

FILTRAÇÃO DIRETA DESCENDENTE: CONCEITO, CARACTERÍSTICAS E APLICAÇÕES NO TRATAMENTO DE ÁGUA

Maria Virgínia da Conceição Albuquerque¹

Wilton Silva Lopes²

Amanda da Silva Barbosa Cartaxo³

Valderi Duarte Leite⁴

RESUMO

A tecnologia de tratamento de água conhecida como filtração direta surgiu da dificuldade do tratamento de águas com baixa turbidez e cor em Estações de Tratamento de Água (ETA) do tipo convencional. Este processo apresenta diversas vantagens, dentre as quais: menor número de unidades envolvidas; menor consumo de produtos químicos durante o processo de tratamento; operação e manutenção mais simples e menor produção de lodo. A eficiência deste tipo de filtro na remoção de contaminantes, depende de diversos fatores como parâmetros operacionais (tipo de coagulante, meio filtrante, taxa de filtração) composição química da água avaliada, dentre outros. Neste sentido, este capítulo apresenta uma revisão sobre a filtração direta descendente, apresentando seu conceito, suas principais características e aplicações no tratamento de água. Utilizou-se como metodologia, a revisão de literatura de cunho qualitativo descritivo, que possibilitou um aprofundamento sobre o tema proposto. Foi verificado que a FDD apresenta-se como uma alternativa de grande eficácia no tratamento de água. Para o desempenho efetivo da filtração direta descendente é de extrema relevância a realização de estudos prévios, para definir as condições de coagulação (tipo e dosagem dos produtos químicos), as condições de mistura rápida (tempo e gradiente de velocidade) e a eventual necessidade de unidades de pré-tratamento, como também para se conseguir uma maior precisão na especificação do material filtrante. Fazem-se necessárias, estratégias de controle de aportes de nutrientes e, por outro, a busca de novas tecnologias para o tratamento de águas, especialmente aquela destinada a abastecimento público, e o aprimoramento das existentes.

Palavras-chave: Tecnologias, Tratamento, Filtros, FDD.

INTRODUÇÃO

A filtração caracteriza-se como um processo de separação líquido-sólido através de um meio poroso, objetivando a remoção de partículas suspensas, coloidais, microorganismos e substâncias orgânicas e inorgânicas sendo responsáveis pela cor e turbidez do líquido, representando o processo final de remoção de impurezas realizado em uma estação de

¹ Doutoranda do Programa de pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, virginia.albuquerque@yahoo.com.br;

² Prof. Dr. do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, wiltonuepb@gmail.com;

³ Doutoranda do Programa de pós Graduação em Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, amandauepbio@gmail.com.br;

⁴ Prof. Dr. do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, mangabeiraleite@gmail.com;

tratamento de água (ETA) (DI BERNARDO, 2003; LIBÂNIO, 2010). Ela tem fundamental relevância no processo de tratamento de água para torná-la potável e atender aos padrões de potabilidade, sendo estabelecida nos âmbitos nacional e nos EUA, pela Portaria de Consolidação nº 5 (BRASIL, 2017) e Agência de Proteção Ambiental dos EUA (ESTADOS UNIDOS DA AMÉRICA, 1996), respectivamente, pois ambas designam a necessidade desta etapa através da distribuição de água captada de mananciais superficiais.

A tecnologia de tratamento de água conhecida como filtração direta surgiu da dificuldade do tratamento de águas com baixa turbidez e cor 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 turbidez e cor, ocorre a formação de flocos com baixa velocidade de sedimentação, os quais apresentam dificuldades para serem removidos por decantação ou flotação. Nesses casos recomenda-se que a coagulação ocorra por adsorção-neutralização de cargas e que seja dispensada a unidade de sedimentação ou flotação, devendo a água coagulada ser encaminhada diretamente para a unidade de filtração (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017).

Na região Nordeste do Brasil 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. Além disso, em algumas ETA convencionais, desvia-se a água previamente coagulada ou floculada diretamente para os filtros nos períodos de baixa precipitação pluviométrica, meses em que as características do manancial dispensam a decantação. No Rio Grande do Norte por exemplo, das 60 ETA operadas pela Companhia de Águas e Esgotos, 56 utilizam a filtração direta para o tratamento de água (RIO GRANDE DO NORTE, 2018).

A filtração direta surge como uma alternativa potencial, apresentando diversas vantagens em relação ao tratamento convencional: menor número de unidades envolvidas; menor consumo de produtos químicos durante o processo de tratamento; operação e manutenção mais simples e menor produção de lodo.

Nesse sentido, este capítulo apresenta uma revisão sobre a filtração direta descendente, apresentando seu conceito, suas principais características e aplicações no tratamento de água.

METODOLOGIA

Neste estudo utilizou-se como metodologia, a revisão de literatura de cunho qualitativo descritivo, que possibilitou um aprofundamento sobre o tema proposto. Pautando-se em publicações contidas em livros, jornais e revistas nacionais e internacionais, direcionados a área científica e acadêmica, sendo realizada uma busca bibliográfica por meio das seguintes bases de dados: Web of Science, Scopus, Google Acadêmico e na biblioteca eletrônica Scientific Electronic Library Online (SciELO). As palavras chaves utilizadas para esta busca, foram: “filtração direta descendente”, “filtros de areia” e “tratamento de água”, publicadas no período de 1990 a 2019.

DESENVOLVIMENTO

Há muitos séculos, sem mesmo possuir grandes conhecimentos, o ser humano já sabia distinguir uma água esteticamente limpa de outra que se apresentasse turva, com gosto e odor, A filtração como processo de tratamento de água, foi, provavelmente criada pelo homem, como resultado da observação da limpeza da água subterrânea, atribuída à passagem da mesma pelos solos naturais, tendo-se notícia que, desde o século XVI, a filtração, como método de clarificação da água, já se encontrava difundida (PATERNIANI, 1986).

Os primeiros filtros possuíam leitos de pedras porosas e eram especialmente domésticos. O primeiro a construir filtros de areia foi John Gibbs em 1804 em Paisley (Escócia). Mas foi somente em 1828 que os filtros de areia foram usados, pela primeira vez para abastecimento público, construído por James Simpson para abastecer Londres, segundo Costa (1980) e Hespanhol (1969). Nesses filtros pretendia-se somente a redução da turbidez pelos mecanismos físicos de retenção de partículas. Esse processo de tratamento de águas, apresenta algumas vantagens sobre outras tecnologias, destacando-se principalmente a não necessidade do emprego de produtos químicos, nem a exigência de equipamentos sofisticados para controle do processo, a não necessidade de operadores qualificados, além de ser de simples construção e de produzir pouco lodo.

Nas ETA de filtração direta, os filtros são as únicas unidades responsáveis pela retenção do material em suspensão presente na água. Essa tecnologia surgiu da dificuldade do tratamento de águas com turbidez e cor verdadeira relativamente baixas em ETA que adotam a tecnologia

convencional, a qual engloba os processos unitários: coagulação, floculação, sedimentação ou flotação e filtração.

O termo filtração direta abrange a filtração direta ascendente (FDA), a filtração direta descendente (FDD) e a dupla filtração. Na FDA o fluxo de filtração ocorre dos grãos mais grossos, que estão dispostos na parte inferior do filtro, para os grãos mais finos, localizados na parte superior do filtro. Na FDD, a água flui inicialmente pelos grãos mais finos e posteriormente pelos grãos maiores, garantindo maior segurança sanitária a água filtrada produzida. A tecnologia de dupla filtração associa os dois tipos de filtração, onde a água passa inicialmente pelo filtro ascendente e posteriormente pelo filtro descendente (DI BERNARDO, 2003).

Quando comparadas as ETA que usam a FDD aos sistemas de tratamento convencional, destacam-se o custo da construção de 30% a 50% menor, pois há um menor número de unidades de tratamento envolvidas; a redução dos custos de operação e manutenção, uma vez que se tem menor consumo de coagulante e de energia elétrica, pois são eliminados os equipamentos de remoção de lodo dos decantadores e, também, algumas vezes, os equipamentos de floculação; uma menor produção de lodo, o que torna menos oneroso o tratamento e disposição final dos resíduos gerados; e maior facilidade no tratamento de água bruta com baixa turbidez. No entanto, é importante ressaltar que a FDD apresenta algumas limitações em relação ao tratamento convencional, pois como o tempo de detenção em todo o tratamento é curto, necessita-se de um controle mais rigoroso da dosagem de produtos químicos durante as mudanças da qualidade da água bruta.

Os principais parâmetros que influem no desempenho da filtração direta descendente podem ser agrupados em: qualidade da água bruta, coagulação e produtos químicos, mistura rápida, pré-floculação, meio filtrante e métodos de operação dos filtros. Assim, a fim de otimizar o desempenho dos filtros na filtração direta descendente, deve-se realizar uma pesquisa experimental que leve em conta esses parâmetros. A pré-floculação será utilizada dependendo da qualidade da água bruta e, principalmente, das características do meio filtrante.

Mecanismo de coagulação

A coagulação é o resultado da ação de quatro mecanismos distintos que atuam individualmente ou combinados, são eles: compressão da camada dupla elétrica, adsorção e neutralização de cargas, varredura e adsorção e formação de pontes (ALUVINO, 2015).

Entretanto, no tratamento de águas ocorre com maior frequência os mecanismos de varredura e adsorção e neutralização de cargas. O mecanismo de varredura é caracterizado pelo uso de dosagens maiores de coagulante e é utilizado em estações que possuem as etapas de floculação e decantação ou flotação. Durante a coagulação, à medida que se eleva a dosagem do coagulante na mistura rápida, as partículas presentes na água começam a serem adsorvidas pelo precipitado dos sais de alumínio ou ferro e passa a predominar o mecanismo de varredura. Já o mecanismo de adsorção e neutralização de cargas, indicado para o tratamento de água por filtração direta, as ligações das partículas com a água são desestabilizadas ocorrendo a neutralização das cargas das impurezas. Não há a formação flocos grandes, dispensando assim etapas de crescimento de floco (floculação) e de decantação ou flotação (DI BERNARDO; DANTAS; VOLTAN, 2017).

A coagulação difere da precipitação, porque converte substâncias solúveis em partículas insolúveis, considerando que a coagulação une-se a partículas preexistentes, como as partículas com turvação mineral (barro, sedimentos), com grande peso molecular natural e com microorganismos orgânicos, inclusive, as cianobactérias e os óxidos insolúveis na forma de ferro e manganês.

O mecanismo de coagulação desejado na filtração direta, é o de adsorção-neutralização, uma vez que o coagulante é consumido em menor quantidade. Além disso, esse mecanismo contribui para que não haja transpasse e permite o controle adequado do alumínio residual da água floculada. A desestabilização de partículas coloidais pelo mecanismo de adsorção-neutralização torna-se mais eficiente quando utilizado alumínio como coagulante na faixa de pH próximo de 5. Segundo Ferreira e Lage (1997), nessa faixa de pH, a solubilidade aumenta gradativamente, predominando a formação de espécies polinucleares altamente carregadas com cargas positivas. Porém, a dosagem de coagulante empregada deve ser controlada, a fim de evitar sua super dosagem; uma vez que nessa faixa de pH a solubilidade do alumínio aumenta gradativamente. Se, no entanto, além da necessidade de desestabilização das partículas coloidais, for necessária a remoção de compostos orgânicos naturais, a faixa mais efetiva de pH para que isso ocorra situa-se entre 5,0 e 6,0. Como, nesse caso, uma dosagem relativamente alta de coagulante é requerida, torna-se fundamental que o pH da água decantada seja corrigido, o que deve ser feito imediatamente antes da filtração, a fim de situar o pH da água em torno de 6 (na região de mínima solubilidade do coagulante), permitindo assim que o excesso de alumínio seja removido na forma de hidróxido, durante a filtração.

Substâncias químicas comuns usadas para coagulação de água incluem sais de alumínio e sais de ferro férricos. Mais recentemente, polímeros orgânico-sintéticos ganharam algumas

aceitações. A coagulação com metal multivalente, juntamente com vários polímeros orgânicos, tem ajudado no crescimento dos flocos. Os coagulantes inorgânicos são comumente mais utilizados no processo de coagulação dentro do tratamento de água devido as suas características já conhecidas como a boa eficiência, o fácil transporte e manejo, além de seu baixo custo.

Os coagulantes a base de sais de alumínio, entre eles o sulfato de alumínio, apresentam comumente concentrações de outros metais pesados contaminantes, como o chumbo e o cádmio, estes elementos geralmente são insolúveis e precipitam se acumulando no lodo gerado que se torna inorgânico. Geralmente este lodo gerado oriundo da utilização do sulfato de alumínio, é gelatinoso e volumoso, e não biodegradável (VAZ et al., 2010).

As características da água bruta são o principal fator a ser observado na escolha do coagulante que deve ser utilizado no tratamento. O coagulante deve possuir como característica principal a capacidade de desestabilizar ou envolver as partículas coloidais e as partículas suspensas na água, sendo esta uma etapa crucial que irá refletir nos resultados das demais etapas a serem empregadas no tratamento (LIBÂNIO, 2010).

Características do material filtrante

Na filtração direta descendente, a maioria dos filtros tem meio filtrante com camadas de antracito e areia ou de antracito, areia e granada, podendo armazenar maior quantidade de sólidos sem acarretar perda excessiva de carga. Esses materiais ficam estratificados no interior dos filtros, ou seja, o tamanho dos grãos vai decrescendo de baixo para cima, no interior do leito filtrante. Essa estratificação ocorre porque, nessas estações, a lavagens dos filtros é feita com velocidade ascensional suficiente para fluidificar o meio filtrante, sendo os grãos menores arrastados mais para cima que os grãos maiores.

Nos filtros, diversos materiais granulares podem ser usados como meio poroso. A areia é o mais comum, seguido do antracito, areia de granada e carvão ativado granulado. Na filtração direta todas as partículas removidas da água ficam retidas no meio filtrante. Nesse sentido, o meio filtrante ideal é aquele em que o escoamento ocorre no sentido dos grãos maiores para os menores, para que todo o leito participe da filtração e propicie filtração mais longa. No entanto, na FDD, quando os leitos são compostos apenas de areia, os grãos menores ficam nas camadas superiores, pois do contrário há inversão das camadas durante a lavagem. Uma melhor alternativa, nesse sentido é a escolha de filtros com múltiplas camadas filtrantes. Porém,

camadas de areia praticamente uniforme e com grãos maiores, em algumas situações podem ser mais apropriadas que meios filtrantes de antracito e areia. Na Tabela 1 são apresentadas as principais características dos meios filtrantes utilizados na FDD.

Tabela 1. Características dos meios filtrantes utilizados na FDD.

Características	Duas ou três camadas			Areia praticamente uniforme	Antracito
	Antracito	Areia	Granada		
Tamanho dos grãos (mm)	0,71 – 2,4	0,45 – 2,0	0,21-0,59	1,0 -1,68	1,0 – 2,4
Tamanho efetivo (mm)	1,0- 1,3	0,5-0,6	0,25-0,35	1,1 – 1,3	1,2 – 1,5
Coefficiente de desuniformidade	<1,6	<1,6	<1,6	<1,25	<1,3
Espessura da camada (m)	0,5-0,8	0,2 – 0,3	0,1-0,15	1,0 – 1,5	1,2-1,8

Fonte: DI BERNARDO e SABOGAL (2008).

Aliada aos mecanismos de transporte, a remoção das partículas suspensas efetua-se também por aderência aos grãos do leito filtrante ou às próprias partículas desestabilizadas anteriormente depositadas sobre os mesmos. Além disso, a agregação dos flocos prossegue no interstício do material filtrante. Conseqüentemente, a porosidade e a relação entre a espessura do meio filtrante e o tamanho médio dos grãos refletem na eficiência da filtração. À medida que se aumenta o tamanho dos grãos e a espessura do meio filtrante, maior será também o volume de vazios intergranulares destinado ao armazenamento de partículas, acarretando, desse modo, carreiras de filtração mais longas.

O tamanho dos grãos e o percentual de vazios entre os mesmos (porosidade) tem grande influência na remoção de matéria em suspensão pelo filtro e no seu desempenho hidráulico. O coeficiente de desuniformidade (CD) é a relação correspondente entre os tamanhos dos grãos correspondentes às porcentagens de 60% e 10% em peso do material que passa no teste de peneiramento. A penetração de impurezas ao longo do meio filtrante está relacionada ao CD, que quanto menor, mais uniforme o material granular e maior a carreira de filtração. O diâmetro efetivo (D10) é o tamanho equivalente a 10% em peso do material que passa no peneiramento,

parâmetro que permanece inalterado em meios granulares não estratificados, como os adotados na FDD. A escolha da granulometria de um meio filtrante depende de diversas variáveis, como taxa de filtração, carga hidráulica disponível, sistema de lavagem, espessura da camada filtrante, etc.

Vale salientar que no Brasil, normas específicas para a caracterização de material filtrante são utilizadas em filtros de areia, a NBR 11.799 (ABNT, 2016), fixa as condições para recebimento e colocação de areia, antracito e pedregulho como camada suporte em filtros de abastecimento público de água.

Taxas de filtração e carreira de filtração

No dimensionamento dos filtros, a área necessária para filtração será definida pela taxa de aplicação (velocidade de aproximação) adotada. A taxa de filtração é dada pela vazão afluente dividida pela área do filtro em planta. Esse parâmetro de dimensionamento está intimamente relacionado à granulometria do meio filtrante, à qualidade da água e às dosagens de produtos químicos. A taxa de filtração interfere na velocidade em que ocorre o transporte das partículas suspensas para os coletores (grãos de areia, por exemplo). Caso a taxa de filtração não esteja adequada, ocorre o desprendimento dos sólidos no meio filtrante e o arraste dessas impurezas, comprometendo a eficiência do tratamento. 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 $180 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$.

Quando o nível da água no interior do filtro atingi a altura máxima (perda de carga máxima) ou quando a qualidade da água começar a ficar comprometida, é necessário realizar a lavagem do filtro que estiver apresentando piores resultados. A previsão quantitativa do comportamento da perda de carga de meios filtrantes limpos estratificados pode ser feita com a Equação 1 (Di Bernardo; Dantas; Voltan, 2017).

$$\Delta h = 150 \left[\frac{\mu}{\rho f g} \right] \left[\frac{(1-f)^2}{f^3} \right] \left[\frac{\Delta L}{\psi^2} \right] U \left(\sum_{i=1}^n \frac{X_i}{(d g_i)^2} \right) + 1,75 \left[\frac{1}{g} \right] \left[\frac{(1-f)}{f^3} \right] \left[\frac{\Delta L}{\psi} \right] U^2 \sum_{i=1}^n \frac{X_i}{d g_i}$$

Na qual:

Δh = perda de carga no leito;

ΔL = espessura do leito;

U = velocidade relativa a seção transversal vazia do leito;

ρ = densidade do fluido;

μ = viscosidade do fluido;

f = porosidade média do meio filtrante;

ψ = coeficiente de esfericidade do grão coletor;

X_i = fração correspondente da camada i ;

d_{gi} = média geométrica entre os tamanhos das aberturas de duas peneiras consecutivas (ensaio de granulometria) da camada i .

A taxa de filtração a ser adotada deve ser determinada por experiências em filtros piloto, operando com a água a ser filtrada, com camada filtrante igual à dos filtros a serem construídos. Para filtros de camada simples a taxa máxima é $180 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$ e, para filtros de camada dupla, é de $360 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$.

Limpeza do meio filtrante

A limpeza do filtro é uma das etapas mais importantes no processo de tratamento da água, sendo regulado pela perda de carga previamente estipulada em projeto. Ao atingir a carga hidráulica ou perda de carga estipulada, a taxa de filtração é alterada e o filtro passa a operar com taxa declinante e carga hidráulica constante, pois a quantidade de água que entra no filtro é diferente da quantidade da água filtrada pelo mesmo.

Os filtros descendentes normalmente são lavados aplicando-se um escoamento ascendente, com velocidade capaz de assegurar a expansão adequada do meio filtrante. Pode ser lavado somente com água ou com ar e água. Para uma lavagem eficiente recomenda-se que a expansão do leito atinja cerca de 40 % de sua altura. Dependendo da granulometria, a lavagem pode ser feita com velocidades ascensionais entre $0,7$ e $10,5 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, com tempo de lavagem variando entre 7 e 10 min (DI BERNARDO, 2003).

A água necessária para a lavagem dos filtros pode vir por meio de bombas, reservatório elevado ou proveniente dos demais filtros, uma análise técnica e econômica deve ser feita para determinar qual sistema de lavagem será mais adequado (RICHTER, 2009). Para haver a

limpeza do filtro, o meio filtrante deve estar parcialmente ou totalmente fluidificado e para isso necessita de uma velocidade mínima de fluidificação. Num meio estático saturado, as pressões entre os grãos são resultantes das forças peso e empuxo. Essa resultante é reduzida durante a retrolavagem devido às forças de arraste que agem sobre os grãos. Em determinado ponto, ao atingir-se uma velocidade, essas pressões entre os grãos tornam-se zero, ponto a partir de onde a fluidificação é iminente. Qualquer velocidade acima dessa vai fluidificar o meio filtrante e a perda de carga torna-se constante (HENDRICKS, 2011).

Legislação

Substituindo a antiga portaria 2.914/2011 do Ministério da Saúde, a Portaria de Consolidação nº 5/2017 do Ministério da Saúde (Brasil, 2017) diz respeito a consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Em seu Capítulo V, Seção II, Art. 129 fica estabelecido o Anexo XX que dispõe sobre o controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

Os padrões de potabilidade estabelecidos no Capítulo V do Anexo XX da Portaria nº 5 da Consolidação do Ministério de Saúde Brasileiro, estão organizados na Tabela 2.

Tabela 2. Padrões de potabilidade da Portaria de Consolidação nº 5 /2017.

Parâmetro	Unidade	Valor Máximo permitido
pH	-	6 a 9,5
Turbidez	uT	0,5
Cor aparente	uH	15
Sólidos dissolvidos totais	mg.L ⁻¹	1000
Coliformes totais	-	Ausência
<i>Escherichia coli</i>	-	Ausência

Fonte: BRASIL, 2017.

Ressaltando que as unidades de turbidez e cor aparente seguem uT sendo unidades de turbidez, e uH sendo unidades Hazen (mgPt-Co.L⁻¹) respectivamente. O valor máximo permitido para o parâmetro turbidez apresentado na Tabela 1 é correspondente ao valor máximo permitido quando o tratamento é submetido a filtração direta. Para o parâmetro temperatura, só

é exigido valores máximos e mínimos dependendo do ensaio que será realizado. E o parâmetro condutividade elétrica não apresenta faixas e limites de tolerância em legislação.

A referida Portaria, define ainda *Escherichia coli* como indicador de contaminação fecal, estabelecendo ausência em 100 mL para águas de consumo humano, e Coliformes totais como indicador de eficiência de tratamento, estabelecendo ausência em 100 mL para água tratada na saída do tratamento, e indicador de integridade do sistema de distribuição, estabelecendo limite de apenas uma amostra positiva ao mês em sistemas que abastecem menos de 20 mil habitantes, e ausência em 95% das amostras examinadas ao mês em sistemas que abastecem mais de 20 mil habitantes.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Considerado efetivo no tratamento de água, os filtros descendentes promovem a remoção dos parâmetros químicos e biológicos da água. A eficiência do filtro na remoção de contaminantes depende de diversos fatores como: parâmetros operacionais (tipo de coagulante, meio filtrante, taxa de filtração) composição química da água avaliada, dentre outros. Estudos com uso de desse tipo de filtro vem sendo realizado há alguns anos, apresentando sua relevância, bem como a possibilidade de aplicação em ETA, ou mesmo em uso em comunidades sem acesso a água de boa qualidade.

Para o desempenho efetivo da filtração direta descendente é de extrema relevância a realização de estudos prévios, para definir as condições de coagulação (tipo e dosagem dos produtos químicos), as condições de mistura rápida (tempo e gradiente de velocidade) e a eventual necessidade de unidades de pré-tratamento, como também para se conseguir uma maior precisão na especificação do material filtrante.

Landeia et al. (2005), realizaram a simulação do funcionamento de filtros rápidos descendentes com taxas de filtração de 180, 270 e 400 m³.m².dia⁻¹ e com camadas simples e dupla. A água afluenta aos filtros, captada na saída dos decantadores da estação, foi contaminada com oocistos de *Cryptosporidium parvum* e com alíquota de esgotos para simulação do conteúdo de bactérias. A investigação experimental foi desenvolvida em unidades piloto instaladas na Estação de Tratamento de Água (ETA) dos Morrinhos da Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), em Montes Claros-MG. Para verificação da associação entre a ocorrência dos protozoários estudados e indicadores de qualidade da água foram monitorados os parâmetros bacteriológicos - coliformes totais e *Escherichia coli*; esporos

de bactérias anaeróbias e *Clostridium perfringens*; esporos de bactérias aeróbias e *Bacillus subtilis* - e os parâmetros físicos e químicos de performance do tratamento da água - cor aparente e real, pH, turbidez e contagem de partículas. Oocistos não foram detectados nos efluentes dos filtros. O filtro de dupla camada com taxa de $180 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$ apresentou o melhor desempenho em relação aos demais parâmetros estudados.

Consoante a isso, Santos et al. (2007) avaliaram em ensaios de bancada e em escala piloto o comportamento da FDD para distintos coagulantes em água de manancial na região metropolitana de Belo Horizonte – MG. O monitoramento da água bruta apresentou valores de turbidez inferior a 7 uT e valores de cor aparente inferiores a 35 uH. Nos ensaios utilizando como coagulante o sulfato de alumínio ($8,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) e ácido para corrigir o pH de coagulação, ou quando se empregou o PAC ($5,0 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$) todas as amostras apresentaram cor aparente inferior a 10 uH e turbidez inferior a 0,50 uT, para uma taxa de filtração de $436 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$.

Fernandes et al. (2010) operaram em escala piloto FDD com taxa de filtração de $210 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$, para água do córrego do Torto, Brasília – DF, que apresentava valores de turbidez na faixa de 3,8 a 24,8 uT. O meio filtrante de camada dupla adotado, possuía 55 cm de antracito (diâmetro efetivo de 0,92 mm e CD de 1,52) e 40 cm de areia (diâmetro efetivo de 0,55 mm e CD de 1,6). Utilizou-se o sulfato de alumínio como coagulante e valores de pH de coagulação entre 5,0 e 7,5. Os valores médios de turbidez obtidos ao longo da duração dos experimentos de filtração foram inferiores a 0,15 uT. Além disso, os experimentos realizados em valores de pH de coagulação mais baixo, em torno de 5,0, promoveram eficiência de remoção de oocistos de *Cryptosporidium*.

Ao analisar a influência da granulometria e taxas de filtração em dupla filtração com água bruta da lagoa de Extremoz com duração de doze horas de ensaio, utilizando quatro filtros de fluxo ascendente e três descendente com granulometrias variadas, Cirne (2014) percebeu que os filtros de menor granulometria obtiveram maior eficiência na remoção de turbidez e cor para ambos os casos, sendo a oxidação com cloro um fator decisivo na eficiência para este último parâmetro, eles também são responsáveis pelas maiores perdas de carga, sendo seus valores máximos de 25 e 100 cm (filtro ascendente) e 31,0 e 39,0 cm (filtro descendente) para taxas de filtração de 120 e $160 \text{ m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$ e de 180 e $240 \text{ m}^3 \cdot \text{m}^2 \cdot \text{dia}^{-1}$, respectivamente, e, por fim, tal incremento nessa constante implica, também, em um efluente de melhor qualidade e maior perda de carga. Vale ressaltar que não houve lavagem dos filtros ou descarga de fundo intermediária (DFI).

Realizando um estudo comparativo de leitos filtrantes de camada simples composta por areia, diferenciados entre si pela faixa de granulometria utilizada em cada filtro, Ioshimura (2016) percebeu que a filtração rápida precedida por etapas de coagulação, floculação, e sedimentação demonstrou eficiência de remoção de turbidez superior aos 90% em dois dos três tipos de filtros, e eficiência de remoção de cor aparente acima dos 90% para dois dos três tipos de filtros, quanto a eficiência de remoção de sólidos totais, dois filtros apresentaram valores acima dos 70%.

Para tanto, Lima (2019) objetivou avaliar em que medida a filtração direta descendente pode ser indicada para o tratamento de água com baixa turbidez e cor elevada. Este estudo, comparou os resultados do tratamento da água em leito filtrante simples de areia e leito filtrante duplo de areia e carvão antracito seguido por adsorção com carvão ativado granulado. 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 $\text{m}^3.\text{m}^2.\text{dia}^{-1}$. 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 (D10) 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 $D_{10} = 1,00$ mm. Para a adsorção em carvão ativado granulado foram realizados experimentos com camada de 650 mm e D_{10} de 0,23, 0,60 e 0,90 mm. Conclui-se que apenas para o leito duplo de areia e carvão antracito, todas as três granulometrias e quatro taxas de filtração estudadas atenderam a Portaria da Consolidação Nº 5/2017, sendo o filtro F3, para a taxa de filtração de 340 $\text{m}^3.\text{m}^2.\text{dia}^{-1}$, a melhor condição para ser adotada em escala real.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

A dificuldade crescente de oferecimento de água de boa qualidade em quantidades suficientes à população é uma preocupação do mundo moderno. Para isso, é necessária a concepção de tratamentos, com capacidade de remover, além de impurezas comumente encontradas em águas superficiais (partículas e matéria orgânica), poluentes e microrganismos de interesse emergente (micropoluentes orgânicos e protozoários).

A fim de combater esse problema e manter as condições de saúde pública, fazem-se necessárias, estratégias de controle de aportes de nutrientes e, por outro, a busca de novas

tecnologias para o tratamento de águas, especialmente aquela destinada a abastecimento público, e o aprimoramento das existentes. Dentre as várias técnicas de tratamento de água, a filtração direta descendente é uma das que apresenta menos barreiras de proteção, pelo fato de os filtros serem as únicas unidades responsáveis pela retenção do material em suspensão presente na água. Isso reforça a importância que deve ser dada ao projeto e operação dessa unidade do tratamento, bem como aos processos que antecedem à filtração, tais como a coagulação.

Esse processo de tratamento de águas, apresenta algumas vantagens sobre outras tecnologias, destacando-se principalmente a não necessidade do emprego de produtos químicos, nem a exigência de equipamentos sofisticados para controle do processo, a não necessidade de operadores qualificados, além de ser de simples construção e de produzir pouco lodo. Essas vantagens aliadas ao uso de materiais alternativos e, de mão de obra simples, podem reduzir os custos iniciais de implantação, operação e manutenção desse sistema, possibilitando um processo de tratamento de água bastante eficiente e acessível.

REFERÊNCIAS

ALUVINO, G. C. R. Estudo da aplicação do extrato de semente de Moringa oleifera visando a substituição do coagulante sulfato de alumínio em uma estação de tratamento de água para abastecimento. 48p. **Monografia (Curso de Engenharia Industrial Química)** - Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo, Lorena, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público. Rio de Janeiro, 1992. 18 p.

BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria de Consolidação nº 5, de 28 de setembro de 2017. Consolidação das normas sobre as ações e os serviços de saúde do Sistema Único de Saúde. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 03 de out. 2017. Seção 1.

CIRNE, J. R. R. Influência da granulometria e taxas de filtração no tratamento de água utilizando dupla filtração. 2014. **Dissertação de mestrado** (Programa de pósgraduação em engenharia sanitária) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2014.

COSTA, R.H.. “Estudos Comparativos da Eficiência de Filtros Lentos de Areia Convencional e de Fluxo Ascendente.” São Carlos, 1980, 169p. **Dissertação.** (mest. hydr. san.) Escola de Engenharia de São Carlos - USP.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A.D.B. **Métodos e técnicas de tratamento de água.** v.1, 2.ed. São Carlos: Rima, 2005.

DI BERNARDO, L.; SABOGAL PAZ, L. P. **Seleção de tecnologias de tratamento de água**. 1. ed. São Carlos: Ldibe, 2008. 1 v.

DANTAS, A. B.; VOLTAN, P. N. **Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água**. São Carlos: LdiBe, 2017.

FERREIRA, S. S. F. e LAGE, F.A. F. Comportamento químico do Alumínio e do Ferro em meio aquoso e implicações no tratamento de água. **Revista SANARE**, p.50-58, 1997.

FERNANDES, N. M. G. et al. Influência do pH de coagulação e da dose de sulfato de alumínio na remoção de oocistos de *Cryptosporidium* por filtração direta descendente. **Engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 15, 2010.

HENDRICKS, D. **Fundamentals of Water Treatment Unit Processes: Physical, Chemical, and Biological**. 1. ed. Broken Sound Parkway: International Water Organization, 2011.

IOSHIMURA, R. A. Estudo da eficiência granulométrica no processo de filtração direta com aplicação de coagulantes no tratamento da água. 2016. 63p. **Trabalho de Graduação (Engenharia Ambiental)**. Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

LADEIA, M.M ; HELLER, L; VIEIRA, M.B.C.M. avaliação da eficiência da filtração rápida descendente na remoção de oocistos de *Cryptosporidium sp.* em instalação piloto. Anais. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.

LIBÂNIO, M. **Fundamentos de qualidade e tratamento de água**. 3 ed. Campinas: Editora Átomo, 494 p., 2010.

LIMA, J.K.L. Avaliação da filtração direta descendente no tratamento de água de manancial com baixa turbidez e cor elevada. Dissertação (Mestrado Profissional em Uso Sustentável de Recursos Naturais), 74 p, 2019.

PATERNIANI, J.E.S. Utilização de Mantas Sintéticas não Tecidas na Filtração Lenta em Areia de Águas de Abastecimento. São Carlos, 1986. 245p. **Tese** (dout. hidr. san.)-Escola de Engenharia de São Carlos-USP.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. 1. ed. São Paulo: Blucher, 2009.

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.

SANTOS, E. P. C. C. et al. Estudo da coagulação aplicada à filtração direta descendente. **Engenharia sanitária e ambiental**, Rio de Janeiro, v. 12, 2007.

VAZ, L. G. L.; KLEN, M. R. F.; VEIT, M. T.; SILVA, E. A. D.; BARBIERO, T. A.; BERGAMASCO, R. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**, São Paulo, v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010.