
DESEMPENHO DE ALAGADOS CONSTRUÍDOS (*CONSTRUCTED WETLANDS*) DE FLUXO VERTICAL NO PÓS-TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO: POTENCIAL PARA O REÚSO AGRÍCOLA

Regina Maria Ferreira dos Santos¹, Denis Miguel Roston²

RESUMO

Estudou-se um sistema composto de dois leitos de fluxo vertical cultivados com macrófitas (*Typha* sp.) dispostos paralelamente com iguais dimensões (2,50 m x 1,10 m x 1,20 m) e área superficial 2,75 m². O meio filtrante foi constituído das seguintes camadas: topo - 0,07 m de brita 01, intermediária - 0,60 m de areia média, fundo - 0,13 m de brita 01. O sistema experimental foi implantado na área de eventos, Estância Árvore da Vida localizada no município de Sumaré/SP e foi suprido pelo efluente da Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) do local que utiliza o sistema de lodos ativados. Avaliou-se o potencial de nitrificação, redução de turbidez e sólidos suspensos totais (SST) com vistas à produção de água adequada ao reuso, quantificando-se as seguintes variáveis: Demanda Química de Oxigênio (DQO), SST, Turbidez, N-amoniaco, Nitrato e pH. O sistema foi avaliado ao longo de 160 dias demonstrando um potencial de tratabilidade robusto e capacidade tampão para altas cargas, fenômeno perceptivo, especialmente, durante eventos não muito longos, em torno de 2 a 3 dias ininterruptos com população contribuinte de até 3.000 pessoas. O sistema efetivou 40% de nitrificação, apesar da baixa faixa de pH (6,3 a 3,7), produzindo um efluente com concentração média de N-NO₃ de 29,5 mgL⁻¹. Valores obtidos para SST (eficiência 93,85%, concentrações: afluente 37,4 mg L⁻¹ e efluente 2,3 mgL⁻¹), Turbidez (eficiência 97%, concentrações: afluente 31,1 NTU e efluente 1 NTU) e DQO (eficiência 74%, concentrações: afluente 114,7 mgL⁻¹ e efluente 29,9 mgL⁻¹) caracterizaram o efluente final com possibilidade de emprego para reuso na agricultura dependendo da cultura e solo a se utilizar.

Palavras-chave: controle de poluição, clarificação, nitrificação, reuso agrícola

ABSTRACT

PERFORMANCE OF VERTICAL FLOW CONSTRUCTED WETLANDS IN THE POST-TREATMENT OF WASTEWATER: POTENTIAL FOR AGRICULTURAL REUSE

A system consisted of two parallel vertical flow constructed wetlands treating effluent of an activated sludge plant were studied in order to evaluate the potential for nitrification, removal of turbidity, and removal of total suspended solids. The prototype was installed in a location for large events. The two beds were vegetated with the macrophyte *Typha* sp. The beds dimensions were 2.50 m long, 1.10 m wide and 1.20 m height making up a surface area of 2.75m². The filter medium was composed of the following layers: top – 0.07m of gravel, intermediate – 0.60m of medium sand, and bottom – 0.13m of gravel. The system effluent was also evaluated in order to verify its adequacy to use for agricultural irrigation. The following variables were quantified: COD, TSS, turbidity, ammonia-N, nitrate and pH. The system was evaluated over 160 days demonstrating a potential treatability and robust buffer capacity for high loads, especially for short events, around 2-3 continuous days, serving a population up to 3,000 people. The system accomplished 40% nitrification, despite the low pH range (6.25 to 3.69), producing an effluent with an average concentration of 29.5 mgL⁻¹ N-NO₃. Values obtained for TSS (93.85% efficiency, concentrations: 37.4 mg L⁻¹ influent, and 2.3 mg L⁻¹ effluent), Turbidity (97% efficiency, concentrations: 31.1 NTU influent, and 1.0 NTU effluent), COD (efficiency 74%, concentration: 114.7 mg L⁻¹ influent and 29.9 mgL⁻¹ effluent) characterized an excellent quality of the final effluent for reuse in agriculture.

Keywords: agricultural reuse, clarification, nitrification, pollution control

Recebido para publicação em 15/07/2014. Aprovado em 15/02/2016.

1 - Engenheira Civil e mestre em Engenharia Agrícola pela FEAGRI-UNICAMP

2 - Engenheiro Civil, Professor da Faculdade de Engenharia Agrícola - UNICAMP

INTRODUÇÃO

O reúso da água apresenta-se como uma das alternativas ou parte da solução para enfrentar o crescente problema de disponibilidade de água em quantidade e qualidade para as demandas das atividades humanas. Conforme afirmado por Asano (2002), o reúso da água proporciona uma única e viável oportunidade para aumentar as tradicionais fontes para abastecimento de água. Nesse contexto, o uso de esgotos, particularmente no setor agrícola, vem se constituindo em um importante elemento das políticas e estratégias de gestão de recursos hídricos. Entretanto, Pitts et al. (1990) ressaltam que uma especial atenção deve ser dada aos contaminantes presentes na água de irrigação, como algas, areia e silte, entre outros, que devem ser removidos adequadamente para não ocasionar queda na performance dos sistemas de irrigação.

Batista et al. (2013) ressaltam que, no aproveitamento agrícola do esgoto doméstico, concentrações excessivas de SS e ST podem prejudicar o desempenho do sistema de aplicação por meio do entupimento de emissores, bem como pela obstrução dos poros do solo, o que resulta em redução da infiltração e condutividade hidráulica de efluente no solo.

Nesse contexto, Lemos Filho et al. (2011) também reportam para esses cuidados, especialmente na aplicação por gotejamento, pois ela escoar por pequenos bocais, podendo ocorrer obstrução devido à deposição dos sólidos em suspensão. Para Vieira et al., (2004), o entupimento desses emissores é um grave problema associado ao gotejamento, visto que dificulta a operação de sistemas de aplicação, é de difícil operação, e a limpeza ou substituição dos emissores entupidos é bastante onerosa. Sendo, portanto, de grande importância a avaliação dos parâmetros de qualidade da água para adoção de medidas preventivas ao risco de entupimento desses sistemas.

Além dos sólidos, outros contaminantes estão presentes na água pelo lançamento de esgoto bruto em corpos hídricos. Segundo Von Sperling (2011), a alteração das características da água ocorre já a partir do ponto de lançamento e compromete sua qualidade para consumo humano, ou mesmo para uso em atividades agropecuárias. No âmbito atual do saneamento, observa-se uma grande lacuna nos serviços de saneamento ambiental associada, principalmente, às frações nitrogenadas e fosforadas que são ignoradas, sendo sua remoção ocasional

devido aos processos físico-químicos e biológicos associados. Esta defasagem no tratamento dos esgotos conduz a um panorama, no mínimo preocupante, pois estes nutrientes quando lançados aos corpos d'água receptores causam sérios desequilíbrios ambientais comprometendo a biota local e a saúde humana. Conforme ressaltado por Sezerino (2006), a "era" da remoção do carbono nos efluentes domésticos já foi muito superada em várias concepções de tratamento. Assim, diversas tecnologias de tratamento de águas residuárias têm sido estudadas com o intuito de adequar a qualidade da água conforme requerem os mais diferentes usos previstos e, assim, amenizar ou até contornar o grave problema da escassez.

Mancuso e Santos (2003) afirmam que as tecnologias de tratamento que permitem a reutilização da água despontam em todo o mundo como tecnologias marcantes para minorar o panorama de escassez. Nesse contexto, sistemas de alagados construídos vêm se destacando como pós-tratamento de esgoto para aproveitamento agrícola, pois propiciam meios favoráveis à remoção de turbidez, sólidos suspensos e promovem a nitrificação. Além disso, agregam simplicidade, em muitos casos não demandam energia elétrica, podem ser incorporados à paisagem e encontram no Brasil excelentes qualidades climáticas para sua implantação.

No presente trabalho, avaliou-se um sistema composto por dois leitos de fluxo vertical cultivados com *Typha sp.* (taboa), dispostos paralelamente e com alimentação intermitente.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado na área de eventos, Estância Árvore da Vida – EAV, localizada na zona rural do município de Sumaré/SP. Nessa área há uma grande flutuação populacional em consequência da variação dos eventos, que pode variar de 500 a 10.000 pessoas. Ocorrem quatro eventos fixos ao longo do ano; nos meses de janeiro, fevereiro, julho e setembro, e a população flutuante pode ser descrita da seguinte maneira: a) 9000 pessoas, aproximadamente, durante 09 (nove) dias dos meses de fevereiro e setembro, respectivamente; b) 3.000 pessoas, aproximadamente, durante 09 (nove) dias dos meses de janeiro e julho, respectivamente; c) A população dos demais eventos é variável, podendo chegar a 10.000 pessoas. Essa flutuação era perceptível no esgoto. O efluente gerado pela ETE em funcionamento da área (lodo ativado) alimentava o sistema experimental.

Conforme apresenta o fluxograma da Figura 1, o sistema experimental compreende dois leitos de fluxo vertical cultivados com as macrófitas aquáticas dispostos paralelamente para que se pudesse proceder a interrupção de um deles para reaeração, enquanto o outro mantinha-se em atividade.

Os dois tanques foram construídos com fibra de vidro nas dimensões 2,50 m x 1,10 m x 1,20 m, com área superficial 2,75 m².

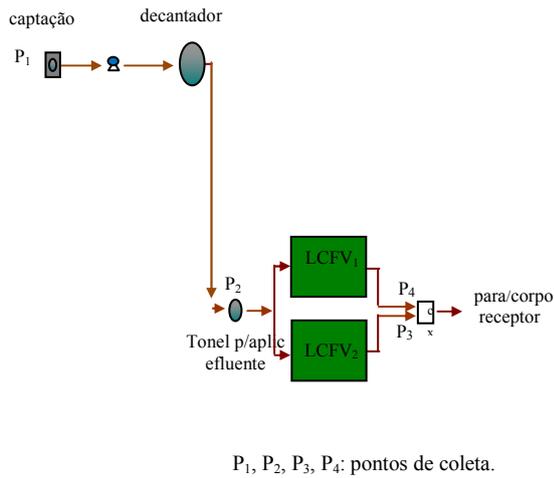


Figura 1. Esquema do sistema experimental

Os módulos filtrantes (meio suporte) dos leitos foram constituídos em três camadas: topo - 0,07 m de brita 01, intermediária - 0,60 m de areia média, fundo - 0,13 m de brita 01. Na Figura 2 apresenta-se um corte longitudinal ressaltando a ETE em funcionamento na área de estudo, os alagados construídos e as camadas do meio filtrante (meio suporte). Na Figura 3 mostra-se a disposição dos leitos e o desenvolvimento das macrófitas.

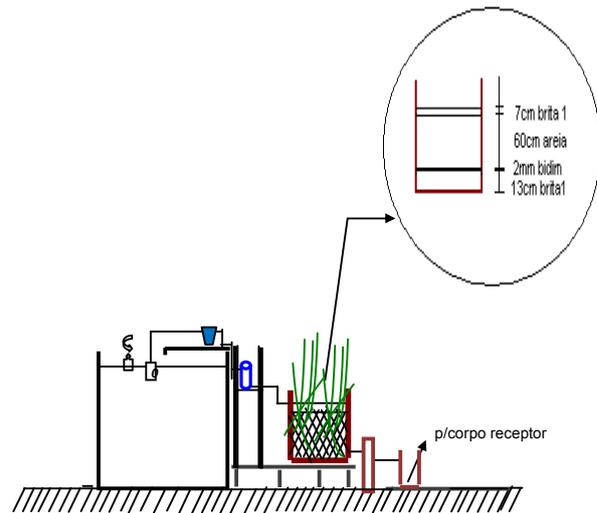


Figura 2. Corte Longitudinal indicando a unidade final da ETE e o sistema experimental.



Figura 3. Sistema Experimental – disposição dos LCFVs e macrófitas em franco desenvolvimento.

Utilizou-se *Typha* sp. (taboa) nos dois leitos, com uma densidade de quatro mudas por metro quadrado seguindo orientação de Valentim (1999) e Sezerino (2006). A alimentação aos leitos era efetuada manualmente através de aplicações intermitentes.

Nos leitos verticais, o efluente quando disposto sobre a superfície do módulo intermitentemente, o inundava percolando ao longo do perfil vertical, sendo coletado no fundo por meio de um sistema de drenagem. A tubulação de distribuição do efluente era perfurada e mantida suspensa, de forma a permitir a dispersão uniforme do esgoto ao longo do tanque. A tubulação de coleta, também perfurada, foi assentada no meio da camada de fundo, constituída de brita 01 para coleta e encaminhamento ao corpo receptor. As duas unidades foram idealizadas para serem dispostas em paralelo e receberem aplicações intermitentes porque esse tipo de aplicação promove um grande arraste de oxigênio para o material filtrante. Quando nova aplicação se realiza, o oxigênio anteriormente introduzido na massa sólida se mantém dentro da mesma e, somado com a nova quantidade de oxigênio arrastada por essa nova aplicação, a concentração de oxigênio dentro do material torna-se suficiente para a degradação da matéria orgânica

e oxidação da amônia (COOPER *et al.*, 1996).

As aplicações nos leitos ocorreram em batelada e o intervalo de aplicação entre os leitos era somente a somatória do tempo de enchimento do tonel com o da aplicação individual em cada leito. A ordem das aplicações afluentes em cada leito era intercalada a cada aplicação, buscando-se dessa forma, dar aos dois leitos o máximo possível de regularidade. As aplicações ocorreram da seguinte forma: 1) aplicavam-se 150 L em cada leito três vezes ao dia, totalizando um volume de 450 L em cada leito, correspondendo a uma vazão de 450 L d⁻¹ (taxa de aplicação - 0,163 m³ m⁻² d⁻¹); 2) a somatória das vazões de saída nos 2 leitos foi de 870 L d⁻¹. Os intervalos de tempo de repouso entre as aplicações intermitentes, bem como as especificações dos leitos, estão apresentados no Quadro 1.

As coletas para análises laboratoriais ocorreram na parte da manhã, entre sete e oito horas com frequência semanal ou quinzenal. As amostras foram coletadas nos seguintes pontos: P₁ - Efluente da ETE em funcionamento, P₂ - afluente aos alagados construídos de fluxo vertical, P₃, P₄ - efluentes dos alagados construídos.

As metodologias de análise seguiram as orientações do Standard Methods for the

Quadro 1. Especificações dos alagados construídos.

Item	Leitos de fluxo vertical
Área superficial (m ²)	2,75 (2,50 x 1,10 m)
Profundidade útil (m)	0,80
Especificação da areia	Média – módulo de finura 2,89 Uniformidade – 2,87
Especificação da brita	nº 1 (12,5 a 22 mm)
Especificação da manta de proteção dos tubos (furos)	Geotextil 2 mm (espessura)
Vazão (L.d ⁻¹)	Entrada (somatória dos dois leitos) – 900 L.d ⁻¹ Saída (somatória dos leitos) – 870 L.d ⁻¹
Tempo de repouso entre as aplicações (h)	Diurno – 5 h (entre três aplicações de 150 L em cada leito) Pernoite – 14 h

Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 1998).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Observa-se na Figura 4 que houve grandes variações afluentes em termos de turbidez, e que foram bastante atenuadas nos leitos, resultando num efluente final de excelente clarificação. Como a turbidez também está relacionada com os sólidos suspensos, é provável que essa atenuação esteja associada à capacidade de filtração da areia e do extenso sistema radicular da *Typha sp.*, de modo que a turbidez do efluente final tenha se mantido estável ao longo das semanas. Pode-se verificar que a estabilidade de funcionamento do sistema com respeito à redução de turbidez foi altamente positiva, pois as variações de concentração afluente que ocorreram foram assimiladas.

Observa-se uma forte variação na turbidez entre a sexta e décima semanas. Nesse período houve a parada do aerador do tanque de aeração da ETE da área de pesquisa, quando ocorria uma sequência de eventos, dentre eles uma conferência com a população variando entre 2.000 a 2.300 pessoas por um período de nove dias ininterruptos. Isso prejudicou a qualidade do efluente da ETE em funcionamento, bem como também do sistema

experimental. Após o reinício da aeração, o sistema se recuperou após 3,5 semanas. Nas últimas três semanas observa-se outra tendência de pico em consequência de um aumento na população de uso da área de 500 para 5.500 pessoas.

O sistema, em todas as unidades, apresentou-se eficiente em termos de redução de turbidez, com médias percentuais entre a entrada e saída dos leitos de 92%, apresentando concentrações afluentes de $33,3 \pm 28,1$ NTU e efluentes de $2,7 \pm 1,8$ NTU. Lemos Filho et al. (2011) avaliaram um sistema de aeração, decantação e filtração para produzir água para utilização em sistema de irrigação a partir de água bruta proveniente de um córrego onde a média de turbidez afluente era de 41,7 NTU e, após o tratamento, obtiveram uma turbidez efluente de 12,7 NTU considerada de risco aceitável ao entupimento dos aspersores. Assim, pode-se afirmar que a qualidade do efluente final dos leitos estudados neste trabalho, em termos de turbidez é aceitável, comparativamente aos resultados demonstrados por esses pesquisadores.

Ribeiro et al. (2005) avaliaram um experimento composto de 2 (dois) filtros com diferentes meios filtrantes; disco (130 microns) e manta sintética não-tecida na filtração de água para ser utilizada em sistemas de aplicação por gotejamento. As avaliações ocorreram nas quatro estações do

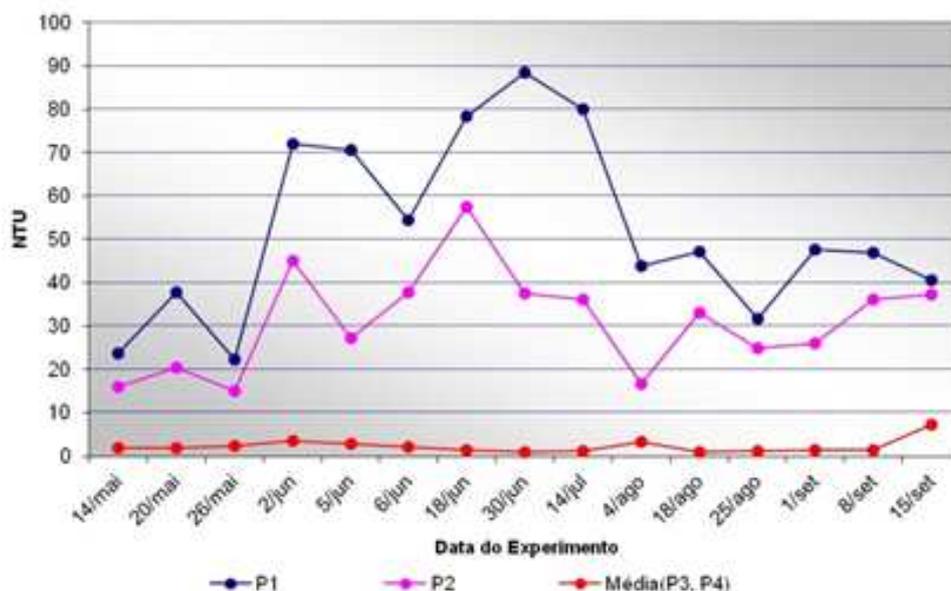


Figura 4. Comportamento evolutivo da turbidez no sistema experimental ao longo de 7 meses.

ano, resultando na variação média, em termos de turbidez, de 7,45 – 14,5 NTU, a mais alta, e 1,82 – 3,88 NTU, a mais baixa, e risco de entupimento dos gotejadores sem classificação. O efluente dos alagados construídos deste trabalho esteve quase que permanentemente na faixa mais baixa, sendo, portanto, em termos de turbidez, sem riscos para o entupimento dos gotejadores.

Os valores médios demonstrados pelos leitos, bem como a maioria dos ensaios atenderam a qualidade mínima exigida pela USEPA (1992) quanto a valores de turbidez para o reúso agrícola de culturas alimentícias, se mantendo inferiores a 2 NTU.

Conforme se mostra na Figura 5, houve redução acentuada de SST no efluente dos leitos em todas as semanas, sendo que, até a sétima semana houve certa alternância na saída dos leitos, entretanto, a partir da 8ª semana o sistema já apresentava um perfil de estabilidade.

Apesar das grandes variações na concentração de SST afluente aos leitos, devido à dinâmica da flutuação populacional na área, e às condições de inadequação operacional ocasionais da ETE, o efluente dos leitos apresentou pequena variação ao longo do período de pesquisa, o que ressaltou a potencialidade desse tipo de sistema no tratamento

de efluentes, reforçando seu potencial na absorção de carga de choque. Em termos percentuais, a eficiência média de remoção nos leitos foi de 86,63% (concentrações afluente e efluente, 37,4 mg L⁻¹ e 5 mg L⁻¹, respectivamente).

Comparativamente a outros pesquisadores, o sistema de alagados construídos de fluxo vertical demonstrou grande potencial de tratamento. Valentim (2003) avaliou seis leitos cultivados de fluxo subsuperficial com meio filtrante constituído de brita 02 (diâmetro de 55 a 90 mm), operando como pós-tratamento de um tanque séptico modificado para diferentes TDH (1 a 6 dias) e verificou percentuais de remoção de 40 a 81%, sendo considerada pelo pesquisador como um sistema com boa capacidade de remoção de poluentes. Batista et al. (2013) avaliaram um experimento composto de 27 filtros orgânicos preenchidos com camadas de material filtrante, orgânico (bagaço de cana-de-açúcar, serragem de madeira, lixo compostado) e inorgânico (brita 01, brita 0), submetido às taxas de aplicação de esgoto doméstico de 0,5, 1,0 e 1,5 m³ m⁻² d⁻¹. As concentrações afluentes de SS oscilaram de 144 a 196 mg L⁻¹ e efluente de 23 a 68 mg L⁻¹. Esses resultados indicaram que os filtros orgânicos proporcionaram remoções de sólidos suspensos de

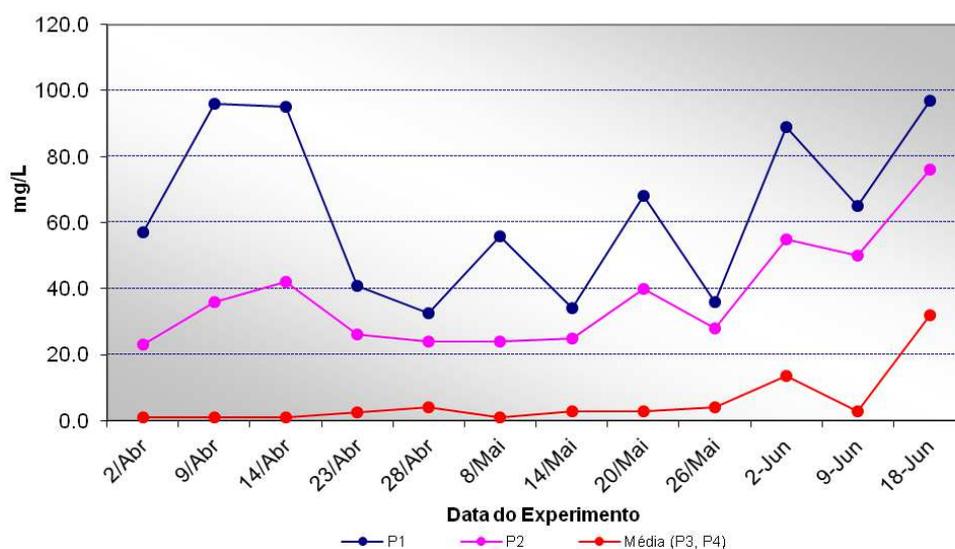


Figura 5. Comportamento evolutivo do SST no sistema experimental.

82%.

A superioridade dessa remoção, comparativamente aos trabalhos mencionados, está associada, essencialmente, ao meio filtrante dos leitos verticais constituído de 0,60 m de areia, onde foi observada a grande capacidade desses leitos em atenuar SST. Deve ser ressaltado que em caso de se ter afluente com baixa qualidade por um longo período há a possibilidade de se ter colmatação do meio filtrante.

Lemos et al. (2011), avaliaram um sistema para tratamento de água para uso em irrigação, já referenciado anteriormente, tendo na entrada do sistema um efluente com uma concentração média de sólidos suspensos de 67,5 mg L⁻¹ e na saída 26,5 mg L⁻¹, considerado como de baixo risco ao entupimento dos aspersores. Nesse contexto, o efluente final dos leitos, com uma concentração média de SST de 5,0 mg L⁻¹, pode ser considerado de excelente qualidade para utilização em sistemas de irrigação sem riscos para o entupimento dos aspersores.

É importante ressaltar que alagados construídos se enquadram na categoria de sistemas naturais,

que são submetidos às condicionantes climáticas, às dinâmicas biológicas e às variações de cargas orgânicas afluentes e, no caso específico desse estudo, ainda submetidos à flutuação populacional corrente na área de pesquisa.

Segundo Philippi e Sezerino (2004), vários trabalhos têm reportado a nitrificação nos sistemas de fluxo vertical como polimento de efluentes domésticos. O sistema avaliado no presente estudo alcançou índices de remoção de N-amoniaco de 57,8%, (concentrações: afluente – 2,5 mg L⁻¹, efluente – 9,5 mg L⁻¹), considerados dentro da média obtida por Kantawanichkul et al. (2000) que utilizaram um alagado construído de escoamento vertical como polimento de efluentes da suinocultura, e verificaram num estudo em escala piloto, porcentagens de transformação de amônia para nitrato de 45% e 64% para cargas aplicadas de amônia de 6,22 g m⁻² d⁻¹ e 9,52 g m⁻² d⁻¹ respectivamente. Feld e Kunst (1997) obtiveram 90% de remoção de amônia e atribuíram esta remoção à oxidação da amônia a nitrato.

Nos gráficos das Figuras 06, 07 e 08 são destacados os valores referentes à DQO,

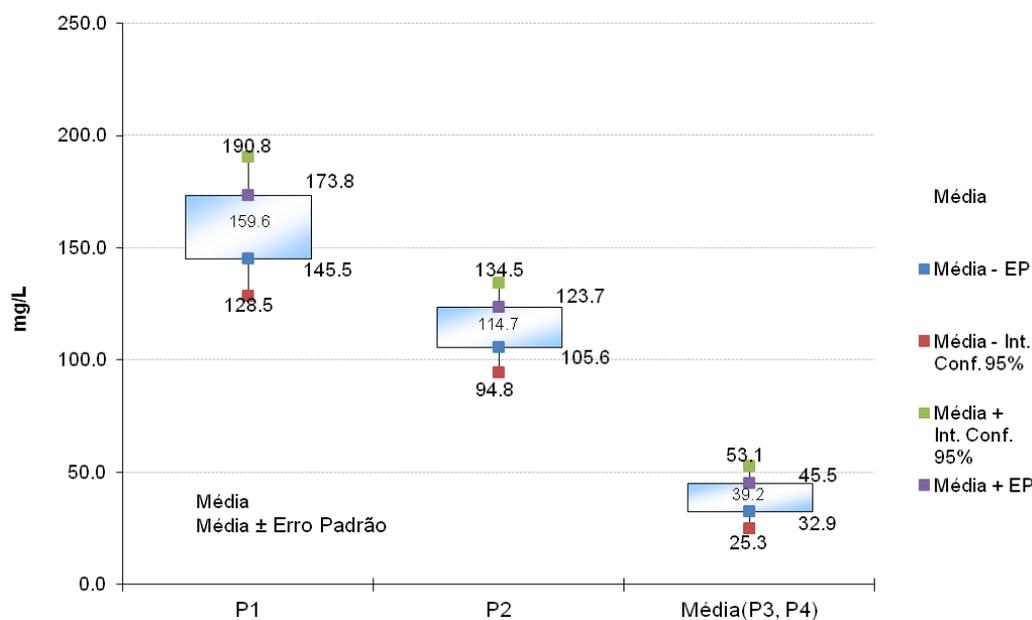


Figura 6. Valores referentes à DQO (média, desvio padrão, 3 vezes o desvio padrão) ao longo de 7 meses.

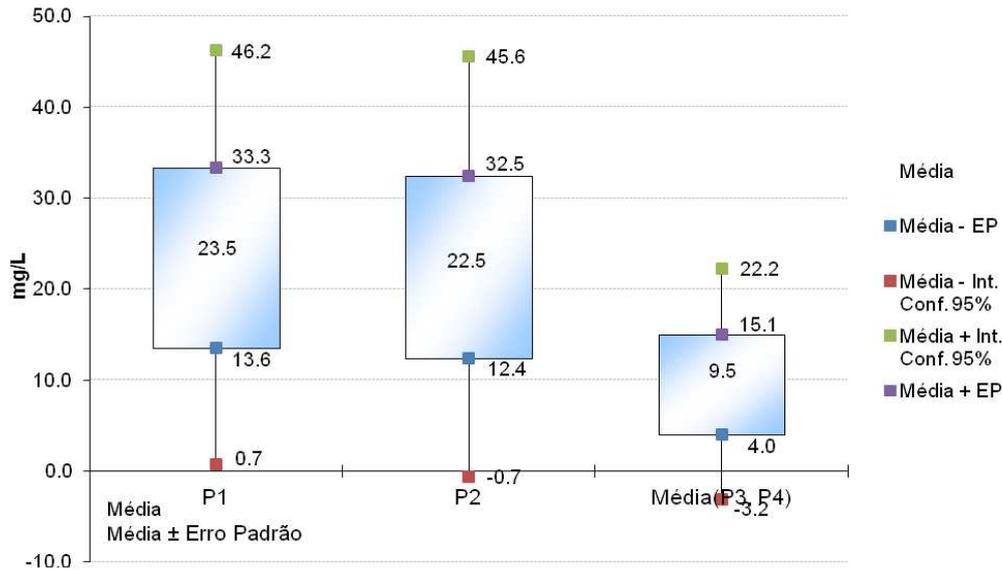


Figura 7. Valores referentes ao N-Amônia (média, desvio padrão, 3 vezes o desvio padrão) ao longo de 7 meses.

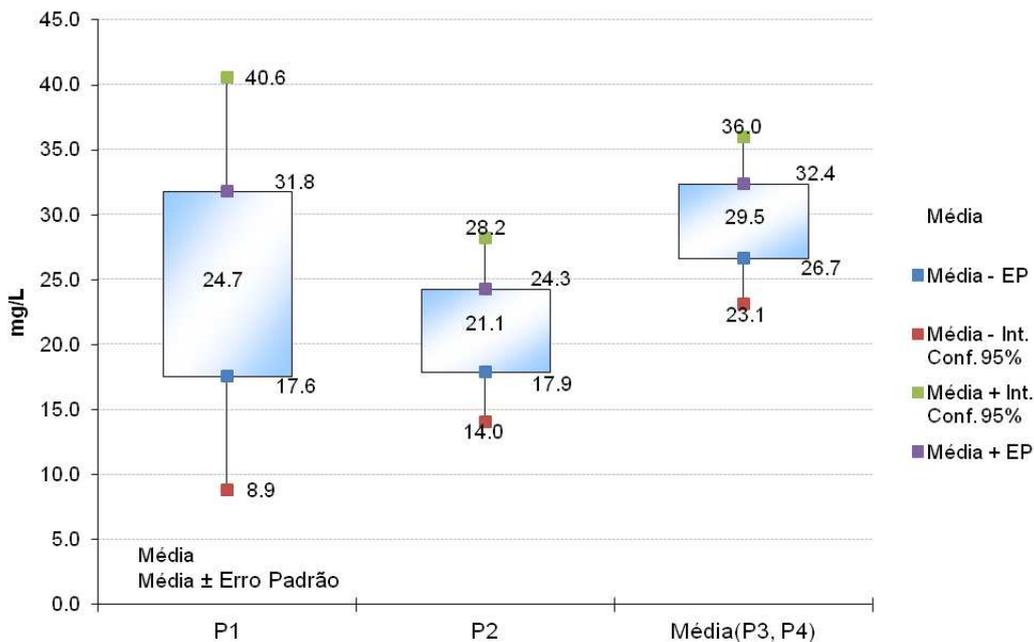


Figura 8. Valores referentes ao N-nitrato (média, desvio padrão, 3 vezes o desvio padrão) ao longo de 7 meses.

N-amônia e N-nitrato no sistema de alagados construídos.

Os filtros plantados com macrófitas de fluxo vertical avaliados por Sezerino (2006) alcançaram índices de remoção de 73% de amônia quando submetidos a uma taxa de 230,74 mm d⁻¹ (250 L

m⁻² d⁻¹), sendo traduzidos pelo pesquisador como uma efetiva ocorrência de nitrificação. Os filtros de Sezerino (2006) tinham meio filtrante composto de 0,05 m de brita 01, 0,60 m de areia e 0,10 m de brita 01 com área superficial de 2,57 m² e se assemelhavam ao sistema avaliado no presente

trabalho, cujo meio filtrante foi composto de 0,07 m de brita 01, 0,60 m de areia, 0,13 m de brita 01 e área superficial de 2,75 m², sendo que Sezerino (2006) utilizou efluente de suinocultura com tratamento secundário em lagoa anaeróbia e no presente estudo utilizou-se efluente doméstico vindo de um sistema de lodo ativado. Observa-se que a nitrificação foi prejudicada pelas baixas de pH, que se mantiveram variando entre 6,25 e 3,96, o que é justificado por Von Sperling (1997), ao ressaltar que a taxa de nitrificação apresentase no seu ótimo e aproximadamente constante na faixa de pH de 7,2 a 8,0. Apesar dos valores baixos de pH, a nitrificação nos leitos de fluxo vertical foi considerável, uma média de 40%, principalmente em decorrência da oxigenação do maciço filtrante devido às aplicações intermitentes. Comparativamente a Kantawanichkul et al. (2012), os resultados obtidos nesse trabalho, também estão dentro da média desses pesquisadores, os quais estudaram quatro wetlands iguais, com variações no tempo de alimentação e de repouso e obtiveram uma nitrificação mínima de 24,3 mg L⁻¹, na wetland de fluxo contínuo, e 61,5 mg L⁻¹ na wetland onde as aplicações ocorreram com maior rapidez. Tal fenômeno, segundo os pesquisadores, também se deu em consequência da transferência de oxigênio a cada nova aplicação.

A possibilidade de ocorrência da nitrificação nos alagados construídos, como relatado na literatura, demonstrou o potencial desses sistemas na produção de efluente para o reúso agrícola, pois o íon nitrato é uma das principais fontes de absorção de nitrogênio pelas plantas. A absorção e assimilação de nitrogênio são processos multirregulados e integrados ao metabolismo da planta que, segundo Bredemeier e Mundstocck (2000), é absorvido nas raízes sob a forma de NO₃⁻ ou NH₄⁺, sendo então incorporado em aminoácidos na própria raiz ou na parte aérea.

Além dos benefícios agrônômicos e econômicos pelo aporte de nutrientes, o reúso de águas residuárias destaca-se, também, pela preservação e conservação dos mananciais; por ser evitado o lançamento de mais uma carga poluidora, bem

como a retirada de considerável parcela de água dos mananciais, uma vez que o setor agrícola consome em torno de 70% da água captada. Nesse contexto, os LCFVs estudados podem ser indicados como tecnologias marcantes no sentido de minorar o panorama da poluição e da escassez hídrica no Brasil. Entretanto, é importante ressaltar que no caso de lançamento direto em corpos d'água, seria interessante a adequação do sistema para que a desnitrificação ocorresse de maneira eficiente, diminuindo assim a concentração final de nitrogênio.

Um fenômeno muito importante demonstrado no sistema de alagados construídos foi o desempenho de tratamento robusto e a capacidade tampão do sistema, perceptível, principalmente, no decorrer de eventos com população de até 3.000 pessoas com ocorrência de 2 a 3 dias ininterruptos e cargas hidráulicas altas. Nessas condições, todos os parâmetros sofreram pouquíssimas alterações, sendo as grandes alterações ocorridas nos eventos longos, com duração de 9 dias ininterruptos e população contribuinte ente 7.000 a 8.000 pessoas. Ressalta-se também, que a ETE em funcionamento na área de eventos estava passando por interrupções em seu sistema de aeração, funcionando assim, em condições precárias. Langergraber et al. (2014) também observaram fenômeno semelhante quando avaliaram um sistema em escala real composto de dois alagados de fluxo vertical operando em série e alimentado com esgoto pré-tratado de um restaurante, onde a população contribuinte também era flutuante. Os pesquisadores obtiveram remoções de nitrogênio estáveis, de mais de 70%, o que, para Canga et al. (2011) e Vymazal (2013), é um resultado elevado, comparado a outros sistemas híbridos tratando esgoto doméstico.

Para a interpretação dos resultados aplicou-se a análise de variância – ANOVA, com intervalos de confiança de 95% (p < 0,05), utilizando-se o software Statistic 2005 (StatSoft, Inc., Statistica Release 7.1. Tulsa, Oklahoma State Soft., 2005) para todos os parâmetros avaliados, a fim de se verificar diferenças significativas entre o tratamento das unidades do Sistema Experimental.

O Quadro 2 apresenta o desempenho de tratamento dos alagados construídos de fluxo vertical.

Quadro 2. Eficiência de Tratamento (média).

Parâmetros	
SST	Afl.- 37,4 mg L ⁻¹ Efl.- 5 mg L ⁻¹ 86,63%
Turbidez	Afl.- 31,1 NTU Efl.- 2,2 NTU 93%
DQO	Afl.- 114,7 mg L ⁻¹ Efl.- 39,2 mg L ⁻¹ 65,8%
N-NH₃	Afl.- 22,5 mg L ⁻¹ Efl.- 9,5 mg L ⁻¹ 57,8%
Nitrato	Afl.- 21,1 mg L ⁻¹ Efl.- 29,5 mg L ⁻¹ 40% (acréscimo)

SST – Sólidos Suspensos Totais

DQO – Demanda Química de Oxigênio

N-NH₃ – Nitrogenio amoniacal**CONCLUSÕES**

- LCFVs preenchidos com areia possuem grande potencial na remoção de SST e Turbidez. Os respectivos valores médios, afluentes e efluentes, de 37,4 e 5,0 mg L⁻¹ para SST; 31,1 e 2,2 NTU para turbidez, apontam esses leitos como grandes atenuadores de cargas associadas a esses parâmetros, cujas remoções médias correspondentes foram de 86,63% de SST, 93% de turbidez;
- O sistema demonstrou capacidade de produzir um efluente clarificado, com baixas concentrações de SST e turbidez, sem riscos de entupimento de aspersores, caso sejam aplicados em áreas agrícolas;
- A remoção de nitrogênio amoniacal e a concentração de nitrato no efluente dos leitos (57,8%; 40% respectivamente) reforçam o potencial de transferência de O₂ no maciço filtrante e adaptação das bactérias nitrificantes nos alagados, demonstrando que são eficientes para promover a biodegradação aeróbia e a nitrificação;

- O sistema de alagados construídos apresentou desempenho de tratamento muito robusto e boa capacidade tampão, principalmente durante eventos com população de até 3.000 pessoas ao longo de 2 a 3 dias ininterruptos e cargas orgânicas altas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination Water and Wastewater. 20th ed., 1998. 1496p. ASANO – Water from (Waste) water – the dependable water resource. Water Science & Technology, v.45, n.8, p.23-33, 2002.
- BATISTA, R.O.; SOARES, A.A.; SANTOS, D.B.; BEZERRA, J.M; OLIVEIRA, A.F.M. Remoção de sólidos suspensos e totais em biofiltros operando com esgoto doméstico primário para reuso na agricultura. Revista Ceres, Viçosa/MG, v.60, n.1, p.7-15, 2013.
- BREDEMEIER, C.; MUNDSTOCCK, C.M. Regulação da absorção e assimilação do nitrogênio nas plantas. Ciência Rural, Santa Maria/RS, v.30,

n.2, p.365-372, 2000.

CANGA, E.; DAL SANTO, S.; PRESSL, A.; BORIN, M.; LANGERGRABER, G. Comparison of nitrogen elimination rates of different constructed wetland designs. *Water Science & Technology*, v.64, n.5, p.1122-1129, 2011

COOPER, P.F.; JOB, G.D.; GREEN, M.B. e SHUTES, R.B.E. Reed Beds and Constructed Wetlands for Wastewater Treatment. Swindon: WRc plc. 1996. 184p.

FELD, K. VON e KUNST, S. N- and COD-removal in vertical-flow systems. *Water Science & Technology*, v.35, p.79-85, 1997.

KANTAWANICHKUL, S.; NEAMKAM, P. e SHUTES, R.B.E. Nitrogen removal in combined system: vertical vegetated bed over horizontal flow sand bed. Proceedings of 7th International Conference on Wetland Systems for Water Pollution Control, Lake Buena Vista, FL, University of Florida/IWA, p.293-299, 2000.

KANTAWANICHKUL, S.; BOONTAKHUM, W. Effect of dosing regime on nitrification in subsurface vertical flow treatment wetland system. *Water Science & Technology*, v.66, n.6, p.1220-1224, 2012.

LANGERGRABER, G.; PRESSL, A.; HARBEL, R. Experiences from the full-scale implementation of a new two-stage vertical flow constructed wetland design. *Water Science & Technology*, v.69, n.2, p.335-342, 2014.

LEMOS FILHO, M.A.F.; ZANINI, J.R.; SILVA, E.R.S.; CAZETTA, J.O.; FERRAUDO, A.S. Sistema com aeração, decantação e filtração para a melhoria da qualidade de água em irrigação localizada. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal/SP, v.31, n.3, p.506-519, 2011.

MANCUSO, P.C.S.; SANTOS, H.F. (2003) – Reuso de Água. Barueri 1ª ed. Núcleo Informações em Saúde Ambiental da USP – NISAN – USP, São Paulo/SP, 2003. 558p.

PHILIPPI, L.S.; SEZERINO, P.H. Aplicação de sistemas tipo wetlands no tratamento de águas residuárias: utilização de filtros plantados com macrófitas. Ed. do Autor. Florianópolis/SC, 2004. 144p.

PITS, D.J.; HAMAN, D.Z.; SMAJSTLA, A.G. Causes and Prevention of emitter plugging in trickle irrigation systems. Bulletin nº 258, Gainesville, FL, University of Florida Cooperative Extension Service. 1990. 10p.

RIBEIRO, T.A.P.; AIROLDI, R.P.S.; PATERNIANI, J.E.S.; SILVA, M.J.M. Variação temporal da qualidade da água no desempenho de filtros utilizados na irrigação por gotejamento. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, PB, v.9, n.4, p.450-456. 2005.

SEZERINO, P.H. Potencialidade dos Filtros Plantados com macrófitas (constructed wetlands) no pós-tratamento de lagoas de estabilização sob condições de clima subtropical. Tese de Doutorado, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis/SC, 2006. 171p.

USEPA - United States Environmental Protection Agency – Guideline for Water Reuse, Manual, Technology Transfer - EPA/625/R-92/004, sept.1992.

VALENTIM, M.A.A. Desempenho de leitos cultivados (constructed wetlands) para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação. Tese de Doutorado, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas/SP, 2003. 210p.

VALENTIM, M.A.A. Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado. Dissertação de Mestrado, Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas/SP, 1999. 119p.

VIEIRA, G.H.S.; MANTOVANI, E.C.; SILVA, J.G.F.; RAMOS, M.M.; SILVA, C.M. Recuperação de gotejadores obstruídos devido à utilização de águas ferruginosas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande/PB, v.8,

n.1, p.1-6, 2004.

VYMAZAL, J. The use of hybrid constructed wetlands for wastewater treatment with special attention to nitrogen removal: A review of a recent development. *Water Research*, v.47, n.14, p.4795-4811, 2013.

VON SPERLING, M. *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Introdução à*

qualidade das águas e ao tratamento de esgoto. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 2011. 243p.

VON SPERLING, M. *Lodos Ativados - Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*, v.4, 1ª ed. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte/MG, 1997. 211p.