



You are free: to copy, distribute and transmit the work; to adapt the work.
You must attribute the work in the manner specified by the author or licensor

ESTUDO DE TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO POR WETLANDS

Ariston Silva Melo Júnior¹; Suely Gama Filho²; Patricia Cacho Nascimento³

RESUMO

A atual escassez dos recursos hídricos no mundo tem chamado a atenção dos pesquisadores, tornando fundamental o desenvolvimento de tecnologias para o tratamento dos esgotos gerados nas comunidades humanas. O sistema de alagados construídos (*wetlands*) é uma dessas tecnologias, tendo como uma de suas mais importantes características a capacidade de remover os nutrientes presentes na composição dos esgotos domésticos. Esta remoção ocorre graças à utilização de plantas aquáticas instaladas em um leito que busca simular de forma artificial os alagados naturais presentes nas margens de rios e lagos. O presente trabalho monitorou durante duas semanas distintas, em épocas climáticas diferentes (primavera e inverno) a remoção de nutrientes, fósforo e nitrato, presentes no efluente de um sistema piloto de *wetlands* que tratava uma parcela do esgoto gerado na Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP – SP). Este alagado era constituído de um leito de área superficial retangular (4 m x 1 m) com cultivo de macrófita do gênero *Typha sp.* As amostras de afluente e efluente do alagado foram coletadas a cada uma hora dentro do intervalo de trabalho, entre 8 h e 20 h. O sistema apresentou remoção média para o fósforo durante o inverno (de 44,1 %) e para o nitrato de 36,8 %. Na primavera a redução média de fósforo e nitrato foi de 38,9 % e 30,7 % respectivamente.

Palavras-chave: Alagados construídos; esgotos domésticos; pós-tratamento de efluentes; baixo custo.

WETLANDS DOMESTIC SEWAGE TREATMENT STUDY

ABSTRACT

The current scarcity of water resources in the world has attracted the attention of the researchers, making fundamental the development of technologies for the treatment of the sewage generated in the human communities. The wetlands system is one of these technologies, having as one of its most important characteristics the ability to remove the nutrients present in the composition of domestic sewage. This removal occurs thanks to the use of aquatic plants installed in a bed that seeks to artificially simulate the natural floodwaters present on the banks of rivers and lakes. The present work monitored the removal of nutrients, phosphorus and nitrate present in the effluent of a pilot wetlands system that treated a portion of the sewage generated at the Faculty of Agricultural Engineering of the University of Campinas (UNICAMP - SP). This flood was composed of a bed of rectangular surface area (4 m x 1 m) with macrophy of the genus *Typha sp.* The samples of affluent and effluent from the floodwaters were collected every one hour within the working range, between 8 h and 20 h. The system had a mean removal of phosphorus during winter (44.1 %) and nitrate removal of 36.8 %. In the spring the average reduction of phosphorus and nitrate was 38.9 % and 30.7 %, respectively.

Key words: Wetlands; domestic sewage; effluent treatment; low cost.

¹ Engenheiro Civil/Agrícola, Mestre em Engenharia de Recursos Hídricos, Doutor em Engenharia Hidráulica e Pós Doutor em Engenharia Ambiental pela UNICAMP. Pós Doutor em Ciências de Meio Ambiente e Engenharia de Materiais pelo IPEN/USP. E-mail: juniorariston@gmail.com

² Engenheira Química pela FEI, licenciada em Química pela Oswaldo Cruz e em Pedagogia pelo Magister. Coordenadora dos Cursos de Engenharia e Tecnologias das Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU). E-mail: suely.gama@fmu.br

³ Engenheira Civil pela FAAP. Mestranda em Ensino de Ciências na UNICSUL. Coordenadora dos Cursos de Engenharia Civil e Construção de Edifícios das Faculdades Metropolitanas Unidas (FMU). E-mail: patricia.c.nascimento@fmu.br

1. INTRODUÇÃO

Os alagados podem ser naturais ou construídos (*wetlands*), caracterizando-se por serem áreas inundadas ou saturadas por águas superficiais ou subterrâneas (lençol freático) numa frequência e duração suficientes para a manutenção da grande umidade do sistema (U.S.EPA, 1988). Estes alagados podem ser comparados aos filtros biológicos, onde os microorganismos ficam alocados na superfície do meio suporte.

O meio suporte é responsável pela fixação do sistema radicular da macrofita, sendo composto geralmente por brita, palha de arroz ou outros. Neste meio suporte ocorrem as principais reações bioquímicas responsáveis pelo tratamento das águas residuárias (WOOD, 1995).

No meio natural, estima-se que mais de 5.000 espécies de plantas são adaptadas à sobrevivência em alagados naturais (HAMMER, 1989). Sabe-se que quanto ao tamanho, existem, macrofitas que não ultrapassam a dimensão de uma cabeça e alfinete, enquanto que outras como as taboas (*Typha sp*), chegam a atingir quatro metros de altura (ALPHA, 1992).

Esses alagados naturais são basicamente áreas inundadas que com auxílio do sistema radicular das macrofitas locais removem parte dos compostos

nitrogenados e fósforo presentes na água. No Brasil essas áreas são conhecidas popularmente por: pântano; caniçal; palude; juncal; brejo ou lodaçal.

Wetzel (1993) classifica as macrofitas aquáticas em três tipos fundamentais: flutuantes (enraizadas ou livres); submersas e emergentes. Nos alagados construídos empregados no tratamento de esgotos que possuem um sistema baseado em macrofitas emergentes, pode-se dividir três grupos básicos com diferentes sistemas de: fluxo superficial; fluxo subsuperficial horizontal e fluxo subsuperficial vertical.

O sistema de fluxo superficial é mais frequente nos Estados Unidos consiste em bacias ou canais impermeabilizados que evitam infiltrações. É ainda dotado de algum solo ou outro tipo de substrato que suporte a vegetação emergente e de um corpo de água normalmente pouco profundo não ultrapassando os 30 cm.

O fluxo subsuperficial horizontal é mais frequente, foi desenvolvido na Alemanha e colocado em funcionamento no ano de 1974, na cidade de Othfresen. É conhecido por Método Rizosférico (*Root-Zone Method*). A água residuária é distribuída na entrada do sistema e percola mais ou menos prolongadamente ao longo da zona rizosférica onde coexistem áreas aeróbias, anóxicas e anaeróbias. Durante a

passagem por estas diferentes regiões, ocorrem os processos físico-químicos e biológicos que realizam o tratamento das águas (KICKUTH, 1977).

No sistema de fluxo subsuperficial vertical a distribuição do efluente é feita na superfície dos alagados e a deslocação do líquido é em percolação. A Figura 1 resume os diferentes sistemas de fluxo empregados em alagados construídos.

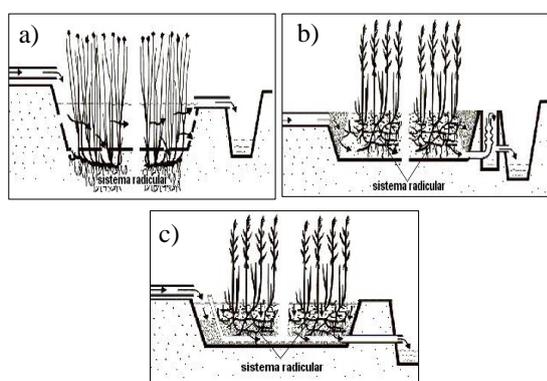


Figura 1. Representação esquemática de sistema de tratamento de águas residuárias baseado em macrófitas aquáticas emergentes: a) fluxo superficial com a espécie *Scirpus lacustris*; b) fluxo subsuperficial horizontal com a espécie *Phragmites australis*; c) fluxo subsuperficial vertical (percolação) com a espécie *Phragmites australis*.
Fonte: Adaptada de Brix (1993).

Os mecanismos de assimilação dos poluentes nos alagados dependem principalmente do suprimento de oxigênio propiciado aos microorganismos e das condições químicas do meio suporte (HABERL *et al.*, 1995).

Para remoção do fósforo, deve-se ter um meio suporte que crie condições para que ocorram os processos de adsorção.

Assim, a adoção de materiais ricos em ferro, alumínio, carbonato de cálcio e argilas especialmente preparadas podem ser empregados para remoção deste composto (COOPER e FINDLATER, 1990; KADLEC e KNIGHT, 1996).

Quanto ao nitrogênio, os principais processos de transformação química ocorridos nos sistemas alagados são amonificação, nitrificação, desnitrificação, fixação biológica e assimilação (MANSOR, 1998).

A amonificação é a transformação biológica de nitrogênio orgânico a amônia, com liberação de energia. As bactérias heterotróficas responsáveis por esta decomposição são mais eficientes em condições aeróbias, porém também agem em ambiente anaeróbio; são encontradas associadas especialmente às raízes das macrófitas. Este complexo processo de mineralização ocorre mais rápido que a nitrificação; sua temperatura ótima está entre 40° e 60 °C e seu pH entre 6,5 e 8,5.

A nitrificação é o processo de oxidação microbiológica da amônia, sendo o principal mecanismo de transformação da amônia em alagados. Ocorre mesmo em ambientes com baixas concentrações de oxigênio (0,3 mgO₂L⁻¹).

A desnitrificação é o processo de redução do nitrato ou nitrito, com produção de gás nitrogênio, óxido nitroso ou óxido

nítrico. Este é um processo essencial, complementar ao metabolismo heterotrófico que ocorre na ausência de oxigênio dissolvido ou livre (ambiente anóxico), sendo mais comumente realizado por bactérias heterotróficas dos grupos *bacillus*, *enterobacter*, *micrococcus*, *pseudomonas* e *spirillum*.

A fixação biológica é a redução de nitrogênio difundido no meio aquático a amônia, realizada por bactérias autotróficas ou heterotróficas, algas e plantas mais evoluídas, sob condições anaeróbias.

A assimilação consiste de vários processos biológicos de conversão de nitrogênio inorgânico a compostos orgânicos (formadores de células e tecidos nas plantas superiores, algas e microorganismos). Na maioria das vezes a absorção de nitrato pelas plantas de alagados é menos favorecida que a absorção de íons amônio, porém ela pode ser favorecida quando as águas residuárias são ricas em nitrato.

O nitrato é a forma de nitrogênio de maior estado de oxidação presente nos sistemas de alagados. Este composto é um nutriente essencial para muitos organismos autótrofos fotossintéticos, porém em excesso conduz as águas superficiais à eutrofização. Em águas residuárias domésticas, o nitrato ocorre em pequenas

concentrações (TROTTER, THOMSON e COLEMAN, 1994).

Juwarkar *et al.* (1995) utilizaram na Índia alagados em escala piloto compostos de tubos de cimento de 400 mm de diâmetro e 800 mm de altura, com mistura de 30 % de argila calcária e 70 % de areia. O sistema foi o subsuperficial vertical com as macrofitas *Typha latifolia* e *Phragmites carca*. Quatro semanas após o plantio das macrofitas nos alagados, águas residuárias provenientes de tratamento primário foram introduzidas com carga hidráulica de 50 mm³/mm²/dia. A remoção de nitrato para os alagados com a *Typha latifolia* foi de 65 % e de 73 % com a *Phragmites carca*. A remoção de fósforo total foi de 28 % a 41 % e a redução de DBO de 78 % a 91 % respectivamente.

No Brasil Souza e Bernardes (1996) desenvolveram um sistema de alagados para tratar esgotos de uma comunidade de 800 pessoas. O sistema possuía pré-tratamento por gradeamento e reator anaeróbio de fluxo ascendente; três alagados escavados no solo e sem revestimento foram conectados em série com aplicação do efluente em regime de escoamento subsuperficial horizontal. O meio suporte foi brita e a espécie cultivada utilizada *Typha latifolia*. Com vazão média de entrada de 5,3 m³/h a remoção média de nitrato foi de 54,3 % e de fósforo 40,0 %.

Destaca-se que existem cada vez mais estudos científicos realizados no tratamento e reaproveitamento de recursos hídricos. Assim, o objetivo deste trabalho foi avaliar a dinâmica horária da remoção de fósforo total e do nitrato em sistemas de alagados para tratamento de efluentes.

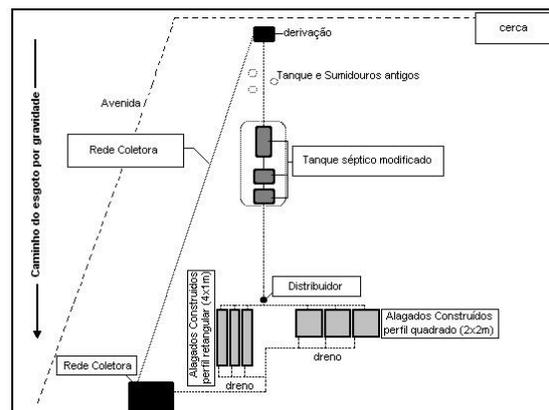


Figura 2. Planta baixa da estação piloto do local.

2. MATERIAL E MÉTODOS

A pesquisa foi realizada na Faculdade de Engenharia Agrícola (FEAGRI) da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP), Campinas - SP. O local encontra-se na latitude S 22° 53' 20" e longitude W 47° 04' 40". O clima é tropical de altitude com inverno seco e verão úmido, de acordo com classificação de Köppen (LUCARELLI, *et al.* 1997).

A FEAGRI possui um sistema piloto de alagados com macrofitas aquáticas emergentes de fluxo subsuperficial horizontal para tratamento do esgoto doméstico da própria instituição. A estrutura que forma os alagados possui 06 células, três com área superficial quadrada (2x2m) e três retangulares (4x1m), com altura em relação ao solo de 0,70 m e volume individual de 2,8 m³. O material suporte utilizado foi brita número 2 (diâmetro efetivo de 55-99 mm). A Figura 2 mostra uma planta baixa da estação.

Antes dos alagados tratou-se o esgoto em um reator anaeróbico compartimentado com entrada do afluente junto ao fundo dos compartimentos. O sistema possuía tanque séptico modificado com três câmaras em série (Figura 3).

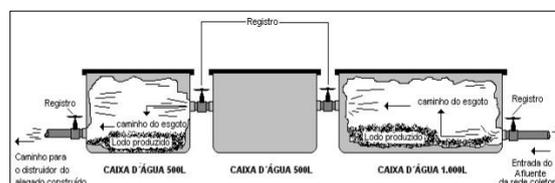


Figura 3. Corte do tanque séptico modificado formado por três câmaras de estabilização do lodo.

O efluente do tanque séptico chega por gravidade até a caixa de distribuição que o leva aos alagados construídos. Estes foram produzidos em alvenaria de cimento com impermeabilização do revestimento interno. Em cada alagado a entrada é realizada com tubo de PVC de 2", com furos de 10 mm de diâmetro espaçados de 10 cm em 10 cm na parte superior e nas laterais do tubo, permitindo entrada de água homogênea. O efluente foi captado na

parte inferior oposta a entrada de cada alagado com tubo de PVC de 2”.

Utilizou-se um único alagado construído retangular com macrofita *Typha sp.*, analisando-se duas semanas de períodos distintos em 2015: julho (inverno, temperatura média de 19,93 °C) e outubro (primavera, temp. média de 25,36 °C).

As macrofitas foram dispostas em nove mudas equidistantes dentro de cada parcela do alagado. Observou-se que as plantas na região central têm menor desenvolvimento foliar, chegando a ter seu crescimento inibido pelas plantas na região perimetral devido ao sombreamento.

As amostras de água residuária coletadas foram analisadas no laboratório de Ciências de Alimentos da Faculdade de Engenharia de Alimentos (FEA) da UNICAMP, onde se determinou as concentrações de fósforo e nitrato. O método de determinação de fósforo foi o AOAC Official Method 973.55 – Phosphorus in water, que permite a identificação de todo fósforo presente independente da forma, medido por digestão de persulfato.

As amostras foram preparadas e medidas no espectrofotômetro e as amostras para análise da concentração de nitrato foram inicialmente digeridas em sulfato de amônio e posteriormente medidas com ANALYSER PH/ION 450M.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Vazão do sistema

Neste trabalho escolheu-se dois dentre os dez dias de medidas, por representarem condições típicas para cada período climático escolhido. No dia 18/07 a vazão de entrada e saída teve maior variação no período total de estudo em função da operação do sistema. Nesta data a vazão mínima e máxima de entrada foram 65 L/h e 150 L/h, respectivamente, enquanto os valores de vazão mínima e máxima de saída foram 50 L/h e 60 L/h, respectivamente (Figura 4).

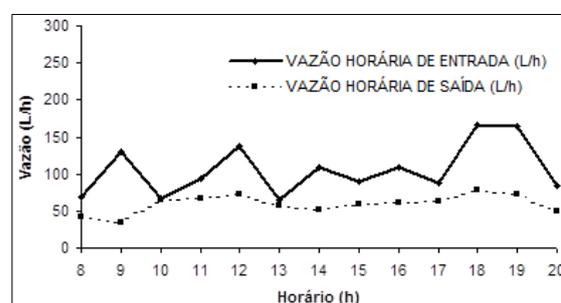


Figura 4. Dinâmica das vazões (L/h) de entrada e saída do leito cultivado no dia 18/07/2015.

O tempo médio de detenção hidráulica (t) para o sistema foi de 4,5 dias, o que produz atenuação importante nas condições das águas de entrada e saída. Perceb-se o efeito do armazenamento das águas no leito, em função de t.

A vazão média de entrada e saída do leito, das 8 h às 20 h, foi de 105 L/h e 59 L/h, respectivamente. A diferença

percentual de vazão média de entrada e saída foi de 43,8 %. O volume de entrada e saída foi 1.370 L e 774 L, respectivamente; esta diferença resulta da perda de evapotranspiração do sistema.

Para o dia 03/10/2015 a vazão de entrada e saída não teve grandes variações no período total de estudo em função da operação do sistema. A vazão mínima de entrada foi de 51,8 L/h e a máxima de 96,5 L/h. A vazão mínima de saída foi de 79,2 L/h e a máxima de 30,3 L/h. A vazão média foi de 130,4 L/h na entrada e de 81,6 L/h na saída, com redução percentual de 37,4% (Figura 5). O volume na entrada foi de 1.694,9 L e de 1.061,7 L na saída.

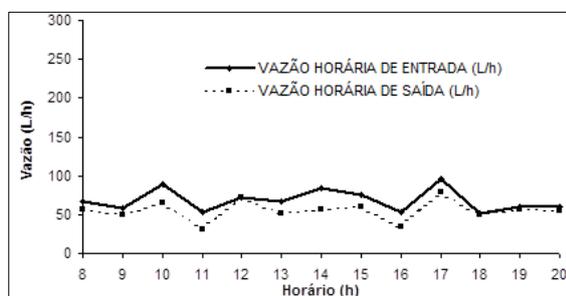


Figura 5. Dinâmica das vazões (L/h) de entrada e saída do leito cultivado no dia 03/10/2015.

3.2 Fósforo

A Figura 6 apresenta a dinâmica da concentração de fósforo na entrada e saída do leito para o dia 18/07. Observou-se que a máxima concentração na entrada ocorreu às 12 h, atingindo o valor de 3,5 mg/L. Na saída o valor máximo foi de 1,5 mg/L. O mínimo de concentração de fósforo na

entrada do leito foi observado no início do monitoramento (8 h), atingindo valor próximo a 1,0 mg/L, enquanto o mínimo para a saída foi de 0,5 mg/L, às 15 h.

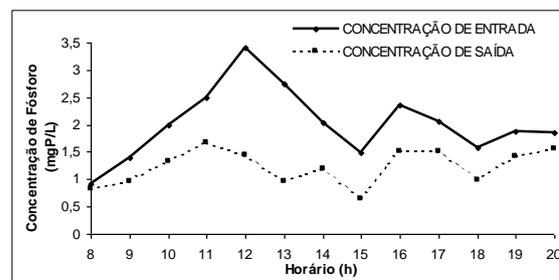


Figura 6. Concentração de fósforo (mgP/L) na entrada e saída do leito no dia 18/07/2015.

Para o dia 03/10 a máxima concentração na entrada (2,2 mg/L) ocorreu às 11 h. Na saída o valor máximo foi de 1,9 mg/L (20 h), tendo ocorrido uma queda brusca nos valores de entrada e saída às 15h. A mínima concentração de fósforo na entrada ocorreu às 15 h (1,2 mg/L) e a mínima redução de fósforo na saída foi de 0,3 mg/L às 15 h (Figura 7).

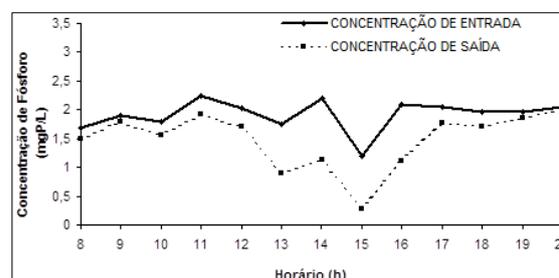


Figura 7. Concentração de fósforo (mgP/L) na entrada e saída do leito no dia 03/10/2015.

A Figura 8 apresenta a diferença de concentrações de entrada e saída. A quantidade de fósforo retida no dia 18/07

teve maior faixa entre 12 h e 15 h, com valores de 1,9 mg/L a 0,9 mg/L respectivamente, com maior valor às 12 h (1,9 mg/L). No dia 03/10 o fósforo retido variou de 1,1 mg/L a 0,9 mg/L entre 14 h e 16 h respectivamente, com a maior remoção de fósforo às 14 h (1,1 mg/L).

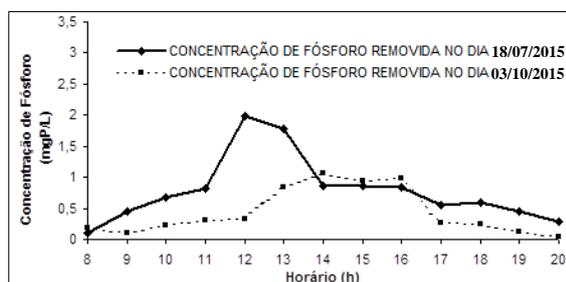


Figura 8. Retirada efetiva de fósforo (mgP/L) no leito para os dias 18/07/2015 e 03/10/2015.

3.3 Nitrato

A Figura 9 apresenta a variação da concentração de nitrato na entrada e saída em 18/07/2015. A máxima concentração de entrada ocorreu às 12 h (32 mg/L) e de saída às 16 h (27 mg/L).

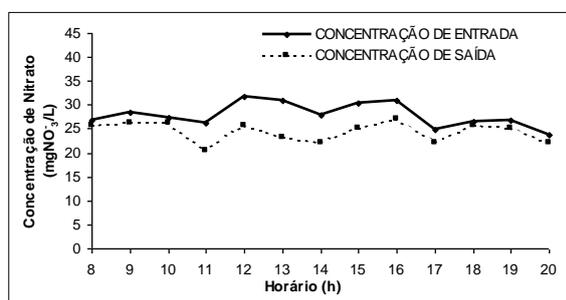


Figura 9. Concentração de nitrato (mgNO₃⁻/L) na entrada e saída do leito para o dia 18/07/2015.

No dia 03/10 a variação da concentração de nitrato máxima na entrada ocorreu às 16 h (40 mg/L). Para a saída, o

valor máximo também de 40 mg/L, ocorreu no mesmo horário (Figura 10).

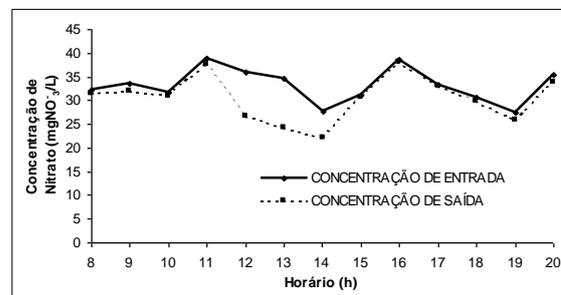


Figura 10. Concentração de nitrato (mgNO₃⁻/L) na entrada e saída do leito para o dia 18/07/2015.

A Figura 11 mostra a diferença de concentração de nitrato na entrada e saída. Em 18/07 a máxima retirada ocorreu entre 12 (6,0 mg/L) e 14 h (5,6 mg/L), máxima às 13 h (7,6 mg/L). Em 03/10 a maior retirada ocorreu das 12 h (9,4 mg/L) às 13 h (10,4 mg/L), máxima às 13 h.

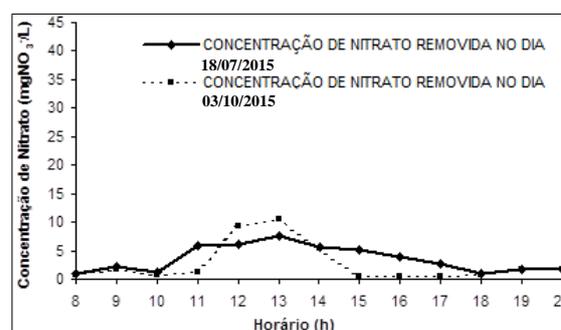


Figura 11. Retirada efetiva de nitrato (mgNO₃⁻/L) no leito para os dias 18/07/2015 e 03/10/2015.

3.4 Vazão

A Tabela 1 traz os volumes e vazões de entrada e saída no leito, para o período de medidas correspondentes. Nota-se uma alta variabilidade ao longo dos dias.

Tabela 1. Vazões e volumes de entrada e saída.

Data	Volume de entrada (L)	Volume de saída (L)	Vazão Média de entrada (L/h)	Vazão Média de saída (L/h)
15/07/15	695,1	891,8	53,5	68,6
16/07/15	1117,8	897,1	85,9	69,0
17/07/15	1098,7	838,8	84,5	64,5
18/07/15	1370,0	774,0	105,0	59,0
19/07/15	1199,5	781,9	92,3	60,1
30/09/15	957,6	767,5	73,7	59,0
01/10/15	924,5	741,6	71,1	57,0
02/10/15	949,0	763,2	73,0	58,7
03/10/15	1694,9	1061,7	130,4	81,7
04/10/15	1075,7	816,5	82,7	62,8

Em julho o volume de entrada no leito variou de 695,1 a 1.370 L e o de saída, de 774 a 891 L. Neste período, a vazão média de entrada variou de 53,5 a 105 L/h e a de saída, de 59 a 69 L/h. Nos cinco dias de medidas na primavera (outubro) o volume de entrada variou de 924,48 a 1.694,94 L e o de saída de 741,6 a 1.061,71 L, enquanto que a vazão média de entrada variou de 71,1 a 130,4 L/h e a de saída, de 57,05 a 81,67 L/h.

A Tabela 2 apresenta os valores referentes à análise de fósforo no leito.

Tabela 2. Balanço de fósforo no leito.

Data	Vazão Mássica Média de entrada (mg/h)	Vazão Mássica Média de saída (mg/h)	Carga Diária de entrada (mg)	Carga Diária de saída (mg)	Redução (%)
15/07/15	115,1	93,6	1496,0	1217,0	18,6
16/07/15	152,6	89,9	1984,4	1169,6	37,9
17/07/15	138,1	80,0	1794,8	1040,2	42,0
18/07/15	213,3	74,7	2773,0	971,0	65,0
19/07/15	124,7	53,7	1620,6	698,6	56,9
30/09/15	137,2	81,8	1783,5	1063,1	40,4
01/10/15	132,0	93,0	1716,1	1209,3	29,5
02/10/15	136,0	71,5	1767,9	929,6	47,4
03/10/15	130,4	81,7	1695,0	1061,7	37,4
04/10/15	172,5	103,5	2242,9	1346,1	40,0

As reduções em massa para o período variaram de 65,0 % a 18,6% para julho e de 47,4 % a 29,5 % para outubro.

Em julho a redução mínima ocorreu no dia 15/07/15, em função principalmente da operação do sistema. Já para outubro a redução mínima ocorreu no dia 01/10/15.

A Tabela 3 apresenta os valores de nitrato para o sistema de tratamento de esgoto. As reduções em massa de nitrato para julho variaram de 88,5 % a 49,2 %.

Tabela 3. Balanço de nitrato no leito.

Data	Vazão Mássica Média de entrada (mg/h)	Vazão Mássica Média de saída (mg/h)	Carga Diária de entrada (mg)	Carga Diária de saída (mg)	Redução (%)
15/07/15	1901,3	3584,1	24716,2	46593,5	-88,5
16/07/15	2387,3	1790,9	31035,4	23281,9	25,0
17/07/15	6228,3	4202,6	80967,8	54633,6	32,5
18/07/15	8037,4	4086,7	104486,7	53127,5	49,2
19/07/15	6167,5	3660,4	80177,9	47585,2	40,6
30/09/15	2216,3	1495,0	28811,5	19435,1	32,5
01/10/15	2144,7	1507,7	27881,6	19599,5	29,7
02/10/15	2327,3	1650,5	30254,7	21456,3	29,1
03/10/15	2253,1	1654,6	29290,2	21510,4	26,6
04/10/15	2794,8	1797,8	36332,9	23371,2	35,7

Em 15/07 não houve retenção de nitrato pelo leito e sim, liberação do nutriente, observado pelo valor negativo de redução. Isto pode ser atribuído a uma descarga anormal de detergente de limpeza no esgoto da FEAGRI.

Em outubro a variação da carga diária de nitrato ficou na faixa percentual de 26,6 % a 35,7 %. O percentual de redução para os dois períodos encontra-se acima dos valores observados por Valentim (1999), que encontrou valores de 13 a 29 % de remoção. Isso se deve ao problema de adaptação das plantas, bem como à coleta de amostras, uma vez que o autor não coletou amostras de hora em hora como neste trabalho.

As Tabelas 2 e 3 mostram redução média de fósforo de 44,1 % e de 36,8 % para nitrato, durante o mês de julho. No mês de outubro a redução média de fósforo foi de 38,9 % e a de nitrato 30,7 %.

4. CONCLUSÕES

A variação na vazão volumétrica do sistema representou condições reais de utilização da água na FEAGRI, assim, o experimento reflete condições mais próximas da realidade. O desempenho do sistema no período de julho mostrou redução média de fósforo de 44,1 % e para nitrato 36,8 %, enquanto que para outubro a redução média de fósforo e nitrato foi de 38,9 % e 30,7 %, respectivamente.

Em julho a retenção em massa de fósforo variou de 18,6 % a 65 %, enquanto que para o nitrato variou de 88,5 % a 49,2 %. Para outubro, a faixa de retenção de fósforo foi de 29,5 % a 47,4 % e de nitrato variou de 26,6 % a 35,7 % no mês.

Os valores menores na redução de nutrientes para o mês de outubro em comparação com o mês de julho refletem parâmetros ecofisiológicos da planta, como o grau de desenvolvimento da vegetação. Assim, considerando que em outubro há maior demanda climática para evapotranspiração (com maiores taxas de

transpiração média) as retenções foram maiores no mês de julho (com menores taxas de transpiração). Além disso, em julho o tamanho médio das folhas era de 2,9 m, sendo efetuado logo a seguir um corte das folhas; enquanto que em outubro as folhas tinham tamanho médio de 2,2 m.

O sistema estudado controla as concentrações de nutrientes presentes no esgoto, mas quando se compara as retenções mássicas, nota-se uma redução mais significativa dos nutrientes. Assim o uso de *wetlands* para tratamento de efluentes pode ser uma alternativa no controle de nutrientes do esgoto doméstico, minimizando impactos ambientais aos recursos hídricos. Os valores de redução de nutrientes encontrados neste trabalho demonstram o potencial da utilização do sistema de leitos em sistemas terciários de tratamento de efluentes.

Ressalta-se a necessidade de estudos futuros que relacionem a redução de nutrientes com o comportamento ecofisiológicos da vegetação nos *wetlands*.

5. REFERÊNCIAS

ALPHA; AWWA & WPCF **Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington D.C.: American Public Health Association, 18^a edição, 1992. Pollution Control.

- BRIX, H. Wastewater treatment in constructed wetlands: system design, removal processes and treatment performance. In: Moshiri, G. A. (Ed.) **Constructed wetlands for water quality improvement**. Boca Raton, FL: Lewis Publishers, 1993. p. 2-22.
- COOPER, P. F.; FINDLATER, B. C. (Eds.). **Constructed Wetlands in Water Pollution Control**. Pergamon Press, Oxford, U.K., 1990.
- HABERL *et al.* Constructed wetlands in Europe. **Water Science and Technology**, Great Britain, IAWQ, v.32, n.3, p.305-315, 1995.
- HAMMER, D. A., (Ed.) **Constructed Wetlands for Wastewater Treatment: Municipal, Industrial, and Agricultural** Chelsea, MI: Lewis Publishers, 1989.
- JUWARKAR, A. S. *et al.* Domestic wastewater treatment through constructed wetland in India. **Water Science and Technology**, IAWQ, v. 32, n. 3, p. 291-294, 1995.
- KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L. **Treatment Wetlands**. CRC Press/Lewis Publishers, Boca Raton, Florida, USA, 1996.
- KICKUTH, R. **Degradation and incorporation of nutrients from rural wastewaters by plant rhizosphere under limnic conditions**. In Utilization of Manure by Land Spreading, EUR 5672e, London, pp. 335-343, 1977.
- LUCARELLI, J. R.; DANIEL, L. A.; ESPINDOLA, C. R.; MAIA, J. R. **A mecanização e conservação do solo na FEAGRI/UNICAMP**, Seminário Ciência e Desenvolvimento Sustentável, n. 1, p.119-121, 1997.
- MANSOR, M. T. C. Uso de leito de macrofitas no tratamento de águas residuárias. 106p. Tese (**Mestrado**) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1998.
- SOUZA, L. E. L.; BERNARDES, R. S. Avaliação do desempenho de um RAFA no tratamento de esgotos domésticos, com pós-tratamento através de leitos cultivados. In: Simpósio Ítalo-brasiliiano de Ingeniería Sanitaria-ambientale, 3, 1996, Gramado, RS, **Anais**, 1996, v. I, n. 9.
- TROTTER, E. A.; THOMSON, B., COLEMAN, R. **Evaluation of a subsurface flow wetland processing sewage from the Sevilleta LTER field station**. Las Cruces: New Mexico Water Resources Research Institute, WRI Report nº. 287, 1994. 52 p.
- U.S.EPA. **Design manual on constructed wetlands and aquatic plant systems for municipal wastewater treatment**. EPA/625/1-88/022, CERL, Cincinnati – OH/USA, 1998. 83p.
- VALENTIM, M. A. A. Uso de leitos cultivados no tratamento de efluente de tanque séptico modificado. 119p. Tese (**Mestrado**) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 1999.
- WETZEL, R. G. **Constructed wetlands: scientific foundations are critical**. In: Moshiri, G. A. (Ed.) **Constructed wetlands for water quality improvement**. Boca Raton, fl.: Lewis Publishers, 1993. p. 3-7.
- WOOD, A. Constructed wetlands in water pollution control: fundamentals to their understanding. **Water Science and Technology**, Great Britain, IAWQ, v.32, n.3. p.21-29, 1995.