

REMOÇÃO DE FÓSFORO EM SISTEMAS ALAGADOS CONSTRUÍDOS COMBINADOS NO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTES DA SUINOCULTURA

Regina Batista Vilas Bôas¹, Ronaldo Fia², Alessandro Torres Campos³, Fátima Resende Luiz Fia³, Gabriela Rezende de Souza

¹ Doutoranda do Programa de Pós Graduação em Engenharia Agrícola – UFLA/Lavras.
regina_lavras@yahoo.com.br

² Prof. Dr. Departamento de Engenharia – UFLA/Lavras.

³ Prof. Dr. Departamento de Engenharia – UFLA/Lavras.

Profa. Dr. Departamento de Engenharia – UFLA/Lavras.

Graduanda em Engenharia Ambiental – UFLA/Lavras.

Apresentado no
XLIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA 2014-04-22
27 a 31 de julho de 2014 – Campo Grande – MS, Brasil

RESUMO: Este trabalho teve como objetivos estudar o desempenho de sistemas alagados construídos combinados, cultivados com tifton-85 (*Cynodon spp*) e taboa (*Typha sp*), na remoção de fósforo no pós-tratamento de água residuária de suinocultura. O sistema foi composto por seis sistemas alagados construídos. Três de escoamento vertical (SACVs – S1, S2 e S3) e três de escoamento horizontal (SACHs – W1, W2 e W3). Nos SACVs foi cultivado o capim tifton-85 e nos SACHs foi cultivado a taboa, o experimento foi constituído de 3 fases. A fase I foi de adaptação e durou 80 dias; na segunda e terceira fases, as taxas de aplicação superficial (TAS) foram aumentadas e aplicadas durante 60 dias cada. Os sistemas alagados verticais e horizontais mostraram-se limitados quanto à remoção de fósforo alcançando entre 18 a 43% nos primeiros, com diferença estatística para o S2 (18%), e de 11 a 39% nos segundos, com diferença estatística para o W2 (39%) ($p < 0,05$), o conjunto S2-W2 mostrou-se significativamente diferente dos demais ($p < 0,05$) para remoção de fósforo (48%) na fase III, sendo que esta pode ser considerada satisfatória.

Palavras-chaves: FÓSFORO, NUTRIENTES, WETLANDS

REMOVAL OF PHOSPHORUS SYSTEMS CONSTRUCTED WETLANDS COMBINED IN POST-TREATMENT SWINE WASTEWATER

Abstract: This work aimed to study the performance of six systems combined constructed wetland planted with Tifton -85 (*Cynodon spp*) and cattail (*Typha sp*), post-treatment of

swine wastewater , the removal of phosphorus. The system was comprised of six constructed wetlands . Three vertical flow (SACVs - S1, S2, S3) and three horizontal flow (Sachs - W1 , W2, W3) .. SACVs was grown in the Tifton -85 and Sachs was grown cattail , the experiment consisted of 3 phases . Phase I was to adapt and lasted 80 days , the second and third phases , superficial (TAS) were increased and applied for 60 days each. The vertical and horizontal wetland systems were shown to be limited as to the removal of phosphorus elevating from 18 to 43% in the first , with statistical difference for the S2 (18 %) , and 11-39 % in the second , with statistical difference for W2 (39%) (p < 0.05) , the set S2 W2 was significantly different from the other groups (p <0.05) for phosphorus removal (48%) in Phase III , and this can be considered satisfactory .

Keywords: PHOSPHORUS, NUTRIENTS, WETLANDS

INTRODUÇÃO: Os Sistemas Alagados Construídos (SACs) são ecossistemas artificiais que, com diferentes tecnologias e plantas, utilizam os princípios básicos da qualidade da água dos alagados naturais. Os SACs caracterizam-se por apresentar moderado custo de instalação, reduzido consumo de energia e manutenção, estética paisagística e aumento do habitat para a vida selvagem (BRASIL; MATOS; SOARES, 2007). O SAC age como um filtro biológico de águas superficiais e subterrâneas nos quais microrganismos aeróbios e anaeróbios se aderem ao meio suporte, onde as plantas são estabelecidas ou fixadas. A rizosfera e outras partes submersas das plantas tornam-se importantes mecanismos de purificação da água. A biota presente nos sistemas alagados – macrófitas, microfauna e microflora – absorve nutrientes e degrada a matéria orgânica das águas residuárias, contribuindo para ciclagem de nutrientes e do carbono (KADLEC; WALLACE, 2008). A remoção dos nutrientes e do material orgânico presente na água residuária se dá por meio de processos físicos, químicos e biológicos, influenciados pelo tipo de planta cultivada, escoamento do efluente no leito de macrófitas, material suporte (meio filtrante) e principalmente, pelas características físicas e químicas do efluente a ser tratado. Vários tipos de SACs têm sido combinados para alcançar maior eficiência no tratamento de efluentes, especialmente para remoção de nutrientes. Os SACH têm sido muito utilizados como tratamento secundário e promovem satisfatória remoção de DBO e sólidos em suspensão. Por outro lado, SACV têm proporcionado boas condições para nitrificação, mas a desnitrificação não ocorre nestes sistemas. Assim, tem aumentado as pesquisas com sistemas híbridos ou combinados (GABOUTLOELOE et al., 2009; VYMAZAL, 2005; YALCUK; UGURLU, 2009). No entanto, esses efluentes com altas concentrações de nutrientes, quando descartados inapropriamente em ambientes aquáticos, podem causar efeitos adversos à microbiota aquática. Este efeito é caracterizado como eutrofização, resultado do excesso de nutrientes na água, possibilitando a proliferação excessiva de algas e bactérias que levam à consequente diminuição da qualidade do corpo receptor (ZHANG et al., 2008). As plantas, juntamente com os processos físicos de remoção de sólidos, também são importantes fontes de remoção de fósforo, outro nutriente presente em maiores concentrações nos dejetos da suinocultura. O ciclo de fósforo é fundamentalmente diferente do ciclo do nitrogênio, visto que, não há alterações na valência durante a assimilação biótica do fósforo inorgânico ou durante a decomposição de fósforo orgânico por microrganismos. O fósforo nos SACs ocorre principalmente no estado de valência +5 (oxidado), visto que todos os estados de oxidação mais baixos são termodinamicamente instáveis e facilmente oxidam para PO_4^- mesmo em ambientes alagados altamente reduzidos (LINDSAY, 1979). No presente trabalho teve-se como objetivo estudar o desempenho de sistemas alagados construídos combinados (escoamento vertical – horizontal) na remoção de

fósforo, cultivados com capim tifton 85 (*Cynodon* spp.) e taboa (*Typha* sp.), submetidos a diferentes configurações e taxas de aplicação de carga orgânica proporcionadas pela aplicação de águas residuárias da suinocultura (ARS) pré-tratada em sistemas anaeróbios.

MATERIAL E MÉTODO: O experimento foi conduzido na área de tratamento de efluentes do Departamento de Zootecnia, sob responsabilidade do DEG, na Universidade Federal de Lavras, em Lavras, Minas Gerais, latitude 21°14'S, longitude 42°00'W, altitude média de 918 m e clima Cwa, segundo a classificação de Köppen. A água residuária da suinocultura (ARS) foi proveniente das instalações do setor de suínos do Departamento de Zootecnia da UFLA. Atualmente, a ARS passa por um pré-tratamento composto por peneira estática e tratamento primário/secundário composto por reator anaeróbio compartimentado (RAC) seguido de reator UASB e decantador (PEREIRA et al., 2011). O experimento foi monitorado em casa de vegetação (estufa) e composto por seis sistemas alagados construídos. Três de escoamento vertical (SACVs) e três de escoamento subsuperficial horizontal (SACHs). Os SACVs foram constituídos por caixas de fibra de vidro o com volume total de 100 L, com 0,54 m de altura e 0,86 m de diâmetro médio preenchidos com brita zero (diâmetro D-60 = 7,0 mm e volume de vazios inicial médio de 0,494 m³ m⁻³). Enquanto os SACHs foram constituídos por caixas de fibra de vidro com dimensões de 2,0 m x 0,5 m x 0,60 m (comprimento x largura x altura). Os SACHs foram preenchidos com brita zero (diâmetro D-60 = 7,0 mm e volume de vazios inicial médio de 0,494 m³ m⁻³) até a altura de 0,55 m e o nível d'água foi mantido a 0,05 m abaixo da superfície do material suporte. Nos SACVs foram construídos drenos de fundo por meio de tubos de PVC (25 mm) perfurados para facilitar o escoamento do efluente. Nos SACHs foram construídos sistemas de drenagem localizados na parte oposta à entrada da ARS, confeccionados com tubos de PVC (32 mm) perfurado. Na Figura 1 está apresentado um esquema do experimento proposto. os SACHs foram confeccionados com três diferentes configurações (Figura 1). Nos SACVs foi cultivado o capim tifton-85 (*Cynodon* spp.), por se tratar de uma espécie agressiva, de elevada capacidade extratora de nutrientes (FIA, 2009; MATOS; FREITAS; LO MONACO, 2010), e não exigir que o solo esteja constantemente saturado com água. O tifton foi proveniente do Setor de Forragicultura do Departamento de Zootecnia da UFLA. A densidade de plantio foi de 8 propágulos por SACV ou 20 propágulos por m² (FIA, 2009). A espécie vegetal cultivada nos SACHs foi a taboa (*Typha* sp.), devido à sua capacidade em translocar oxigênio da parte aérea para o sistema radicular (KADLEC; WALLACE, 2008) e por apresentar melhor desenvolvimento em ambiente saturado com água. As mudas foram obtidas em área alagada natural localizada no setor de piscicultura da UFLA. A densidade de plantio foi de 14 propágulos por SACH ou 14 propágulos por m² (FIA, 2009). O experimento foi constituído de 3 fases. A fase I foi de adaptação dos sistemas à ARS e durou 80 dias; na segunda e terceira fases, as taxas de aplicação superficial (TAS) foram aumentadas e aplicadas durante um período de 60 dias cada, para verificar a capacidade do sistema em tratar maiores quantidades de poluentes (MATOS; FREITAS; LO MONACO, 2010). Inserir aqui como foi feita a amostragem (semanal, quinzenal) e o número de amostras por fase e as análises feitas, neste caso de fósforo (APHA et al., 2005). O capim tifton-85 foi cortado aos 60, 120, 180 e 200 dias após a implantação do sistema. Exceto no último, ocorrido em função do término do experimento, os demais foram realizados quando o capim tifton-85 apresentou início da floração. Devido ao desenvolvimento mais lento da taboa esta foi ceifada ao término do experimento, 200 dias após o início do mesmo. Para os SACVs procedeu-se a análise de variância, seguida pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade quando havia efeito significativo dos fatores. Para efeito de análise estatística considerou-se um delineamento inteiramente ao acaso com três repetições (três SACVs - S1,

S2 e S3) e três fases. Para os SACHs (W1, W2 e W3) e para os conjuntos (S1-W1, S2-W2 e S3-W3) procedeu a análise de variância das variáveis seguida pelo teste de Tukey, em nível de 5% de probabilidade quando havia efeito significativo dos fatores. Utilizou-se o esquema fatorial 3 x 3 (3 SACHs e 3 fases) com o número de repetições no tempo, de acordo com o número de amostragem de cada variável. As análises estatísticas foram feitas com o Programa Estatístico SISVAR (FERREIRA, 2011).

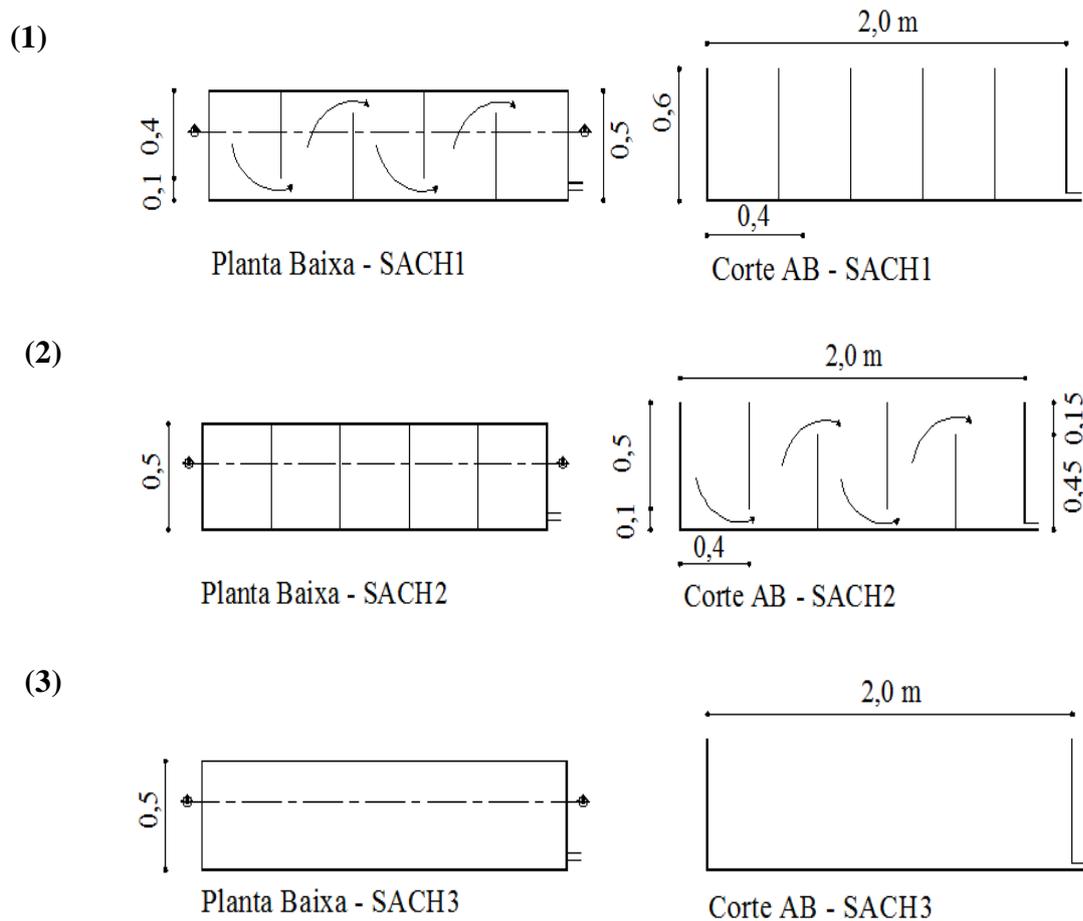


Figura 1. Esquema das diferentes configurações dos SACHs avaliado

RESULTADOS E DISCUSSÃO: As concentrações médias afluentes e efluentes dos sistemas estão apresentadas na Tabela 1. Verifica-se que os valores efluentes dos SACHs (W1, W2 e W3) são bastante superiores aos valores estabelecidos para classificação dos cursos de água, quanto ao potencial de eutrofização dos mesmos que é de até 0,03 e 0,05 mg L⁻¹ para ambientes lênticos e ambientes intermediários, respectivamente (MINAS GERAIS, 2008). Mesmo sem a exigência legal de um parâmetro para lançamento de fósforo presente nos efluentes em cursos de água no estado de Minas Gerais, há indicativo de levado poder

poluente mesmo após passar por um pós-tratamento. Quanto ao fósforo, formas potenciais de reúso, principalmente o reúso agrícola devem ser incentivados.

Tabela 1 Valores médios e desvio padrão de fósforo obtidos no afluente e nos efluentes de cada sistema durante as três fases de operação

	Fase I ⁽¹¹⁾	Fase II ⁽⁹⁾	Fase III ⁽⁸⁾
Afluente	13,3±9,5	8,7±5,3	9,2±8,9
S1	17,5±14,4	9,3±5,7	5,6±3,3
S2	13,0±10,1	10,0±5,2	8,5±9,9
S3	13,5±11,8	9,5±6,0	5,5±5,8
W1	10,9±9,5	8,9±6,0	6,6±5,0
W2	12,9±9,4	8,3±4,2	5,9±7,6
W3	12,7±9,5	9,1±4,3	6,6±8,1

Entre parênteses o número de amostragens.

Com o tempo de operação dos SACs, verificou-se que durante a fase III (Tabela 2), teve-se maior eficiência ($p < 0,05$) na retirada do fósforo nos SACVs, com exceção do S2.

Tabela 2 Valores médios de remoção (%) de fósforo total (PT) nos sistemas verticais (S) nas diferentes fases de operação dos sistemas

Fases	PT		
	S1	S2	S3
I	15aA	15aA	11aA
II	18aA	9aA	11aA
III	31aB	18aA	43bB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a mesma variável, médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Tabela 3 Valores médios de remoção (%) de fósforo total (PT) nos sistemas horizontais (W) nas diferentes fases de operação dos sistemas

Fases	PT		
	W1	W2	W3
I	35aB	12aA	13aA
II	17aA	17aA	14aA
III	11aA	39aB	15aA

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a mesma variável, médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Com o aumento do aporte de fósforo na fase III, apenas W2 melhorou a eficiência de remoção ($p < 0,05$), W3 praticamente manteve a eficiência das demais fases, enquanto em W1 houve redução (Tabela 3). Quando observado o conjunto S-W, observa-se satisfatórias eficiências de remoção média na fase III. No entanto apenas S2-W2 mostraram-se significativamente diferente dos demais ($p < 0,05$) nesta fase (Tabela 4). Assim, verifica-se que a maior contribuição para remoção de fósforo no sistema conjunto foi dada pelo SACH.

Tabela 41 Valores médios de remoção (%) de fósforo total (PT) no conjunto vertical-horizantal (S-W) nas diferentes fases de operação dos sistemas

Fases	PT		
	S1-W1	S2-W2	S3-W3
I	23aA	19aA	19aAB
II	18aA	15aA	5aA
III	32aA	48aB	37aB

Médias seguidas de mesma letra minúscula na linha não diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade. Para a mesma variável, médias seguidas de mesma letra maiúscula na coluna não diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Vymazal e Kröpfelová (2011) verificaram que durante o primeiro ano de operação do sistema experimental composto de dois SACVs seguido de um SACH no tratamento de efluentes domésticos a eficiência de remoção de fósforo foi de apenas 5,4% para concentrações afluentes de $3,2 \text{ mg L}^{-1}$. A partir do segundo ano, após a estabilização do sistema, e com o aumento da concentração média afluente ($5,2 \text{ mg L}^{-1}$) houve aumento na remoção, alcançando 65%. Öövel et al. (2007) observaram concentrações efluentes médias de $0,4 \text{ mg L}^{-1}$ de fósforo ao tratarem efluente doméstico em sistemas híbridos (sistemas verticais seguidos de sistema horizontal), o que correspondeu em média a 89% de remoção. Maior eficiência de remoção foi obtida nos sistemas verticais. No entanto, os autores utilizaram como material suporte argila expandida que podem ter favorecido a adsorção e conseqüente remoção de fósforo. Resultados menos expressivos em relação à remoção de fósforo também são relatados na literatura. DeBusk et al. (2004), mesmo aplicando em SACHs com meio suporte de rochas calcárias, sabidamente com elevada capacidade de adsorver fósforo, efluentes com reduzida concentração deste nutriente ($18 \text{ } \mu\text{g L}^{-1}$) obtiveram apenas 46% de remoção. Lu et al. (2009) avaliaram sistemas alagados horizontais cultivados com diferentes espécies aquáticas no tratamento de escoamento superficial de áreas agrícolas na China, e verificaram que para concentração afluente média de $0,87 \text{ mg L}^{-1}$ e TDH de 2 dias a eficiência média foi de 59%. De forma geral, as eficiências de remoção de PT obtidas neste trabalho podem ser consideradas satisfatórias, pois, segundo Vymazal (2007), a remoção de fósforo em SACs é considerada baixa, variando entre 40 e 60% entre todos os tipos de sistemas alagados. Pois, a

capacidade dos SACs em remover fósforo é limitada, quando comparada à capacidade de remoção de nitrogênio (DEBUSK et al., 2004), já que não há nenhuma perda permanente de fósforo nesses sistemas.

CONCLUSÕES: Mesmo após o tratamento as concentrações de fósforo mantiveram-se elevadas nos efluentes podendo causar contaminação se estes forem dispostos inadequadamente no ambiente. Os sistemas alagados verticais e horizontais mostraram-se limitados quanto à remoção de fósforo alcançando entre 18 a 43% nos primeiros, com diferença estatística para o S2 (18%), e de 11 a 39% nos segundos, com diferença estatística para o W2 (39%) ($p < 0,05$). O conjunto S2-W2 mostrou-se significativamente diferente dos demais ($p < 0,05$) para remoção de fósforo (48%) na fase III, sendo que esta pode ser considerada satisfatória.

AGRADECIMENTOS

A Fapemig pelo apoio financeiro e ao CNPq pelo fornecimento de bolsa.

REFERENCIAS

- APHA - American Public Health Association; AWWA - American Water Works Association; WEF - Water Environment Federation. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th. ed. Washington. D.C.: APHA/AWWA/WEF, 2005, [s.n].
- BRASIL, M. S. et al. Desempenho agrônômico de vegetais cultivados em sistemas alagados utilizados no tratamento de águas residuárias da suinocultura. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, MG, v. 15, n. 3, p. 307-315, 2007.
- DEBUSK, T.A. et al. An investigation of the limits of phosphorus removal in wetlands: a mesocosm study of a shallow periphyton-dominated treatment system. **Ecological Engineering**, Durham, v.23, p.1-14, 2004.
- FERREIRA, D. F. Sisvar: a computer statistical analysis system. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 35, n. 6, p. 1039-1042, 2011.
- FIA, F. R. L. **Modelos de remoção de matéria orgânica e nutrientes de águas residuárias da suinocultura em sistemas alagados construídos**. 2009. 146 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG, 2009.
- GABOUTLOELOE, G. K. et al. Combinations of horizontal and vertical flow constructed wetlands to improve nitrogen removal. **Water Air Soil Pollut: Focus**, v. 9, n. 3, p. 279-286, 2009.
- KADLEC, R. H.; WALLACE, S. D. **Treatment wetlands**. Boca Raton: CRC, 2008. 1016 p.
- MATOS, A.T.; FREITAS, W.S.; LO MONACO, P.A.V. Eficiência de sistemas alagados construídos na remoção de poluentes de águas residuárias da suinocultura. *Revista Ambiente & Água*, v.5, n.2, p.119-132, 2010.
- MINAS GERAIS (Estado). Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 1, de 05 de maio de 2008. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário do Executivo – “Minas Gerais”**, Belo Horizonte,

<<http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=8151>>. Acesso em: 01 jun. 2012.

ÖÖVEL, M., TOOMING, A., MAURING, T., MANDER, U. Schoolhouse wastewater purification in a LWA-filled hybrid constructed wetland in Estonia. **Ecological Engineering**, v.29, p.17–26, 2007.

PEREIRA, E. L. et al. Eficiência de um sistema de reatores anaeróbios no tratamento de efluentes líquidos de suinocultura. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 33, n. 3, p. 287-293, 2011.

VYMAZAL, J. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. **Ecological Engineering**, Durham, v. 25, n. 5, p. 478-490, 2005.

VYMAZAL, J. Removal of nutrients in various types of constructed wetlands. *Science of the Total Environment*, v.380, p.48–65, 2007.

VYMAZAL, J.; KROPFELOVA, L. A three-stage experimental constructed wetland for treatment of domestic sewage: First 2 years of operation. **Ecological Engineering**, Durham, v.37, p.90–98, 2011.

YALCUK, A.; UGURLU, A. Comparison of horizontal and vertical constructed wetland systems for landfill leachate treatment. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 9, p. 2521-2526, 2009.