

II-294 - DESEMPENHO DE SISTEMAS BIOLÓGICOS COMBINADOS NA REMOÇÃO DE DBO E DQO DE EFLUENTES DE ABATEDOURO

Emanuel Menezes Gomes⁽¹⁾

Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária pela UFLA.

Fátima Resende Luiz Fia⁽²⁾

Engenheira Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (UFLA). Mestre e Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Professora do Departamento de Engenharia da UFLA.

Ronaldo Fia⁽³⁾

Engenheiro Agrícola e Ambiental pela UFV. Doutor em Engenharia Agrícola (Recursos Hídricos e Ambientais) pela UFV. Professor do Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras.

Débora Garcia Emboaba⁽⁴⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pela UFLA.

André Geraldo Cornélio Ribeiro⁽⁵⁾

Engenheiro Civil pela UFV. Mestre e Doutor em Engenharia Civil pela UFV. Professor do Departamento de Engenharia da UFLA.

Endereço⁽²⁾: Departamento de Engenharia, CP 3037, Campus da UFLA - Lavras - MG - CEP: 37.200-000 - Brasil - Tel: (35) 3829-1481 - e-mail: fatimarlf@deg.ufla.br

RESUMO

Este trabalho teve o objetivo de avaliar o desempenho de um sistema de tratamento em série, composto por reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF), com 1,2 m de comprimento e 0,10 m de diâmetro preenchido com anéis de bambu, perfazendo um volume útil de 7,5 L; reator anaeróbio de manta de lodo (UASB) com volume útil de 15 L; lagoa aerada facultativa (LAF) com 12 L de volume útil; sistema alagado construído (SAC) preenchido com brita zero e totalizando 7,4 L de volume útil; submetidos a diferentes cargas orgânicas, na remoção de DBO e DQO da água residuária de abatedouro (ARA). No processo de avaliação da qualidade dos efluentes o experimento foi dividido em 4 fases: da 1ª a 3ª fases a carga orgânica foi aumentada e na 4ª fase aplicou-se uma redução da carga para se obter um efluente com características a serem dispostas no meio ambiente de acordo com a legislação ambiental. As eficiências médias globais de remoção de matéria orgânica na forma de DBO e DQO total e solúvel no sistema de tratamento variaram entre 78 e 95% e 92 a 98%, para as diferentes cargas orgânicas aplicadas. Os valores médios efluentes de DBO_T e DBO_S do sistema de tratamento variaram de 128 a 379 $mg\ L^{-1}$ e de 82 a 163 $mg\ L^{-1}$, já os valores efluentes de DQO_T e DQO_S variaram de 128 a 357 $mg\ L^{-1}$ e de 98 a 320 $mg\ L^{-1}$. Dentre as unidades de tratamento, o reator UASB foi o que apresentou as maiores eficiências de remoção de matéria orgânica.

PALAVRAS-CHAVE: Matéria Orgânica, Tratamento de Efluentes, Efluentes Agroindustriais, UASB, Lagoa de Estabilização.

INTRODUÇÃO

As águas residuárias de abatedouros e frigoríficos (ARA) são constituídas, principalmente, por água de limpeza dos equipamentos e do piso, devendo conter sangue, resultante do gotejamento no piso ao longo da linha de abate, e pequenas partículas da carcaça, pelos, gordura, vômitos e barrigada, o que contribui para o aumento da concentração de matéria orgânica. O sangue merece uma atenção especial, pois contém carga bastante elevada de DBO, devendo este ser coletado separadamente dos demais resíduos e tratado para o reaproveitamento como subproduto do processo de abate (Vilas Boas et. al., 2001).

A remoção de matéria orgânica presente na ARA, pode ser feita de diversas formas. Sistemas anaeróbios têm sido experimentados com sucesso neste processo (Del Pozo et al., 2005; Del Nery et al., 2008; Park et al., 2012). No entanto, apesar de os sistemas de tratamento anaeróbios apresentarem elevada capacidade de remoção de carga orgânica, em se tratando de águas residuárias agroindustriais, as concentrações de matéria orgânica que deixam estes sistemas são relativamente elevadas e, geralmente, não atendem à legislação ambiental quanto à disposição em cursos de água. Desta forma, torna-se necessária a associação de sistemas

anaeróbios com aqueles aeróbios para melhorar ainda mais a eficiência de remoção de matéria orgânica e, principalmente, de nutrientes como o nitrogênio e o fósforo.

Desta forma, no presente trabalho teve-se como objetivo estudar o desempenho de sistemas anaeróbio/aeróbio/anóxico, submetidos a diferentes cargas orgânicas, na remoção de DBO e DQO de efluente de abatedouro.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento, montado em escala laboratorial, foi conduzido no Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia da UFLA, em Lavras, Minas Gerais. A água residuária de abatedouro (ARA), proveniente do frigorífico NUTRILI localizado próximo a cidade de Lavras-MG, foi coletada semanalmente em bombonas e armazenada para o experimento sob refrigeração e apresentou, durante as duas fases de condução do experimento, as características médias apresentadas na Tabela 1.

Tabela 1. Valores médios e desvio padrão das principais características da água residuária de abatedouro (ARA) utilizada durante o período experimental.

Variáveis	Fase I (150 dias)	Fase II (60 dias)	Fase III (60 dias)	Fase IV (70 dias)
pH	6,8±0,4 ⁽²³⁾	6,7±0,4 ⁽⁹⁾	6,9±0,2 ⁽⁸⁾	6,9±0,4 ⁽⁸⁾
DQO (mg L ⁻¹)	4.067±1.537 ⁽²³⁾	3.782±1.076 ⁽⁹⁾	6.550±2.359 ⁽⁸⁾	2.683±951 ⁽⁷⁾
DBO (mg L ⁻¹)	2.035±866 ⁽¹⁵⁾	2.010±455 ⁽⁵⁾	2.570±585 ⁽⁵⁾	667±207 ⁽⁶⁾
NTK (mg L ⁻¹)	262±160 ⁽²²⁾	229±52 ⁽⁷⁾	193±50 ⁽⁵⁾	141±58 ⁽⁷⁾
P (mg L ⁻¹)	24,9±23,2 ⁽²²⁾	22,7±5,6 ⁽⁶⁾	32,5±35,7 ⁽⁵⁾	10,6±2,3 ⁽⁷⁾

(a) Entre parênteses o número de amostragens consideradas no cálculo das médias.

O sistema de tratamento foi composto por um sistema anaeróbio (reator anaeróbio horizontal de leito fixo – RAHLF seguido por um reator anaeróbio de manta de lodo – UASB) e um sistema aeróbio/anóxico (lagoa aerada facultativa – LAF seguida por um sistema alagado construído – SAC não vegetado). O RAHLF foi construído em PVC com 1,2 m de comprimento e 0,10 m de diâmetro preenchido com anéis de bambu, perfazendo um volume útil de 7,5 L; o UASB foi montado em fibra de vidro e com volume útil de 15 L. A LAF, construída em vidro, apresentou 0,20 m de largura, 0,40 m de comprimento e 0,15 m de altura útil, totalizando 12 L de volume útil. Nas extremidades internas da LAF (a 0,05 m da entrada e da saída) foram instaladas chicanas de modo que a aeração fosse mantida apenas na parte central e, nas extremidades, fossem mantidas condições anóxicas. No fundo da lagoa foram inseridas mangueiras perfuradas para a inserção de ar (6 L min⁻¹), gerado por um mini compressor. O SAC foi montado em vidro com 0,20 m de largura, 0,50 m de comprimento e 0,15 m de altura útil, preenchido com brita zero (diâmetro D-60 = 7,0 mm e volume de vazios inicial médio de 0,49 m³ m⁻³) totalizando 7,4 L de volume útil. O SAC não foi cultivado devido ao não desenvolvimento das espécies implantadas (capim tifton-85 - *Cynodon* spp., e posteriormente, arroz- *Oryza sativa*).

O experimento foi dividido em quatro fases com aplicação de cargas orgânicas crescentes da Fase I até a Fase III. Na Fase IV, houve redução da carga orgânica aplicada, com o objetivo de se obter um efluente com características orgânicas para serem dispostas no ambiente de acordo com a legislação ambiental.

A avaliação de qualidade da água foi feita pela determinação de pH por potenciometria, demanda química de oxigênio total (DQO_T) e solúvel (DQO_S) por oxidação química em refluxo fechado e demanda bioquímica de oxigênio total (DBO_T) e solúvel (DBO_S) por meio da determinação do oxigênio dissolvido pelo método iodométrico (Método Winkler). As frações solúveis foram obtidas após a filtração da amostra em filtros de 0,45 mm (APHA et al., 2005).

As características operacionais médias dos sistemas estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Características operacionais médias observadas no reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF), reator anaeróbio de manta de lodo (UASB), lagoa aerada facultativa (LAF) e sistema alagado construído (SAC) nas diferentes fases de operação do sistema de tratamento.

Fases	Variáveis	RAHLF	UASB	LAF	SAC
I (150 d)	TDH	12,6	23,6	20,2	12,5
	COV _{DQO}	8,0	3,0	0,8	1,0
	TAS _{DQO}	-	-	119	71
II (60 d)	TDH	7,4	13,9	11,9	7,3
	COV _{DQO}	12,2	4,8	0,8	0,7
	TAS _{DQO}	-	-	115	55
III (60 d)	TDH	4,5	8,5	7,2	4,5
	COV _{DQO}	34,7	11,4	2,0	1,7
	TAS _{DQO}	-	-	253	116
IV (70 d)	TDH	24,5	45,8	39,2	24,2
	COV _{DQO}	2,6	1,6	0,3	0,2
	TAS _{DQO}	-	-	29	14

TDH - tempo de detenção hidráulica teórico (h); COV – carga orgânica volumétrica ($\text{kg m}^{-3} \text{d}^{-1}$ de DQO); TAS – taxa de aplicação orgânica superficial ($\text{g m}^{-2} \text{d}^{-1}$ de DQO).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores médios de pH tenderam a aumentar ao longo do sistema de tratamento. Verificou-se valores afluentes de 6,8 e efluente do sistema de tratamento (SAC) igual a 8,2 na Fase III. Valores que são favoráveis à degradação biológica de efluentes (METCALF e EDDY, 2003).

Os valores médios afluentes de DBOT variaram entre 667 e 2.570 mg L^{-1} , enquanto os valores médios efluentes de DBOT e DBOS do sistema de tratamento variaram de 128 a 379 mg L^{-1} e de 82 a 163 mg L^{-1} . Já para DQOT os valores médios afluentes variaram entre 2.683 e 6.550 mg L^{-1} . Os valores efluentes de DQOT e DQOS do sistema de tratamento variaram de 128 a 357 mg L^{-1} e de 98 a 320 mg L^{-1} . Não se verificou, nas diferentes unidades de tratamento, tendência de estabilização nos valores efluentes de DBO e DQO das diferentes unidades de tratamento (Figura 1).

O aumento da carga orgânica aplicada não refletiu em redução significativa dos valores efluentes de DBO e DQO. No entanto, no final da Fase III, a redução na concentração afluente de DBO_T e DBO_S refletiu em redução dos valores destas variáveis no efluente do sistema de tratamento. Quanto à DQO esta variação ficou mais evidente apenas para a DQO_S (Figura 1).

Mesmo com a redução da carga orgânica aplicada nas unidades de tratamento na Fase IV, os valores médios de DBO total e solúvel mantiveram-se acima dos limites recomendados para disposição de efluentes em cursos de água; alcançando 60 mg L^{-1} de DBO (COPAM/CERH, 2008) em apenas 17% das amostras de DBO_T e 50% nas amostras de DBOS. Quanto à DQO, o valor permitido de lançamento de 90 mg L^{-1} (COPAM/CERH, 2008) foi alcançado em 86 e 100% das amostragens de DQO_T e DQO_S na Fase IV.

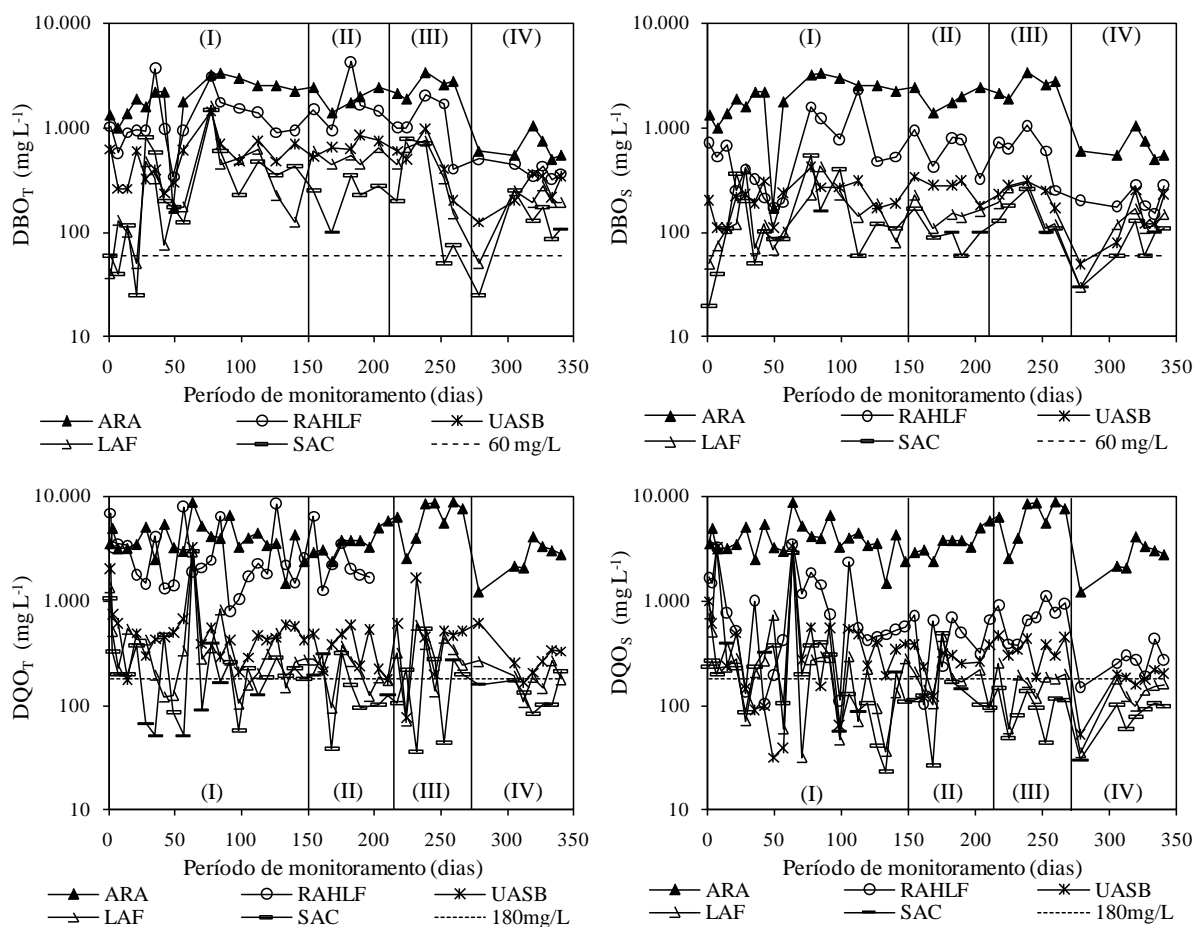


Figura 1. Variação nas concentrações afluentes e efluentes de demanda química de oxigênio total (DQO_T) e solúvel (DQO_S) e demanda bioquímica de oxigênio total (DBO_T) e solúvel (DBO_S) das unidades de tratamento.

Outra forma de controle ambiental estabelecido pela legislação é a percentagem de remoção de matéria orgânica, com média anual de 85 e 75% para remoção de DBO e DQO, o que foi alcançado neste trabalho (Tabela 4). Verifica-se também na Tabela 4, que com algumas exceções, a variação na carga orgânica afluente não influenciou significativamente ($p > 0,05$) na remoção da DBO e da DQO.

As maiores eficiências na remoção de DQO, quando comparadas à remoção de DBO, são, provavelmente, devidas aos fatores que contribuem para a remoção destas duas formas de matéria orgânica. A maior remoção de DQO pode ser explicada pelo fato dela não ser totalmente dependente dos microrganismos. A remoção de DBO é mais complexa, quando comparada a outras variáveis como os sólidos. As partículas biodegradáveis removidas por mecanismos físicos são, posteriormente, degradadas e convertidas em partículas solúveis e coloidais, tornando-se fonte de DBO solúvel, sendo menos eficiente a sua remoção (USEPA, 2000).

Ao serem avaliadas de forma individual, as unidades de tratamento que mais contribuíram para remoção de matéria orgânica foram os sistemas anaeróbios, principalmente o UASB. Acredita-se que, por passar RAHLF, a ARA aplicada ao UASB apresentou frações orgânicas de mais fácil degradação. As unidades RAHLF-UASB funcionaram com um reator de duplo estágio, em que no RAHLF ocorreu a fase de acidificação, principalmente, e no UASB a fase de metanificação. O uso de sistemas de tratamento anaeróbio em dois estágios pode melhorar a estabilidade e reduzir os problemas com a duplicação excessiva de bactérias acidogênicas e consequentemente a diminuição das arqueias metanogênicas (SOLERA et al., 2002).

A LAF e o SAC podem ter tido menores eficiências de remoção, pois receberam menores cargas de matéria orgânica. Em sistemas de tratamento adaptados ao efluente a ser tratado, o aumento na carga orgânica aplicada, até certos limites, leva a aumento nas taxas de remoção de matéria orgânica (TAO et al., 2006; FIA et al., 2012). Além disso, a composição da matéria orgânica que alcançavam a LAF e o SAC já tinha tido seus

componentes mais facilmente degradáveis removidos. Assim, provavelmente, uma parte de material recalcitrante adentrou estes sistemas, dificultando o processo de tratamento biológico.

TABELA 4: Valores médios de eficiência de remoção (%) de DQO total (DQO_T) e solúvel (DQO_S) e DBO total (DBO_T) e solúvel (DBO_S) pelo reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF), reator anaeróbio de manta de lodo (UASB), lagoa aerada facultativa (LAF), do sistema alagado construído (SAC), e eficiência global média do sistema.

Fases		RAHLF	UASB	LAF	SAC	Global
I (150 d)	DQO _T	30a	77a	37a	34a	92a
	DQO _S	74a	81a	49a	41a	93a
	DBO _T	38a	52a	46a	16a	78a
	DBO _S	62a	80a	66a	44a	90a
II (60 d)	DQO _T	26a	85a	29a	34a	95a
	DQO _S	86a	89a	40a	42a	96a
	DBO _T	26a	56a	21b	56b	88a
	DBO _S	67a	82a	75a	81b	95a
III (60 d)	DQO _T	46a	83a	32a	37a	96a
	DQO _S	88a	86a	58a	60a	98a
	DBO _T	52b	54a	18b	39c	85a
	DBO _S	74a	75a	59a	61ab	94a
IV (70 d)	DQO _T	36a	76a	34a	34a	94a
	DQO _S	89a	89a	51a	55a	97a
	DBO _T	36a	32a	30ab	37c	80a
	DBO _S	67a	62a	57a	53ab	87a

Para o mesmo sistema e variável, médias das fases seguidas de mesma letra não diferiram entre si pelo Teste de Tukey a 5% de probabilidade.

MITTAL (2006) relata que reatores UASB utilizados no tratamento de efluentes de abatedouro removeram em média de 80 a 85% da DQO para aportes de matéria orgânica entre 2,7 e 10,8 kg m⁻³ d⁻¹ de DQO. TORKIAN et al. (2003) avaliaram o efeito do carregamento orgânico no desempenho de reatores UASB tratando efluentes de abatedouro, e obtiveram eficiência de remoção de DQO_T de 68 a 83% para COVs de 13 a 40 kg m⁻³ d⁻¹ de DQO.

MEES et al. (2009) obtiveram remoções de 26 e 32% de DQO e DBO em lagoa de decantação com TDH de 5 dias cultivada com aguapé para polimento de efluentes de abatedouro pré-tratados em lagoa anaeróbia e lagoa aerada. GUTIÉRREZ-SARABIA et al. (2004) obtiveram em SAC utilizado no tratamento de efluente de abatedouro 89 e 91% de remoção de DQO e DBO, respectivamente. Os autores aplicaram 370 g m⁻² d⁻¹ de DQO, bastante superior ao aplicado neste trabalho.

CONCLUSÕES

As eficiências médias globais de remoção de matéria orgânica na forma de DBO e DQO no sistema de tratamento variaram entre 78 e 95% e 92 a 98%, para as diferentes cargas orgânicas aplicadas. Os efluentes atenderam aos padrões de lançamento de efluentes em cursos de água para o estado de Minas Gerais quando consideradas as eficiências de remoção.

A variação da carga orgânica afluente ao sistema de tratamento não influenciou significativamente a remoção global de DBO e DQO. Entre as unidades de tratamento, o reator UASB foi o que apresentou as maiores eficiências de remoção de matéria orgânica.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao CNPq e à FAPEMIG o apoio financeiro concedido; e ao Frigorífico NUTRILI pela disponibilização da água residuária.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 21th. ed. Washington. D.C.: APHA/AWWA/WEF, 2005, [s.n.].
2. COPAM - Conselho de Política Ambiental; CERH – Conselho Estadual de Recursos Hídricos - Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, 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. Belo Horizonte: Diário do Executivo – “Minas Gerais” – 13/05/2008.
3. DEL NERY, V.; POZZI, E.; DAMIANOVIC, M.H.R.Z.; DOMINGUES, M.R.; ZAIAT, M. Granules characteristics in the vertical profile of a full-scale upflow anaerobic sludge blanket reactor treating poultry slaughterhouse wastewater. *Bioresource Technology*, v.99, p.2018-2024, 2008.
4. DEL POZO, R.; DIEZ, V. Integrated anaerobic-aerobic fixed-film reactor for slaughterhouse wastewater treatment. *Water Research*, v.39, p.1114-1122, 2005.
5. FIA, F.R.L.; MATOS, A.T. ; BORGES, A.C.; FIA, R.; CECON, P.R. Treatment of wastewater from coffee bean processing in anaerobic fixed bed reactors with different support materials: performance and kinetic modeling. *Journal of Environmental Management*, v.108, p.14-21, 2012.
6. GUTIÉRREZ-SARABIA, A.; FERNANDEZ-VILLAGÓMEZ, G.; MARTÍNEZ-PEREDA, P.; RINDERKNECHT-SEIJAS, N.; POGGI-VARALDO, H. M. Slaughterhouse wastewater treatment in a full-scale system with constructed wetlands. *Water Environment Research*, v.76, n.4, p.334-343, 2004.
7. MEES, J.B.R.; GOMES, S.D.; VILAS BOAS, M.A.; FAZOLO, A.; SAMPAIO, S.C. Removal of organic matter and nutrients from slaughterhouse wastewater by using *Eichhornia crassipes* and evaluation of the generated biomass composting. *Engenharia Agrícola*, v.29, n.3, p.466-473, 2009.
8. METCALF e EDDY. Wastewater engineering treatment disposal reuse. 3 ed. New York: McGraw-hill, 2003.
9. MITTAL, G.S. Treatment of wastewater from abattoirs before land application - a review. *Bioresource Technology*, v.97, p.1119-1135, 2006.
10. PARK, J.; OH, J.H.; ELLIS, T.G. Evaluation of an on-site pilot static granular bed reactor (SGBR) for the treatment of slaughterhouse wastewater. *Bioprocess Biosyst Eng.*, v.35, p.459-468, 2012.
11. SOLERA, R.; ROMERO, L.I.; SALES, D. The evolution of biomass in a two-phase anaerobic treatment process during start-up. *Chemical and Biochemical Engineering Quarterly*, v.16, n.1, p.25–29, 2002.
12. TAO, W.; HALL, K. J.; DUFF, S. J. B Performance evaluation and effects of hydraulic retention time and mass loading rate on treatment of woodwaste leachate in surface-flow constructed wetlands. *Ecological Engineering*, v.26, p.252–265, 2006.
13. TORKIAN, A.; EQBALI, A.; HASHEMIAN, S.J. The effect of organic loading rate on the performance of UASB reactor treating slaughterhouse effluent. *Resources, Conservation and Recycling*, v.40, p.1-11, 2003.
14. USEPA - U.S. Environmental Protection Agency. Wastewater Technology Fact Sheet Wetlands: Subsurface Flow. EPA 832-F-00-023. Washington, D. C. September, 2000. Disponível em: <<http://www.epa.gov/owow/wetlands/pdf/design.pdf>> Acesso em: 09 out. 2003.
15. VILAS BOAS, E.V.B.; LIMA, L.C.O.; BRESSAN, M. C.; BARCELOS, M.F.P.; PEREIRA, R.G.F.A. Manejo de resíduos da agroindústria. Lavras: UFLA/FAEPE, 2001.