



COMPORTAMENTO DIÁRIO AO LONGO DO PERÍODO DE ALIMENTAÇÃO DO PRIMEIRO ESTÁGIO DO SISTEMA FRANCÊS DE WETLAND VERTICAL, EM TERMOS DE REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E AMÔNIA

Camila Maria Trein^{1*}, Jorge Alejandro García Zumalacarregui², Marcos von Sperling³

¹ Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, CEP 31270-901, Belo Horizonte – MG, Brasil

² Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, CEP 31270-901, Belo Horizonte – MG, Brasil / Universidad de Cuenca, Cuenca, Equador

³ Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, CEP 31270-901, Belo Horizonte – MG, Brasil

*e-mail: camilatrein@yahoo.com.br

Recebido em: 13/08/2017
Aceito em: 23/11/2017

RESUMO

O objetivo desse trabalho foi avaliar o comportamento do potencial de nitrificação e remoção de matéria orgânica no primeiro estágio de um *wetland* construído vertical - sistema francês (WCV-SF), operando com dois leitos em paralelo, cada um com 7 dias de alimentação e 7 dias de repouso, sob condições climáticas brasileiras. A estação de tratamento avaliada está localizada no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) da Universidade Federal de Minas Gerais e Companhia de Saneamento de Minas Gerais, UFMG/COPASA, na cidade de Belo Horizonte, Brasil. Complementando o monitoramento rotineiro praticado há anos neste sistema, efetuou-se um monitoramento intensivo da qualidade do afluente e do efluente do WCV-SF durante uma semana, por meio de análises físico-químicas, através de coletas simples diárias nos tempos de 5, 10, 15, 20, 30, 40 e 50 minutos depois do início de uma batelada. Durante o período de monitoramento foi possível observar a eficiência dessa etapa associada à decomposição da matéria orgânica, permanecendo satisfatória mesmo em períodos de sobrecarga. Com concentrações positivas de oxigênio no efluente, o desempenho do sistema ao longo dos 7 dias de alimentação apresentou eficiência média de remoção e 69% para DQO. Em termos de nitrogênio, a eficiência de remoção de $N-NH_4^+$ foi de 58% e a produção de $N-NO_3^-$ diminuiu com o avanço dos dias de alimentação, reportando 20 mg L⁻¹ no 2º dia e 11 mg L⁻¹ no último. De uma forma geral, apesar de ter apenas duas unidades em paralelo, o sistema mostrou boa capacidade de receber esgoto bruto por um período de tempo maior de alimentação, reforçando os resultados obtidos no monitoramento rotineiro.

Palavras-chave: Esgoto bruto. Esgoto sanitário. Estratégias operacionais. Tratamento de esgotos.

1 Introdução

O primeiro estágio do *wetland* construído vertical utilizado para o tratamento de esgoto bruto, conhecido como sistema francês (WCV-SF), começou a ser empregado em locais de clima quente e frio, principalmente pela boa eficiência na degradação da matéria orgânica carbonácea [1, 2].

Na França, dados de monitoramento do primeiro estágio indicaram eficiências na ordem de 79% e 86% para demanda química de oxigênio (DQO) e sólidos suspensos totais (SST), respectivamente, trabalhando com carregamentos de aproximadamente de 300 g DQO m² d⁻¹ e 150 g SS m² d⁻¹ em uma área de 1,2 m² pessoa⁻¹ [1]. Eficiências similares foram encontradas por Morvannou *et al.* [3], avaliando 51 unidades

(primeiro estágio) em operação na França, com valores médios de 77% para DQO e 83% para SST.

Esse desempenho de tratamento é garantido pela forma de operação das três unidades pertencentes ao primeiro estágio. Alternância de ciclos de alimentação por 3,5 a 4 dias e repouso por 7 dias é considerada importante para o controle do crescimento bacteriano e necessário para manter as condições aeróbias no filtro, permitindo assim, a mineralização da matéria orgânica proveniente da retenção dos sólidos suspensos contidos no afluente bruto [1] que se acumulam na superfície do sistema, formando uma camada de cerca de 2,5 cm ano⁻¹ [4].

Em termos de nitrogênio, o sistema apresenta algumas limitações, sendo identificada nitrificação em torno de 50% para cargas variando entre 25 a 30 g nitrogênio total Kjeldahl (NTK) m²

d^{-1} [1]. Vários são os fatores que mostram-se sensíveis a esse processo, como as condições operacionais (alternância dos filtros, estratégias de alimentação), taxa de transferência de oxigênio para o interior do maciço filtrante, composição do esgoto, considerações de projeto (altura do filtro, características do material filtrante, cargas hidráulicas, orgânicas) ou parâmetros externos (manutenção, clima) [4 - 9].

Bollet *et al.* [5] e Molle *et al.* [6] relatam condições opostas de operação (número de bateladas por dia) para o melhor desempenho dos sistemas em termos de remoção de matéria orgânica e transformação do nitrogênio. Segundo os autores, para obter melhores resultados na formação de nitrato, a estratégia indicada é a aplicação de maiores volumes em baixa frequência. Esse procedimento melhora a drenagem do líquido, obtendo uma melhor oxigenação do filtro, refletindo em um maior potencial de nitrificação na unidade. Opostamente, menores volumes em intervalos curtos conduzem a um maior teor de água no meio, prejudicando a nitrificação, porém contribuindo para a remoção da matéria orgânica.

Como forma de obter resultados satisfatórios que refletem na durabilidade e confiabilidade ao longo do tempo de operação, Torrens *et al.* [7] reforçam a necessidade de controlar os períodos de alimentação e repouso, conforme proposto em projeto.

Visto que essas recomendações de operação (3,5-4 dias de alimentação / 7 dias de repouso) são para as condições climáticas de países de clima frio, o objetivo desse estudo foi avaliar o potencial de nitrificação e remoção de matéria orgânica no primeiro estágio em um *wetland* construído vertical - sistema francês operando com um tempo maior no ciclo de operação de uma unidade (7 dias de alimentação / 7 dias de repouso), sob condições climáticas brasileiras. Ademais, ao invés de se contar com os tradicionais três leitos em paralelo, que compõem o primeiro estágio do sistema francês, a presente pesquisa utilizou apenas dois leitos, o que representa uma economia de área de 1/3.

2 Metodologia

A estação de tratamento de esgoto (ETE) avaliada está localizada na cidade de Belo Horizonte, Minas Gerais, no Centro de Pesquisa e Treinamento em Saneamento (CePTS) da Universidade Federal de Minas Gerais e está dentro das dependências da ETE Arrudas, pertencente à Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) (19°53'42" S, 43°52'42" W).

A ETE em escala de demonstração é composta por um WCV-SF, destinado a receber uma parcela de esgoto bruto preliminarmente tratado por peneira (6 mm de abertura), desviado da ETE Arrudas. Na Figura 1 apresenta-se o fluxograma do sistema, juntamente com os pontos em que foram realizadas as amostragens, conforme segue: afluente WCV-SF e efluente do WCV-SF - unidade III.

2.1 Características construtivas e operacionais do *wetland* construído vertical - sistema francês

O WCV-SF, construído em 2007, foi dimensionado para tratar águas residuárias geradas por uma população equivalente de 100 habitantes (vazão média de $13 \text{ m}^3 \text{ d}^{-1}$). Concebido de acordo com as recomendações e especificações do CEMAGREF/IRSTEA, o primeiro estágio possui 3 leitos filtrantes, cada um com área superficial de $29,4 \text{ m}^2$ (largura de 3,1 m e comprimento de 9,4 m), totalizando $88,2 \text{ m}^2$ ($0,9 \text{ m}^2 \text{ pessoa}^{-1}$).

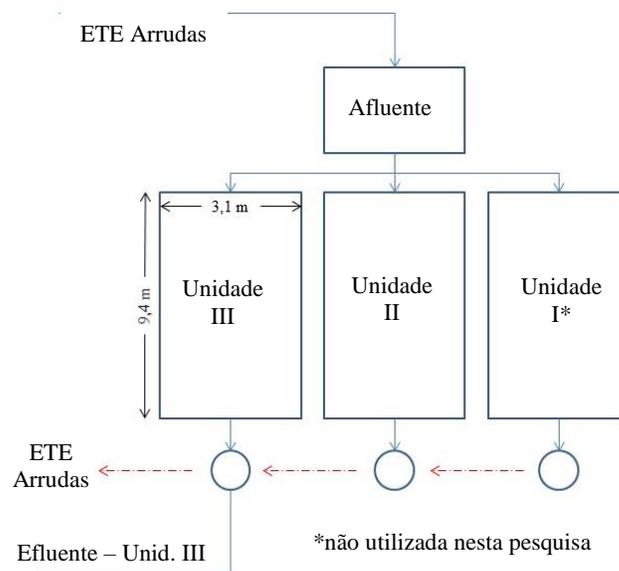


Figura 1 – Representação esquemática do primeiro estágio do *wetland* construído vertical – sistema francês.

Construída em alvenaria, as unidades foram preenchidas com 15 cm de brita 3 (19 a 50 mm) na zona de drenagem (fundo), 15 cm de brita 1 (4,8 a 25 mm) na camada intermediária e 40 cm de brita 0 (2,4 a 12,5 mm) na camada superior. Todas as unidades foram plantadas com capim – *Tifton 85* (*Cynodon dactylon Pers.*).

Além da alimentação intermitente de esgoto afluente sobre a superfície do *wetland*, que acontece a cada hora, ou seja, 24 pulsos d^{-1} de $0,53 \text{ m}^3$, tem-se a alternância entre os filtros, que acontece a cada 7 dias. Atualmente apenas as unidades II e III estão em funcionamento (representando $0,6 \text{ m}^2 \text{ pessoa}^{-1}$), sendo que uma das unidades recebe esgoto durante uma semana enquanto a outra permanece em repouso nesse respectivo período.

2.2 Monitoramento

O sistema é objeto de monitoramento rotineiro desde seu início de funcionamento. Especificamente para este trabalho, foi realizado um monitoramento intensivo da qualidade do afluente e do efluente do WCV-SF durante uma semana no mês de março de 2017, por meio de análises físico-químicas, através de coletas

simples realizadas no período da manhã nos dois pontos de amostragens, conforme destacado na Figura 1.

As amostras coletadas na saída do sistema tiveram como objetivo a caracterização do 1º até o 7º dia de alimentação, ou seja, durante 1 semana foram realizadas coletas de amostras nos tempos de 5, 10, 15, 20, 30, 40 e 50 minutos depois do início da alimentação (pulso) na unidade III. Por dia, foram coletadas 8 amostras, sendo 1 na entrada do sistema e 7 na saída, totalizando 56 amostras.

Os parâmetros analisados foram potencial hidrogeniônico (pH), temperatura, oxigênio dissolvido (OD), DQO, NTK, nitrogênio amoniacal (N-NH₄⁺), nitrogênio nitrito (N-NO₂⁻) e nitrogênio nitrato (N-NO₃⁻), seguindo recomendações do *Standard Methods* [10].

3 Resultados e Discussões

Os valores médios obtidos a partir da caracterização do afluente do *wetland* estão apresentados na Tabela 1.

Destaca-se que no 1º dia de monitoramento as concentrações afluentes e efluentes do sistema para alguns parâmetros mostraram resultados fora do padrão de comportamento em relação ao monitoramento rotineiro, sendo assim descartados. Para os demais dias, com algumas variações, as características do esgoto permaneceram dentro da faixa típica de esgoto sanitário para as condições brasileiras [11].

Tabela 1. Valores médios da caracterização do afluente (esgoto bruto após tratamento preliminar) do sistema de tratamento avaliado – unidade III.

Parâmetro	Monitoramento (dias)						
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º
pH	6,78	7,01	7,24	7,3	7,33	7,44	7,30
OD (mg L ⁻¹)	0,76	0,50	0,22	0,86	1,13	0,15	0,17
Temperatura (°C)	27,1	27,2	27,8	27,8	24,7	26,4	25,4
DQO (mg L ⁻¹)	*	417	492	711	299	427	617
NTK (mg L ⁻¹)	63,4	40,3	37,8	46,3	48,8	57,3	47,6
N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	*	33,5	27,4	36,6	40,5	34,1	26,5
N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,03	0,00	0,00	0,03	0,09	0,03	0,06
N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,77	0,00	0,00	0,16	1,42	0,00	0,54

*valores não disponíveis.

Na Tabela 2 estão resumidos os resultados obtidos em termos de concentração efluente do primeiro estágio, e na Figura 2 é possível observar a eficiência dessa etapa associada à decomposição da matéria orgânica (DQO), que permaneceu satisfatória ao longo dos 7 dias de operação.

A vazão média afluente do *wetland* foi de 12,7 m³ d⁻¹, o que resulta em uma taxa hidráulica aplicada na unidade III de 0,43

m³ m² d⁻¹. Baseado na concentração média de 494 mg DQO L⁻¹, a unidade recebeu carregamento médio de 212 g DQO m² d⁻¹ durante o período de monitoramento. Apesar de estar acima das recomendações de 300 g DQO m² d⁻¹, no 4º dia (305 g DQO m² d⁻¹), a eficiência de remoção para DQO foi de 80% (Figura 2), mostrando que o sistema consegue receber sobrecargas pontuais sem afetar a taxa de remoção, conforme apontado por Morvannou *et al.* [3].

Porém, esses valores estão abaixo dos encontrados por Prost-Boucle e Molle [12] que, verificando o efeito de recirculação no primeiro estágio, observaram que, com carregamentos de até 450 g DQO m² d⁻¹, o desempenho na remoção do parâmetro permaneceu em 90%, sendo que para 600 g DQO m² d⁻¹ as taxas de remoção foram em torno de 82% para as condições climáticas da França.

Tabela 2. Valores médios da caracterização do efluente do sistema de tratamento avaliado - unidade III.

Parâmetros	Monitoramento (dias)						
	1º	2º	3º	4º	5º	6º	7º
pH	6,48	6,74	6,93	6,96	6,96	7,03	7,10
Temperatura (°C)	26,8	27,0	26,4	27,0	25,5	25,6	25,0
OD (mg L ⁻¹)	3,82	3,73	3,39	2,83	3,00	1,54	2,11
DQO (mg L ⁻¹)	*	193	164	142	140	148	124
NTK (mg L ⁻¹)	10,6	11,6	17,6	15,3	21,0	18,8	20,5
N-NH ₄ ⁺ (mg L ⁻¹)	10,4	11,4	16,5	14,2	16,1	12,8	15,5
N-NO ₂ ⁻ (mg L ⁻¹)	0,25	0,61	0,20	0,79	0,15	3,12	0,08
N-NO ₃ ⁻ (mg L ⁻¹)	*	19,6	17,2	11,8	9,3	6,0	11,5

*valores não disponíveis

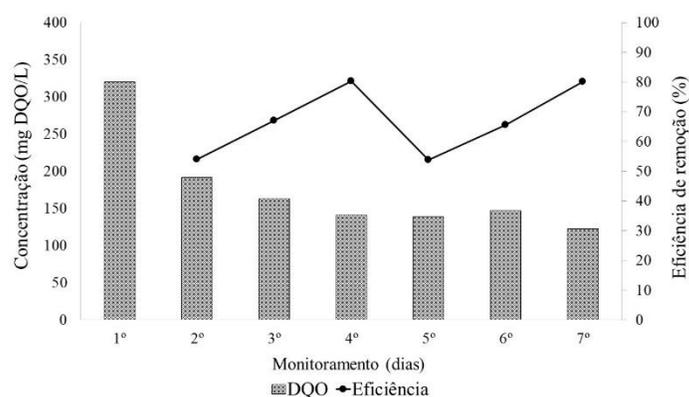


Figura 2 -Concentração média efluente e eficiência de remoção de DQO referente ao monitoramento de 7 dias.

De acordo com Molle *et al.* [1] e Morvannou *et al.* [3], o aumento do carregamento orgânico diminui o desempenho do tratamento em termos de NTK, refletindo nos limites que o sistema

pode atingir em termos de renovação de oxigênio e adsorção de amônia.

Com valores médios de DQO efluente de 124 mg L^{-1} no 7º dia de operação (Tabela 2) e remoção de 80%, considera-se que o *wetland* apresentou desempenho satisfatório em termos de remoção de matéria orgânica, similar ao estudo realizado por Morvannou *et al.* [3], que reportam valores de 126 mg L^{-1} e remoção de 77% para o primeiro estágio do sistema francês.

Como esperado, após a passagem do efluente pelo sistema, as concentrações de oxigênio dissolvido aumentaram (Figura 3, com medições ao longo da duração da batelada). Durante todo o período de operação da unidade III, as concentrações de oxigênio na saída foram positivas, representando até o 5º dia as maiores concentrações (média $3,35 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$), vindo a diminuir a partir do 6º dia após o início da alimentação da unidade (média $1,82 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$).

Diante de tais resultados, pode-se inferir que as condições estabelecidas favoreceram a ocorrência de processos aeróbios para a degradação da matéria orgânica e nitrificação. Contudo, a duração do regime operacional de 7 dias de alimentação sobrecarregou o sistema, que no 6º dia apresentou dificuldades de drenagem do líquido que se acumulou na superfície, impedindo assim, o potencial de difusão de oxigênio no leito filtrante, justificando os menores valores nos últimos dias.

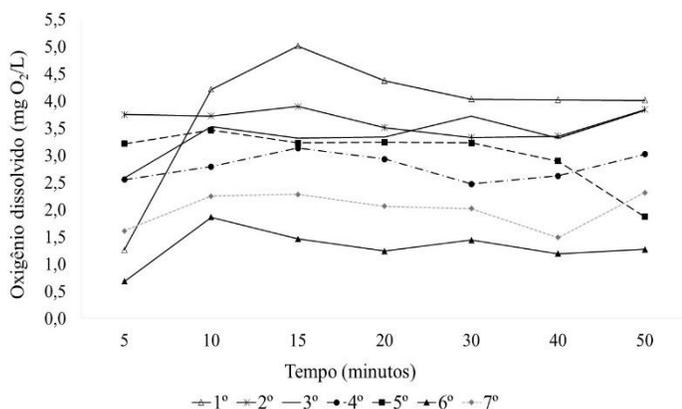


Figura 3 -Comportamento da concentração de O_2 no efluente da unidade III durante 7 dias de monitoramento.

Em um estudo realizado na mesma planta de tratamento, após 2 anos do início de sua operação, foram identificadas concentrações médias de $5,1 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ no efluente para o regime de operação de 24 pulsos d^{-1} consecutivamente por 2,5 dias de alimentação seguido de 4,5 dias de descanso [13]. É notório que com o passar do tempo (7 anos de operação) as condições de transferência de oxigênio para o leito filtrante foram afetadas, influenciadas principalmente pelo acúmulo de sólidos na parte

superior do filtro (média de 6,6 cm) e pela alimentação de uma mesma unidade feita por um período de tempo maior.

Torrens *et al.* [7] destacam que a falta do cumprimento com as recomendações de alimentação e períodos de repouso (3-4 dias de alimentação / 7 dias de repouso) para as condições climáticas da França aumentam o acúmulo de uma camada de lodo na superfície, trazendo problemas de entupimento na camada superior, fato não observado quando os critérios recomendados de operação são respeitados.

Além desse critério, Molle *et al.* [4] reforçam que as cargas hidráulicas e orgânicas, devem ser bem controladas a fim de favorecer a mineralização dessa camada. Caso contrário, tem-se limitações dos processos de transferência de oxigênio (convecção e difusão) pelo excesso de água na superfície, influenciando na performance do sistema.

A média da altura de lodo acumulado (de forma não homogênea) desde o início da operação da unidade III é menor que a reportada pelos sistemas operados na França ($2,5 \text{ cm ano}^{-1}$), observação também relatada por Molle *et al.* [2] em duas unidades do primeiro estágio operados sob condições climáticas tropicais. Além das condições climáticas, que favorecem a mineralização dessa camada de lodo no Brasil, o esgoto afluente apresenta menor concentração de matéria orgânica (mais diluído), comparado com os gerados pela população das pequenas comunidades dos países europeus investigados.

A remoção de NT e N-NH_4^+ , bem como a produção de nitrogênio oxidado ($\text{NO}_x = \text{N-NO}_3^- + \text{N-NO}_2^-$) variou ao longo dos 7 dias de monitoramento (Figura 4). Para esse estudo, verificou-se que durante o período de monitoramento, dos 58% de N-NH_4^+ removidos no sistema, uma parcela foi nitrificada (66%), sendo observada maior produção de N-NO_3^- nos primeiros dias de alimentação.

De acordo com Kantawanichkula, Kladpraserta e Brix [14], o baixo potencial para a nitrificação completa em *wetlands* verticais está associada à operação e à estrutura física dos sistemas, que não proporcionam tempo de detenção suficiente para permitir o contato com as bactérias que são responsáveis por promover a nitrificação. A rápida velocidade de fluxo limita a adsorção de amônia sobre o substrato que é nitrificada principalmente entre as bateladas e durante o período de repouso [6]. De acordo com Manjate *et al.* [15], os picos de vazão em um sistema não saturado são observados já nos primeiros 5 minutos, ou seja, depois de aplicado o esgoto na unidade o mesmo começa a sair após esse período.

No 4º, 5º e 6º dia, a remoção de NT aumentou em comparação com os dias anteriores, enquanto que para N-NH_4^+ , a remoção se manteve estável com 61%, 60% e 62%, respectivamente. Além disso, as concentrações de NO_x produzidas diminuíram ($12,4$, $8,02$ e $8,65 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente) em comparação com os dias anteriores. Esses resultados podem estar associados à desnitrificação. Muitos estudos relatam a baixa

potencialidade de desnitrificação dos *wetlands* verticais [16 - 17], devido à predominância de condições aeróbias nos poros, após a passagem do líquido. Contudo, recentemente, utilizando técnicas de biologia molecular em nível de RNA em outro WCV, foram identificadas bactérias desnitrificantes ativas em todo o perfil vertical do sistema, sobretudo, quando o mesmo foi operado com alta carga orgânica a desnitrificação pode ocorrer desde a primeira camada do sistema [18].

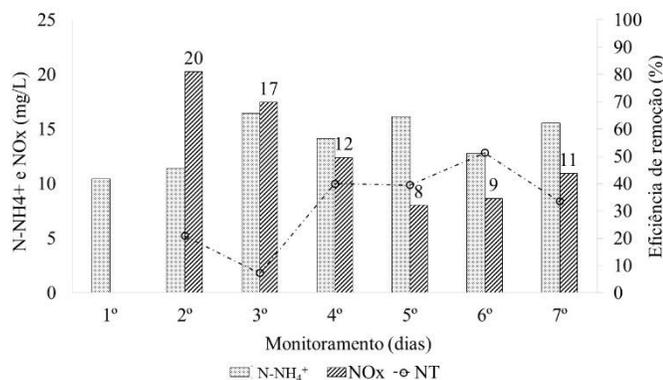


Figura 4 -Comportamento da série nitrogenada no efluente da unidade III durante 7 dias de monitoramento.

Como forma de aumentar o potencial de remoção do nitrogênio em *wetland* vertical, Silveira *et al.* [19] apresentam como estratégia a utilização da camada superior livre (condições aeróbias) e uma zona parcialmente saturada na parte inferior, visando criar condições aeróbicas/anóxicas em uma única unidade. Nos estudos destes autores foram obtidas eficiências da ordem de 56% para a nitrificação e 85% para a desnitrificação, com 25 cm de altura de leito saturado, para uma carga afluyente de 14 g NTK m² d⁻¹.

Comparando com os resultados de Lana *et al.* [13] que pesquisou o mesmo sistema da presente pesquisa, o desempenho foi similar com o passar do tempo em termos de N-NH₄⁺ (60% e 58% para este estudo) ao contrário dos resultados obtidos para DQO, que apresentou decaimento na eficiência de remoção de 80% para 69%.

De forma a se ter um indicativo do potencial comportamento do sistema caso se adotasse a estratégia operacional dos franceses (3,5-4 dias de alimentação / 7 dias de repouso), os valores encontrados nesse estudo para o 4º e 7º dia de alimentação na mesma unidade apresentaram o seguinte comportamento em termos de porcentagem de remoção: 69% para DQO nas duas condições e 60% e 58% para N-NH₄⁺, respectivamente, com maior produção de N-NO₃⁻ nos três primeiros dias e maior remoção de NT a partir do 4º dia.

De uma forma geral, mesmo com dificuldade de drenagem do líquido que se acumulou na superfície a partir do 6º dia, o sistema mostrou boa capacidade para receber esgoto bruto

por um período de alimentação maior. Porém, deve-se destacar que os valores obtidos no 4º dia (com um período de alimentação de 7 dias) não necessariamente serão os mesmos que os obtidos com um efetivo período de alimentação de 4 dias, tal como adotado pelos franceses.

4 Conclusões

Considerando uma área superficial de 0,6 m² pessoa⁻¹ (2 leitos filtrantes) para o 1º estágio do *wetland* construído vertical – sistema francês tratando esgoto bruto em 24 bateladas por dia para condições operacionais de 7 dias de alimentação e 7 dias de repouso, sob condições climáticas brasileiras tem-se:

- Boa eficiência associada à decomposição da matéria orgânica, que permaneceu durante todo o período de monitoramento, mesmo em condições de sobrecarga, com remoção média de 69% DQO;
- Dos 58% de N-NH₄⁺ removida no sistema, 66% foi nitrificada, sendo observada maior produção de N-NO₃⁻ nos primeiros 3 dias de operação;
- Mesmo com dificuldade de drenagem do líquido que se acumulou na superfície a partir do 6º dia, o sistema mostrou boa capacidade para receber esgoto bruto por um período de alimentação de 7 dias consecutivos;
- Há a necessidade de um maior tempo de monitoramento para a caracterização da estratégia operacional referente ao período de alimentação e repouso.

Agradecimentos

Os autores agradecem as agências brasileiras CAPES, CNPq, FAPEMIG e FUNASA. Esta pesquisa faz parte de um programa internacional financiado pela Fundação Bill & Melinda Gates para o projeto "*Stimulating local innovation on sanitation for the urban poor in Sub-Saharan Africa and South-East Asia*", sob a coordenação da Unesco-IHE Instituto de Educação da Água, Delft, Holanda.

DAILY BEHAVIOR DURING THE FEEDING PERIOD OF THE FIRST STAGE OF A VERTICAL FLOW CONSTRUCTED WETLANDS – FRENCH SYSTEM IN TERMS OF ORGANIC MATTER AND AMMONIA REMOVAL

ABSTRACT: The objective of this investigation was to evaluate the behaviour of the nitrification potential and organic matter removal in the first stage of a vertical flow constructed wetland - French system (VCW-FS), operating with only two parallel beds, each with 7 days of feeding and 7 days of resting, under Brazilian climatic conditions. The treatment plant under evaluation is located at the Center for Research and Training in Sanitation (CePTS) of the Federal University of Minas Gerais (UFMG) and

the Water and Sanitation Company of Minas Gerais (COPASA) in the city of Belo Horizonte, Brazil. In addition to the routine monitoring program implemented in this system over the past years, an intensive monitoring programme of the VCW-FS influent and effluent quality was carried out for one week, analysing physical-chemical parameters, through daily sample collections every 5, 10, 15, 20, 30, 40 and 50 minutes after the beginning of the batch loading. During the monitoring period, it was possible to observe the efficiency of this step associated with the organic matter decomposition and satisfactory results even under over loading conditions. With positive concentrations of oxygen in the effluent, the performance of the system during the 7 days of feeding presented an average removal efficiency of 69% for COD. In terms of nitrogen, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ removal efficiency was 58% and $\text{NO}_3^-\text{-N}$ production decreased with the feed days advance, reporting 20 mg L^{-1} on day 2 and 11 mg L^{-1} on the latter. In general, even using only two units in parallel, the system showed good capacity to receive raw for a longer period of feeding, reinforcing the results obtained in the routine monitoring.

Keywords: Raw sewage. Operational strategies. Sewage treatment.

Referências

- [1] 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 & Technology*, vol. 51, nº 9, p. 11-21, 2005.
- [2] MOLLE, P., LOMBARD LATUNE, R., RIEGEL, C., LACOMBE, G., ESSER, D. French vertical-flow constructed wetland design: adaptations for tropical climates. *Water Science & Technology*, p. 1516-1523, 2015.
- [3] MORVANNOU, A.; FORQUET, N.; MICHEL, S.; TROESCH, S.; MOLLE, P. Treatment performances of French constructed wetlands: results from a data base collected over the last 30 years. *Water Science & Technology*, vol. 71.9, 2015.
- [4] MOLLE, P. French vertical flow constructed wetlands: a need of a better understanding of the role of the deposit layer. *Water Science & Technology*, vol. 69.1, p. 106-112, 2014.
- [5] BOLLET, M., SCHWAGER, A., EUGSTER, J., MOTTIER, V. Dynamic behavior of intermittent buried filters. *Water Science & Technology*, vol. 28, nº 10, p. 99-107, 1993.
- [6] MOLLE, P.; LIÉNARD, A.; GRASMICK, A.; IWEMA, A. Effect of reed sand feeding operations on hydraulic behavior of vertical flow constructed wetlands under hydraulic overloads. *Water Research*, vol. 40, nº 3, p. 606-612, 2006.
- [7] TORRENS, A.; MOLLE, P.; BOUTIN, C.; SALGOT, M. Impact of design and operation variables on the performance of vertical-flow constructed wetland sand intermittent sand filters treating pond effluent. *Water Research*, vol. 43, p. 1851-1858, 2009.
- [8] MILLOT, Y.; TROESCH, S.; ESSER, D.; MOLLE, P.; MORVANNOU, A.; GOURDON, R.; ROUSSEAU, D. Effects of design and operation al parameters on ammonium removal by single-stage French vertical flow filters treating raw domestic wastewater. *Ecological Engineering*, vol. 97, p. 516-523, 2016.
- [9] NAKAMURA, K.; HATAKEYAMA, R.; TANAKA, N.; TAKISAWA, K., TADA, C.; NAKANO, K. A novel design for a compact constructed wetland introducing multi-filtration layers coupled with subsurface superficial space. *Ecological Engineering*, vol. 100, p. 99-106, 2016.
- [10] APHA/AWWA/WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21^oed. Washington, DC, 2011.
- [11] VON SPERLING, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 4^a ed., Belo Horizonte: Editora UFMG, 472 p., 2014.
- [12] PROST-BOUCLE, S E MOLLE, P. Recirculation on a single stage of vertical flow constructed wetland: Treatment limit sand operation modes. *Ecological Engineering*, vol. 43, p. 81-84, 2012.
- [13] LANA, L. C. O.; MORAES, D. C.; VON SPERLING, M.; MORATO, M. L.; VASCONCELLOS, G. R.; PARAENSE, M. O.; MOREIRA, T. P. A. Performance of single stage vertical flow constructed wetland system treating raw domestic sewage in Brazil. *Water Science & Technology*, vol. 68, p. 1599. 2013.
- [14] KANTAWANICHKUL, S.; KLADPRASERT, S., BRIX, H. Treatment of high-strength wastewater in tropical vertical flow constructed wetlands planted with *Typha angustifolia* and *Cyperus involucratus*. *Ecological Engineering*, vol. 35, nº 2, p. 238-247, 2009.
- [15] MANJATE, E. S.; ZUMALACARREGUI, J. A. G.; VON SPERLING, M. Estudo do comportamento hidráulico e de balanço de massa dos sólidos em wetlands construídos de escoamento vertical tratando esgotos domésticos. 2^o Simpósio Brasileiro sobre Wetlands Construídos, Curitiba, 2015.
- [16] MEULEMAN, A. F. M.; LOGTESTIJN, R. V.; RIJS, G. B. J.; VERHOEVEN, J. T. A. Water and mass budgets of a vertical-flow constructed wetland used for waste water treatment. *Ecological Engineering*. vol. 20, nº 1, p. 31-44, 2003.
- [17] DONG, Z.; SUN, T. A potential new process for improving nitrogen removal in constructed wetlands – Promoting coexistence of partial-nitrification and ANAMMOX. *Ecological Engineering*, vol. 31, p. 69-78, 2007.
- [18] PELISSARI, C.; GUIVERNAU, M.; VIÑAS, M.; SOUZA, S. S.; GARCÍA, J.; SEZERINO, P. H.; ÁVILA, C. Unraveling the active microbial populations involved in nitrogen utilization in a vertical subsurface flow constructed wetland treating urban wastewater. *Science of the Total Environment*, vol. 584-85, p. 642-650, 2017b.
- [19] SILVEIRA, D. D.; BELLI FILHO, P.; PHILIPPI, L. S.; KIM, B.; MOLLE, P. Influence of partial saturation on total nitrogen removal in a single-stage French constructed wetland treating raw domestic wastewater. *Ecological Engineering*, vol. 77, p. 257-264, 2015.