

II-437 - FILTROS PERCOLADORES EM ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ESGOTO: CONSIDERAÇÕES RELACIONADAS AO SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DO AFLUENTE AO FILTRO A PARTIR DA ANÁLISE DE CASOS VERIFICADOS EM ESCALA OPERACIONAL

Aliny Lucia Borges Borba⁽¹⁾

Engenheira de Produção Civil pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestre em Ciências Ambientais pelo Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI) da Universidade Federal do Paraná (UFPR) e *Universität Stuttgart*. Engenheira Civil na Companhia de Saneamento do Paraná (Sanepar).

Karen Juliana do Amaral⁽²⁾

Engenheira Civil, Mestre e Doutora em Engenharia Civil, com ênfase em Recursos Hídricos, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) e *Universität Stuttgart*, Alemanha. Iniciou suas atividades como pesquisadora da Universidade de Stuttgart em 2010, alocada no Brasil. Desde 2001 participa de diversos projetos de cooperação nacionais e internacionais realizados entre Instituições de Ensino, órgãos públicos e indústria, de natureza nacionais e internacionais, com foco em parcerias Brasil-Alemanha. Professora do Programa de Pós-Graduação - Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI) da UFPR, *Universität Stuttgart* e SENAI-PR.

Daniela Neuffer⁽³⁾

Engenheira Civil e pós-graduada em Engenharia Civil pela *Universität Stuttgart*, Alemanha. Doutora em Técnicas de Proteção Ambiental pela *Universität Stuttgart*. Atualmente é pesquisadora e consultora da *Universität Stuttgart* no *Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft* (Instituto de Engenharia Sanitária, Qualidade da Água e Resíduos Sólidos, ISWA) na *Universität Stuttgart* e na empresa TTI GmbH. Coordenadora da Dupla Diplomação e professora do Programa de Pós Graduação - Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPGMAUI) da UFPR, *Universität Stuttgart* e SENAI-PR. Membro do comitê assessor AK-11.6 (Resíduos de óleo e graxas) da *Deutsch Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall* (Associação Alemã para Gerenciamento de Água, Águas Residuárias e Resíduos, DWA).

Endereço⁽¹⁾: Eng. Rebouças, 1376, Curitiba - PR - CEP: 80.215-900 - Brasil - Tel: (41) 99111-8693 - e-mail: alborba@sanepar.com.br

RESUMO

O estudo utiliza verificações teóricas e experiência observadas em escala operacional para apresentar considerações relacionadas ao sistema de distribuição da vazão afluente ao filtro percolador para tratamento de esgoto, abordando aspectos de projeto, implantação, operação e manutenção que influenciam o bom funcionamento desse processo unitário. O estudo apresenta, portanto, aspectos relacionados ao sistema de distribuição de vazão que influenciam as etapas de projeto, implantação, operação e manutenção de filtros percoladores verificados em ETEs em escala operacional, apontando dificuldades verificadas em ETEs em escala operacional e soluções adotadas ou possíveis, bem como discutindo a influência dos aspectos relacionados ao sistema de distribuição de vazão nas etapas de projeto, implantação, operação e manutenção de filtros percoladores e apontando sugestões relacionadas à utilização de meio suporte em pedra brita e em plástico estruturado de fluxo cruzado visando à melhoria dos aspectos abordados e visando o bom funcionamento de um filtro percolador em uma estação de tratamento de esgoto.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de esgoto, Filtros percoladores, Sistema de distribuição do afluente.

INTRODUÇÃO

Os filtros percoladores utilizam o princípio da atuação de micro-organismos aderidos a um meio suporte fixo, promovendo um tratamento biológico aeróbio, sendo a aeração realizada de forma natural, a partir do fluxo de ar entre a parte interna e externa do filtro. As eficiências obtidas para remoção de matéria orgânica e a

obtenção de nitrificação dependem da caracterização do afluente, do dimensionamento do filtro, da taxa de aplicação hidráulica praticada, entre outras variáveis (METCALF & EDDY, 2016; VON SPERLING E CHERNICHARO, 2005).

Por funcionar a partir de um processo de aeração natural, os filtros percoladores apresentam vantagens em relação ao consumo de energia se comparado a outros processos de aeração forçada. Por ser um processo biológico, não há demanda de produtos químicos adicionais, apresentando vantagens também se comparado a processos físico-químicos para tratamento de esgoto. Tais aspectos tornam os filtros percoladores interessantes quanto aos custos operacionais, quanto à simplicidade de funcionamento e quanto à qualidade do efluente tratado, agregando características sustentáveis a uma ETE, sendo apontado como um processo unitário adequado, sobretudo para países em desenvolvimento como o Brasil.

OBJETIVO GERAL E OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Considerando que a forma como o afluente ao filtro percolador é distribuído está relacionada a parâmetros de projeto e de operação que definem o dimensionamento e que são importantes para o bom funcionamento desse processo unitário e para a eficiência do tratamento, o presente estudo objetiva apresentar considerações sobre a influência dos aspectos relacionados ao sistema de distribuição nas etapas de projeto, implantação, operação e manutenção de filtros percoladores a partir da análise de casos verificados em escala operacional.

Para atingir o objetivo geral proposto, são apresentados como objetivos específicos (i) apresentar aspectos relacionados ao sistema de distribuição que influenciam as etapas de projeto, implantação, operação e manutenção de filtros percoladores verificados em ETEs em escala operacional; (ii) apontar dificuldades verificadas em ETEs em escala operacional e soluções adotadas ou possíveis; (iii) discutir a influência dos aspectos relacionados ao sistema de distribuição nas etapas de projeto, implantação, operação e manutenção de filtros percoladores.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para apresentar experiências práticas verificadas em ETEs em operação, o estudo adotou como cenário o Estado do Paraná, localizado na região sul do Brasil, considerando que foram identificadas diversas estações de tratamento de esgoto com filtros percoladores em uma mesma companhia de saneamento, facilitando o acesso e a compilação das informações.

Identificadas as ETEs com filtros percoladores, a cada visita realizada, foi possível analisar aspectos relacionados ao sistema de distribuição do afluente ao filtro, com o levantamento de dificuldades e soluções pertinentes, relacionando os fatos relatados e verificados em campo com afirmações teóricas, identificando a influência de tais aspectos nas etapas de projeto, implantação, operação e manutenção de filtros percoladores.

A apresentação dos resultados foi organizada por aspecto observado e analisado, descrevendo dificuldades verificadas e soluções implementadas ou possíveis. Os resultados apresentaram, portanto, as análises e discussões acerca de cada aspecto relacionado ao sistema de distribuição e considerações sobre a influência de tais aspectos nas etapas de projeto, implantação, operação e manutenção de filtros percoladores a partir de experiências verificadas em escala operacional.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Quanto às recomendações gerais normatizadas

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), através da Norma Brasileira Regulamentadora NBR 12.209/2011 “Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários”, recomenda que a montante do filtro, são necessárias as etapas de retenção de sólidos grosseiros, retenção de areia e gordura e retenção de sólidos sedimentáveis (ABNT, 2011).

Tanto a literatura consultada quanto as experiências em escala operacional verificadas sugerem que deve-se utilizar gradeamento ou peneiramento fino de 3 mm ou 6 mm, respectivamente, após o gradeamento médio no sistema preliminar de qualquer estação de tratamento de esgoto, especialmente quando um dos processos unitários é o filtro percolador.

Quanto ao material de fabricação e à corrosão do sistema de distribuição

Em função do tratamento anaeróbio à montante dos filtros percoladores, o afluente ao filtro contém H_2S dissolvido. Durante o cascadeamento que ocorre na distribuição do afluente, o H_2S é desprendido do meio líquido, causando corrosão no sistema de distribuição.

Ao analisar os materiais utilizados para fabricação dos sistemas de distribuição em operação nas ETES visitadas, foram verificadas experiências mal sucedidas com PRFV e com aço inox AISI 304. No caso do aço inox AISI 304, apesar de ser um material com propriedades de resistência à corrosão, os problemas verificados estão relacionados a outros componentes do sistema confeccionados em outros materiais não resistentes à corrosão ou ainda podem estar relacionados a pontos de perfuração, corte, solda ou costura da tubulação.

A diferença entre as configurações de aço inox resistentes à corrosão está na composição das ligas metálicas. O aço inox AISI 304_L é mais resistente à corrosão se comparado ao aço inox AISI 304 em função da quantidade de carbono, sendo o 304_L com menos carbono. A diferença entre o aço inox 316 e 316_L segue a mesma lógica. A liga de aço menos resistente à corrosão é, portanto, aquela que possui mais carbono na sua composição, ou seja, quanto menor a proporção de carbono no aço, mais resistência à corrosão é conferida ao material. Já a diferença entre os aços da linha AISI 304 e 316 é a utilização de molibdênio na linha 316, agregando também maior resistência à corrosão. Na Figura 1 estão apresentados dois sistemas de distribuição do afluente ao filtro, sendo o primeiro em aço inox AISI 314, com sinais de corrosão, e o segundo em aço inox AISI 316.



Figura 1: Sistema em aço inox AISI 304 com corrosão e sistema em aço inox 316 em bom estado

Considerando a sensibilidade com relação a altas temperaturas e a possibilidade de perder a proteção à corrosão, não devem ser realizadas perfurações, cortes ou soldas nas peças. Manuais técnicos de fornecedores de tubulação em aço inox recomendam ainda cuidado com o transporte das peças, alertando que choques mecânicos ou atritos podem danificar a peça e comprometer a proteção contra a corrosão.

A especificação elaborada em projeto deve contemplar, portanto, que todos os componentes do sistema de distribuição sejam fabricados em material não corrosivo, ressaltando que todos os componentes do sistema, incluindo braços, tirantes, elementos periféricos e peças complementares devem possuir resistência à corrosão equivalente à especificada em projeto. A especificação deve ressaltar que os tubos não podem ser expostos a altas temperaturas e que devem ser rejeitadas tubulações com costuras ou com furos, cortes ou soldas realizadas posteriormente à entrega do fornecedor.

Um material alternativo ao aço inox que pode ser estudado para utilização nos braços do sistema de distribuição é o CPVC, reduzindo os custos de implantação do sistema. Algumas ETES visitadas substituíram os braços de PRFV corroídos e deformados por braços de CPVC, apresentando bom funcionamento, conforme exemplificado na Figura 2.



Figura 2: Sistema de distribuição com braços em CPVC

Para minimizar os efeitos do H_2S e prevenir a corrosão do sistema de distribuição, outra solução verificada em algumas ETEs foi a instalação adaptada de um sistema de injeção de ar comprimido, utilizando mototestes de baixa potência (0,5 a 1,0 cv), na caixa divisora de fluxo afluente aos filtros, conforme mostrado na Figura 3. Nesse sistema, o H_2S é desprendido do meio líquido a partir do turbilhonamento gerado pela injeção de ar. Os gases desprendidos são captados e tratados em um filtro biológico, eliminando problemas de corrosão e de maus odores na distribuição do afluente ao filtro. Esse sistema pode ser adaptado em plantas existentes, mas de forma ideal, deve ser previsto e dimensionado ainda nas etapas de concepção e detalhamento dos projetos.

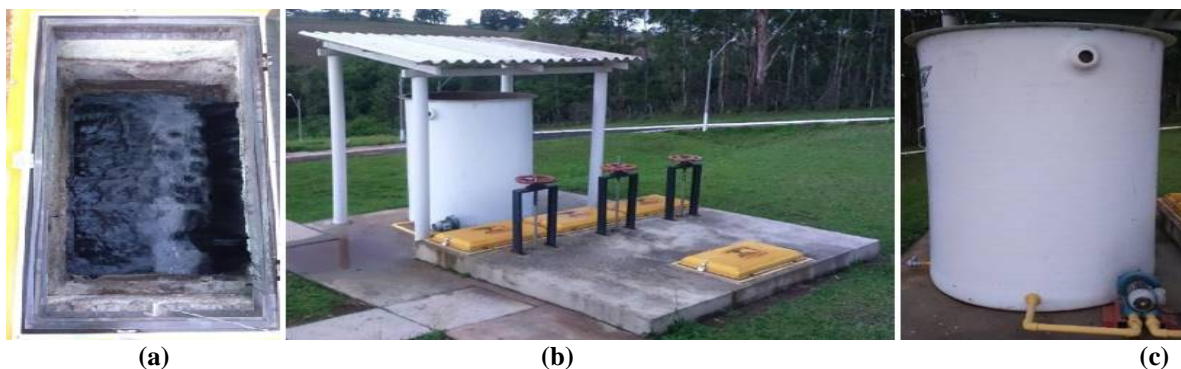


Figura 3: Caixa divisora de fluxo com injeção de ar comprimido para desprendimento^(a) e filtro biológico para tratamento dos gases corrosivos e odoríferos^{(b)(c)}

Quanto à distribuição uniforme e constante do afluente ao filtro e à prática de recirculação

Originalmente, os projetos de filtros percoladores utilizam a força hidráulica do afluente ao filtro para rotacionar o sistema e distribuir a vazão na superfície do filtro. Em diversas ETEs visitadas, foi verificado que em períodos de baixa vazão a velocidade de rotação diminui ou até mesmo tende a zero, prejudicando vários aspectos fundamentais para o bom funcionamento do filtro, principalmente a variação da taxa de aplicação hidráulica, que representa a alimentação da biomassa, responsável pela eficiência do tratamento.

As variações de vazão afluente verificadas em uma ETE municipal são decorrentes do consumo da população ao longo do dia, sendo estabelecidos períodos em que a vazão afluente à ETE é compatível com a capacidade da ETE, alternados com períodos de baixa vazão. As variações quanto à distribuição do afluente na superfície do filtro podem ocorrer, portanto, em função da variação da vazão afluente ao filtro, gerando uma variação na velocidade de rotação do sistema de distribuição, ou ainda em função de obstrução e entupimento dos orifícios de distribuição, ou por não terem sido previstas em projeto soluções para distribuir proporcionalmente a vazão, de forma que qualquer ponto da superfície do filtro receba a mesma taxa de aplicação hidráulica.

Frente ao problema de variação da velocidade de rotação do sistema de distribuição, em algumas ETEs foi verificada a instalação de um motor no eixo do sistema, conforme mostrado na Figura 4.



Figura 4: Filtro percolador com motor instalado no sistema de distribuição do afluente

Ao manter a velocidade de rotação do sistema constante, essa solução elimina situações críticas em que o sistema está com velocidade de rotação tendendo a zero, distribuindo toda a vazão afluente em uma pequena fração da área superficial do filtro, provocando taxas de aplicação hidráulica muito elevadas se comparadas às recomendadas para aquela área superficial, prejudicando o biofilme aderido àquele volume de meio suporte que está sendo alimentado com taxa hidráulica elevada, o que pode fazer com que o biofilme se desprenda, perdendo totalmente a biomassa e prejudicando a eficiência do tratamento. Por outro lado, no volume de meio suporte que não está sendo alimentado nesse mesmo momento, a biomassa não recebe alimento, o que também prejudica o desenvolvimento do biofilme e a eficiência do tratamento.

A recirculação do efluente do filtro percolador ou do decantador secundário no filtro, realizada de forma combinada com a vazão afluente à ETE, é a solução mais simples e apropriada para garantir a vazão afluente ao filtro constante, bem como garantir a velocidade de rotação do sistema de distribuição constante, influenciando positivamente o funcionamento do filtro e a eficiência do tratamento. A prática da recirculação exige a operação de um sistema de recalque da vazão a ser recirculada para o filtro e um sistema de controle de nível que regule a vazão a ser recirculada de tal forma que a soma da vazão afluente à ETE e da vazão recirculada resulte sempre em uma vazão afluente ao filtro constante. Devido à variação de vazão a ser recirculada, é fundamental prever conjuntos motobomba com inversor de frequência, agregando maior eficiência energética do sistema de recalque. A recirculação possibilita ainda a melhoria da qualidade do efluente final, podendo atingir níveis de nitrificação parcial e total, dependendo do dimensionamento do filtro.

Quanto à instalação e ao nível do sistema de distribuição

Além da manutenção da velocidade de rotação constante e da vazão afluente ao filtro constante, o nivelamento do sistema de distribuição em relação ao eixo também é fundamental para a distribuição uniforme. Em algumas ETEs visitadas, foi constatado que o equipamento não estava nivelado, ocasionando um desbalanceamento de forma que a vazão era encaminhada apenas para um lado do filtro. À medida que o sistema rotacionava, de um lado do filtro o braço passava sempre mais baixo enquanto do outro lado, sempre mais alto. A diferença de altura entre os braços fazia com que a vazão afluente fosse sempre para o braço com a extremidade em cota mais inferior, alimentando apenas uma parte do volume do filtro, conforme verificado e exemplificado na Figura 5.

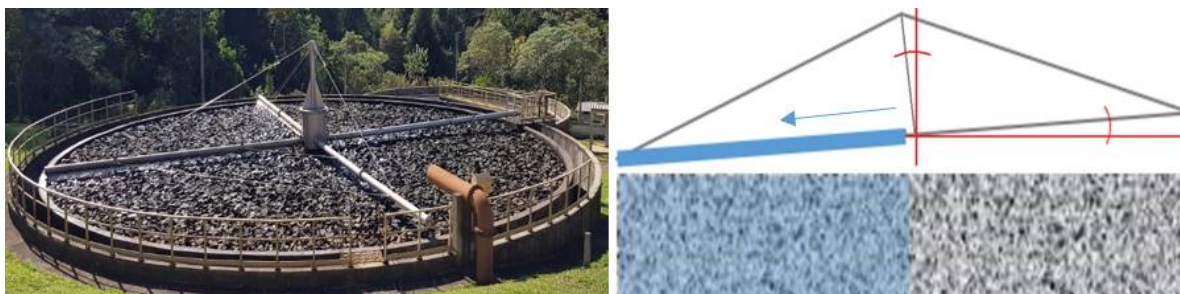


Figura 5: Sistema de distribuição desnivelado e alimentação parcial do filtro

Quanto à uniformidade da taxa de aplicação hidráulica em qualquer ponto da superfície do filtro

A taxa de aplicação hidráulica deve ser uniforme em qualquer ponto da superfície do filtro. Uma solução de projeto que resulta na distribuição uniforme da vazão ao longo do braço distribuidor, utilizada em algumas ETEs visitadas, consiste na variação do espaçamento entre os orifícios ao longo dos braços de tal forma que a

vazão de alimentação seja sempre proporcional à área alimentada, resultando em uma taxa de aplicação hidráulica igual em qualquer ponto da superfície do filtro.

Na Figura 5 é representado um filtro com um sistema de distribuição com 4 braços, mostrando as diferentes áreas ou “anéis de alimentação” referentes a cada segmento de braço. A simulação utilizou um filtro de raio igual a 10 m e verificou, para esse caso, que a cada segmento de 1 m a área do anel de alimentação aumenta em aproximadamente 2 % em relação à área total. A proporção entre a área alimentada pelo 1º segmento em relação à área total da superfície do filtro é de 1 %, enquanto a do 10º segmento é de 19 %, mostrando a diferença significativa entre as áreas dos anéis de alimentação. A Tabela 1 apresenta a área total e as áreas parciais correspondentes a cada segmento de braço, sendo possível analisar todas as proporções, indicando a necessidade de aplicar a mesma proporção para a vazão a ser distribuída por segmento de braço visando à uniformidade da taxa de aplicação hidráulica.

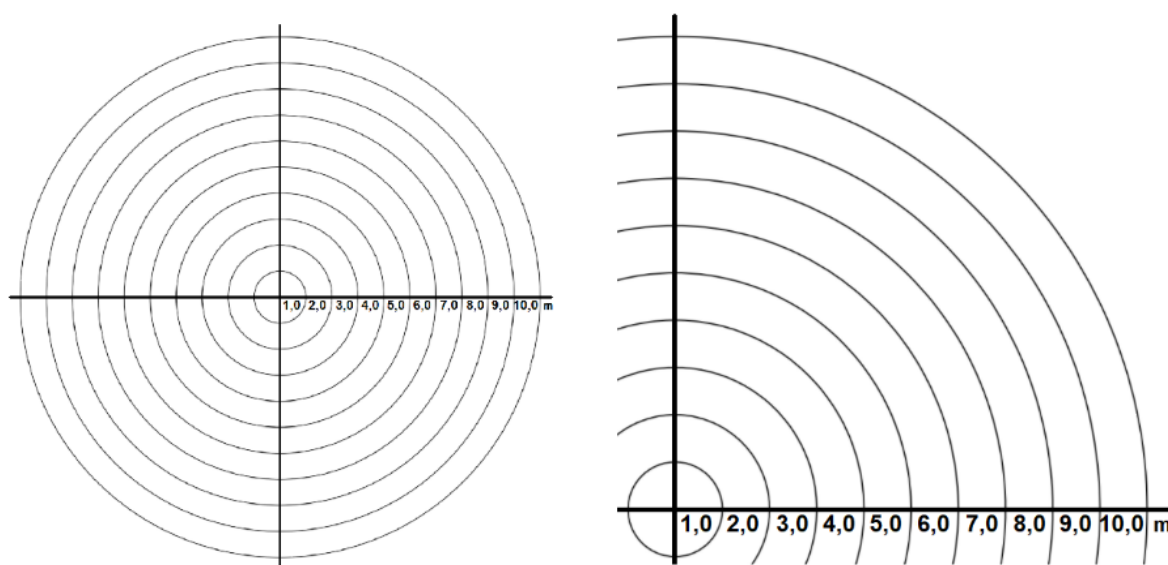


Figura 5: Representação de um filtro com raio igual a 10 m e das áreas dos anéis de alimentação referentes a cada segmento de 1 m do braço distribuidor

Tabela 1: Simulação de área equivalente alimentada para cada segmento do braço de distribuição

Segmento	Raio	Área total (m ²)	Segmento (m)	Área alimentada (m ²)	% de área alimentada em relação à área total
1º	1,0	3,14	0,0 a 1,0	3,14	1,0 %
2º	2,0	12,57	1,0 a 2,0	9,42	3,0 %
3º	3,0	28,27	2,0 a 3,0	15,71	5,0 %
4º	4,0	50,27	3,0 a 4,0	21,99	7,0 %
5º	5,0	78,54	4,0 a 5,0	28,27	9,0 %
6º	6,0	113,10	5,0 a 6,0	34,56	11,0 %
7º	7,0	153,94	6,0 a 7,0	40,84	13,0 %
8º	8,0	201,06	7,0 a 8,0	47,12	15,0 %
9º	9,0	254,47	8,0 a 9,0	53,41	17,0 %
10º	10,0	314,16	9,0 a 10,0	59,69	19,0 %

A solução de distribuição uniforme deve prever, portanto, que a vazão de alimentação deve ser proporcionalmente distribuída ao longo do braço, respeitando a proporção entre a vazão e a área do anel de alimentação, mantendo assim, uma taxa de aplicação hidráulica igual em qualquer ponto da superfície do filtro, conforme exemplificado na Figura 6.

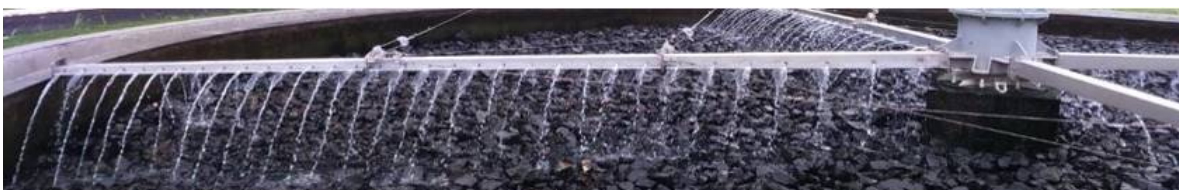


Figura 6: Distribuição uniforme a partir do espaçamento variável entre os orifícios ao longo do braço

Quanto a outras soluções e configurações de sistema de distribuição da vazão afluyente ao filtro visando à distribuição uniforme

Quanto às soluções de distribuição do afluyente, as principais variações verificadas foram quanto à distribuição ser por orifícios, aspersores ou registros, e quanto ao braço possuir ou não uma chapa difusora acoplada na geratriz inferior, ou acoplada individualmente nos aspersores ou registros.

Enquanto os orifícios tendem a formar um jato pontual e mais forte, os aspersores difundem o jato, melhorando a uniformidade da distribuição do afluyente e preservando a camada de biofilme estabelecida na superfície mais exposta do filtro.

Para proporcionar um efeito semelhante aos aspersores em sistemas compostos apenas por orifícios de distribuição, podem ser instaladas chapas difusoras na geratriz inferior dos braços. A chapa difusora proporciona o melhor espalhamento do afluyente na superfície do filtro e contribui com a homogeneidade na distribuição, evitando, da mesma forma, a formação de um jato pontual e mais forte tal que prejudique o biofilme aderido à superfície mais externa do filtro. Na figura 7 estão apresentados exemplos de sistemas com a placa difusora para melhor distribuição do afluyente e para evitar o jato pontual formado pela pressão hidráulica nos orifícios de distribuição convencionais.

Por melhorar o espalhamento e a distribuição do afluyente na superfície alimentada, contribuir com a homogeneidade na distribuição, suavizar os jatos formados pelos orifícios de distribuição, protegendo a camada de biofilme aderida à superfície mais externa do filtro, o emprego da chapa difusora mostrou-se interessante e é recomendado como uma solução simples e eficaz, auxiliando o bom funcionamento dos filtros percoladores.



Figura 7: Braços com chapa difusora

Existem outros exemplos de sistemas estáticos de distribuição, compostos por rede de tubulações e aspersores que proporcionam uma distribuição uniforme em toda a área superficial do filtro. Nesses casos, o filtro percolador pode ser projetado com qualquer outra geometria. Um exemplo de sistema estático está apresentado na Figura 8.



Figura 8: Sistema de distribuição estático ou fixo e detalhe da tubulação e do aspersor

Quanto à presença de resíduos sólidos e gorduras no afluente ao filtro, dificuldades de operação e necessidade de manutenção preventiva e corretiva do sistema de distribuição

Além de promover diferença nas taxas de aplicação hidráulica ao longo da superfície do filtro, gerando áreas que recebem uma taxa superior à de projeto e áreas com deficiência de alimentação, as obstruções e o entupimento dos orifícios de distribuição geram diferentes pressões hidráulicas ao longo dos braços dos sistemas.

A presença de sólidos, resíduos e gorduras no afluente ao filtro percolador prejudica a distribuição do afluente ao filtro em função das variações e alterações das taxas de aplicação hidráulica nas diferentes regiões da superfície do filtro, conforme exemplificado na Figura 9, comprometendo a alimentação da biomassa e, consequentemente, a eficiência do tratamento. Nesse caso exemplificado na Figura 9, é verificada a solução de espaçamento diferente entre os orifícios no braço de distribuição, solução supracitada para melhorar as condições de distribuição do afluente, porém os orifícios estão obstruídos, resultando em uma distribuição completamente não uniforme.



Figura 9: Distribuição não uniforme do afluente e taxa de aplicação hidráulica não uniforme

Para prevenir situações como a exemplificada na Figura 9, é necessário prever em projeto equipamentos eficientes para remoção de resíduos, areia e gorduras nos processos a montante do filtro percolador. Caso o sistema preliminar não possua gradeamento fino, deve-se prever a implantação de gradeamento ou peneiramento fino, sendo recomendado espaçamento de 3 ou 6 mm.

Pode-se estudar ainda a implantação de uma peneira estática de malha fina logo a montante do filtro, evitando que sólidos aglutinados no reator anaeróbio obstruam o sistema de distribuição do filtro.

É importante ressaltar a importância de estabelecer e implementar também a rotina de operação dos reatores anaeróbios, incluindo retirada de espuma e descarte de lodo.

Já nos filtros, é fundamental estabelecer e implementar uma rotina de operação, vistoria e manutenção preventiva que inclua a desobstrução diária dos orifícios e a limpeza periódica dos braços de distribuição, conforme exemplificado na Figura 10. Todas essas práticas devem estar previstas no manual de operação de ETEs com filtros percoladores, seja em novos projetos ou em plantas que já se encontram em operação, visando proteger o filtro percolador de falhas decorrentes dos demais processos unitários a montante do filtro.



Figura 10: Acesso para limpeza na extremidade do braço de distribuição

Quanto à distribuição uniforme, à taxa de aplicação hidráulica e ao desenvolvimento do biofilme

A não uniformidade da taxa de aplicação hidráulica em todo o volume do meio suporte pode causar a não uniformidade do crescimento do biofilme, fazendo com que uma parte do volume do meio suporte seja alimentada, adequadamente ou em sobrecarga hidráulica, enquanto a outra parte do volume esteja subaproveitada ou inutilizada, comprometendo o funcionamento adequado do filtro e a eficiência esperada para o tratamento, conforme indicado na Figura 11.



Figura 11: Falhas no crescimento do biofilme ocasionadas por distribuição não uniforme (sinalizadas com a flecha amarela na figura)

Enquanto uma parte do meio suporte recebe vazão e taxa de aplicação hidráulica adequadas, proporcionando condições para o desenvolvimento do biofilme, outra parte do volume é subaproveitada, resultando em baixo ou nulo crescimento do biofilme por falta de alimento para os micro-organismos, fazendo com que a biomassa seja reduzida, seca e ineficiente, ou mesmo inexistente.

Pode acontecer ainda uma situação em que a parte do volume de meio suporte que recebe mais vazão e fica em sobrecarga hidráulica, em situação de lavagem ou *flushing* constantemente, provocando excessiva perda de sólidos e dificuldade de fixação e crescimento do biofilme em função da alta taxa de aplicação hidráulica.

Quanto ao controle de crescimento do biofilme e lavagem do meio suporte

A prática de lavagem ou *flushing* está diretamente relacionada à taxa de aplicação hidráulica e à velocidade de rotação do sistema de distribuição da vazão afluente ao filtro.

A lavagem do meio suporte, originalmente chamada de *Spülkraft* ou *flushing*, é um processo de manutenção periódica realizado a partir da diminuição da velocidade de rotação do sistema de distribuição, resultando em um aumento da taxa de aplicação hidráulica em um determinado período de tempo (DWA, 2016).

Realizando a lavagem do meio suporte periodicamente, é possível controlar a espessura do biofilme em filtros percoladores de baixa taxa. A taxa de dosagem é função da carga hidráulica total, ou seja, vazão afluyente somada à vazão de recirculação, do número de braços no sistema de distribuição e da velocidade de rotação do sistema (METCALF & EDDY, 2016).

Além da manutenção preventiva do sistema de distribuição afluyente ao filtro percolador, tanto a literatura quanto os fornecedores de meio suporte plástico indicam a realização periódica de lavagem do meio suporte visando o controle do crescimento excessivo do biofilme, prevenindo ainda a colmatação do meio suporte e o crescimento de vetores, moscas e caramujos. As verificações em escala operacional sugerem que a periodicidade seja estudada e definida caso a caso, conforme o desenvolvimento do biofilme.

Esta operação consiste em aumentar a taxa de aplicação hidráulica e pode ser realizada diminuindo a velocidade do sistema de distribuição por um intervalo de tempo calculado para atingir a taxa de aplicação necessária para este procedimento. A literatura ressalta que essa variação de taxa hidráulica não deve exceder o dobro da taxa de operação normal do sistema.

Metcalf & Eddy (2016) e Jordão e Pessoa (2014) apresentam o cálculo de taxa de dosagem em milímetros por passagem do braço, conforme equação 1.

$$SK = \frac{(1 + r) \cdot TAH \cdot (1000 \text{ mm/m})}{N \cdot n \cdot (1440 \text{ min/d})} \quad (1)$$

Sendo:

- SK : taxa de dosagem ou dosagem de aplicação (mm /passagem)
r : razão ou fração de recirculação (adimensional)
TAH : taxa de aplicação hidráulica ou carga hidráulica (m³/m²·d)
N : número de braços distribuidores (unidades)
n : velocidade de rotação do sistema de distribuição (rpm)

Na Tabela 1 estão apresentados os valores recomendados para taxas de dosagem afluyente em função da carga de DBO.

Tabela 1: Valores recomendados para taxas de dosagem para operação normal e para lavagem

Carga de DBO (kg/m ³ ·d)	Dosagem (mm/passagem)	
	Operação normal	Lavagem (<i>flushing</i>)
<0,4	25 a 75	100
0,8	50 a 150	150
1,2	75 a 225	220
1,6	100 a 300	300
2,4	150 a 450	450
3,2	200 a 600	600

FONTE: WEF (2011), Metcalf & Eddy (2016).

O método internacional DWA (2016) também apresenta o cálculo do Spülkraft indicando em quantos milímetros aumenta o nível da água num recipiente sobre o filtro enquanto o sistema de distribuição é rotacionado. Para condições normais de operação, a taxa é de pelo menos 0,5 mm/rotação·h, sendo que taxas inferiores podem comprometer a eficiência do molhamento da superfície específica do meio suporte (DWA, 2016).

Periodicamente, a operação deve realizar a lavagem a taxas de até 2,5 mm/rotação·h (mm por rotação do braço por hora), a partir da redução da velocidade de rotação e do consequente aumento da taxa de alimentação da superfície do filtro. O cálculo de Spülkraft é obtido a partir das equações 2 e 3, apresentadas pela DWA (2016), de forma semelhante à apresentada por Metcalf & Eddy (2016) e por Jordão e Pessoa (2014).

$$SK = \frac{1000 \cdot q_A}{a \cdot n \cdot 60} \quad (2)$$

$$q_A = (Q_{T,d,aM/24}) + \frac{Q_R}{A} \quad (3)$$

Sendo:

- SK : taxa de dosagem do poder de lavagem (*Spiilkraft*) (mm/rotação·h)
 q_A : carga hidráulica aplicada ($m^3/m^2 \cdot h$)
 a : número de braços do sistema de distribuição do afluente (unidades)
 n : velocidade de rotação do sistema de distribuição afluente (rotação/min)
 $Q_{T,d,aM/24}$: vazão afluente média anual diária (m^3/d)
 Q_R : vazão de recirculação (m^3/h)
 A : área superficial do filtro (m^2)

Adicionalmente, o método internacional DWA (2016) determina que alguns fatores de influência devem ser considerados para o cálculo da *Spiilkraft*, necessários para a adequada operação. Os fatores ϑ_1 , ϑ_2 e ϑ_3 estão relacionados à altura útil do meio suporte, à carga média diária de DQO e ao material utilizado como meio suporte, respectivamente, conforme apresentado nas Tabelas 2, 3 e 4 (DWA, 2016).

Tabela 2: Fator de influência ϑ_1 relacionado à altura do meio suporte

Altura do meio suporte					
h (m)	≤1,8	≤3,0	≤4,6	≤6,1	>6,1
ϑ_1	1,0	2,0	3,0	4,0	5,0

FONTES: DWA (2016).

Tabela 3: Fator de influência ϑ_2 relacionado à carga de DQO aplicada

Carga de DQO									
DQO (kg/m^3d)	≤0,6	≤0,8	≤1,2	≤2,0	≤3,0	≤4,0	≤5,0	≤6,0	>6,0
ϑ_2	1,5	1,8	2,5	3,2	4,0	5,0	6,5	8,0	10,0

FONTES: DWA (2016).

Tabela 4: Fator de influência ϑ_3 relacionado ao material e tipo do meio suporte

Meio suporte	Plástico fluxo vertical			Plástico fluxo cruzado 60°			Plásticos randômicos ($h_{max}=5,0m$)		Pedra brita ou lava ($h_{max}=4,0m$)		
m^2/m^3	≤100	≤125	≤150	≤100	≤125	≤150	≤250	≤100	≤125	≤150	60 a 90
ϑ_3	1,0	1,5	2,0	1,5	2,0	2,5	3,5	4,0	6,0	8,0	5,0

FONTES: DWA (2016).

Para obter valores intermediários não definidos previamente nas tabelas apresentadas, basta realizar a interpolação entre os intervalos. Outros valores também podem ser atribuídos de acordo com o fabricante de meio suporte plástico (DWA, 2016).

Para realizar a lavagem, é necessário controlar a velocidade de rotação do sistema de distribuição. Uma das formas de controle da velocidade pode ser com o posicionamento de alguns orifícios do braço de distribuição no lado oposto à direção de rotação, utilizando a própria força hidráulica para desacelerar a rotação. Também para o controle da velocidade, pode ser utilizado o motor elétrico instalado no eixo do sistema, facilitando o controle da distribuição uniforme do afluente e permitindo o controle da velocidade de rotação para as eventuais lavagens do meio suporte (METCALF & EDDY, 2016).

Quanto a ações e desdobramentos relacionados ao sistema de distribuição da vazão afluyente ao filtro percolador

A Tabela 5 reuniu sugestões de ações e desdobramentos relacionados ao sistema de distribuição da vazão afluyente ao filtro, elaboradas a partir das verificações teóricas e da observação de experiências práticas em escala operacional.

Tabela 5: Ações e desdobramentos relacionados ao sistema de distribuição de vazão afluyente ao filtro percolador

Ação	Desdobramentos
Elaborar especificação detalhada para prevenir corrosão	Contemplar exigências e soluções que eliminam os problemas verificados nesse estudo quanto à corrosão do sistema de distribuição uniforme, incluindo material de fabricação dos equipamentos e peças, bem como soluções para captura e tratamento dos gases corrosivos
Elaborar especificação detalhada para manutenção da velocidade de rotação	Contemplar exigências e soluções que eliminam os problemas verificados nesse estudo quanto à velocidade de rotação, incluindo a manutenção da vazão afluyente ao filtro constante e a especificação de motor no sistema de distribuição para compensar a força hidráulica em situações de variação da vazão afluyente, mantendo a velocidade de rotação sempre constante
Elaborar especificação detalhada para homogeneidade na distribuição	Contemplar exigências e soluções que eliminam os problemas verificados nesse estudo, incluindo soluções de projeto, testes de pré-operação e práticas de operação e manutenção
Prever pré-operação assistida pelo fornecedor do sistema de distribuição	Elaborar item na especificação comprometendo o cumprimento das especificações e a garantia de funcionamento pelo fornecedor através da pré-operação assistida
Substituir os sistemas com problemas em ETEs em operação	Utilizar a especificação elaborada para aquisição de novos sistemas e prever a implantação de todas as soluções necessárias para eliminar problemas que prejudicam o funcionamento adequado do sistema de distribuição apresentadas e discutidas
Estabelecer rotina de operação e manutenção preventiva	Utilizar as experiências relatadas nesse estudo para elaborar boas práticas de operação e manutenção preventiva
Aplicar PDCA na revisão da rotina de operação e manutenção preventiva	Utilizar as experiências atuais de operação para revisar boas práticas de operação e manutenção preventiva

CONCLUSÕES

O estudo analisou estações de tratamento de esgoto com filtros percoladores em escala operacional e verificou aspectos relacionados ao sistema de distribuição do afluyente ao filtro e a influência de tais aspectos nas etapas de projeto, implantação, operação e manutenção desse processo unitário de tratamento.

Os aspectos verificados no estudo foram relacionados ao material de fabricação e à resistência à corrosão; à distribuição uniforme e constante do afluyente ao filtro, à recirculação e à manutenção da taxa de aplicação hidráulica; à presença de resíduos sólidos e gorduras e às dificuldades operacionais e de manutenção preventiva e corretiva no sistema de distribuição do afluyente ao filtro nas ETEs com filtros percoladores.

Todas as considerações foram apresentadas a partir de casos práticos verificados em estações de tratamento de esgoto em escala operacional, a partir de uma abordagem teórica e de experiências de projeto, obra e operação e manutenção de filtros percoladores.

As soluções verificadas que minimizam ou eliminam os problemas e as dificuldades constatadas são simples e podem ser facilmente previstas nas etapas de projeto e obra, ou, dependendo do caso, podem ser contornadas

pela operação e pela realização de manutenção preventiva ou corretiva, visando sempre o funcionamento adequado e a qualidade do efluente.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12.209: Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. Rio de Janeiro, 2011.
2. DWA, Deutsch Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. (2016). *Bemessung von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen* (Dimensionamento de Estações de Tratamento de Esgoto em climas quentes e frios). p.84-108, p.260-27. Essen. 2016.
3. JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. Tratamento de esgotos domésticos. 7 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.
4. METCALF & EDDY, Inc. Tratamento de efluentes e recuperação de recursos. 5thEd. 1980p. Porto Alegre 2016.
5. VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. de L. *Biological wastewater treatment in warm climate regions*. 1st. Ed. IWA UFMG. London. 2005.
6. VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. de L. *Biological wastewater treatment in warm climate regions*. 1st. Ed. IWA UFMG. London. 2005.