

II-557 - O MÉTODO INTERNACIONAL DWA – 2016 PARA DIMENSIONAMENTO DE FILTROS PERCOLADORES E AS DIFERENÇAS COM OS MÉTODOS PRATICADOS NO BRASIL: COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS E A INFLUÊNCIA DO MEIO SUPORTE

Aliny Lucia Borges Borba⁽¹⁾

Engenheira de Produção Civil e Mestre em Saneamento e Recursos Hídricos pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil (PPGEC) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). Mestranda do Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPG MAUI) da Universidade Federal do Paraná (UFPR), SENAI-PR e *Universität Stuttgart*, Alemanha. Engenheira Civil na Assessoria de Planejamento e Desenvolvimento Ambiental (APDA) da Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar.

Daniela Neuffer⁽²⁾

Engenheira Civil e pós-graduada em Engenharia Civil pela *Universität Stuttgart*, Alemanha, e Doutora em Técnicas de Proteção Ambiental pela *Universität Stuttgart*. 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*. Coordenadora e professora titular do Programa de Pós Graduação - Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPG MAUI) 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).

Karen Juliana do Amaral⁽³⁾

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (UEPG). Mestre e Doutora em Engenharia Civil, com ênfase em Recursos Hídricos, pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ) e *Universität Stuttgart*, Alemanha. Pesquisadora da *Universität Stuttgart* no *Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft* (Instituto de Engenharia Sanitária, Qualidade da Água e Resíduos Sólidos, ISWA) na *Universität Stuttgart*. Professora titular do Programa de Pós Graduação - Mestrado Internacional em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPG MAUI) da UFPR, *Universität Stuttgart* e SENAI-PR.

Bárbara Zanicotti Leite Ross⁽⁴⁾

Engenheira de Alimentos pela Pontifícia Universidade Católica do Paraná (PUC-PR). Mestre em Tecnologia Química e Doutora em Engenharia de Recursos Hídricos e Ambiental pela Universidade Federal do Paraná (UFPR). Pesquisadora na Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar.

Endereço^(1,4): Companhia de Saneamento do Paraná – Sanepar. R. Engenheiros Rebouças, 1376, Curitiba, Paraná, Brasil. CEP: 80.215-900. Telefone: +55 (41) 3582-2340. e-mail: alborba@sanepar.com.br; barbarazl@sanepar.com.br. ^(2,3)*Institut für Siedlungswasserbau, Wassergüte und Abfallwirtschaft* (ISWA), *Universität Stuttgart*, Stuttgart, Alemanha; Programa de Pós Graduação em Meio Ambiente Urbano e Industrial (PPG MAUI), Universidade Federal do Paraná (UFPR), Centro Politécnico, Curitiba, Brasil. e-mail: daniela.neuffer@iswi.uni-stuttgart.de; karenjamaral@gmail.com.

RESUMO

Este estudo trata sobre as principais diferenças verificadas entre o método de dimensionamento de filtros percoladores utilizado atualmente no Brasil e o método DWA (2016). O estudo apresenta as variáveis utilizadas, as Equações empregadas, a lógica de concepção dos métodos e uma estimativa de dimensionamento de um filtro percolador que recebe afluente com características equivalentes à de um reator anaeróbio, objetivando a nitrificação. Para as mesmas condições, o volume resultante conforme o método DWA (2016) é cerca de 11% menor se comparado ao resultado obtido pelo outro método. Este dimensionamento utilizou meio suporte plástico estruturado de fluxo cruzado, porém o estudo compara este material à pedra, largamente utilizada como meio suporte, apontando as principais diferenças e ponderando a influência do meio suporte e da área superficial específica nas equações propostas pelos dois métodos de dimensionamento analisados.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de esgoto sanitário, Filtros percoladores, Métodos de dimensionamento, Meio suporte.

INTRODUÇÃO

O princípio da atuação de microorganismos aderidos a um meio suporte fixo e formando um biofilme que atua no tratamento de esgoto doméstico e industrial já é utilizado há mais de cem anos, inicialmente em configurações mais rudimentares. O tratamento biológico ocorre quando o esgoto entra em contato com o biofilme aderido ao meio suporte. Os filtros percoladores são, assim, concebidos em uma estrutura composta por tubulações de entrada e saída, sistema de distribuição do afluente e meio suporte de pedra brita ou de outros materiais plásticos, randômicos ou estruturados, sendo a área superficial desse material utilizada para crescimento e fixação do biofilme, através do qual percola o esgoto distribuído. A atividade biológica é predominantemente aeróbia e oferece a redução da matéria orgânica e nitrogenada em diferentes eficiências, dependendo das condições do afluente, dos critérios e parâmetros adotados no dimensionamento, do meio suporte utilizado, entre outras variáveis (METCALF & EDDY, 2003, 2016; JORDÃO E PESSÔA, 2014).

Para compor um sistema de tratamento de esgoto, o filtro percolador deve ser precedido de tratamento preliminar e primário, com remoção de sólidos grosseiros por gradeamento e peneiramento, com remoção de gordura e areia através de caixas de gordura, desarenadores ou sistemas combinados, e com remoção de sólidos sedimentáveis através de tanques sépticos, decantadores primários ou reatores anaeróbios, entre outras tecnologias para tratamento primário. Após o filtro percolador, é necessária ainda uma etapa de decantação secundária para remoção de sólidos ainda presentes no efluente do filtro. A Figura 1 apresenta um fluxograma simplificado que ilustra uma estação de tratamento de esgoto composta por filtro percolador (ABNT, 2011; VON SPERLING & CHERNICHARO, 2005).

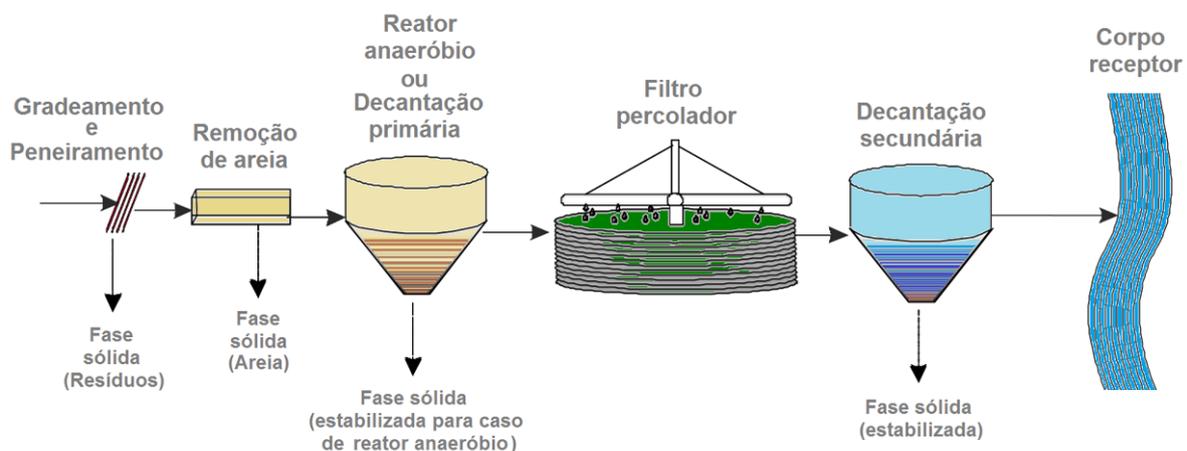


Figura 1: Etapas de tratamento mínimas necessárias a montante e a jusante de um filtro percolador para tratamento de esgoto (Adaptado de Von Sperling e Chernicharo, 2005).

Dentre os métodos internacionais de dimensionamento de filtros percoladores, cita-se o método empírico do *National Research Council* (NRC, 1946); as equações de Schroeder e Tchobanoglous (1976), para o cálculo da demanda de aeração; as equações de Velz (1984), para a degradação da matéria orgânica; e de Gujer & Boller (1986), para a nitrificação; bem como os estudos de Wolf e Logan (1987), Wik (1999), as normas americanas U.S. EPA 2000 "a" e "b" (2000), a norma alemã ATV-A 281 (2001), entre outros estudos acadêmicos. As Equações destes métodos são citadas por Metcalf & Eddy (2003, 2016) e Jordão e Pessôa (2014), por exemplo, duas referências largamente utilizadas para concepção e elaboração de projetos de tratamento de esgoto. A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira Regulamentadora NBR 12209/2011, "Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários" (ABNT, 2011), recomenda parâmetros e critérios para o dimensionamento de filtros percoladores, conforme as referências supracitadas.

No final da década de 70, já se estudava diferentes configurações de meio suporte plástico para filtros percoladores. A evolução destas experiências resultou na chamada "nova geração de filtros percoladores" que, utilizando meio suporte plástico em substituição à pedra brita, pode superar problemas relacionados à colmatação do filtro, aumentando a capacidade de remoção de matéria orgânica e de nitrogênio (HENRICH e MAEGGRAFF, 2013).

Estudos recentes realizados durante o “*Exportorientierte Forschung und Entwicklung im Bereich Abwasser – Validierung an technischen Anlagen*” (Investigação e transferência de tecnologia orientada para o desenvolvimento do setor de águas residuárias – validação em instalações em escala industrial), promovido pela *Deutsch Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall* (Associação Alemã para Gerenciamento de Água, Águas Residuárias e Resíduos) (DWA, 2016), analisaram os métodos existentes e respectivos critérios e parâmetros de dimensionamento e apresentaram um método otimizado, não apenas para a realidade alemã, mas sim para diferentes regiões climáticas, sendo, portanto, um método de relevância internacional. O método DWA (2016) é baseado na modificação e combinação de equações anteriormente utilizadas para o dimensionamento de filtros percoladores e consiste no cálculo da degradação de matéria orgânica e de nitrogênio amoniacal por segmentos de altura do meio suporte. A modificação e otimização das equações e a segmentação dos cálculos de degradação de matéria orgânica e de nitrogênio amoniacal por segmento do filtro tornam o dimensionamento mais preciso e fazem com que o método seja adequadamente aplicado em regiões tropicais, subtropicais e temperadas, abrangendo a maior parte dos lugares hoje pelo homem ocupados, enquanto os métodos anteriores eram adequados apenas a regiões temperadas, com médias anuais de temperaturas mais baixas e invernos mais rigorosos, conforme apresentado na Figura 2 (DWA, 2016).

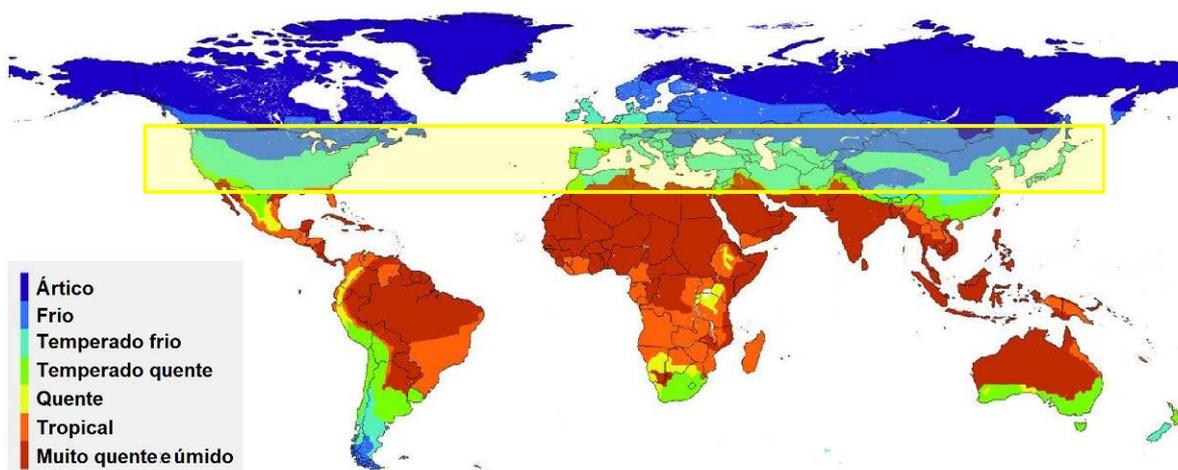


Figura 2: Zonas climáticas e área de abrangência dos métodos de dimensionamento de dimensionamento de filtros percoladores anteriores ao método DWA (Adaptado de EXPOVAL, 2016).

Considerando o exposto, percebe-se a necessidade de verificar os métodos, critérios e parâmetros de dimensionamento para filtros percoladores atualmente praticados no Brasil, comparando as modificações e otimizações propostas no método DWA. As diferenças entre os métodos podem ser visualizadas ao confrontar os resultados de dimensionamento e eficiência obtidos, seja sob a perspectiva da geometria do filtro ou das eficiências esperadas, considerando os critérios, parâmetros e variáveis de cálculo adotados em cada método.

OBJETIVO

Este estudo objetiva analisar comparativamente o método praticado atualmente no Brasil e o método DWA (2016) para dimensionamento de filtros percoladores, considerando a influência do meio suporte nos resultados obtidos.

Para atingir o objetivo geral proposto, foram estabelecidos os seguintes objetivos específicos:

- (i) Identificar as principais diferenças entre os dois métodos estudados, considerando as variáveis utilizadas, as equações e a lógica de concepção e de sequências de cálculo que propõem cada um dos métodos de dimensionamento;
- (ii) Dimensionar diferentes filtros percoladores para atingir a mesma qualidade de efluente final seguindo os algoritmos propostos em cada um dos métodos estudados;
- (iii) Comparar os resultados obtidos para cada dimensionamento calculado, sobretudo quanto ao volume necessário para o meio suporte e quanto à forma como cada método considera as características do meio

suporte, e suas implicações em relação ao dimensionamento do filtro percolador e à eficiência do tratamento.

MÉTODOS E MATERIAIS

A identificação das principais diferenças entre os dois métodos de dimensionamento de filtros percoladores foi realizada comparando a composição das equações e as sequências de cálculo para dimensionar uma unidade de filtro percolador, bem como verificando os diferentes critérios, parâmetros e variáveis considerados e adotados.

A comparação da composição das equações e das sequências de cálculo é fundamental para verificar em quais aspectos há evolução ou modernização dos algoritmos propostos no método DWA (2016) e, da mesma forma, identificar a influência das diferentes abordagens no resultado final do dimensionamento, tanto no aspecto de dimensionamento e geometria do filtro, quanto para a eficiência do tratamento. Já a comparação entre critérios, parâmetros e variáveis é fundamental para identificar, de modo global, como as variáveis podem influenciar os resultados finais.

Para dimensionar os filtros percoladores, foi necessário caracterizar o afluente e definir a qualidade desejada para o efluente final. Para uma análise simplificada entre os métodos, este estudo definiu que as características do afluente para este estudo comparativo seriam as mesmas do afluente caracterizado no exemplo de dimensionamento publicado pela DWA (2016), sendo a concentração de DQO igual a 271,6 mg/l e a de NH_4^+ igual a 36,7 mg/l. Para fins de comparação de eficiência de nitrificação, foi estabelecido que o efluente final deve apresentar no máximo 2,5 mg/l de NH_4^+ e 20 mg/l. Sabendo que o método utilizado atualmente no Brasil utiliza a DBO e não a DQO como parâmetro para definir a matéria orgânica, foi estabelecida a relação DQO/DBO de 2,6, obtendo DBO afluente estimada em 105,5 mg/l.

As características do afluente ao filtro percolador foram comparadas aos padrões sugeridos por Von Sperling e Chernicharo (2005) para esgoto doméstico bruto, considerando a eficiência média sugerida para efluente de tratamento primário com reatores anaeróbios do tipo UASB, sendo a concentração de matéria orgânica em termos de DQO e DBO coerente com tais padrões.

A exigência de realizar nitrificação remete a um cenário futuro próximo em que os órgãos ambientais no Brasil passarão a cobrar limites para lançamento de nitrogênio amoniacal nas estações de tratamento de esgoto sanitário, visando o controle mais rigoroso quanto à presença de nutrientes e quanto à eutrofização dos corpos hídricos.

A vazão de entrada média foi de 20.000 m³/d, equivalente a uma estação de tratamento de esgoto de pequeno a médio porte. As demais variáveis altura total do meio suporte, carga orgânica volumétrica e taxa de aplicação hidráulica ou carga hidráulica, dentre outras, foram definidas da mesma forma, de acordo com o cálculo exemplificado apresentado pela DWA (2016).

Quanto à definição do meio suporte a ser utilizado, as principais características da pedra brita e dos materiais plásticos mais utilizados como meio suporte de filtros percoladores foram levantadas, identificando as diferenças entre tais materiais, subsidiando a escolha do material utilizado como meio suporte. Foram consideradas as variáveis área superficial específica, índice de vazios, altura máxima do filtro e massa específica, conforme apresentado na Tabela 1.

O material escolhido como meio suporte para o dimensionamento realizado neste estudo foi o plástico estruturado de fluxo cruzado a 60°, de polipropileno, com área superficial específica igual a 125 m²/m³, peso específico igual 80 kg/m³ e índice de vazios superior a 97%, apontado pelo método DWA (2016) como o limite máximo de área superficial específica de um meio suporte aplicado para degradação de carbono.

Após o estudo dos métodos e a definição de todas as variáveis, foi realizado o cálculo de dimensionamento conforme sequência proposta por Jordão e Pessoa (2014), obedecendo ao que preconiza a NBR 12.209/2011 (ABNT, 2011).

Tabela 1: Características físicas de materiais utilizados como meio suporte em filtros percoladores.

		Área superficial específica (m ² /m ³)	Índice de vazios (%)	Altura máxima do filtro (m)	Massa específica aparente (kg/m ³)
Seixo rolado Pedra brita Pedra lava		50	55	1,5 - 2,5 ⁽¹⁾ < 3,0 ⁽²⁾	1000 - 1300
Plástico randomizado		98 - 125	95	⁽³⁾	27 - 53
Plástico estruturado de fluxo cruzado		100 - 223	> 95	12,0	25 - 45
Plástico estruturado de fluxo vertical		102 - 131	> 94	12,0	25 - 45

Fonte: Adaptado de Metcalf & Eddy (2003, 2016) e Jordão e Pessoa (2014).

⁽¹⁾ Filtros de baixa taxa, ⁽²⁾ Filtros de alta taxa, ⁽³⁾ dado não disponível.

O método atualmente empregado no Brasil determina o volume de meio suporte necessário para o filtro percolador a partir da razão entre a carga de DBO diária e a carga orgânica volumétrica, em kg/(m³·d). Determinando-se a altura total do meio suporte de acordo com os critérios mencionados na literatura e recomendados por norma, bem como determinando o número de unidades de filtros percoladores a implantar, tem-se a área superficial de cada filtro. As eficiências quanto à remoção de matéria orgânica e de matéria nitrogenada são estimadas de acordo com parâmetros da literatura, definidos teórica ou empiricamente, variando conforme as cargas hidráulica, orgânica e de nitrogênio aplicadas ao filtro (JORDÃO E PESSÔA, 2014; METCALF & EDDY, 2003, 2016).

A partir da carga média afluyente em termos de DBO₅, definida pelo produto entre a vazão e a concentração de DBO₅, e da carga orgânica volumétrica definida conforme o objetivo de remoção de matéria orgânica e nitrogênio, pode-se definir o volume necessário de meio suporte, conforme apresentado nas Equações (1) e (2). A partir do volume total necessário e da altura definida, obedecendo os limites propostos em norma e em literatura, definem-se as demais características geométricas do filtro e o número de filtros necessários, conforme as Equações (3) e (4).

$$C_{\text{afluyente}} = Q_m \cdot C_{\text{DBO}} \quad \text{Equação (1)}$$

$$V_{\text{total}} = C_{\text{afluyente}} / C_v \quad \text{Equação (2)}$$

$$A_{\text{Filtro}} = V_{\text{ench}} / h_{\text{enc}} \quad \text{Equação (3)}$$

$$TAH_{\text{máx}} = Q_{\text{máx, aflu}} / A_{\text{Filtro}} \quad \text{Equação (4)}$$

Sendo:

- $C_{\text{afluyente}}$: carga DBO média afluyente (kg/d)
- Q_m : vazão média afluyente (m³/d)
- C_{DBO} : concentração de DBO (kg/m³)
- V_{total} : volume necessário para o meio suporte ou volume total (m³)
- C_v : carga orgânica volumétrica recomendada (kg/m³·dia DBO₅)
- A_{Filtro} : área dos filtros biológicos (m²)
- h_{enc} : altura de meio suporte do filtro (m)
- $TAH_{\text{máx}}$: taxa de aplicação Hidráulica (m³/m²·dia)

A eficiência da redução da matéria orgânica em termos de DBO_5 é verificada através da Equação (5), proposta pelo método do NRC (1946), enquanto a concentração esperada para o efluente final é calculada a partir da Equação (6).

$$E_1 = 1 / [(1 + 0,443) \cdot (w/VF)^{0,5}] \quad \text{Equação (5)}$$

Sendo:

E_1 : eficiência em termos de redução da DBO_5
 w : carga orgânica aplicada em (kg/d DBO_5)
 V : volume do meio suporte (m^3)
 F : fator de recirculação = 1

$$DBO_{efl} = (1 - E_1) \cdot DBO_{afl} \quad \text{Equação (6)}$$

Sendo:

E_1 : eficiência em termos de redução da DBO
 DBO_{efl} : DBO efluente (mg/l)
 DBO_{afl} : DBO afluente (mg/l)

A velocidade de rotação dos braços é calculada a partir do conceito *Spülkraft*, concebido na Alemanha, e das variáveis relacionadas, taxa de aplicação hidráulica, razão de recirculação, número de braços distribuidores do sistema, apresentada na Equação (7).

$$n = (1 + r) \cdot (TAH) \cdot (1000 \text{ mm} / m) / (N) \cdot (SK) \cdot (1440 \text{ min} / d) \quad \text{Equação (7)}$$

Sendo:

n : velocidade de rotação dos braços (rpm)
 TAH : taxa de aplicação Hidráulica ($m^3/m^2 \cdot d$)
 r : razão de recirculação
 N : número de braços distribuidores
 SK : dosagem de aplicação, mm/rotação do braço

Quando se deseja remover nitrogênio amoniacal, é proposta a utilização das Equações (8), adaptando a taxa de nitrificação de 1,086 utilizada em climas mais frios, determinada por WEF (2000), multiplicando este valor da equação por um coeficiente de segurança de 0,75. Para determinar a massa removida de nitrogênio em função da eficiência E , é apresentada a Equação (9). Por fim, o método considera a área superficial específica do material utilizado como meio suporte na Equação (10), calculando a área total de contato, produto da massa de NTK removida diariamente pela taxa de nitrificação calculada. Sabendo a área de contato total necessária e a área superficial específica do meio suporte a ser utilizado, estima-se o volume total necessário para o filtro percolador para realizar nitrificação, o número de unidades e as demais características dos filtros por meio das Equações (11) e (12). As verificações dos cálculos podem ser realizadas utilizando a concentração de DBO, a taxa volumétrica de DBO e o volume do meio suporte, conforme as Equações (13), (14) e (15).

$$k_n = 1,086 \cdot (DBO / NTK)^{-0,44}$$

$$k_n = 0,75 \cdot 1,086 \cdot (DBO / NTK)^{-0,44}$$

$$k_n = 0,82 \cdot (DBO / NTK)^{-0,44} \text{ g (N/m}^2 \cdot \text{d)} \quad \text{Equação (8)}$$

$$N_{remov} = E \cdot NTK \quad \text{Equação (9)}$$

$$A_{cont.} = N_{remov} / k_n \quad \text{Equação (10)}$$

$$V_{ench} = A_{cont.} / A_{esp} \quad \text{Equação (11)}$$

$$A_{Filtro} = V_{ench} / h_{enc} \quad \text{Equação (12)}$$

$$TV_{DBO} = C_{DBO} / V_{ench} \quad \text{Equação (13)}$$

$$T_{ADBO} = C_{DBO} / A_{cont} \quad \text{Equação (14)}$$

$$TAH_{m\acute{a}x} = Q_m / A_{Filtro} \quad \text{Equação (15)}$$

Sendo:

K_n	: taxa de nitrificação (g/m ² .d N)
$A_{cont.}$: área superficial de contato (m ²)
Q_m	: vazão média afluyente (m ³ /d)
C_{DBO}	: concentração de DBO (kg/m ³)
V_{ench}	: volume necessário de meio suporte (m ³)
A_{Filtro}	: área dos filtros (m ²)
h_{enc}	: altura de meio suporte do filtro (m)
TV_{DBO}	: taxa volumétrica de DBO (kg/m ³ .dia DBO ₅)
TA_{DBO}	: taxa DBO por área superficial de contato (g/m ² .dia DBO ₅)
$TAH_{m\acute{a}x}$: taxa de aplicação Hidráulica (m ³ /m ² .dia)

De forma a complementar os parâmetros sugeridos pela literatura, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), por meio da Norma Brasileira Regulamentadora NBR 12.209/2011, “Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários” (ABNT, 2011), recomenda parâmetros e critérios para o dimensionamento de filtros percoladores. A vazão de dimensionamento deve ser igual à vazão média; o sistema com filtros percoladores deve ser precedido de remoção de Sólidos Grosseiros, Areia e Sólidos Sedimentáveis; o meio suporte pode ser em pedra britada, seixo rolado, materiais plásticos ou outros.

Para a pedra brita, 95% da amostra deve estar entre 5 e 8 cm, não permitindo pedras chatas, faces planas, sendo a altura máxima igual a 3,0 m. A aplicação do afluyente na superfície do filtro deve ser uniforme e realizada por distribuidor rotativo. Para filtros de Alta Taxa, a Carga orgânica deve ser menor ou igual a 1,2 kg/m³ de DBO₅ e a taxa de aplicação hidráulica com vazão de recirculação não deve ultrapassar 50 m³/m².d da superfície livre do leito, enquanto filtros de Baixa Taxa devem operar com Carga orgânica de até 0,3 kg/m³.d de DBO₅ e a taxa de aplicação hidráulica com vazão de recirculação de até 5m³/m².d da superfície livre do leito.

Para materiais plásticos, a altura pode chegar a 12 m, sendo a carga orgânica volumétrica inferior a 3 kg/m³.d de DBO₅ e taxa de aplicação hidráulica com vazão de recirculação entre 10 e 75 m³/m².d da superfície livre do leito.

O principal diferencial do método DWA (2016) é que o cálculo de degradação da matéria orgânica e do nitrogênio amoniacal é realizado ao longo da altura do filtro, de forma segmentada, através de equações modificadas e otimizadas. A sequência do dimensionamento é dividida em etapas, conforme as fases de degradação biológica. A primeira fase ocorre nas camadas mais superiores do filtro e é caracterizada pela atividade heterotrófica, ocorrendo principalmente a redução de matéria orgânica ou carbonácea. Na sequência, há uma fase intermediária, chamada de fase de transição, em que ocorre a diminuição das bactérias heterotróficas enquanto verifica-se o aumento da presença de bactérias autotróficas. Por fim, nas camadas mais inferiores do filtro, predomina a atividade autotrófica e ocorre a nitrificação, com a redução da concentração de nitrogênio amoniacal. Para cada uma destas fases são aplicadas equações específicas para remoção de matéria orgânica e remoção de nitrogênio amoniacal, bem como para a incorporação de nitrogênio à biomassa, segmento a segmento do filtro percolador (DWA, 2016). As Figuras 3 e 4 ilustram o princípio básico de cálculo segmentado e as fases de degradação biológica que regem a concepção do método DWA (2016).

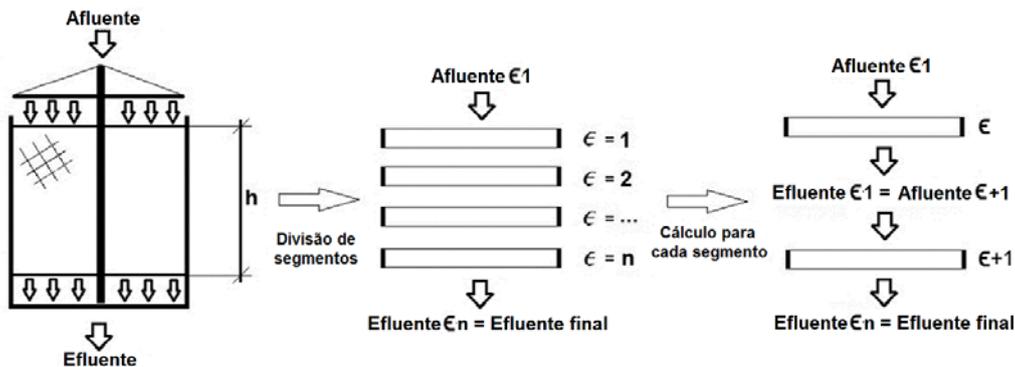


Figura 3: Ilustração da concepção de dimensionamento de filtros percoladores proposta pelo método DWA (2016) (Adaptado de DWA, 2016).

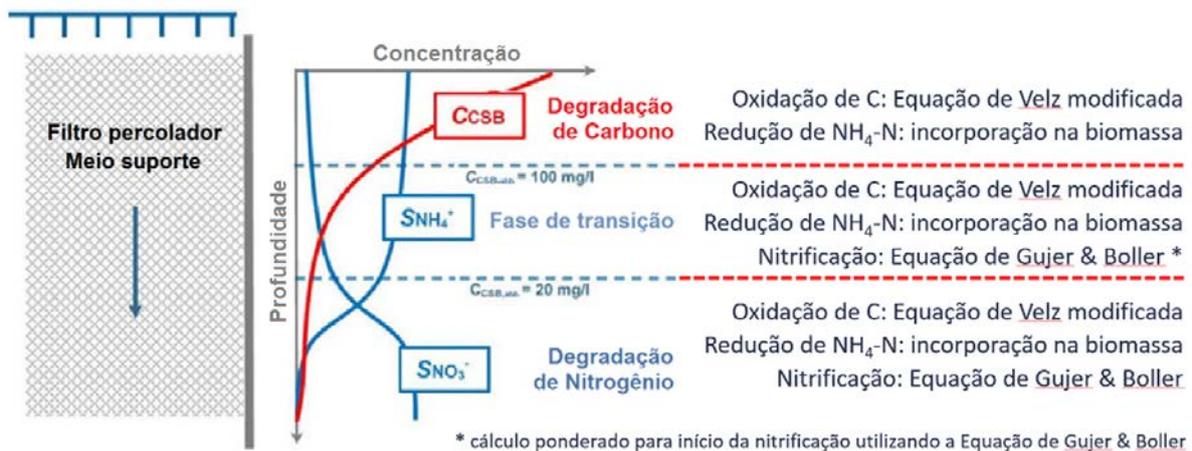


Figura 4: Perfil de oxidação de carbono C, redução de nitrogênio amoniacal NH₄⁺ e formação de nitrato NO₃⁻ ao longo da profundidade de um filtro percolador (Adaptado de DWA, 2016).

Notas: ⁽¹⁾ CCSB é a concentração de DQO, para amostra homogeneizada, em mg/l; ⁽²⁾ SNH₄⁺ e SNO₃⁻ são as concentrações de NH₄⁺ e NO₃⁻, respectivamente, para amostra homogeneizada filtrada a 0,45 μm.

Para determinar a degradação de carbono, o método DWA (2016) utiliza a Equação (16) de Velz modificada, apresentada a seguir, em termos de DQO. Esta Equação é aplicada nas três etapas de cálculo estabelecidas pelo método DWA, determinando a oxidação do carbono ao longo de toda a profundidade do filtro, segmento a segmento, por meio das iterações. A modificação proposta pela DWA (2016) realizada para esta equação é principalmente relacionada à segmentação do cálculo e à utilização da DQO, e não mais da DBO₅, como era originalmente calculada.

$$S_{DQO, \text{ efluente } \epsilon} = S_{DQO, \text{ afluente } \epsilon} / \exp \left[\left(A_{\text{esp}} \cdot k_{20} \cdot \theta_C \cdot 20^{\circ\text{C}} \cdot (T - 20) \cdot h_{\epsilon} \right) / (q_A^n) \right] \quad \text{Equação (16)}$$

Sendo:

- € : segmento do filtro percolador a ser calculado (m)
- S_{DQO, efluente €} : concentração de DQO do efluente do segmento € (mg/l)
- S_{DQO, afluente €} : concentração de DQO do afluente do segmento € (mg/l)
- A_{esp} : área superficial específica (m²/m³)
- k₂₀ : coeficiente de tratabilidade ((m³/(h·m²))ⁿ)
- θ_{C, x°C} : fator de correção da temperatura (adimensional)
- T_w : temperatura do esgoto (°C)
- h_€ : altura do segmento € (m)
- q_Aⁿ : taxa de alimentação da superfície do filtro (m³/(m²·h)ⁿ)
- n : coeficiente hidráulico (adimensional)

Quanto à remoção de nitrogênio amoniacal NH₄⁺ realizada pelo filtro percolador, o método DWA (2016) quantifica a porção de NH₄⁺ incorporada à biomassa ao longo de toda a profundidade do filtro, sendo considerado que a cada 1,0 grama de DQO degradada, é incorporado 0,01 grama de NH₄⁺ à biomassa

(Equação 17), ficando esta fração retida; e calcula a nitrificação pela Equação de Gujer & Boller apenas a partir do segmento $\text{€}_{DQO=100\text{mg/l}}$ em que a concentração de DQO passa a ser inferior a 100 mg/l, sendo que entre 100 e 20 mg/l é utilizado um fator de ponderação sobre a Equação original de Gujer & Boller. A partir do segmento $\text{€}_{DQO=20\text{mg/l}}$ em que a concentração de DQO passa a ser inferior a 20 mg/l, é utilizada a Equação de Gujer & Boller original, sem fator de ponderação.

A Equação (17), a seguir, é aplicada, portanto ao longo de todo o filtro, nas três fases de cálculo estabelecidas.

$$\Delta S_{\text{NH}_4, \text{€}} = (S_{\text{DQO, afluente €}} - S_{\text{DQO, efluente €}}) \cdot 0,01 \quad \text{Equação (17)}$$

Sendo:

$\Delta S_{\text{NH}_4, \text{€}}$: diferença entre as concentrações de NH_4 na entrada e na saída do segmento $\text{€}(\text{mg/l})$
 $S_{\text{NH}_4, \text{ efluente €}}$: concentração de NH_4 na saída do segmento $\text{€}(\text{mg/l})$
 $S_{\text{NH}_4, \text{ afluente €}}$: concentração de NH_4 na entrada do segmento $\text{€}(\text{mg/l})$

Para a fase de transição, limitada pelos segmentos em que a DQO é inferior a 100 e superior a 20 mg/l, é realizado o cálculo da nitrificação ponderada, utilizando a Equação de Gujer & Boller e um fator de ponderação, considerando que nestes segmentos ainda ocorre interferência da atividade heterotrófica sobre a atividade biológica de nitrificação. O fator de ponderação é definido a partir da concentração de DQO do segmento € anterior, conforme Equação (18). Por fim, para as camadas ou segmentos mais inferiores do filtro, a partir do segmento $\text{€}_{DQO=20\text{mg/l}}$ em que a DQO é inferior a 20 mg/l, onde predomina a atuação das bactérias autotróficas, ou seja, onde ocorre predominantemente a nitrificação, utiliza-se o método de Gujer & Boller para o cálculo da nitrificação, conforme as Equações (19) e (20) apresentadas a seguir:

$$p = (100 - S_{\text{DQO, afluente €}} / 80)^3 \quad \text{Equação (18)}$$

$$\Delta S_{\text{NH}_4, \text{€}} = [(A_{\text{esp}} / (q_A \cdot 24))] \cdot j_{\text{N,max}}(10) \cdot \theta_{\text{N}, 10^\circ\text{C}}^{(T-10)} \cdot [S_{\text{NH}_4, \text{ afluente €}} / (N + S_{\text{NH}_4, \text{ afluente €}})] \cdot \exp(-k \cdot h_v) \quad \text{Equação (19)}$$

$$S_{\text{NH}_4, \text{ afluente €}} = S_{\text{NH}_4, \text{ efluente €}} + \Delta S_{\text{NH}_4, \text{€}} \cdot h_e \quad \text{Equação (20)}$$

Sendo:

p : fator de ponderação aplicável à zona de transição
 $j_{\text{N,max}}(10)$: nitrificação máxima por área à $T_w = 10^\circ\text{C}$ ($\text{gN}/(\text{m}^2 \cdot \text{d})$)
 N : fator de saturação de NH_4^+ (mg/l)
 k : fator de "Patchy" de crescimento do biofilme (adimensional)
 h_v : distância vertical até a superfície do filtro (m)

O fator de "Patchy" k utilizado na Equação de Gujer e Boller considera possíveis falhas de crescimento do biofilme em alguns pontos da área superficial do meio suporte (DWA, 2016).

A concentração final de nitrogênio amoniacal do efluente é calculada conforme a Equação (21) proposta pelo DWA (2016), em função das concentrações de DQO calculadas pela Equação de Velz modificada, bem como em função da nitrificação calculada a partir da fórmula de Gujer & Boller, e considerando ainda a incorporação de nitrogênio amoniacal à biomassa.

$$S_{\text{NH}_4, \text{ efluente €}} = S_{\text{NH}_4, \text{ afluente €}} + \Delta S_{\text{NH}_4, \text{€}} \cdot h_e - (S_{\text{DQO, afluente €}} - S_{\text{DQO, efluente €}}) \cdot 0,01 \quad \text{Equação (21)}$$

Todos os cálculos e Equações supracitadas são aplicados segmento por segmento, obtendo afluente e efluente para cada segmento € , de 0,1 m cada, obtendo, assim, as concentrações de DQO e NH_4^+ do efluente final do filtro percolador.

A comparação dos resultados obtidos analisou, dentre os aspectos geométricos, o volume, a área superficial e a altura dos filtros obtidos para os dois dimensionamentos. As análises referentes ao objetivo específico (i) foram relacionadas, então, com os resultados do dimensionamento, escopo do objetivo específico (ii), apresentando considerações quanto aos critérios, parâmetros, variáveis, equações e sequências de cálculo

propostas por cada método, verificando a influência de cada aspecto observado no resultado final do dimensionamento, incluindo a forma como as variáveis são consideradas para calcular a degradação biológica de carbono e nitrogênio, e suas implicações, conforme propõe o objetivo específico (iii).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A comparação entre o método de dimensionamento atualmente praticado no Brasil e o método internacional DWA (2016) possibilitou a identificação das principais diferenças entre os métodos quanto às variáveis utilizadas, às equações e sequências de cálculo propostas, e, ainda, quanto à lógica de concepção do método.

Para a degradação de matéria orgânica, o método utilizado no Brasil considera a carga de DBO média afluente a partir da vazão multiplicada pela concentração e na sequência calcula o volume do filtro a partir da carga afluente dividida pela carga orgânica volumétrica, determinada e que deve obedecer as faixas numéricas estipuladas pela literatura, variando conforme o objetivo do filtro, ou seja, para operação em baixa ou alta taxa. Determinado o volume, a altura também é atribuída, obedecendo limites máximos de acordo com o material utilizado como meio suporte. Após a determinação da altura, calcula-se a área superficial do filtro e determina-se a taxa de aplicação hidráulica máxima. A verificação da taxa de aplicação é realizada com base nas faixas numéricas definidas pela literatura, também de acordo com o objetivo do filtro. Na sequência, a eficiência do filtro é confirmada a partir da Equação de NRC (1946), definida empiricamente a partir de experimentos realizados nos Estados Unidos, com clima temperado. Esta equação considera o fator de recirculação do filtro.

Já o método DWA (2016) utiliza a Equação de Velz modificada para calcular a degradação de DQO, aplicada segmento por segmento, definida a altura de cada segmento € igual a 0,10 m, considerando a área superficial específica do material utilizado como meio suporte, um coeficiente k_{20} de tratabilidade, a temperatura do esgoto e um fator de correção da temperatura e a taxa de alimentação da superfície do filtro para definir a DQO efluente a partir da DQO afluente, para cada segmento €.

Para a determinação da degradação de matéria orgânica, quanto às variáveis utilizadas, foram identificadas principalmente as diferenças em relação à utilização de DBO_5 no método utilizado no Brasil e DQO no método DWA, bem como a temperatura do esgoto, a taxa de aplicação superficial e a consideração da área superficial específica do meio suporte.

A modificação da Equação de Velz proposta pelo método DWA (2016) consiste na expressão da carga orgânica em termos de DQO, diferente da Equação original de Velz (1984), que calcula a degradação de carbono em termos de DBO_5 . Considerando que o método e o tempo de obtenção da DQO são mais vantajosos se comparados ao de obtenção da DBO_5 , e, ainda, considerando que atualmente a DQO é mais utilizada, tecnicamente e no meio acadêmico, esta modificação caracteriza uma modernização do método DWA (2016) em relação à Equação original.

Ao incluir a temperatura do esgoto como uma variável trabalhada nos cálculos de dimensionamento, o método DWA (2016) minimiza ou mesmo elimina as limitações dos métodos mais antigos em relação a esta variável. Os métodos tradicionalmente utilizados foram desenvolvidos empiricamente, normalmente em regiões temperadas, não representando, portanto, a realidade de outras zonas climáticas ou mesmo outras peculiaridades locais. A ampliação da faixa de aplicação do método de dimensionamento oferecida pelo método DWA (2016) deve-se ao fato de ter inserido a temperatura como uma variável a ser considerada, já que esta variável exerce influência nas reações biológicas e químicas que ocorrem no meio suporte e, portanto, no comportamento do filtro percolador.

A consideração da área superficial específica do meio suporte já no cálculo de degradação biológica também é significativa e aproxima o cálculo teórico das reações biológicas que ocorrem no filtro, pois a quantidade de biomassa que realiza o tratamento biológico está diretamente relacionada à área específica superficial do meio suporte, já que a biomassa está aderida a esta área superficial.

Para o cálculo de nitrificação, o método praticado no Brasil sugere a Equação estabelecida por WEF (2000), com um coeficiente de segurança, para calcular a taxa de nitrificação em função da razão entre a DBO e o NTK. Na sequência, é calculada a massa de nitrogênio removida e a área superficial de contato total necessária para que ocorra a nitrificação. O volume total de meio suporte necessário é calculado, por fim, utilizando a área total de contato dividida pela área específica do material a ser utilizado como meio suporte. As

conferências a serem realizadas são para a taxa volumétrica de DBO e a taxa de DBO por área superficial total, bem como para a taxa de aplicação hidráulica, sendo que todas devem também obedecer as faixas numéricas apresentadas pela literatura para identificar o filtro como de baixa ou alta taxa.

Já o método DWA calcula a incorporação de nitrogênio amoniacal na biomassa em função da DQO degradada ao longo do filtro e calcula a nitrificação efetivamente, utilizando a Equação de Gujer e Boller. Estes cálculos consideram uma taxa de nitrificação máxima por área, em função da temperatura do efluente, um fator de saturação de NH_4^+ , o fator de “Patchy” de crescimento do biofilme, além da área superficial específica do meio suporte, sendo calculado também segmento por segmento do filtro.

Considerar o “fator Patchy”, relacionado ao desenvolvimento do biofilme, que pode ser não homogêneo e incompleto, reduzindo a nitrificação nestas áreas incompletas, aproxima a teoria da realidade. Sendo o sistema fundamentalmente biológico, sensível a alterações diversas influenciadas pela temperatura e pelas concentrações do meio, ao considerar os fatores supracitados e as ponderações, o cálculo de nitrificação tente a reproduzir com mais fidelidade a degradação biológica que ocorre no filtro.

Quanto às equações que compõem cada método, a troca da expressão de matéria orgânica em termos de DBO_5 para DQO, supracitada, mostra a adaptação da Equação de Velz, já anteriormente utilizada para dimensionamento de filtros percoladores. Este fato caracteriza, neste aspecto, não uma inovação, mas uma modernização do método.

Para calcular a degradação de nitrogênio amoniacal, além da quantificação da redução deste poluente a partir da Equação de Gujer & Boller, o método DWA (2016) sugere uma redução de NH_4^+ por incorporação na biomassa, ao longo de toda a profundidade do filtro, caracterizando também uma diferença importante e significativa para o resultado final.

Apesar da maior precisão de cálculo sugerida pelo método DWA (2016), percebida principalmente com a segmentação dos cálculos e as iterações realizadas, o próprio método sugere multiplicar o volume de meio suporte obtido por um fator de correção $S_{Fu} = 5\%$. O volume total obtido pode, então, ser multiplicado por 1,05. Da mesma forma, pode-se aplicar coeficiente de segurança para qualquer método quando há uma incerteza quanto à caracterização do esgoto afluente, por exemplo.

Quanto à concepção dos métodos, o método praticado no Brasil determina o volume do filtro e realiza verificações baseadas nas faixas numéricas estipuladas para as variáveis de projeto e de operação de um filtro percolador a baixa ou alta taxa, dependendo do objetivo do filtro, enquanto o método DWA segmenta o cálculo por camadas do filtro, determinando a característica do efluente a cada 0,1 m até atingir as concentrações desejadas para DQO e NH_4^+ . Ainda, o procedimento de cálculo segmentado proposto pela DWA (2016) permite a aplicação das equações para verificar a oxidação da matéria orgânica e a redução de nitrogênio amoniacal, seja por incorporação na biomassa aderida ao meio suporte ou pela transformação de nitrogênio amoniacal em nitritos e nitratos, no momento em que realmente estas reações ocorrem ao longo do filtro, considerando as características biológicas e a presença de diferentes microorganismos que regem as reações de degradação de carbono e nitrogênio e que definem as diferentes fases de tratamento que ocorrem ao longo da profundidade do filtro, conforme mostrado na Figura 4, e não para um volume único e uma altura total do filtro percolador, como ocorre no método de dimensionamento utilizado atualmente no Brasil. Esta concepção é inovadora e reserva ao método DWA (2016) mais precisão quanto aos resultados obtidos para o dimensionamento e quanto às eficiências esperadas e obtidas.

O método DWA (2016) permite a definição de um perfil de degradação biológica esperada para o carbono e o nitrogênio, resultante do cálculo de afluente e efluente de cada segmento de 0,10 m de meio suporte. É possível, portanto, gerar um gráfico da degradação de carbono, em termos de DQO, bem como da redução de nitrogênio amoniacal NH_4^+ e da formação de NO_3^- em função da profundidade do filtro e das concentrações destes poluentes, conforme mostra a Figura 4. Este gráfico obtido no cálculo de dimensionamento é também uma ferramenta que pode ser utilizada para o controle operacional da unidade de tratamento, esclarecendo o funcionamento ideal do filtro e facilitando a resolução de eventuais dificuldades ou problemas verificados.

Enquanto o método DWA (2016) forma um perfil de degradação biológica em que é possível determinar a profundidade do filtro e do meio suporte em função da qualidade desejada para o efluente final, o método atualmente utilizado no Brasil e tradicionalmente aplicado em projetos de filtros percoladores em todo o

mundo até então, limita-se ao cálculo da degradação biológica em função do volume do filtro, a determinada altura do filtro, definida normalmente a partir das faixas numéricas sugeridas pela literatura para filtros, em função do meio suporte utilizado e em função das cargas orgânicas volumétricas e taxas de aplicação hidráulicas para operar em baixa ou alta taxa, sendo todos estes valores obtidos empiricamente, em estudos realizados em locais cujo clima é diferente se comparado às condições climáticas do Brasil e outros países tropicais e subtropicais.

Por outro lado, considerando as n iterações necessárias ao dimensionar um filtro percolador pelo método DWA (2016), pode-se afirmar que o método atualmente praticado no Brasil é mais simplificado, podendo ser satisfatoriamente empregado, por exemplo, em um estudo preliminar ou para um pré dimensionamento quando se deseja estudar alternativas para tratamento de esgoto. Já para projetos de engenharia, os cálculos atualmente empregados para dimensionamento de filtros percoladores no Brasil são baseados nos métodos mais antigos, supracitados, que possuem características empíricas e que foram desenvolvidos em regiões com características climáticas diferentes se comparadas às do Brasil, o que representa menos precisão para o dimensionamento de filtros percoladores para implantação no Brasil, uma vez que não é considerada a temperatura. Para estes casos, pode-se optar pela utilização de um método mais preciso como o sugerido pela DWA (2016).

O dimensionamento calculado conforme o método utilizado atualmente no Brasil resultou em um volume de meio suporte necessário cerca de 11% maior quando comparado ao volume obtido pelo método DWA (2016), para as mesmas condições de afluente e objetivando a mesma nitrificação. Para obter a concentração de NH_4^+ igual a 2,4 mg/l, enquanto o método tradicional indicou volume necessário de 10.453 m³ de meio suporte, o método DWA (2016) resultou em um volume de 9.208 m³. A Tabela 3 apresenta os dados de entrada e os resultados obtidos para os dois dimensionamentos, quanto à geometria do filtro e quanto à nitrificação, evidenciando principalmente as diferenças de volume necessário total.

Tabela 2: Volumes obtidos para os filtros percoladores dimensionados de acordo com os métodos apresentados neste estudo.

Método de dimensionamento	Empregado atualmente no Brasil	DWA (2016)	Diferença (%)
<i>Características geométricas do Filtro</i>			
Volume total do meio suporte (m ³)	10.453	9.208	11,9%
Altura útil (m)	6,1	6,1	-
<i>Concentração de nitrogênio amoniacal do efluente final</i>			
NH_4^+ (mg/l)	2,4	2,4	-

O dimensionamento calculado conforme o método utilizado atualmente no Brasil pode variar conforme os parâmetros de projeto e as taxas de operação aplicadas, sendo, portanto, um cálculo estimado para exemplificar a diferença de volume obtida entre os métodos apresentados neste estudo comparativo.

A influência do meio suporte no dimensionamento reflete diretamente no volume do filtro, uma vez que diferentes materiais oferecem diferentes áreas superficiais específicas, e reflete também na altura do meio suporte, considerando que os maiores índices de vazios permitem maior fluxo de ar no interior do filtro. Enquanto a pedra brita oferece cerca de 50 m²/m³ de área superficial para crescimento e fixação do biofilme, o meio suporte plástico estruturado de fluxo cruzado utilizado para o dimensionamento dos filtros percoladores apresentados neste estudo oferecem 125 m²/m³, indicando possibilidade de redução de aproximadamente três vezes o volume necessário para que o tratamento biológico ocorra com o mesmo resultado.

Esta relação, entretanto, pode não ser direta e depende das taxas operacionais aplicadas e não apenas das características do meio suporte. Diversas referências e estudos acadêmicos sugerem que para filtros percoladores de baixa taxa, a pedra brita é mais vantajosa em relação ao plástico. Esta afirmação pode estar fundamentada na eficiência de molhamento da área superficial total disponível no meio suporte e também pode estar relacionada à maior dificuldade de crescimento e fixação do biofilme no plástico, por ser uma superfície menos rugosa se comparada à superfície da pedra brita, quando o filtro é operado em baixa taxa. Já para filtros percoladores que operam em alta taxa, a viabilidade dos materiais plásticos está evidenciada em diversos estudos e é facilmente justificada em função da maior área superficial oferecida por volume e do maior índice de vazios. A publicação que apresenta o método de dimensionamento DWA (2016) cita que para o melhor aproveitamento da área específica do meio suporte, deve-se ter uma alimentação (q_A) de vazão

afluente e vazão de recirculação suficiente para garantir eficiência do molhamento da área superficial disponível por volume, de tal forma que quanto maior a área específica do material, maior deve ser a carga hidráulica, conforme afirma a DWA (2016).

Para apresentar conclusões, entretanto, sobre a utilização de um ou outro material, seria necessário realizar experimentos em escala piloto com diferentes meios suporte submetidos às mesmas condições, por um período maior de tempo a ponto de entender o desenvolvimento do biofilme em filtros de alta e de baixa taxa, correlacionando tais resultados a outros estudos semelhantes. A literatura não define, por exemplo, parâmetros de projeto e taxas de operação para filtros percoladores de baixa taxa com meio suporte plástico. A influência da área superficial específica dos materiais utilizados pode ser significativa neste aspecto e precisa ser estudada. A Figura 5 ilustra diferentes materiais utilizados como meio suporte e a formação do biofilme.



Figura 5: Biofilme aderido a diferentes meios suportes: pedra lava, plástico tubo colmeia e plástico estruturado de fluxo cruzado 60°.

A comparação entre métodos, critérios e parâmetros de dimensionamento instiga ainda à verificação dos resultados obtidos quanto à geometria e quanto à eficiência dos filtros percoladores quando se emprega a pedra brita ou os materiais plásticos randômicos ou estruturados como meio suporte. As características do meio suporte como área superficial específica, peso específico, coeficiente de vazios, rigidez, durabilidade, forma, entre outras, são relevantes para o dimensionamento, para a geometria do filtro e para a eficiência do tratamento. Enquanto a pedra brita oferece área superficial específica de 45 a 60 m²/m³, massa específica de 800 a 1400 kg/m³ e índice de vazios de cerca de 50 %, os materiais plásticos oferecem de 80 a 500 m²/m³ de área superficial específica, massa específica de 30 a 80 kg/m³ e índice de vazios superior a 90 %, conforme anteriormente apresentado na Tabela 1.

A escolha do meio suporte plástico estruturado de fluxo cruzado a 60° é justificada por oferecer maior superfície específica, menor peso específico e por apresentar maior índice de vazios se comparado à pedra brita e ao plástico randômico. A maior superfície específica oferecida representa mais biofilme e mais atividade biológica para degradação dos poluentes por m³ de filtro. A grande diferença de peso específico entre a brita e o material plástico possibilita a construção do filtro com estruturas mais leves e esbeltas, representando economia de implantação. O maior índice de vazios permite maior circulação de ar no interior do meio suporte, favorecendo a atividade biológica. Por fim, por ser estruturado e por ter índice de vazios elevado, é possível empregar o meio suporte plástico estruturado de forma a obter maior altura útil por unidade de tratamento, ocupando menor área e oferecendo elevada eficiência. Enquanto para os filtros com pedra é recomendada altura máxima útil igual a 3,0 m, para meio suporte plástico estruturado, esta altura pode chegar a 12,0 m. Para os plásticos randômicos também há uma limitação de altura, inferior à sugerida para os plásticos estruturados, pois com o peso da biomassa aderida, ocorre achatamento da parcela de peças randômicas que estão no fundo do filtro.

A soma de vantagens apresentadas pelos materiais plásticos naturalmente é refletida no valor, sendo a pedra brita mais econômica que os plásticos, se considerado apenas o preço de aquisição do meio suporte. As vantagens econômicas de implantação, operação e manutenção deve ser cuidadosamente estudadas e balanceadas, caso a caso, considerando o objetivo final do tratamento, a economia de implantação e de mão de obra operacional e de manutenção.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O método DWA (2016) resultou em volumes necessários cerca de 11% menor para suprir uma mesma demanda de nitrificação. As principais diferenças entre os métodos justificam este resultado, já que o método DWA considera mais variáveis, fatores e ponderações, bem como concebeu o método com uma lógica diferente de cálculo segmentado por camadas do filtro, agregando mais precisão para realizar os cálculos de dimensionamento.

Ainda quanto à diferença de volume, esta deve ser verificada caso a caso, dependendo dos investimentos previstos e da área disponível para implantação. Independente disso, pode-se afirmar que há redução de volume e, conseqüentemente, redução de custo de implantação, principalmente para a aquisição do meio suporte.

Quanto à definição do meio suporte, a análise de viabilidade para emprego de um ou outro material deve considerar não apenas a área superficial específica do material, que influencia diretamente o volume de meio suporte necessário e reflete na geometria do filtro, mas também os custos para implantação, incluindo o valor do meio suporte e da estrutura necessária para acomodá-lo, bem como a disponibilidade de mercado, idealizando uma balança de valores entre as opções disponíveis, a disponibilidade comercial do produto, além de características como durabilidade e resistência, entre outras. Ainda, deve-se quantificar e analisar mão de obra, equipamentos e procedimentos necessários para uma adequada operação e manutenção de um filtro, prevendo tais custos quando do estudo de viabilidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma Brasileira Regulamentadora NBR7225 - Materiais de pedra e agregados naturais. 4p. 1993.
2. ABNT, Associação Brasileira de Normas Técnicas. Norma Brasileira Regulamentadora NBR 12209 - Elaboração de projetos hidráulico-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. 53p. 2011.
3. DWA, Deutsch Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall. Bemessung von Kläranlagen in warmen und kalten Klimazonen (Dimensionamento de Estações de Tratamento de Esgoto em climas quentes e frios). p.84-108, p.260-274. Out. 2016.
4. HENRICH, C.; MAEGGRAFF, M.. Energy-efficient Wastewater Reuse – The renaissance of Trickling Filter Technology. 12 p.. 2013.)
5. JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A.. Tratamento de esgotos domésticos. 7 ed. Rio de Janeiro: ABES, 2014.
6. METCALF & EDDY, Inc. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th. ed. Boston: Mcgraw-Hill, 2003.
7. VON SPERLING, M.; CHERNICHARO, C. A. de L.. Biological wastewater treatment in warm climate regions. 1st. Ed. IWA UFMG London (2005).
8. WEF. Aerobic Fixed-Growth Reactors, WEF (2000).