

## **II-398 - INFLUÊNCIA DA DISTRIBUIÇÃO NA COMPOSIÇÃO SUPERFICIAL DO MEIO FILTRANTE EM TERMOS DE UMIDADE E SÓLIDOS EM UM WETLAND CONSTRUÍDO DE FLUXO VERTICAL**

**Bianca Ribeiro Lima<sup>(1)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Minas Gerais.

**Mirene Augusta de Andrade Moraes<sup>(2)</sup>**

Mestranda no Programa de Pós-graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais.

**Dayane Mendes de Oliveira<sup>(3)</sup>**

Graduanda em Engenharia Ambiental pelo Centro Universitário de Belo Horizonte (Uni-BH).

**Marcos von Sperling<sup>(4)</sup>**

Professor Titular do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, Av. Presidente Antônio Carlos, 6627 - Campus Pampulha - Belo Horizonte/MG - CEP: 31270-901 - Escola de Engenharia, bloco 1.  
\* e-mail: [biancacnn@live.com](mailto:biancacnn@live.com)

### **RESUMO**

O sistema francês (SF) de wetlands com fluxo vertical compreende filtros de alimentação intermitente para tratamento de águas residuárias brutas, cuja aplicação tem sido crescente e, apesar de sua comprovada eficiência, existem poucos estudos sobre seu desempenho nas condições do clima subtropical úmido brasileiro. Ressalta-se ainda que o sistema de distribuição deva fornecer a distribuição da água residuária o mais uniforme possível sobre a camada do meio filtrante. O objetivo deste trabalho foi caracterizar a heterogeneidade da camada superficial do meio filtrante em relação a umidade, sólidos totais (ST), sólidos fixos (SF) e sólidos voláteis (SV) como resultado inerente da distribuição do líquido. A ETE experimental trata-se do primeiro estágio do SF e foi projetada para atender uma população de 100 habitantes (13 m<sup>3</sup>/dia). Esse SF não é típico, pois o seu ciclo operacional completo foi composto por 7 dias de alimentação mais 7 dias de repouso. Foram coletadas amostras diárias superficiais do meio filtrante em diferentes pontos durante três diferentes dias. As amostras foram analisadas em termos de umidade, ST, SF e SV. Notou-se que a região central do filtro é a que concentra maior umidade durante todo o tempo, indicando que essa área recebeu maior carga hidráulica de esgoto bruto. Observa-se também que há a tendência de diminuição da umidade à medida que se aproxima das arestas da célula filtrante. Quanto maior é a umidade, maior a concentração de sólidos e, por conseguinte, maior a atividade microbiológica. Os comportamentos de ST, SF e SV demonstraram ser muito semelhantes. Após o período de 7 dias de repouso, a restauração completa das taxas de infiltração deve ser obtida, contudo, o sistema não se encontrava totalmente seco no primeiro dia do ciclo de alimentação. Com o avanço do tempo de alimentação, a desuniformidade da distribuição se manteve, podendo causar um carregamento desproporcional na superfície da célula e, consequentemente, levando a taxas de carga hidráulica e orgânica superficiais diferenciadas e possível interferência no desempenho da unidade. Além disso, é provável que em um ponto qualquer, a condutividade hidráulica diminua à medida que a fração de SV cresce. Sugere-se que mais estudos devem ser realizados para melhorar a hidráulica dos filtros e investigar a importância da área de influência de cada ponto de distribuição na dinâmica do líquido dentro do meio filtrante.

**PALAVRAS-CHAVE:** Esgoto bruto, sistema de distribuição, clima quente, superfície do meio poroso, camada filtrante.

### **INTRODUÇÃO**

Os wetlands construídos (WC) são sistemas artificiais manejáveis que têm despertado acentuado interesse mundial para o tratamento de diferentes águas poluídas. Dotro *et al.* (2017) relatam que, quando comparado com outros sistemas de tratamento de esgotos domésticos, as vantagens do WC são o baixo custo de implantação, operação e manutenção, baixa mecanização, simples operação, alta eficiência na remoção de sólidos suspensos totais (SST), matéria orgânica (DBO e DQO) e nutrientes. Além disso, é uma técnica

resistente, pouco susceptível a variações de vazão e de concentrações do afluente. Os WC podem ser divididos em sistemas de fluxo superficial e subsuperficial. Este último, por sua vez, em escoamento horizontal (WFH) ou vertical (WV). Com a perspectiva de prevenir a colmatção, geralmente os WFH e WV são projetados para o tratamento secundário. Todavia, na França, os WV têm sido utilizados com sucesso para o tratamento de esgoto bruto. Molle *et al.* (2005) ressaltam que o Sistema Francês (SF) é composto por dois estágios: no primeiro estágio, há três filtros em paralelo, com fases alternadas de alimentação e repouso (usualmente 3,5 dias de alimentação e 7 dias de repouso), e que recebem como afluente o esgoto bruto, já o segundo estágio possui duas células filtrantes em paralelo que recebem o efluente do primeiro estágio, servindo, portanto, de polimento da matéria orgânica não removida e de potencializador para a nitrificação. A principal limitação é a necessidade de grande área em relação a outros sistemas de tratamento.

Dotro e colaboradores (2017) almejam que o sistema de distribuição deva fornecer a distribuição da água residuária o mais uniforme possível sobre a camada do meio filtrante. Apesar de sua importância, Paul *et al.* (2018) e Moraes *et al.* (2018) declaram que, na prática, esse aspecto tem sido ignorado. A distribuição heterogênea pode conduzir à remoção deficitária de DQO, devido a curtos circuitos hidráulicos (Molle *et al.*, 2005). Além disso, Paul *et al.* (2018) destacam que o sistema de distribuição irá definir a hidráulica no interior do filtro, orientada pela diferença na descarga na superfície, o que influenciará a dinâmica em diferentes partes do filtro.

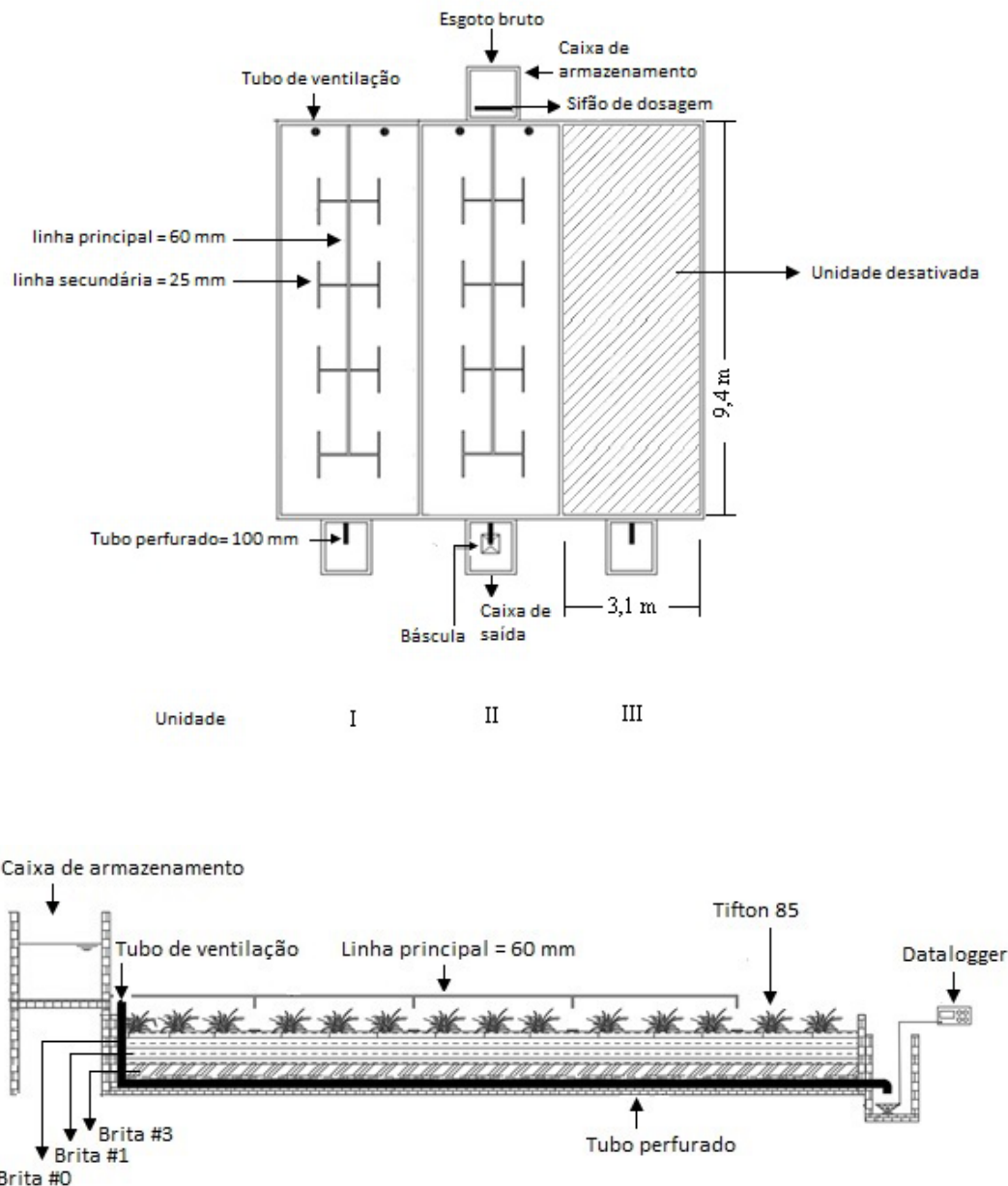
Logo, o estudo da hidráulica do sistema de distribuição é de suma importância, pois o modo como o líquido é distribuído na superfície da unidade ditará o seu comportamento dentro do meio filtrante, e por consequência, influenciará o desempenho do sistema. Tendo em vista a desuniformidade de distribuição do esgoto bruto na superfície do filtro, o objetivo deste trabalho foi caracterizar a heterogeneidade da camada superficial do meio filtrante em relação a umidade, sólidos totais, sólidos fixos e sólidos voláteis como produto inerente da distribuição.

## MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS), dentro das dependências da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do Ribeirão Arrudas (19°53'42" S, 43°52'42" W), da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em parceria com a Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA), na região metropolitana de Belo Horizonte/MG, localizada em clima subtropical úmido de acordo com a classificação de Köppen, com uma precipitação média anual de 1450 mm.

A ETE experimental em questão se trata de um WC - primeiro estágio do SF - e foi projetada para atender uma população de 100 habitantes ou um volume diário de 13 m<sup>3</sup> de esgoto. O sistema é composto por um tanque de armazenamento e por três filtros (células, leitos ou unidades) em paralelo, cada um de dimensões 3,1m x 9,4m (Figura 1). O afluente ao sistema é esgoto bruto (EB) após tratamento preliminar da ETE Arrudas. Conforme explicado anteriormente, no primeiro estágio do SF, há a alternância dos filtros, ou seja, apenas uma única célula é operada por vez, enquanto que as demais descansam.

A taxa de aplicação hidráulica (TAH) média do sistema em estudo foi 0,45 m<sup>3</sup>.m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup>, ligeiramente superior à máxima recomendada por Molle *et al.* (2005), que é de 0,37 m<sup>3</sup>.m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup>. Após percolar pelo maciço filtrante, o efluente era coletado na caixa de passagem localizada logo na saída. A espécie vegetal plantada nas três unidades era o capim tifton 85 (*Cynodon spp*). Ao longo da profundidade, o recheio foi disposto em ordem crescente de granulometria, isto é, camada principal: brita 0; camada intermediária: brita 1; e camada drenante: brita 3. O filtro foi alimentado por intervalos de 24 pulsos.d<sup>-1</sup> (0,55 m<sup>3</sup> cada pulso).



**Figura 1. Vista em planta do sistema (acima); Secção transversal longitudinal de uma unidade (abaixo).**

A operação do SF típico varia de 3 a 4 dias de alimentação seguidos por 7 dias de repouso. Contudo, em países tropicais, onde a taxa de degradação microbiana é favorecida devido às altas temperaturas durante todo o ano, em relação aos países de clima temperado, o grupo de pesquisadores do sistema em análise propôs a redução de  $\frac{1}{3}$  de área. Logo, nesta pesquisa, uma célula não foi utilizada (unidade III), fazendo com que o sistema operasse com dois leitos em paralelo, e com o ciclo completo composto por 7 dias de alimentação mais 7 dias de repouso.

O sistema de distribuição era composto por tubulações com uma tubulação central e 16 tubulações laterais com extremidades abertas (Figura 1). Portanto, cada ponto de alimentação cobria uma área de aproximadamente 1,8 m<sup>2</sup>. De acordo com as recomendações de Dotro *et al.* (2017), na primeira etapa do SF, cada ponto deveria cobrir uma área máxima de 50 m<sup>2</sup>. Logo, o sistema estudado cumpriu com folga este requisito, esperando-se com isso uma boa distribuição do líquido na superfície do WC.

Na unidade I foram coletadas cinco amostras diárias superficiais do meio filtrante, incluindo o biofilme no entorno e os sólidos intersticiais em diferentes pontos, durante três diferentes dias, sendo eles: 1) último dia do período de repouso, antes de receber o primeiro pulso de alimentação (dia 1); 2) 48 horas após iniciada a alimentação (dia 3); 3) 168 horas após iniciada a alimentação, ou após o último pulso, antes do período de repouso (dia 7). Portanto, totalizaram 15 amostras no intervalo de uma semana de monitoramento. Dispostas em duplicata, as amostras foram pesadas e levadas à estufa de circulação de ar por 16 horas a 105°C para eliminação da umidade (determinação da umidade no meio filtrante). Em seguida, as amostras foram pesadas e encaminhadas à mufla por 20 minutos a 550°C para volatilização da matéria orgânica (determinação dos sólidos voláteis presentes no biofilme). Logo após, a amostra foi novamente pesada e lavada em água corrente com ajuda de uma peneira para remoção dos sólidos fixos e permanência apenas da brita. Após esse procedimento, a brita lavada foi retornada à estufa por mais 4 horas a 105°C e pesada novamente (determinação da massa do meio suporte). E assim, por diferença em cada pesagem, foi possível obter a massa de sólidos fixos presentes na amostra.

Pode-se considerar a matéria orgânica como a parcela correspondente aos sólidos orgânicos em solução e particulados, sendo boa parte biodegradáveis. De acordo com Von Sperling (1996), nem todos os sólidos contribuem na transformação do substrato, existe uma fração inorgânica que não apresenta função no tratamento biológico. Os sólidos possuem diversas classificações, dentre as citadas nesse estudo, definem-se: i) sólidos totais (ST) como a permanência de substâncias no conjunto após a secagem total de determinada amostra, ii) sólidos fixos (SF) a todo material presente após calcinação, como compostos inorgânicos e iii) sólidos voláteis, preponderantemente matéria orgânica. Observe que  $ST = SF + SV$ .

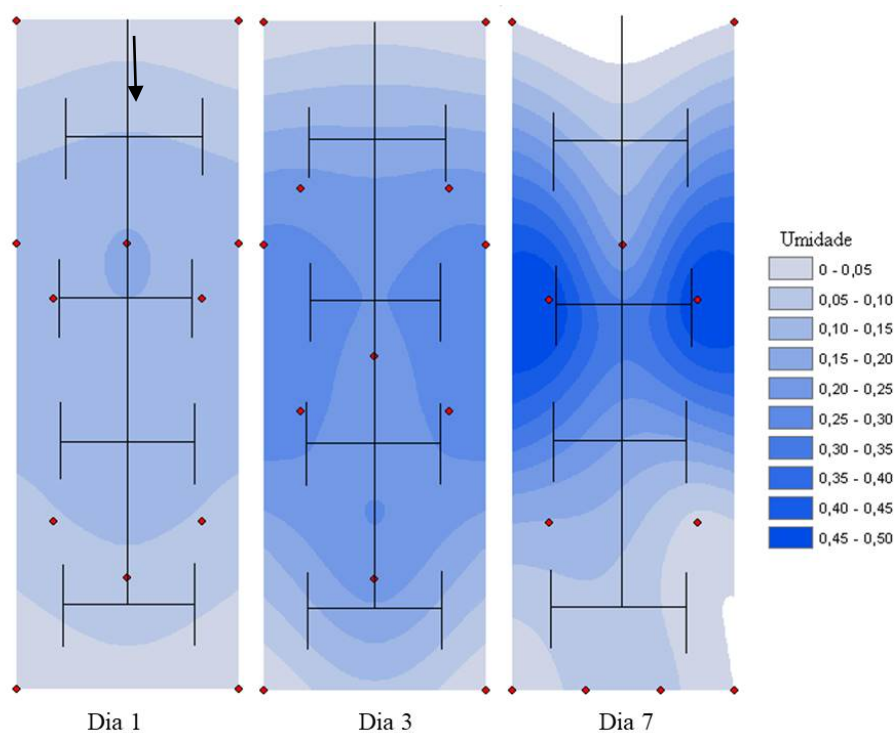
Os resultados das amostras foram inseridos no software ArcGIS 10.3. Os dados foram então mapeados, através da interpolação do tipo “spline”. É importante ressaltar que neste trabalho não foi feita a análise de lodo. As amostras compreenderam o meio suporte e seu biofilme, localizados logo abaixo da camada superficial do depósito de lodo.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

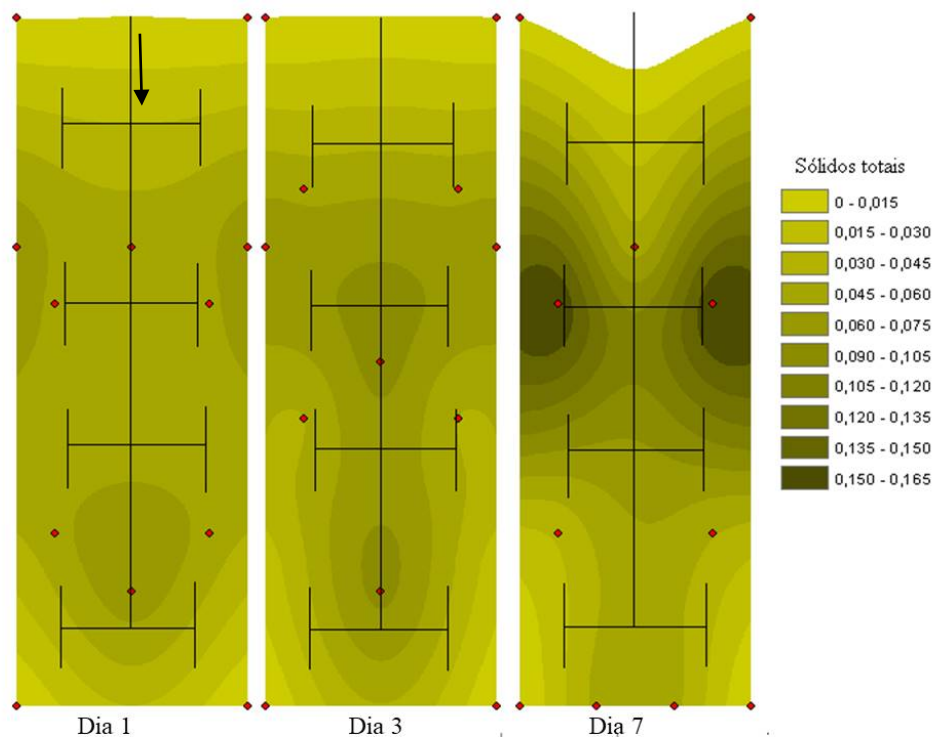
Como condição de delimitar a área da célula, foi considerado que em suas arestas há apenas meio suporte, ou seja, esses pontos não recebem esgoto. A legenda expressa a fração da amostra úmida, desta forma, por exemplo, supondo um valor de umidade igual a 0,05, significa que, da amostra coletada, 5% era constituída por água, e os demais 95% compreendiam os sólidos (fixos + voláteis) e o próprio meio filtrante. A Figura 2 demonstra a evolução da umidade com o passar dos dias do ciclo de alimentação.

Nota-se que a região central do filtro é a que concentra maior umidade durante todo o tempo, indicando que essa área recebeu maior carga hidráulica de esgoto bruto. Observa-se também que há a tendência de diminuição do teor de umidade à medida que se aproxima das extremidades, as quais possuem 45% menos umidade em relação ao meio. Isso demonstra que a distribuição poderia caminhar para a uniformidade se as tubulações secundárias estivessem mais próximas dos cantos. Trein *et al.* (2018), em investigação das diferenças na altura da camada de lodo neste mesmo leito, concluiu que, quanto mais perto da caixa de armazenamento e da saída das tubulações secundárias, maior a altura da camada.

Paralelamente ao comportamento da umidade, as Figuras 3 e 4 apresentam o comportamento acumulativo e muito semelhante dos sólidos totais (ST) e voláteis (SV), respectivamente, na superfície do meio poroso. O mapa de SF também muito se aproxima às Figuras 3 e 4 e por esse motivo foi decidido não mostrá-lo.



**Figura 2. Mapa de umidade: evolução ao longo do ciclo de alimentação estendido de sete dias.**

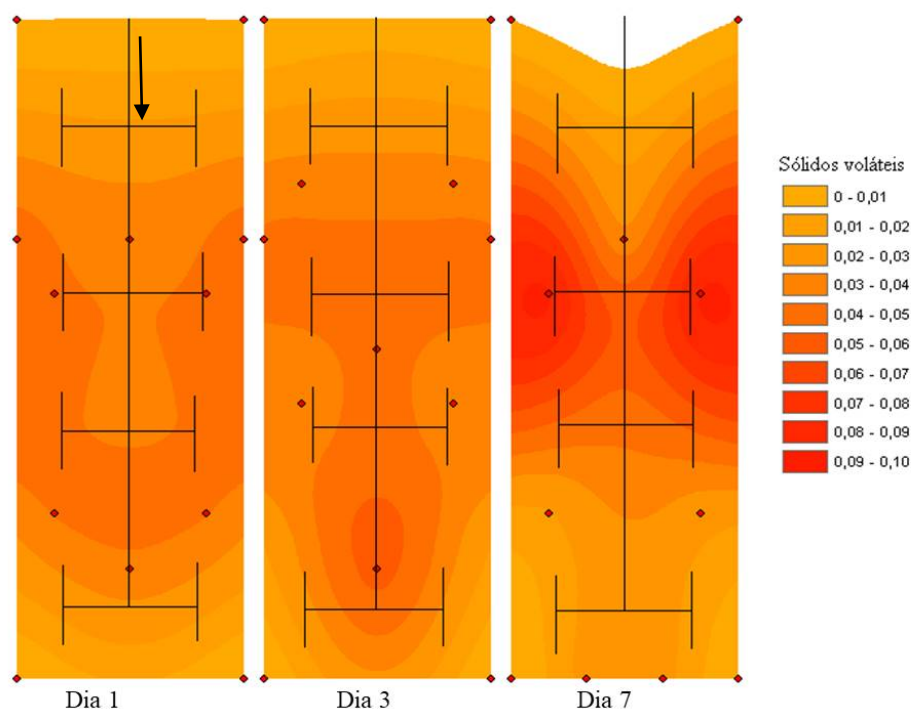


**Figura 3. Mapa de Sólidos Totais: evolução ao longo do ciclo de alimentação estendido de sete dias.**



Com o passar dos dias, observou-se o aumento da fração de ST e SV nas extremidades dos tubos de alimentação e a redução ou praticamente nenhuma influência nos cantos da superfície do filtro, assim como a umidade, apresentando uma diferença entre as zonas observadas de 15% em relação aos ST e 9% aos SV. É importante ressaltar que a rigor, a umidade maior implica em diluição do lodo, reduzindo a contração de sólidos. Contudo, nesse estudo, a massa composta pelo brita do meio filtrante não foi desconsiderada. Desta forma, em um volume dV de filtro, com o avanço do ciclo de alimentação, o teor de umidade e a quantidade de sólidos aumentam, e, por conseguinte, cresce também a atividade microbológica. Platzer e Mauch (1999) afirmam que a forma e a distribuição dos SV nos poros do filtro são mais influenciadoras da taxa de infiltração do que a massa de SV em si. Todavia, ainda que não seja linear, há uma relação entre redução das taxas de infiltração e acréscimo da matéria orgânica acumulada (Zhao et al., 2008). Desta maneira, é provável que em um ponto qualquer, a condutividade hidráulica diminua à medida que a fração de SV cresce.

Trein et al. (2018) relataram que as taxas médias de acúmulo do lodo na unidade I foram de 0,8 cm. ano<sup>-1</sup>. Para prevenir a colmatagem, faz-se necessário o repouso das unidades para possibilitar a aeração do sistema e a secagem do meio filtrante, mantendo assim o desempenho nos ciclos vindouros. Após o período de 7 dias de repouso, a restauração completa das taxas de infiltração deve ser obtida (Platzer e Mauch, 1999), contudo, o sistema não se encontrava totalmente seco no dia 1 do ciclo de alimentação.



**Figura 4. Mapa de Sólidos voláteis: evolução ao longo do ciclo de alimentação estendido de sete dias.**

## CONCLUSÕES

Observou-se que as arestas são regiões que pouco interagem com o escoamento do filtro. Em relação às transformações ocorridas na camada filtrante do leito com o avançar dos dias do ciclo de alimentação, a umidade e os sólidos aumentaram em quantidade (considerando um volume dV de meio filtrante, sem descontar o meio suporte). Demonstrou-se também que o período de repouso possibilita drenagem ou evapotranspiração da água e degradação da MO, mas ainda assim o sistema não inicia o novo ciclo totalmente seco. Com o avanço do tempo de alimentação, a desuniformidade da distribuição se manteve, podendo causar um carregamento desproporcional na superfície da célula, e consequentemente levando a taxas de carga hidráulica e orgânica superficiais diferenciadas e possível interferência no desempenho da unidade. A compreensão do sistema de distribuição em um wetland de fluxo vertical é de grande importância para aumentar a uniformidade da taxa de carga hidráulica aplicada, minimizando as zonas mortas e os curtos-

circuitos, evitando o entupimento prematuro de certas regiões e melhorando a utilização volumétrica do reator. Sugere-se que mais estudos devem ser realizados para melhorar a hidráulica dos wetlands de fluxo vertical e investigar a importância da área de influência de cada ponto de distribuição na dinâmica do líquido dentro do meio filtrante.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem às agências e às instituições brasileiras CNPq, CAPES, FAPEMIG, FUNASA, UFMG e COPASA pelo apoio à pesquisa, juntamente com a Fundação Bill & Melinda Gates no projeto 'Stimulating local innovation on sanitation for the urban poor in Sub-Saharan Africa and South-East Asia', sob a coordenação da Unesco-IHE, Delft, Holanda.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. DOTRO, G.; LANGERGRABER, G.; MOLLE, P.; NIVALA, J.; PUIGAGUT, J.; STEIN, O.; VON SPERLING, M. *Biological Wastewater Treatment Series – Treatment Wetlands*. v.7. Publicado por IWA, Chennai, India, 2017. 172p.
2. MOLLE, P.; LIÉNARD, A.; BOUTIN, C.; MERLIN, G.; IWEMA, A. *How to treat raw sewage with constructed wetlands: an overview of the French systems*. **Water Science and Technology**, v. 51, n. 9, p. 11-21, 2005.
3. MORAES, M. A. A., GARCÍA ZUMALACARREGUI, J.A., TREIN, C. M., PALMIER, L.R., VON SPERLING, M. (2018). Hydraulic analysis of the influent distribution system in a pulse-feeding vertical flow constructed wetland (first stage of French system). *4ª Conferencia Panamericana de Sistemas de Humedales*. Rede Pan-americana de Sistemas de Humedales de Tratamiento. Lima, Peru, 15-18 Maio 2018.
4. PAUL, U., KARPF, C., SCHALK T. *Hydraulic simulation of perforated pipe systems feeding vertical flow constructed wetlands*. **Water Science and Technology**, v. 77, 2018. doi: 10.2166/wst.2018.025.
5. PLATZER, C; MAUCH, K. *Soil Clogging in Vertical-flow Reed Beds - Mechanisms, Parameters, Consequences and ..... Solutions?*. **Water Science and Technology** v. 35, No. 5, 1997, p. 175-181.
6. TREIN, C. M., MORAES, M.A.A., GARCÍA ZUMALACARREGUI, J.A., VON SPERLING, M. (2018). Reduction of area and influence of the deposit layer in the first stage of a full-scale French System of Vertical Flow Constructed Wetlands in a tropical area. *16<sup>th</sup> International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control*. IWA. Valencia, Espanha, 30 setembro- 04 outubro 2018.
7. VON SPERLING, M. *Princípios básicos de tratamento de esgotos: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. V. 2. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais; 1996.
8. ZHAO, L.; ZHU W; TONG, W. Clogging processes caused by biofilm growth and organic particle accumulation in lab-scale vertical flow constructed wetlands. **Journal of Environmental Sciences** 21(2009) 750–75.