

I-320 – TRATAMENTO DE ÁGUA DE MANANCIAL COM BAIXA COR E TURBIDEZ POR FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE

Julyenne Kerolainy Leite Lima⁽¹⁾

Técnica em Controle Ambiental pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Engenheira Civil pela Universidade Potiguar. Mestre em Ciências Ambientais pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte. Técnica de Engenharia em Controle Ambiental da Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte.

Marco Antonio Calazans Duarte⁽²⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

Ygo Mgno de Araújo⁽³⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Mestrando em Engenharia Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

André Luis Calado de Araújo⁽⁴⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Pará. Mestre em Engenharia Sanitária pela Universidade Federal de Campina Grande. Doutor em Engenharia Civil pela Universidade de Leeds (Inglaterra). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Senador Salgado Filho, 1555 - Tirol - Natal - RN - CEP: 59015-000 - Brasil - Tel: (84) 3232-6480 - e-mail: julyenne@caern.com.br

RESUMO

A escolha da tecnologia de tratamento de água deve ser feita em função das características físico-químicas e biológicas da água bruta. Situada no Rio Grande do Norte, a ETA Extremoz é uma estação do tipo convencional, que realiza o tratamento de 750 l/s de água proveniente da lagoa de Extremoz. Apesar de ter sido projetada como ETA convencional, o histórico das variáveis cor aparente e turbidez da água bruta não condiz com os parâmetros recomendados para a tecnologia de tratamento adotada. Como consequência, a ETA passou a operar como filtração direta descendente desde início de 2001. A necessidade de ajustes em ETA similares à ETA Extremoz indica a importância da realização de estudos que visem avaliar as condições ideais do tratamento para água com baixa cor e turbidez. Esse trabalho objetivou avaliar em que medida a filtração direta descendente pode ser indicada para o tratamento de água com tais características. Para isso, a pesquisa comparou os resultados do tratamento da água em leito filtrante simples de areia e leito filtrante duplo de areia e carvão antracito. Os experimentos foram realizados em Instalação Piloto de Tratamento de Água por Oxidação, Adsorção e Dupla Filtração, implantada nas dependências da ETA Extremoz. Foi avaliada a qualidade da água tratada para quatro taxas de filtração, 253, 280, 310 e 340 m³/m².dia. Para o leito filtrante simples de areia foram realizados experimentos em filtros com 700 mm de espessura de camada filtrante e diâmetro efetivo dos grãos de 0,50, 0,57 e 0,87 mm. Para o leito filtrante duplo, de areia e carvão antracito, a espessura da camada filtrante de areia foi reduzida para 450 mm, sendo incluída camada de carvão antracito com 250 mm de espessura e tamanho efetivo dos grãos de 1,00 mm. Concluiu-se que apenas para o leito duplo de areia e carvão antracito, todas as três granulometrias e quatro taxas de filtração estudadas atenderam aos padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria da Consolidação Nº 5/2017.

PALAVRAS-CHAVE: Filtração direta, Tratamento de água, Abastecimento de água.

INTRODUÇÃO

A tecnologia da filtração direta surgiu da dificuldade do tratamento de águas com turbidez e cor relativamente baixas em Estações de Tratamento de Água (ETA) do tipo convencional. Nas ETA convencionais a coagulação da água é realizada pelo mecanismo de varredura, porém, quando esse mecanismo é aplicado em águas com baixa cor e turbidez ocorre a formação de flocos com baixa velocidade de sedimentação que apresentam dificuldade para ser removidos por decantação. Nesses casos recomenda-se que a coagulação ocorra por

adsorção-neutralização de cargas e que seja dispensada a unidade de sedimentação, devendo a água coagulada ser encaminhada diretamente para a unidade de filtração.

Situada no Rio Grande do Norte, a ETA Extremoz é uma estação do tipo convencional, que realiza o tratamento de 750 l/s de água proveniente da lagoa de Extremoz, atendendo cerca de 300.000 habitantes da zona norte de Natal, capital do estado. Apesar de ter sido projetada como ETA convencional, o histórico dos últimos 26 anos da água bruta apresenta média para as variáveis cor aparente e turbidez de 35 uH e 5,17 uNT, respectivamente, não condizendo com os parâmetros recomendados para a tecnologia de tratamento adotada (PEREIRA, 1993; DUARTE, 1999; RIO GRANDE DO NORTE, 2017; CIRNE, 2014; NG, 2017; FREITAS, 2017; BRITO, 2018; BRITO; DUARTE; ARAÚJO, 2018; KAWAMURA, 2000; SABOGAL PAZ, 2007; RICHTER, 2009).

Como consequência a ETA passou a operar com filtração direta descendente desde início de 2001 por meio de arranjos operacionais, onde a coagulação na estação passou a ocorrer por meio do mecanismo de adsorção-neutralização de cargas, os agitadores dos floculadores foram desativados e os decantadores passaram a servir como câmaras de passagem para a água coagulada seguir para os filtros com leito simples de areia. Ainda assim, Ng (2017) ao caracterizar a qualidade da água após o tratamento na ETA Extremoz, no período compreendido entre maio de 2015 e abril de 2016, mostrou valores para turbidez e cor aparente acima do estabelecido pela Portaria 2.914/2011, vigente na época (BRASIL, 2011).

Na região Nordeste há diversas captações em reservatórios naturais ou artificiais de água, que funcionam como decantadores naturais, nos quais a qualidade da água bruta favorece o emprego da filtração direta, como ocorre na lagoa de Extremoz. A necessidade de readequações em estações de tratamento similares à ETA Extremoz indica a relevância da realização de estudos que visem avaliar as condições ideais do tratamento para água com estas características. Nesse sentido, importa-se saber em que medida a filtração direta descendente pode ser indicada para o tratamento de água com baixa cor e turbidez.

MATERIAIS E MÉTODOS

Objeto de estudo

A lagoa de Extremoz está localizada a 15 km de Natal (35°18'26''W e 05°42'20''S), possui capacidade de armazenar 11.019.525 m³ e ocupa uma área de 359 ha. Integra a bacia hidrográfica do Rio Doce, que possui 38.780 ha de área de drenagem (RIO GRANDE DO NORTE, 2018).

Nas dependências da ETA Extremoz, foi montada, a Instalação Piloto de Tratamento de Água para Abastecimento por Oxidação, Adsorção e Dupla Filtração (IPDF), para a realização de testes e pesquisas. Para esse estudo, a IPDF foi alimentada pela água bruta da lagoa de Extremoz de março de 2017 a outubro de 2018 e simulou hidráulicamente as condições de operação de uma ETA de filtração direta descendente.

Para a realização desta pesquisa, foi utilizado um reservatório de água bruta, dois conjuntos de preparação e dosagem de produtos químicos, duas câmaras de pré-oxidação, uma câmara de mistura rápida, três filtros descendentes de areia e um reservatório de água tratada e de lavagem dos filtros. A Figura 1 mostra vista longitudinal da IPDF.



Figura 1: Vista longitudinal da IPDF.

Legenda: (1) reservatório de água bruta; (2) conjuntos de preparação e dosagem de produtos químicos; (3) caixa de distribuição de vazão; (4) câmaras de pré-oxidação; (5) câmaras de adsorção em carvão ativado pulverizado; (6) câmara de sucção intermediária; (7) câmara de mistura rápida (8) filtros de fluxo ascendente de pedregulho; (9) câmaras de inter-oxidação; (10) filtros rápidos de fluxo descendente de areia; (11) filtros de contato em leito de carvão ativado granulado; (12) câmara de sucção de água tratada/lavagem; (13) reservatório de água tratada e de lavagem dos filtros.

Planejamento experimental

Esta pesquisa foi conduzida em duas fases, sendo: Fase 1 – Filtração direta em leito simples de areia e Fase 2 – Filtração direta em leito duplo de areia e carvão antracito. No estudo foi avaliado o uso da filtração direta descendente adotando as taxas de filtração de 253 m³/m².dia, 280 m³/m².dia, 310 m³/m².dia, e 340 m³/m².dia., para os dois meios filtrantes em diferentes granulometrias. Cada ensaio na IPDF adotou uma das taxas de filtração e teve duração de 8 horas. Os experimentos foram realizados em duplicata, totalizando 16 ensaios, sendo 8 ensaios para cada meio filtrante estudado.

Na primeira fase da pesquisa os experimentos foram realizados em filtros com leito filtrante simples de areia e 700 mm de espessura de camada filtrante. O diâmetro mínimo (D_0), efetivo (D_{10}), máximo (D_{100}) e o coeficiente de desuniformidade (CD) dos grãos, para cada filtro estudado, encontram-se apresentados na Tabela 1. Em cada ensaio da IPDF os três FRDA foram operados, desse modo, para o leito simples de areia, em cada taxa de filtração testada obteve-se o resultado para três granulometrias distintas.

Tabela 1: Características dos FRDA estudados na Fase 1 da pesquisa

Filtro	Leito filtrante	D_0 (mm)	D_{10} (mm)	D_{100} (mm)	CD (mm)
FRDA 1	Areia	0,35	0,50	1,00	1,60
FRDA 2	Areia	0,35	0,57	1,19	1,84
FRDA 3	Areia	0,42	0,87	1,65	1,67

Legenda: FRDA = Filtro rápido de fluxo descendente de areia; D_0 = diâmetro mínimo dos grãos; D_{10} = diâmetro efetivo dos grãos; D_{100} = diâmetro máximo dos grãos; CD = coeficiente de desuniformidade.

Na segunda fase da pesquisa os experimentos foram realizados com leito filtrante duplo de areia e carvão antracito com 700 mm de espessura de camada filtrante, sendo a espessura da camada filtrante de areia de 450 mm e a camada de carvão antracito de 250 mm. A camada filtrante de carvão antracito teve as seguintes características para os três filtros: D_0 = 0,42 mm, D_{10} = 1,0 mm, D_{100} = 1,80 mm, CD = 1,40. A camada filtrante de areia manteve as características da primeira fase, reduzindo apenas a espessura, conforme Tabela 2.

Tabela 2: Características dos FRDA estudados na Fase 2 da pesquisa

Filtro	Leito filtrante	D ₀ (mm)	D ₁₀ (mm)	D ₁₀₀ (mm)	CD (mm)
FRDA 1	Areia	0,35	0,50	1,00	1,60
	Antracito	0,42	1,00	1,80	1,40
FRDA 2	Areia	0,35	0,57	1,19	1,84
	Antracito	0,42	1,00	1,80	1,40
FRDA 3	Areia	0,42	0,87	1,65	1,67
	Antracito	0,42	1,00	1,80	1,40

Legenda: FRDA = Filtro rápido de fluxo descendente de areia; D₀= diâmetro mínimo dos grãos; D₁₀ = diâmetro efetivo dos grãos; D₁₀₀ = diâmetro máximo dos grãos; CD = coeficiente de desuniformidade.

Protocolo dos ensaios

Em cada ensaio, inicialmente os FDA foram lavados por 8 minutos em fluxo ascendente com o objetivo de expandir o material filtrante. Em paralelo foi realizado o preparo das soluções do pré-oxidante (hipoclorito de cálcio) e coagulante (hidróxido de alumínio) a serem utilizadas no ensaio. As condições de pré-oxidação (dosagem) e coagulação (dosagem e gradiente de mistura) foram definidas em ensaios de jarrest em etapa que antecedeu aos ensaios na IPDF, sendo para a primeira fase da pesquisa definidas as dosagens de 3,0 mg/L de pré-oxidante e 6,0 mg/L de coagulante, e para a segunda fase 5,0 mg/L de pré-oxidante e 1,0 mg/L de coagulante.

Após a lavagem dos filtros e preparo das soluções, era realizado o ajuste na rotação da bomba de recalque de água bruta, para proporcionar a vazão a ser utilizada em cada ensaio, compatível com a taxa de filtração fixada para o experimento. Para as taxas de filtração de 253 m³/m².dia, 280 m³/m².dia, 310 m³/m².dia, e 340 m³/m².dia, as vazões de tratamento utilizadas, considerando o tamanho dos FDA, foram de 249 L/h, 275 L/h, 301 L/h e 333 L/h, respectivamente. Dado o acionamento da bomba de recalque de água bruta, ativava-se também a bomba dosadora de pré-oxidante e aguardava a água pré-oxidada encher o volume das duas câmaras de pré-oxidação (56 litros, cada) utilizadas nos ensaios. Após as câmaras cheias era acionada a bomba dosadora de coagulante e o motor da mistura rápida mecanizada. O início de cada ensaio era dado no momento em que a água coagulada preenchia os FDA, iniciando a contagem das 8 horas.

No início de cada ensaio foi feita a coleta de água bruta em torneira situada na tubulação de entrada de água da ETA Extremoz, próximo à IPDF, para proporcionar a caracterização da água bruta no período da pesquisa. As coletas de água filtrada foram realizadas a cada hora através da torneira de saída instalada em cada FDA. Logo, para cada ensaio foram coletadas 24 amostras de água filtrada e uma de água bruta, totalizando 25 amostras. As amostras foram analisadas para as variáveis cor aparente e turbidez. Os procedimentos de coleta, preservação e armazenamento das amostras foram realizados segundo orientação da APHA et. al. (2012).

Os resultados foram analisados estatisticamente, considerando parâmetros de estatística descritiva, como média, mediana e moda, para estimar a tendência central dos resultados e intervalo máximo e mínimo para indicar a dispersão ocorrida.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Fase 1: Filtração Direta em Leito Simples de Areia

Na primeira fase da pesquisa, utilizando leito simples de areia, para todos os filtros e taxas de filtração avaliados, a turbidez encontrada esteve acima do estabelecido pela Portaria da Consolidação nº 5/2017, que limita para sistemas que usam filtração rápida, turbidez inferior a 0,50 uNT na saída do tratamento (BRASIL, 2017). A taxa filtração de 253 m³/m².dia também não atendeu o limite estabelecido pela Portaria para a cor aparente, ultrapassando, nas três granulometrias de leito filtrante estudadas, o valor de 15 uH. No entanto, para as demais taxas de filtração estudadas, a cor aparente obtida esteve dentro do especificado pela legislação. As Figuras 2 e 3 apresentam os valores médios remanescentes para turbidez e cor aparente, respectivamente, considerando as taxas de filtração analisadas na pesquisa e as Figuras 4 e 5 apresentam os valores médios remanescentes considerando as granulometrias filtrantes estudadas.

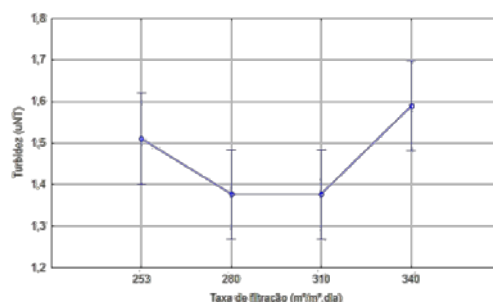


Figura 2: Turbidez remanescente para cada taxa de filtração em leito simples de areia

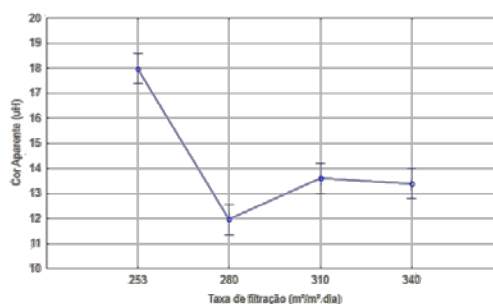


Figura 3: Cor aparente remanescente para cada taxa de filtração em leito simples de areia

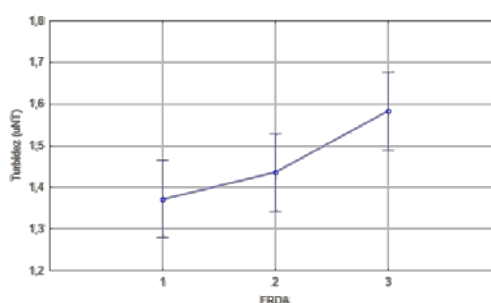


Figura 4: Turbidez remanescente para cada FRDA em leito simples de areia

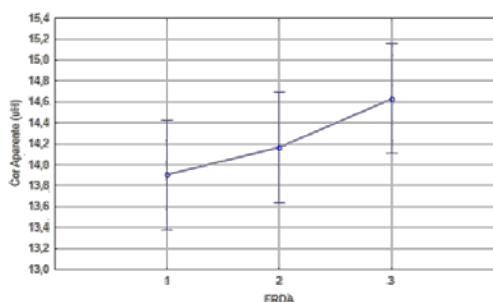


Figura 5: Cor aparente remanescente para cada FRDA em leito simples de areia

É sabido que a água tratada deve atender aos padrões de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da saúde e não oferecer riscos à saúde da população. No entanto, diferentemente de quando se realiza ensaios com água sintética, com características previamente definidas, os valores remanescentes das variáveis de controle estudadas nesta pesquisa podem ter refletido as variações da qualidade da água bruta no período. Nesse sentido, uma alternativa para mensurar de forma mais precisa a influência das diferentes taxas de filtração e granulometrias estudadas é comparar o percentual de remoção das variáveis de controle após o tratamento, considerando os valores da água bruta para cada ensaio. A Figura 6 apresenta os percentuais de remoção para cada taxa de filtração estudada e a Figura 7 para cada granulometria.

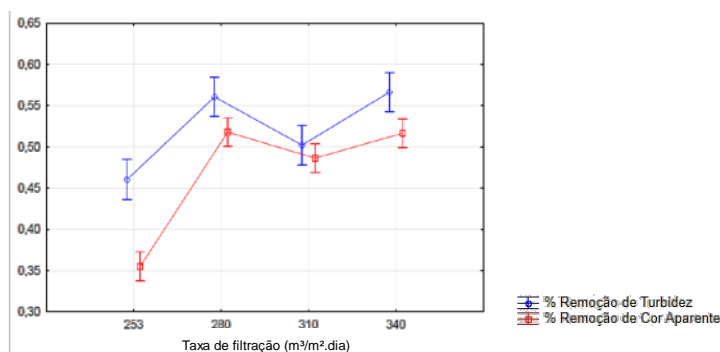


Figura 6: Percentual de remoção de turbidez e cor aparente para cada taxa de filtração em leito simples de areia

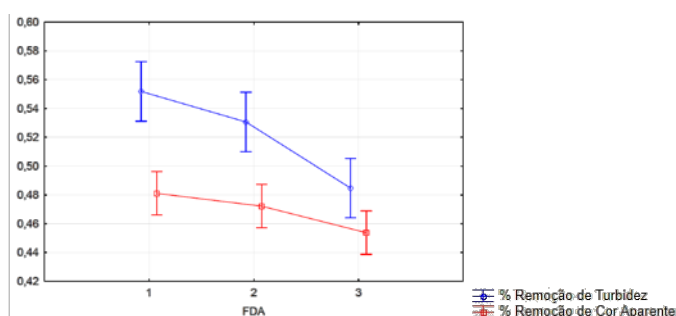


Figura 7: Percentual de remoção de turbidez e cor aparente para cada FRDA em leito simples de areia

Quando analisados apenas os valores remanescentes das variáveis de controle, a taxa de 280 m³/m².dia destaca-se entre as demais apresentando os melhores resultados. Porém, quando consideradas as variações na qualidade da água bruta entre os ensaios, os percentuais de remoção indicam que houve equivalência estatística entre esta taxa e a de 340 m³/m².dia. Desse modo, considerando os resultados apontados nas análises de variância ANOVA para a remoção das variáveis cor aparente e turbidez, e tendo em vista que o uso de maiores taxas de filtração permite o uso de menores unidades filtrantes, pode-se considerar a taxa de 340 m³/m².dia, maior entre as quatro taxas estudadas, como a melhor alternativa para o tratamento por filtração direta descendente quando adotado leito simples de areia com as granulometrias especificadas na Tabela 1.

Segundo a NBR 12.216 (ABNT, 1992), em projetos de estação de tratamento de água para consumo humano, quando não é possível a realização de ensaios em filtros-pilotos, a taxa de filtração máxima a ser utilizada para filtros rápidos de areia de leito simples é 180 m³/m².dia. Porém, os resultados dessa pesquisa mostram que, entre as taxas analisadas, o aumento na taxa de filtração para até 340,0 m³/m².dia não prejudicou o tratamento da água para as variáveis cor aparente e turbidez, apresentando, ora equivalência estatística entre as taxas analisadas, ora melhores resultados. Desse modo, evidencia-se como estudos em escala piloto podem refletir em economia nos custos de implantação ou otimização de uma ETA, podendo, nesse caso, significar uma redução no tamanho das unidades filtrantes de quase 90%, considerando a taxa de filtração como parâmetro de dimensionamento para determinação da área superficial dos filtros.

Os resultados apresentados nas Figuras 4,5 e 7 apontam o FRDA 1, D10 = 0,50 mm, como o melhor desempenho para a remoção das variáveis turbidez e cor aparente. No entanto, nos ensaios em campo esse filtro apresentou carreiras de filtração demasiadamente curtas, extravasando em todas as taxas de filtração estudadas, sendo necessária a lavagem em média a cada 4 horas.

Devido aos resultados insatisfatórios da qualidade da água tratada para a variável turbidez, estando os valores remanescentes sempre acima do valor máximo permitido pela legislação, o final das carreiras de filtração foi determinado pelo alcance da perda de carga permissível pela hidráulica do filtro. Quando adotadas as maiores taxas de filtração, 310 e 340 m³/m².dia, o FRDA 1 chegou a atingir a perda de carga máxima disponível duas vezes em um mesmo ensaio, sendo necessária duas lavagens em um período de 8 horas. De modo que, em escala real, o uso desta granulometria seria uma alternativa inviável operacionalmente. Em paralelo, durante as

8 horas de duração dos ensaios, os FRDA 2 e 3 não atingiram a perda de carga máxima disponível, não ocorrendo a lavagem destes durante os ensaios.

Logo, considerando a equivalência estatística apontada nas análises de variância ANOVA para a remoção das variáveis cor aparente e turbidez entre o FRDA 1 e 2 e por apresentar uma maior carreira de filtração, pode-se considerar a granulometria adotada no FRDA 2 como a melhor alternativa para o tratamento por filtração direta descendente quando adotado leito simples de areia.

Fase 2: Filtração Direta em Leito Duplo de Areia e Carvão Antracito

Diferentemente dos resultados apresentados para água tratada em leito simples de areia, quando adotado leito duplo de areia e carvão antracito, todas as taxas de filtração e granulometrias filtrantes estudadas proporcionaram resultados satisfatórios e em conformidade com o estabelecido pela Portaria da Consolidação nº 5/2017 (BRASIL, 2017).

As Figuras 8 e 9 apresentam os valores médios remanescentes para turbidez e cor aparente, respectivamente, considerando as taxas de filtração analisadas na segunda fase da pesquisa. A Figura 10 apresenta os percentuais de remoção para cada taxa de filtração estudada. Pode-se perceber que todos os valores médios para turbidez se encontram abaixo de 0,50 uNT e para cor aparente abaixo de 15 uH.

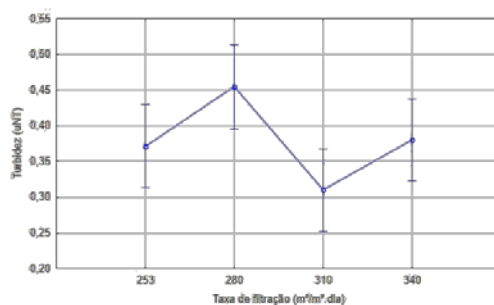


Figura 8: Turbidez remanescente para cada taxa de filtração em leito duplo de areia e antracito

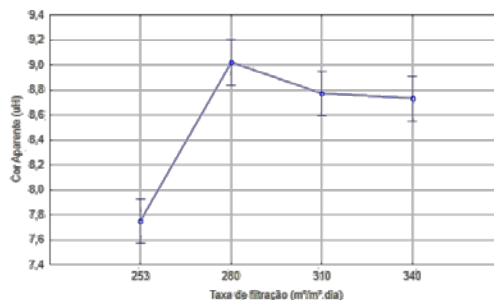


Figura 9: Cor aparente remanescente para cada taxa de filtração em leito duplo de areia e antracito

Adotando o leito filtrante duplo de areia e antracito, a taxa de filtração de 253 m³/m².dia, que anteriormente apresentou resultados inferiores às demais na remoção de turbidez, demonstrou aumento na qualidade, apresentando assim como as taxas de 310 e 340 m³/m².dia os melhores resultados de turbidez remanescente. Para a cor aparente, a taxa demonstrou diferença estatística considerável, apresentando valores remanescentes abaixo de 8 uH, sendo a melhor condição de tratamento para a variável.

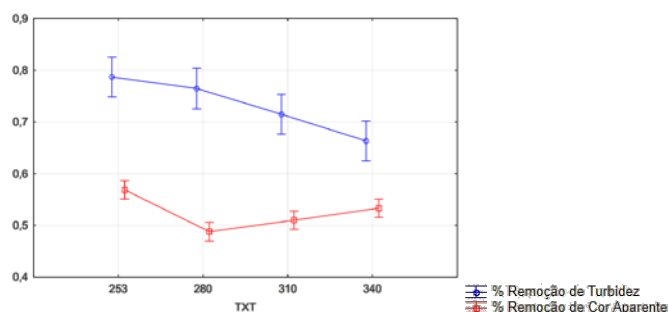


Figura 10: Percentual de remoção de turbidez e cor aparente para cada taxa de filtração em leito duplo de areia e antracito

Pode-se perceber que com o aumento da taxa de filtração ocorreu diminuição na eficiência para a remoção de turbidez, mas eficiência superior ou estatisticamente equivalente para a cor aparente. Considerando que a taxa de 340 m³/m².dia, maior entre as taxas estudadas, apresentou os resultados de acordo com o limitado para abastecimento pela Portaria da Consolidação N°5/2017 (Brasil,2017), e que o uso desta taxa, quando reproduzida a condição em ETA de escala real, permite adotar maiores unidades filtrantes, e nesse caso, sem comprometer a qualidade da água tratada, a taxa foi considerada como a melhor alternativa para o tratamento por filtração direta descendente quando adotado leito duplo de areia e carvão antracito, para as granulometrias especificadas na Tabela 2.

As Figuras 11 e 12, apresentam os valores médios remanescentes para turbidez e cor aparente, respectivamente, considerando as três granulometrias analisadas na pesquisa e a Figura 13 apresenta os percentuais de remoção para as variáveis estudadas após o tratamento em leito duplo.

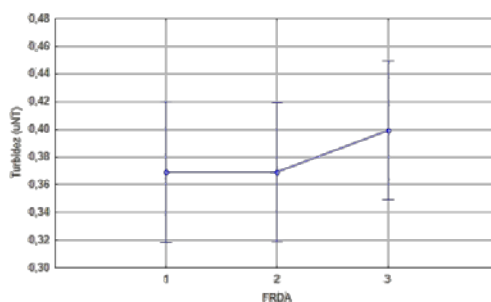


Figura 11: Turbidez remanescente para cada FRDA em leito duplo de areia e antracito

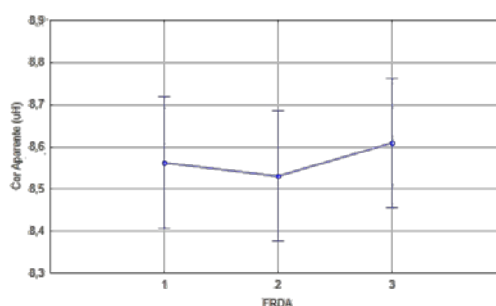


Figura 12: Cor aparente remanescente para cada FRDA em leito duplo de areia e antracito

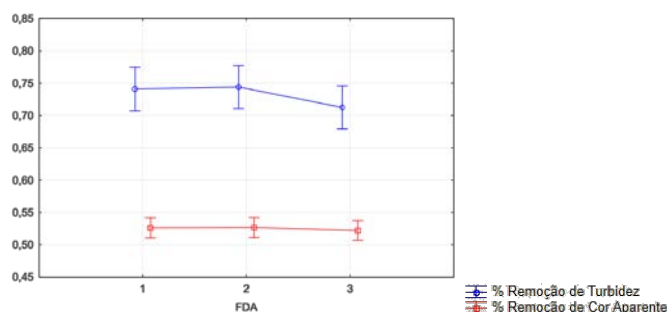


Figura 13: Percentual de remoção de turbidez e cor aparente para cada FRDA em leito duplo de areia e antracito

Com o uso do leito duplo de areia e carvão antracito, todos os FRDA demonstraram equivalência estatística, tanto para os valores remanescentes das variáveis quanto para o percentual de remoção ($p > 0,05$). O uso do leito duplo proporcionou resultados para as taxas e granulometrias estudadas dentro do estabelecido pelo Ministério da saúde para o tratamento de água para consumo humano, viabilizando o uso de filtros com estas características em ETA de escala real.

Comparando os resultados com os demonstrados em leito simples de areia, para remoção de turbidez, por exemplo, o melhor filtro havia apresentado 55% de remoção, enquanto com o uso do leito duplo de areia e antracito, todos os FRDA apresentaram remoção acima de 70%. Evidenciando assim que todos os filtros foram mais eficientes com o leito duplo de areia e carvão antracito em relação ao leito simples de areia.

Destacou-se na segunda fase da pesquisa os resultados apresentados pelo FRDA 3, o qual na primeira fase exibiu resultados diferentes estatisticamente dos FRDA 1 e 2, sendo os piores resultados de turbidez e cor aparente remanescente bem como os piores percentuais de remoção destas variáveis. Com a substituição de parte do material filtrante por carvão antracito, o filtro aumentou cerca de 30% sua eficiência para a remoção de turbidez e 15% para remoção de cor aparente.

Durante a realização da segunda fase foi observado ainda que o FRDA 1 não atingiu a perda de carga máxima disponível para o filtro em nenhum dos ensaios, não sendo necessário interrompê-lo para lavagem durante os ensaios, demonstrando assim um ganho na carreira de filtração do filtro.

Visando menor custo na implantação em ETA de escala real, o FRDA 3 e a taxa de filtração de $340 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ podem ser consideradas as melhores alternativas para reprodução, sem comprometer a qualidade da água tratada.

CONCLUSÕES

Os resultados obtidos na IPDF permitem as seguintes conclusões/recomendações:

A elevação da taxa de filtração até $340 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ não influenciou significativamente o desempenho dos filtros para os leitos filtrantes e granulometrias estudados, sendo esta a taxa de filtração escolhida como melhor alternativa para ser adotada em escala real por representar menores custos de implantação das unidades;

A escolha do tipo do meio filtrante (simples/duplo) demonstrou ser o condicionante de projeto de maior importância na eficiência do processo de filtração;

Para a filtração em leito simples de areia, em todas as granulometrias e taxas de filtração avaliadas, a turbidez obtida esteve acima do estabelecido pela Portaria da Consolidação nº 5/2017 (BRASIL, 2017);

Para o leito simples de areia, devido a eficiência estatisticamente equivalente e maior área da unidade filtrante, o FRDA 2 foi considerado como melhor alternativa, no entanto, para o leito duplo de areia e antracito o FRDA 3 pode ser utilizado sem comprometer a qualidade da água tratada;

O uso do carvão antracito possibilitou maior carreira de filtração para o filtro de menor granulometria e melhor eficiência para remoção de cor aparente e turbidez, para o filtro de maior granulometria.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION; WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standard methods: for the examination of water and wastewater. 22.ed. Washington: American Public Health Association, 2012.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992. 18 p.
3. BRASIL, MINISTÉRIO DA SAÚDE (BR/MS). Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Portaria nº 2914/2011, de 12/12/2011. Brasília: MS, 2011.
4. _____. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Portaria de consolidação nº 5/2017. Brasília: MS, 2017.
5. BRITO, F. M. C. Variação temporal da qualidade da água bruta da lagoa de Extremoz/RN. 2018. Trabalho de conclusão de graduação – Tecnologia em Gestão Ambiental, Instituto Federal de Educação, ciência e tecnologia do Rio Grande do Norte, 2018.
6. BRITO, T. M.; DUARTE, M. A. C.; ARAUJO, A. L. C. Caracterização quali quantitativa dos resíduos gerados em ETA de filtração direta em escala real. In: Simpósio Ítalo-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 14, 2018. Anais ABES 2018.
7. CIRNE, J. R. R. Influência da granulometria e taxas de filtração no tratamento de água utilizando dupla filtração. 2014. Dissertação de mestrado (Programa de pós-graduação em engenharia sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.
8. DUARTE, M. A. C. Utilização dos índices do estado trófico (IET) e de qualidade da água (IQA) na caracterização limnológica e sanitária das lagoas de Bonfim, Extremoz e Jiqui - RN. 1999. Dissertação de mestrado (Programa de pós-graduação em engenharia civil) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande, 1999.
9. FREITAS, D. G. Efeitos da recirculação de água de lavagem de filtros em um sistema de filtração direta em escala de bancada. 2017. Dissertação de mestrado (Programa de pós-graduação em engenharia sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
10. KAWAMURA, S. Preliminary studies. In: Integrated design and operation of water treatment facilities. 2. ed. USA: John Wiley and Sons, 2000.
11. NG, M. C. Produção de água em ETA com alteração da carreira de filtração. 2017. Dissertação de mestrado (Programa de pós-graduação em engenharia sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.
12. PEREIRA, M. G. Qualidade das águas dos mananciais de superfície utilizados no abastecimento da cidade do Natal: aplicação do IQA nos pontos de captação. 1993. Dissertação de mestrado (Programa de pós-graduação em engenharia química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1993.
13. RICHTER, C. A. Água: métodos e tecnologia de tratamento. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2009.
14. RIO GRANDE DO NORTE. Companhia de Águas e Esgotos do Rio Grande do Norte. Dados da água bruta da lagoa de Extremoz (2008 a 2012). Natal, 2017.
15. _____. Empresa de pesquisa agropecuária do Rio Grande do Norte. Dados meteorológicos. Disponível em:
<<http://www.emparn.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=12411&ACT=&PAGE=0&PARM=&LBL=Meteorologia>>. Acesso em: 03 jun. 2018.
16. SABOGAL PAZ, L. P. Modelo conceitual de seleção de tecnologia de tratamento de água para abastecimento de comunidade de pequeno porte. 2007. Tese de doutorado (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.