favorecendo a interação atrativa entre os coloides e o meio filtrante e, consequentemente, sua retenção, resultando em água filtrada com menor turbidez (Seckler, 2017).

Os filtros podem ser classificados quanto:

- Processo de tratamento: filtração convencional, filtração direta ou filtração em linha;
- Sentido do escoamento: descendente ou ascendente;
- Taxa de filtração: filtros lentos, filtros rápidos ou filtros rápidos de alta taxa;
- Meio filtrante: Camada única (areia, antracito ou carvão ativado), dupla camada (areia + antracito ou carvão ativado) ou tripla camada (granada + areia + antracido ou carvão ativado).

VARIÁVEIS QUE INTERFEREM NA FILTRAÇÃO

Segundo Seckler (2017), caso as unidades de filtração não estejam operando de forma satisfatória, há tendência de deterioração da qualidade da água filtrada, o que pode comprometer suas características estéticas e reduzir a eficiência do processo de desinfecção.

Conforme Richter (1991), algumas variáveis interferem no bom funcionamento do sistema de filtração, na Tabela 1 estão descritos cada item e sua interferência no processo.

Tabela 1 - Variáveis que interferem no bom funcionamento dos filtros.

Itens	Interferência
Carreira de filtração	Preferencialmente acima de 24h.
Características da água aplicada	Quanto menor a turbidez da água aplicada maior a qualidade da água filtrada.
Características do meio filtrante	Fixadas em projetos e de difícil mudanças operacionais.
Velocidade de filtração	Pouco significativa, porém normalmente uma taxa baixa produzirá um efluente de melhor qualidade.
Perda de carga	O aumento pode tornar pior a qualidade da água filtrada.
Perturbações no fluxo de água	Afetará em maior ou menor grau dependendo da sua intensidade.

Fonte: Elaboração própria (Adaptado de Richter,1991).

LAVAGEM DOS FILTROS

Para garantir a eficácia da filtração é importante observar o comportamento hidráulico do meio filtrante, pois com o tempo o material granular tende a ser preenchido com impurezas em seus espaços vazios, acarretando perda de carga, sendo necessário lavagem do filtro. O tempo para diminuição da perda de carga dependerá das características do meio filtrante, taxa de filtração, concentração de partículas coloidais no afluente e seu padrão de deposição no meio filtrante (Richter, 1991).

Conforme Seckler (2017), durante a operação dos filtros é importante verificar a turbidez e perda de carga, pois no decorrer do seu funcionamento poderá ocorrer elevação da perda de carga no sistema até a carga hidráulica máxima e aumento de turbidez da água filtrada até o limite máximo, caso qualquer uma das variáveis for alcançada, é necessário que seja interrompido o funcionamento do filtro para lavagem do meio filtrante. O tempo de início da operação do filtro até a lavagem é chamado de carreira de filtração.

A carreira de filtração passa por três etapas, etapa inicial quando a água filtrada pode apresentar qualidade insatisfatória, etapa intermediária com produção de água de qualidade desejável e etapa do transpasse quando ocorre o aumento contínuo da turbidez da água filtrada. O ideal é finalizar a carreira de filtração sem o transpasse, dessa forma ocorre a lavagem após perda de carga, porém é comum ocorrer o transpasse quando a taxa de filtração é constante. Assim, com o aumento progressivo da quantidade de partículas nos vazios do meio e a taxa de filtração se mantendo constante, a velocidade intersticial e as forças de cisalhamento aumentam, acarretando partículas carreadas para o efluente (Di Bernardo *et al.*, 2017).

Segundo Di Bernardo *et al*. (2011 apud. Sarmento, 2023), a "lavagem é realizada geralmente pela introdução de água no sentido ascensional, com velocidade elevada, a fim de gerar a fluidificação parcial do meio granular, liberando as impurezas". A utilização de ar e água para lavagem dos filtros, isolado ou simultaneamente, se mostra mais eficaz que apenas água, pois o ar ajuda a desprender as impurezas aderidas aos grãos do meio filtrante.

O tempo de injeção de ar é variável e depende de fatores como: tipo, composição e espessura do meio filtrante; qualidade da água afluente aos filtros; composição das impurezas retidas; etc. Normalmente, é recomendável a aplicação de 3 a 5 min de ar, em que deve estar distribuído uniformemente durante toda a lavagem (Di Bernardo *et al.*, 2011).

A lavagem com a água deverá ser interrompida apenas quando o filtro estiver limpo, podendo ser observado com a análise de turbidez da água de lavagem abaixo de 1 NTU. A vazão de água para lavagem deve ser igual entre cada filtro, podendo ter uma diferença de até 10%. Além disso, a vazão deve ser adequada para expansão do meio filtrante, sem perda de material, para que a limpeza seja realizada com eficácia (Richter, 1991).

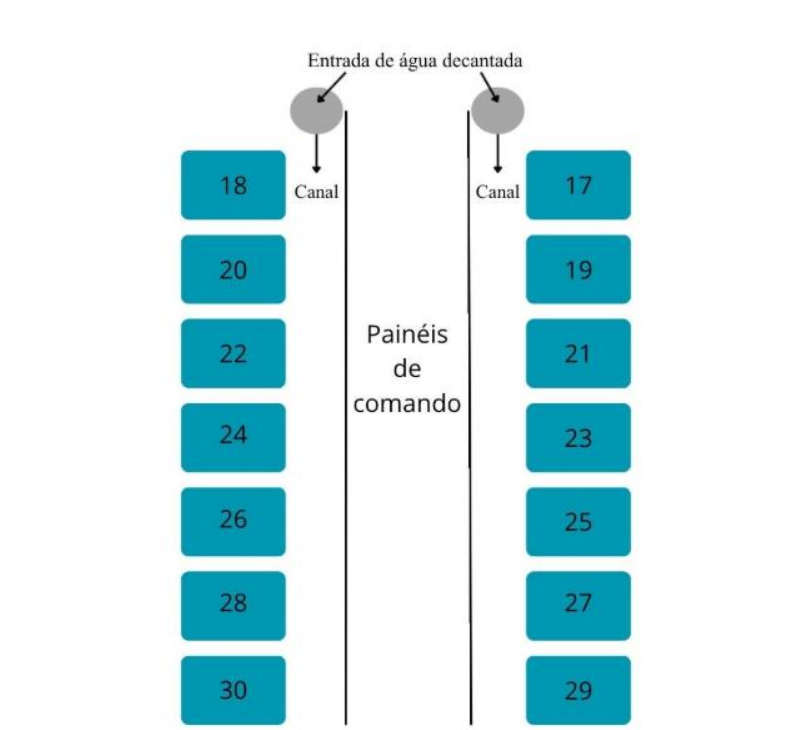
METODOLOGIA

A ETA Cubatão, localizada no município de Joinville, sob concessão da Companhia Águas de Joinville, teve seu início de operação em 1972, sendo o principal sistema de tratamento de água da cidade. Sua capacidade de tratamento é de 1850 L/s. É uma estação de água de ciclo completo, ou seja, possui captação, coagulação, floculação, decantação, filtração e desinfecção.

O sistema de filtração da ETA é composto por 16 filtros ascendentes e 14 filtros descendentes. Os filtros ascendentes são do tipo filtração rápida, utilizando como meio filtrante camadas de seixos e areia com cinco diferentes granulações. O sistema de lavagem desses filtros é realizado inicialmente com água tratada por determinado período e, posteriormente, com água decantada, até a clarificação da água de lavagem. A carreira de filtração é de aproximadamente 48 horas.

Os filtros descendentes são compostos por argila expandida com duas granulações distintas, no topo do meio filtrante a granulação vai de 1,5 mm a 2,5 mm, enquanto no fundo fica a granulação menor de 0,8 mm a 1,6 mm. São 14 filtros existentes, porém apenas 8 encontram-se em operação. O sistema de lavagem desses filtros é realizado por meio de ar e água filtrada, sendo aplicada injeção de ar por 3 minutos, seguida de lavagem com água até a clarificação, levando em média 10 min a 15 min. A carreira de filtração é de aproximadamente 72 horas. A disposição dos filtros descendentes e sua numeração está apresentada na figura 1.

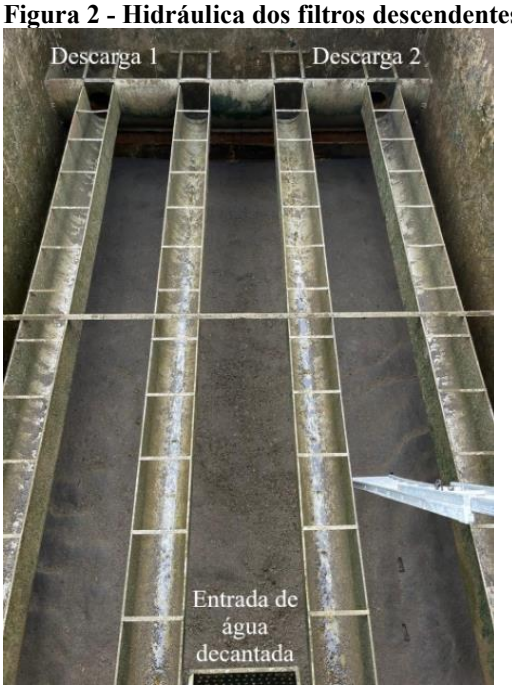
Figura 1 - Disposição dos filtros descendentes.



Fonte: Elaboração própria (2026).

Quanto à hidráulica dos filtros descendentes, a entrada de água decantada ocorre próxima ao canal, por meio de comportas, a água filtrada é coletada pela parte inferior dos filtros e cada unidade possui duas descargas, acopladas às calhas, destinadas à saída de água durante a lavagem, conforme Figura 2.

Figura 2 - Hidráulica dos filtros descendentes.



Fonte: Elaboração própria (2026).

O meio filtrante dos filtros descendentes foi substituído em 2024, porém não apresentou melhoria significativa na remoção de turbidez em comparação com o meio filtrante anterior, com análises da turbidez da água filtrada acima de 1 NTU em diversos momentos, levando-se a hipótese de que fatores associados à lavagem dos filtros e à distribuição do meio filtrante poderiam estar comprometendo o desempenho operacional do sistema.

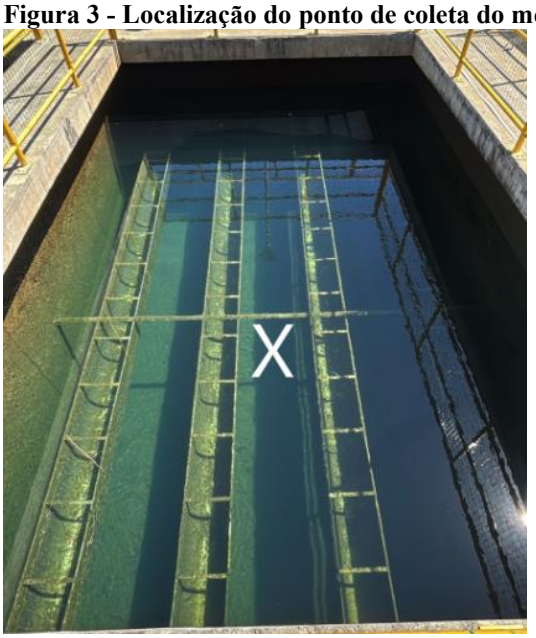
Para identificação da causa raiz do problema, realizou-se a avaliação dos filtros em relação às condições do meio filtrante, transpasse de impurezas e eficiência da lavagem, segundo metodologia explicada por Di Bernardo *et al*. (2011).

Realizou-se a análise em 3 filtros descendentes, conforme recomendação metodológica de Di Bernardo *et al.* (2011) para sistemas com oito unidades operantes.

MEIO FILTRANTE

Em relação ao meio filtrante analisou-se a espessura do meio, para isso drenou-se o filtro, com auxílio de trado coletou-se amostras do topo e do fundo do meio filtrante no local apresentado na Figura 3, mediu-se a espessura da camada filtrante e verificou-se se há presença de bolas de lodo.

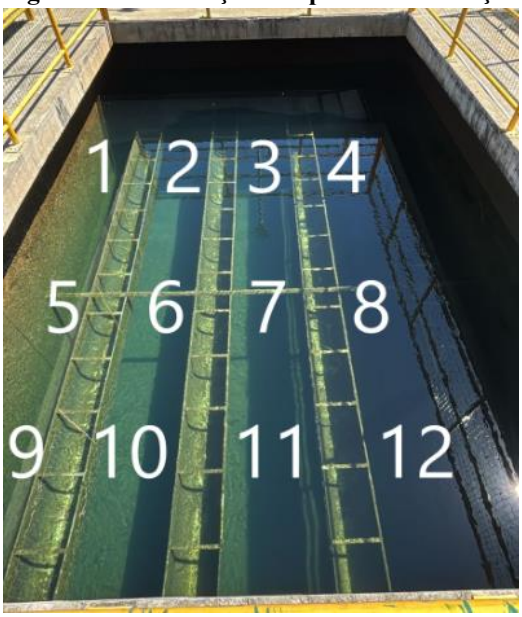
Figura 3 - Localização do ponto de coleta do meio filtrante com trado.



Fonte: Elaboração própria (2026).

Realizou-se a batimetria do topo do meio filtrante, com a medição da profundidade do topo em relação à calha de saída da água de lavagem, com o auxílio de uma trena, em 12 pontos, conforme mostrado na Figura 4.

Figura 4 - Localização dos pontos de medição da batimetria.



Fonte: Elaboração própria (2026).

TRANSPASSE DE IMPUREZAS

Verificou-se o comportamento do filtro em relação à turbidez da água filtrada ao longo da carreira de filtração, as análises foram coletadas a partir do sistema MyLims, onde a operação faz o registro dos dados de turbidez da água filtrada a cada 2 horas. Avaliou-se a taxa de filtração, determinada por meio de balanço de massa, considerando a existência de medidor de vazão na entrada dos filtros ascendentes. Assim, conhecendo-se a vazão medida na calha Parshall (entrada da ETA) e a vazão destinada aos filtros ascendentes, obteve-se, por diferença, a vazão correspondente aos filtros descendentes.

EFICIÊNCIA DA LAVAGEM

Avaliou-se a expansão do meio filtrante, com o auxílio de um dispositivo de coleta confeccionado especificamente para esta análise (Figura 5), conforme descrito por Di Bernardo *et al.* (2011). Posicionou-se o dispositivo no fundo do filtro antes do início da operação de lavagem com água e retirou-se ao final do processo, assim verificou-se a porcentagem de expansão do material filtrante durante a lavagem.

Figura 5 - Dispositivo para coleta da análise de expansão do meio filtrante.



Fonte: Elaboração própria (2026).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os filtros descendentes são numerados do 18 ao 30, sendo que estão em operação os filtros 19, 20, 22, 24, 25, 26, 27 e 28. As análises foram realizadas em três filtros, o 19, 24 e 27.

MEIO FILTRANTE

A Tabela 2 apresenta os valores da batimetria e espessura do meio filtrante realizadas em cada filtro.

Tabela 2 - Resultados da batimetria e espessura do meio filtrante (em negrito estão destacados os pontos de medição menores e maiores utilizados para o cálculo da diferença).

Filtro	Espessura do meio (cm)	Batimetria (m)												Diferença (m)
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7	P8	P9	P10	P11	P12	
19	73	**1,57**	1,58	1,58	1,58	**1,63**	1,62	1,6	1,6	1,63	1,62	1,62	1,62	0,06
24	72	1,5	**1,49**	1,49	1,51	**1,56**	1,51	1,53	1,54	1,52	1,49	1,53	1,56	0,07
27	77	**1,57**	1,51	1,55	1,52	1,53	1,53	1,52	**1,5**	1,57	1,54	1,53	1,53	0,07

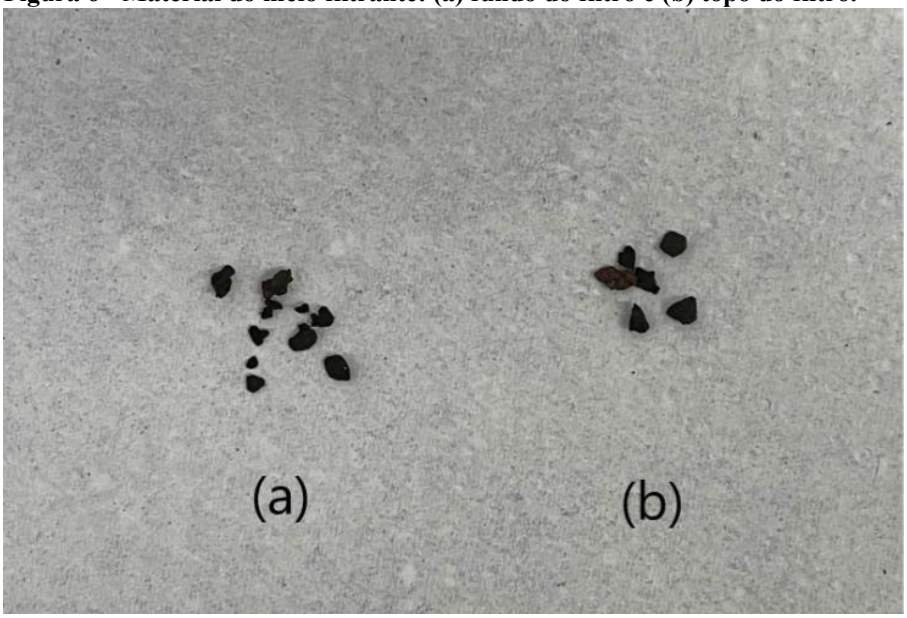
Fonte: Elaboração própria (2026).

Observa-se que, nos filtros 24 e 27, foram identificadas diferença de 7 cm entre a maior e a menor medida registradas, enquanto no filtro 19 a diferença foi de 5 cm. De acordo com Sarmento (2023), diferenças superiores a 5 cm podem sinalizar perda de material granular, além de distribuição irregular da água de lavagem. Assim, quanto maior essa diferença, menor é a uniformidade na distribuição da água de lavagem, o que pode ocasionar a remoção de material em determinadas regiões e o acúmulo em outros pontos do filtro.

Quanto à espessura do meio filtrante, foram medidos valores superiores a 70 cm em todos os filtros, estando, portanto, dentro da faixa prevista em projeto, que varia entre 70 e 80 cm.

O meio filtrante é composto por dois tipos de granulações de argila expandida, sendo dispostas a de menor granulação no fundo e a de maior granulação no topo. Após a coleta do material com trado (Figura 6), observou-se que não há mistura dele em nenhum dos filtros estudados. Além de não ter formação de bolas de lodo no seu interior.

Figura 6 - Material do meio filtrante: (a) fundo do filtro e (b) topo do filtro.



Fonte: Elaboração própria (2026).

TRANSPASSE DE IMPUREZAS

A Tabela 3 mostra quantos dados tiveram turbidez acima de 0,5 NTU, a turbidez média, mediana e desvio padrão de cada filtro no período analisado.

Tabela 3 - Turbidez da água filtrada.

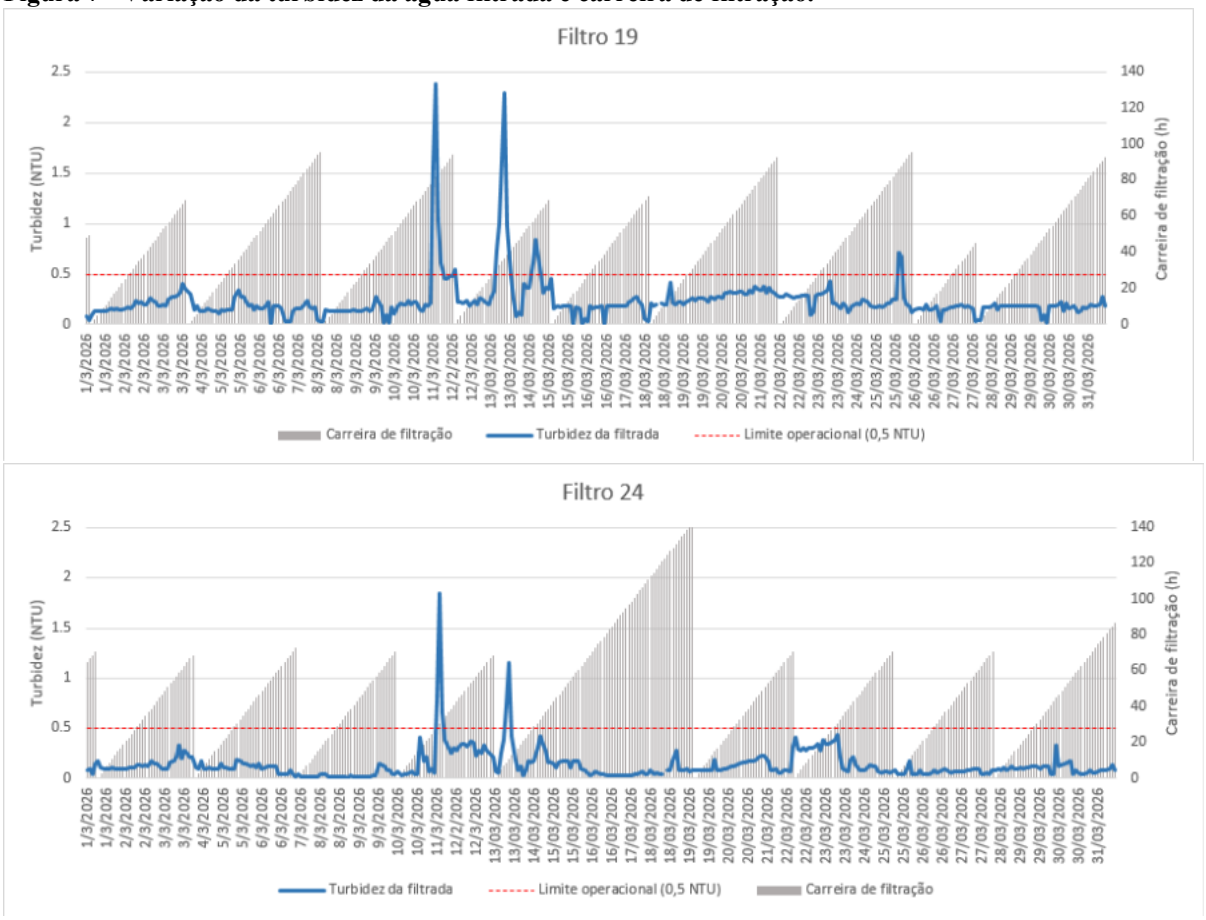
Turbidez	Filtro 19	Filtro 24	Filtro 27
Número de dados	370	370	370
Acima de 0,5 NTU	16	5	10
Média (NTU)	0.24	0.14	0.06
Mediana (NTU)	0.19	0.10	0.01
Desvio Padrão	0.23	0.15	0.17

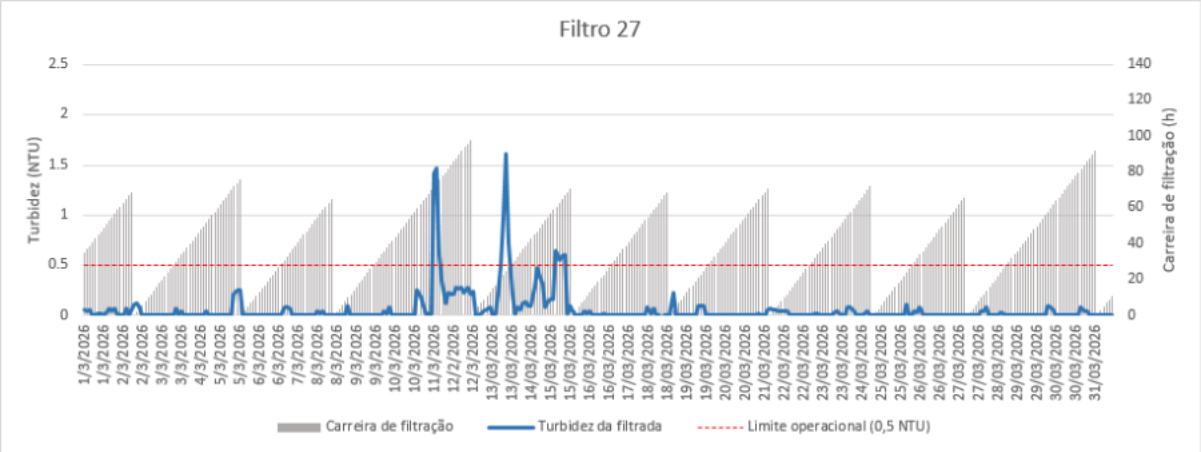
Fonte: Elaboração própria (2026).

Todos os filtros obtiveram turbidez da água filtrada igual ou inferior a 0,5 NTU em 95% das amostras analisadas, seguindo o que a Portaria GM/MS nº 888/2021 define. A média e mediana da turbidez da água filtrada foram maiores no filtro 19 e menores no filtro 27.

A figura 7 mostra a variação da turbidez da água filtrada ao longo da carreira de filtração de cada filtro analisado.

Figura 7 - Variação da turbidez da água filtrada e carreira de filtração.



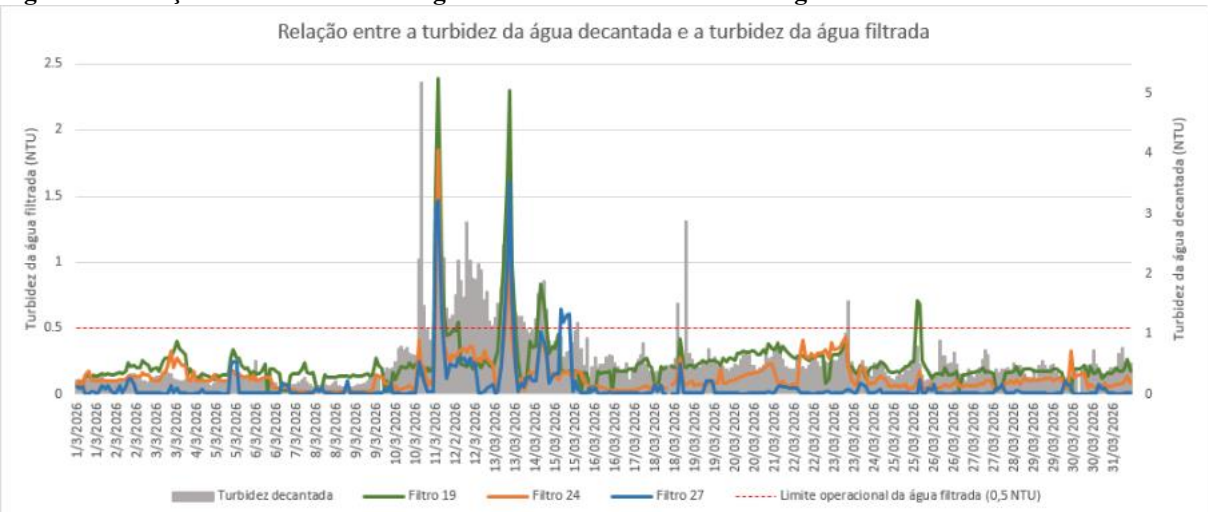


Fonte: Elaboração própria (2026).

Observam-se dois picos de turbidez da água filtrada em todos os filtros no dia 11/3 e 13/3, estando acima do habitual até o dia 15/3, o filtro 19 foi o que apresentou maior transpasse, chegando à turbidez de 2,4 NTU. Observa-se que o filtro 19 e 27 no final da carreira de filtração do dia 15/3 está com turbidez elevada, porém após a lavagem diminui consideravelmente, permanecendo assim no restante do mês, sendo evidente a importância da lavagem dos filtros após elevação da turbidez. Nos outros dias, não foi observado mudança significativa na turbidez da água filtrada no decorrer da carreira de filtração, visto que as lavagens dos filtros ocorrem por tempo determinado (72 h) e não por aumento da turbidez ou perda de carga.

A Figura 8 faz a comparação entre turbidez da água filtrada e turbidez da água decantada.

Figura 8 - Relação entre turbidez da água decantada e a turbidez da água filtrada.

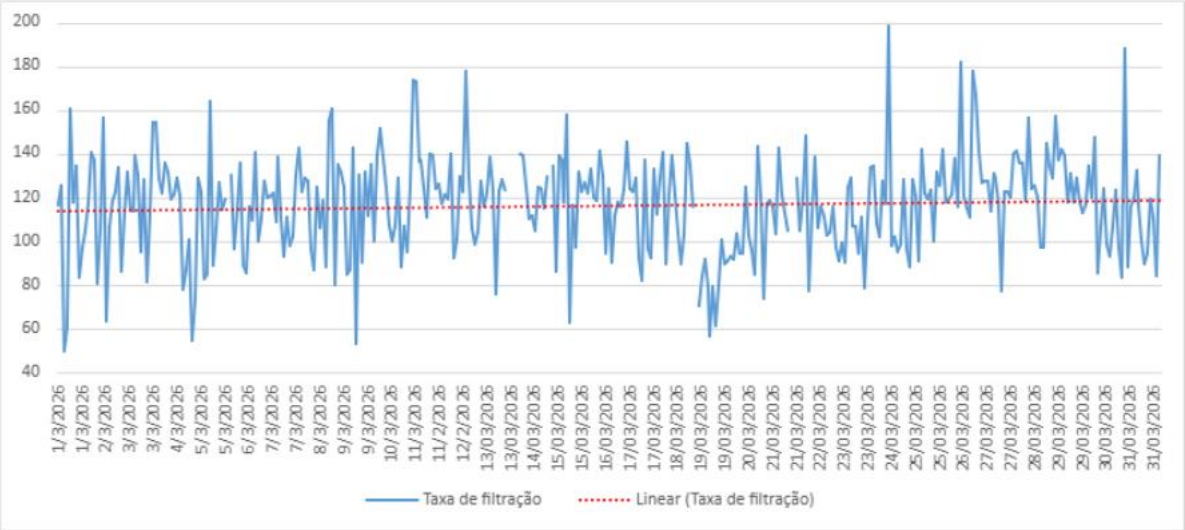


Fonte: Elaboração própria (2026).

Observa-se que quando a turbidez da água decantada tem pequenos picos sem longa prolongação, não há aumento significativo na turbidez da água filtrada. Entretanto, em períodos prolongados de elevação, como o observado entre os dias 11/03 e 15/03, há aumento da turbidez da água filtrada, com dificuldade de redução desses valores, os quais retornam a níveis mais baixos apenas após a realização da lavagem dos filtros. O período analisado foi pequeno para identificar maiores correlações entre os dois parâmetros.

Na Figura 9 está apresentado o comportamento da taxa de filtração dos filtros descendentes no período analisado.

Figura 9 - Comportamento da taxa de filtração (m³/m²/dia) durante o período analisado.



Fonte: Elaboração própria (2026).

Foram calculados a média, mediana e desvio padrão, obtendo-se respectivamente, 116, 119 e 22,8 m³/m²/dia. Nota-se que, com o valor baixo do desvio padrão e com a linearidade da linha de tendência do gráfico, a taxa de filtração não apresentou oscilações significativas, sem tendência contínua de aumento ou redução de taxa, mantendo-se abaixo de 360 m³/m²/dia como recomendado pela NBR 12216:1992 para filtros descendentes rápidos de dupla camada.

EFICIÊNCIA DA LAVAGEM

A expansão do meio filtrante foi de 75% em todos os filtros, quando o nível de água, antes da injeção de ar, era ≤ 20 cm. Acima desse nível, observou-se expansão de 95% no filtro 19 e de 100% no filtro 27. Conforme Richter (2018), é necessário gerar uma expansão adequada do meio filtrante para que a limpeza seja realizada com eficácia, expansões entre 25% e 50% são satisfatórias, expansões acima dessa faixa reduzem a fricção dos grãos e facilitam a perda de material, enquanto expansões menores levam ao acúmulo de impurezas nos vazios porosos, potencializando a ocorrência de bolas de lodo no interior deles e prejudicando a turbidez da água filtrada.

Observou-se que, durante a injeção de ar, o filtro 19 apresentou menor intensidade em relação aos demais, enquanto o filtro 24 apresentou intensidade inferior à do filtro 27. Além disso, o filtro 27 demonstrou ótima homogeneização, ao passo que os filtros 19 e 24 apresentaram menor distribuição de ar, especialmente nas regiões próximas à entrada de água (Figura 10).

Figura 10 - Injeção de ar nos filtros, na sequência, filtro 19, 24 e 27.



Fonte: Elaboração própria (2026).

A injeção de ar não se mostrou constante no filtro 19, durante os 3 minutos de operação, houve interrupção aproximadamente na metade do tempo, com posterior retomada. Esse comportamento pode estar associado à insuficiência de pressão do soprador, considerando que esse filtro é o mais distante do equipamento entre os analisados.

A tabela 4 mostra uma síntese dos resultados encontrados.

Tabela 4 - Resultados do estudo.

Aspecto	Resultado
Nivelamento do meio	Diferença de até 7 cm
Espessura do meio	Adequada
Bolas de lodo	Não observadas
Transpasse de impurezas	Maior no filtro 19
Expansão do meio	75–100%
Homogeneidade do ar	Deficiente nos filtros 19 e 24

Fonte: Elaboração própria (2026).

Os principais problemas encontrados foram a expansão do meio filtrante e a homogeneidade do ar, esses fatores podem ter levado ao desnivelamento do meio e ao transpasse de impurezas, maior no filtro 19, possivelmente associada à menor eficiência da lavagem observada nessa unidade

CONCLUSÃO

As análises do meio filtrante e do processo de lavagem dos filtros são, em geral, pouco realizadas em estações de tratamento de água, no entanto, são essenciais para a identificação, resolução e prevenção de problemas. Além disso, as análises analíticas são igualmente fundamentais para a identificação de tendências e de possíveis mudanças operacionais.

Conclui-se que os filtros descendentes da ETA Cubatão apresentam diferenças no nivelamento do meio filtrante, podendo comprometer a distribuição da água de lavagem. A espessura e a estratificação do meio filtrante estão adequadas. Observou-se maior transpasse de impurezas no filtro 19, com relação direta entre a turbidez da água decantada e da água filtrada, sendo a lavagem dos filtros essencial após pico de turbidez da água decantada. A expansão do meio filtrante mostrou-se acima do recomendado pela literatura, indicando diminuição da fricção dos grãos durante a lavagem, além disso, a baixa homogeneidade da injeção de ar também interfere negativamente nesse processo.

Portanto, a expansão excessiva do meio filtrante e a menor homogeneidade da injeção de ar, principalmente no filtro 19 e 24, podem ter reduzido a eficiência da lavagem e contribuído para os maiores

valores de turbidez da água filtrada.

Para estudos futuros, sugere-se a avaliação do tempo de injeção de ar, uma vez que 3 minutos podem não ser suficientes para promover a completa homogeneização do meio filtrante. Recomenda-se a realização de novos estudos utilizando a mesma metodologia, porém em períodos mais extensos, considerando que o trabalho foi conduzido ao longo de apenas um mês e em período de baixa pluviosidade, o que pode não representar as condições operacionais mais críticas da estação.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Maria Aparecida Silva de Paula pela contribuição na revisão deste artigo e à Companhia Águas de Joinville pelo apoio e pela oportunidade de realização deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria GM/MS 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. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 24 maio 2021. Disponível em <https://www.in.gov.br/en/web/dou/-/portaria-gm/ms-n-888-de-4-de-maio-de-2021-318461562> Acesso em: 18/03/2026.

2. DI BERNARDO, L.; DANTAS A D. B.; VOLTAN, P. E. N. Métodos e técnicas de tratamento de água. São Carlos: LDiBe, 2017.

3. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B.; VOLTAN, P; E. N. Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em Estações de Tratamento de Água. São Carlos: LDiBe, 2011.

4. RICHTER, C. A. Tratamento de água. São Paulo: Editora Blucher, 1991

5. SARMENTO, P. V. F. Avaliação do sistema de lavagem dos filtros de uma ETA de filtração direta descendente. 2023.Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2023.

6. SECKLER, S. Tratamento de Água - Concepção, Projeto e Operação de Estações de Tratamento. Rio de Janeiro: GEN LTC, 2017.