



III-359 - ACLIMATAÇÃO DAS PLANTAS DOS BANHADOS CONSTRUÍDOS PARA TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO CONSORCIADO COM LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Fabiane Bordin⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS). Mestranda em Gerenciamento de Resíduos Sólidos pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UNISINOS.

Laila Gicelli Engel Colombo

Bióloga pela Universidade Luterana do Brasil (ULBRA). Mestranda em Gerenciamento de Resíduos Sólidos pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UNISINOS.

Luciana Paulo Gomes

Engenheira Civil, Doutora em Engenharia Civil, professora titular da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) e Coordenadora do Sistema de Gestão Ambiental.

Roger Vinícius Rosa Esteves

Administrador pela Rede Metodista de Educação do Sul (IPA). Mestrando em Gerenciamento de Resíduos Sólidos pelo Programa de Pós Graduação em Engenharia Civil da UNISINOS.

Endereço⁽¹⁾: Av. Unisinos, 950 – Cristo Rei – São Leopoldo - RS - CEP: 93.022-000 - Brasil - Tel: +55 (51) - 3590 - 1122 – R. 1783 e-mail: fabianebordin@hotmail.com e lugomes@unisinos.br

RESUMO

Dentre as soluções existentes para o gerenciamento dos resíduos sólidos urbanos, a forma mais adequada de disposição final é o aterro sanitário, embora este apresente como desvantagem a geração de lixiviado. O lixiviado é um líquido fétido, altamente tóxico, com altas taxas de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Amoniacal (NA) e Fósforo (P). Como possível alternativa, principalmente para casos de tratamento complementar de efluentes, é possível a aplicação de banhados construídos, que possuem a principal tarefa de reduzir a concentração de nutrientes existentes nos efluentes. Neste estudo objetivou-se acompanhar a aclimatação das plantas (macrófitas do tipo *Typha latifolia*) em banhados construídos. A aclimatação, testada durante 125 dias, correspondeu inicialmente à adição de esgoto sanitário tratado previamente em reator UASB. Após este período adicionou-se, paulatinamente, uma mistura crescente de lixiviado ao esgoto. Na concentração de 2% já se observou boa adaptação das plantas ao efluente. Após este período, resultados preliminares já indicam remoções na concentração de nitrogênio amoniacal e fósforo da mistura estudada.

PALAVRAS-CHAVE: Lixiviado, Banhado Construído, *Typha Latifolia*.

INTRODUÇÃO

Segundo Gomes & Gehling (2007), a forma mais adequada de disposição de Resíduos sólidos urbanos (RSU) é o aterro sanitário que corresponde a uma metodologia de disposição no solo com critérios de engenharia e rigores técnicos, confinando os resíduos no menor volume possível, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando impactos ambientais.

No Brasil, o aterro sanitário funciona como um reator anaeróbio, devido ao fato de que há, na composição dos resíduos, um predomínio de matéria orgânica, matéria esta que sob a influência de agentes naturais, como a chuva e os microrganismos, sofrem evoluções dentro da massa de resíduos, dissolvendo elementos constituintes que são carregados pela água da chuva que percola, gerando como subprodutos o biogás e o lixiviado, principais vetores da poluição causada por aterros sanitários.

O lixiviado é um líquido fétido, altamente tóxico, com altas taxas de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Nitrogênio Amoniacal (NA) e Fósforo (P) além de outros compostos químicos nocivos, por isso, necessita ser tratado adequadamente antes de ser descartado em cursos hídricos, evitando que os mesmos sejam contaminados. Para realizar tal tratamento buscam-se soluções tecnológicas eficientes e de baixo custo, que visem atingir as exigências da legislação ambiental em compatibilidade com a realidade econômica do Brasil e, sempre respeitando a realidade da região a ser implantada.



Como possível alternativa, principalmente para casos de tratamento complementar de efluentes, é possível a aplicação de Banhados Construídos, os quais possuem a principal tarefa de reduzir a concentração de nutrientes que seria descartada ao meio ambiente, tanto em sistemas de tratamento de lixiviados de aterro sanitário como em ETEs. Trata-se de alternativa simples, que tem apresentado resultados satisfatórios (MANNARINO et al., 2006 e VALENTIM, 2003).

Os Banhados Construídos consistem em tanques cujo interior é provido de um filtro com camadas de diferentes materiais filtrantes, tais como solo, pedrisco e britas de diferentes granulometrias e em sua superfície cultivam-se plantas que possuam características depuradoras de águas. De acordo com Cooper e Findlater (1990) estes sistemas de tratamento foram desenhados e construídos para o tratamento de efluentes domésticos e industriais, visando principalmente a decomposição da matéria orgânica e a remoção das formas de nitrogênio e fósforo pela transformação e absorção direta pelas macrófitas aquáticas.

Dois tipos de banhados construídos são os mais utilizados em sistemas de tratamento: o banhado construído de escoamento superficial, em que a lâmina líquida ultrapassa o topo do leito suporte; e o banhado construído de fluxo sub-superficial em que a lâmina líquida fica abaixo do topo do leito filtrante, no âmbito das raízes das macrófitas (SCHIMANKO, 2008).

Nos Banhados Construídos de escoamento superficial, onde o fluxo de líquido a ser tratado passa lentamente em todas as pedras (meio suporte) e raízes e rizomas das plantas, a remoção de contaminantes ocorre como resultado de complexas interações físicas, químicas e microbianas (KADLEC E KNIGHT, 1996 apud CASELLES-OSORIO & GARCIA, 2006). A eficiência desses processos pode variar no tempo e no espaço, e dependerão de muitos fatores, como a carga orgânica superficial, a profundidade da água e a disponibilidade de aceptores de elétrons (GARCIA et al., 2004 e AGUIRRE et al., 2005 apud CASELLES-OSORIO & GARCIA, 2006).

O nitrogênio é, em geral, o elemento que as plantas necessitam em maior quantidade. Na sua maior proporção é absorvido pelas raízes na forma de nitrato. O efeito externo do nitrogênio mais visível é a vegetação verde e abundante. O fósforo estimula o crescimento das raízes, garante uma “arrancada” vigorosa, apressa a maturação, estimula o florescimento, ajuda a formação das sementes e aumenta a resistência ao frio (MALAVOLTA, 1989).

Kissmann, (1997) descreve que a *Typha latifolia*, vulgarmente conhecida por taboa, é uma planta pertencente à família *Typhaceae*, originária da América do Sul. É uma planta daninha aquática frequente em margens de lagos, lagoas ou represas, canais de drenagem e baixadas pantanosas em geral. Plantas de *Typha* absorvem metais pesados, inclusive o cobre, podendo contribuir para o saneamento ambiental.

Brasil et al (2007) objetivaram estudar a remoção de nutrientes de efluente doméstico proveniente de tanque séptico pela macrófita *Typha* cultivada em Banhados Construídos. Obtiveram como resultado profundidade média das raízes de 27,15 cm, bom desenvolvimento das mudas, possibilitando a partida do sistema aos quatro meses após o estabelecimento da vegetação e, por meio da remoção da biomassa aérea, contribuição para remoção de 1,69%, 1,64%, 4,94% e 0,74% do aporte de N-Total, P-Total, potássio e sódio, respectivamente.

Meira et al (2001) estudaram o desempenho de um sistema de banhados construídos de fluxo sub-superficial com *Typha*, constituído por dez tanques com 2 tempos de detenção hidráulica, 5 e 10 dias, alimentado com água de um córrego poluído com esgoto doméstico. A Tabela 1 apresenta a síntese dos resultados obtidos nos primeiros meses de monitoramento.



Tabela 1: Síntese dos resultados obtidos

	REMOÇÃO (%)			
	TDH 5 DIAS		TDH 10 DIAS	
	BC	TC	BC	TC
DBO	77,8	77,8	83,3	83,3
NA	67,3	50,2	77,9	74,2
PT	46,9	15,7	48,9	27
ORTOFOSFATO SOLÚVEL	42,3	15,7	50,2	21,4
COLIFORMES FECAIS	97	15,7	99,1	27
ESTREPTOCOCCUS FECAIS	93,9	15,7	98	21,4

BC: Banhado Construído TC: Tanque Controle TDH: Tempo de Detenção Hidráulica

Fonte: MEIRA et al (2001)

Toniato et al (2005) avaliaram um banhado construído durante 5 meses de monitoramento tratando esgoto séptico. Os resultados mostraram reduções médias de 67 % para DBO; de 76 % DQO; de 87 % para turbidez; de 12 % para PT; de 26 % para NTK; 16 % para NO_3^- , entre 72 – 99,86 % para coliformes totais e entre 69 – 99,98 % para *Escherichia coli*.

Com base nestes trabalhos relatados, percebe-se que existe uma eficiência na utilização desses sistemas no tratamento de efluentes. Este trabalho descreve o período de aclimação das plantas (taboas) em banhado construído para tratar lixiviado de aterro sanitário, pois é sabido que as altas concentrações de nutrientes e outros compostos orgânicos, de difícil tratabilidade, podem inadvertidamente causar problemas às plantas, inviabilizando sua utilização.

OBJETIVO

Acompanhar a aclimação das plantas (macrófitas do tipo *Typha Latifolia*) em banhados construídos, utilizados no tratamento de esgoto doméstico consorciado com lixiviado de aterro sanitário, visando sua aplicação em sistemas de tratamento de efluentes instalados em aterros sanitários.

MATERIAIS E MÉTODOS

A montagem dos banhados foi realizada no Anexo do Laboratório de Microbiologia de Resíduos da Unisinos. O sistema contempla quatro reservatórios de alvenaria idênticos, com dimensões de 1m (largura) x 2m (comprimento) x 0,9m (profundidade) e 1,8m³ de volume. Seu interior foi impermeabilizado com fibra de vidro e preenchido com camadas de brita como meio suporte às plantas.

A espécie vegetal escolhida foi a macrófita do tipo *Typha Latifolia*. Dois tipos de banhados foram construídos: o de fluxo horizontal, onde toda a camada de pedra corresponde à brita 5 (rachão) e o segundo possui fluxo vertical, com três camadas de brita dispostas de baixo para cima da seguinte maneira: brita 5, brita 3 e brita 1. São dois banhados de cada tipo de fluxo (BH e BV), sendo que um de cada não possui as plantas, funcionando como o experimento “branco” do monitoramento (BH0 e BV0). O efluente é bombeado do reservatório (contendo as misturas testadas) para os banhados com auxílio de bomba dosadora. No banhado horizontal a entrada se dá à meia altura do nível líquido, em um dos lados da unidade. No banhado com fluxo vertical ocorre um gotejamento na parte superior do mesmo.

Existem duas saídas de efluente nos banhados, uma é a torneira, mostrada na Figura 1 onde são feitas as coletas do material para análise e a outra controla o nível do banhado, conforme Figura 2. Esta segunda deve permanecer gotejando, o que mostra que o reservatório está com a sua capacidade de efluente adequada.



Figura 1 – saída para coleta de amostras



Figura 2 – saída para controle do nível

O primeiro período foi de operação por batelada (quatro meses) apenas com esgoto tratado. Este período ocorreu no inverno, onde as temperaturas oscilavam entre 10,7 e 24,4°C não permitindo um bom desenvolvimento das plantas. Posteriormente, com as plantas em melhores condições, o sistema passou a ser operado de forma contínua, com vazão de 18L/h (0,432 m³/dia) para cada banhado. Neste momento também se iniciou a colocação de efluente consorciado: esgoto e lixiviado, nas proporções indicadas na Tabela 2.

As concentrações de lixiviado foram paulatinamente aumentadas, conforme Tabela 2, de modo a realizar-se a aclimação das plantas, seguindo inclusive a recomendação de Allen et al. in Fleck (2003). Esses autores recomendam a adaptação das plantas no banhado antes da aplicação da água residuária a tratar e, posteriormente, a sua diluição crescente, favorecendo o processo de aclimação.

Tabela 2: Aumento gradativo da concentração de lixiviado em relação ao esgoto.

PERÍODO	DIAS DE MONITORAMENTO	CONCENTRAÇÃO DE LIXIVIADO NO ESGOTO (%)
03/JUN. A 05/OUT./2008	125	0
06/OUT. A 02/NOV. / 2008	31	0,5
03/NOV. A 30/NOV./ 2008	28	1,0
01/DEZ. / 2008 A 11/JAN./2009	42	2,0

O monitoramento da eficiência do tratamento foi feito coletando-se amostras semanalmente e realizando-se análises de Nitrogênio Amoniacal (NA), Fósforo (P), Demanda Química de Oxigênio (DQO) e pH. Estes parâmetros foram utilizados para a caracterização da entrada dos banhados (mistura entre esgoto e lixiviado), lixiviado, esgoto e saída dos banhados (BH, BH0 e BV). Todas as análises seguiram o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

RESULTADOS

O monitoramento dos banhados, nos meses de junho a outubro, durante o período operado apenas com esgoto tratado e sob condições de batelada, resultou nos valores indicados na Tabela 3. Observa-se aumento dos valores monitorados na saída dos banhados, fato que se justifica pelo solo utilizado para a plantação das mudas nos banhados. O solo empregado foi o composto produzido na própria universidade com os restos de podas e cortes de grama.

De acordo com os parâmetros limites estabelecidos na resolução 128/2006 do CONSEMA, mostrados na Tabela 3, o esgoto apenas com o tratamento no reator UASB demanda um pós-tratamento, para minimização das concentrações destes efluentes antes do lançamento em corpos d'água.



Tabela 3: Resultados (valores máximo e mínimo) durante o período onde os banhados receberam apenas esgoto tratado.

PARÂMETRO S	PADRÃO DE EMISSÃO (*)	ENTRADA	SAÍDAS			
			BH0	BH	BV0	BV
pH	6 a 9	6,2 / 7,3	7,0 / 7,9	6,7 / 7,1	6,8 / 7,2	6,7 / 7,4
NA (mg/L)	20	10 / 20	17 / 32	9 / 15	12 / 23	15 / 24
P (mg/L)	4	4 / 4	3 / 4	4 / 6	5 / 8	7 / 11
DQO (mg/L)	400	20 / 310	90 / 130	60 / 90	100 / 130	50 / 70

(*) Segundo Resolução 128/2006 do CONSEMA

A Figura 3 apresenta alguns resultados do acompanhamento fotográfico dos banhados no primeiro período.

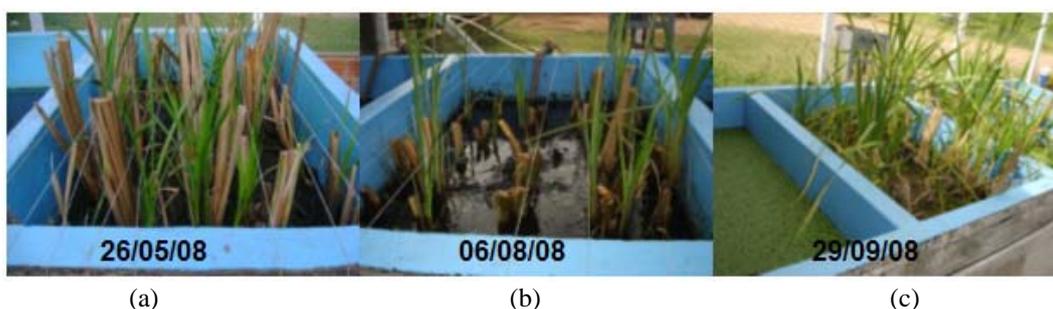


Figura 3: Acompanhamento da aclimação da fase inicial, apenas com esgoto doméstico tratado: (a) BH com 23 dias de tratamento; (b) BH com 64 dias de tratamento; (c) BH com 118 dias de tratamento.

A partir do mês de outubro, passou-se a misturar 0,5% de lixiviado de Aterro Sanitário ao esgoto previamente tratado na ETE. Na Tabela 4 são apresentados os resultados das análises realizadas.

Tabela 4: Resultados (valores máximo e mínimo) durante o período com 0,5% de lixiviado.

PARÂMETRO S	PADRÃO DE EMISSÃO (*)	ENTRADA	SAÍDAS		
			BH0	BH	BV
pH	6 a 9	6,2 / 7,3	7 / 7,9	6,7 / 7,1	6,7 / 7,4
NA (mg/L)	20	15 / 27	21 / 22	28 / 29	28 / 31
P (mg/L)	4	1 / 5	3 / 4	4 / 7	4 / 10
DQO (mg/L)	400	14 / 46	7 / 49	43 / 50	41 / 63

Obs.: O banhado BV0 foi abandonado devido a vazamento constante em sua estrutura.

Assim como no período apenas com esgoto, sem a mistura de lixiviado, os banhados ainda não se encontraram perfeitamente aclimatados. Percebe-se, ainda, que o solo utilizado para fixação das plantas, continuava influenciando nos resultados dos parâmetros, não demonstrando uma diferença significativa entre os resultados da entrada e da saída.

A Figura 4 apresenta o acompanhamento fotográfico do período.



(a)



(b)

Figura 4: Acompanhamento da aclimatação da fase com 0,5% de lixiviado: (a) BH0, BH e BV (da esquerda para a direita) com 1 dia de tratamento; (b) BH0, BH e BV (da esquerda para a direita) com 21 dias de tratamento

Percebe-se que as plantas não sofreram alterações, demonstrando que não foram prejudicadas pela adição de lixiviado ao esgoto. Estas permaneceram com a mesma coloração, crescendo normalmente e produzindo novos brotos.

A Tabela 5 indica o monitoramento do próximo período, com acréscimo de 1% de lixiviado. Antes dessa mudança operacional também se removeu o solo do BH0, sendo este totalmente refeito, preenchido apenas com brita 5.

Tabela 5: Resultados (valores máximo e mínimo) durante o período com 1% de lixiviado.

PARÂMETRO S	PADRÃO DE EMISSÃO (*)	ENTRADA	SAÍDAS		
			BH0	BH	BV
pH	6 a 9	7,4 / 7,7	7,1 / 7,2	6,6 / 6,9	6,6 / 6,7
NA (mg/L)	20	15 / 50	18 / 33	18 / 34	22 / 32
P (mg/L)	4	4 / 28	3 / 6	2 / 5	4 / 7
DQO (mg/L)	400	786 / 1742	31 / 41	24 / 62	24 / 71

Neste período destaca-se a grande diminuição da DQO de entrada em relação à saída, diferindo da concentração de 0,5% de lixiviado, onde os valores de entrada e saída apresentavam-se similares. Assim, começou-se a registrar remoção de DQO. A Figura 5 ilustra este período.



(a)



(b)

Figura 5: Acompanhamento da aclimatação da fase com 1% de lixiviado: (a) BH0, BH e BV (da esquerda para a direita) com 1 dia de tratamento; (b) BH0, BH e BV (da esquerda para a direita) com 21 dias de tratamento.



A quantidade de mudas e o tamanho das *Typhas* continuaram aumentando, não sofrendo qualquer prejuízo pelo acréscimo da quantidade de lixiviado.

O período de 01 de dezembro de 2008 à 11 de janeiro de 2009, com 2% de lixiviado, apresenta os resultados conforme Tabela 6.

Tabela 6: Resultados (valores máximo e mínimo) durante o período com 2% de lixiviado.

PARÂMETROS	PADRÃO DE EMISSÃO (*)	ENTRADA	SAÍDAS		
			BH0	BH	BV
pH	6 a 9	7,3 / 7,5	6,8 / 7,0	6,3 / 6,6	6,3 / 6,6
NA (mg/L)	20	10 / 57	8 / 31	7 / 29	11 / 33
P (mg/L)	4	2 / 4	1 / 5	1 / 2	2 / 4
DQO (mg/L)	400	60 / 105	12 / 74	58 / 87	78 / 114



(a)



(b)

Figura 6: Acompanhamento da aclimação da fase com 2% de lixiviado: (a) BH0, BH e BV (da esquerda para a direita) com 1 dia de tratamento; (b) BH0, BH e BV (da esquerda para a direita) com 12 dias de tratamento.

No dia primeiro de dezembro foi realizada uma poda das plantas, na tentativa de que elas passassem a absorver mais nutrientes para recuperar o seu tamanho original, removendo em maior quantidade o NA, P e DQO do efluente. Entretanto, percebe-se na Tabela 6 que este fato não ocorreu, pois os valores de saída permaneceram muito semelhantes aos valores de entrada.

Os resultados obtidos combinados com o período anterior, sem poda, levaram a considerar-se desnecessário este procedimento, inclusive porque em escala real as podas dificilmente irão acontecer.

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

As *Typha latifolia* demonstraram um bom condicionamento perante a exposição do efluente, não apresentando qualquer sintoma de deterioração através do acréscimo de lixiviado de Aterro Sanitário ao efluente depositado nos banhados. Este estudo será continuado, aumentando-se gradativamente a adição de lixiviado ao efluente, analisando-se semanalmente o efluente tratado, e monitorando-o por um tempo mais prolongado, para que este possa ser enquadrado nos limites estabelecidos pela Resolução 128/2006 do CONSEMA, de forma que possa ser lançado aos corpos hídricos.

A mistura paulatina de lixiviado com esgoto tratado até a concentração de 2% mostrou-se adequada para a aclimação das plantas. A pesquisa a partir deste ponto segue com concentrações geometricamente maiores até atingir-se 100% de lixiviado. A escolha das *Typhas* demonstrou bons resultados, até o momento com remoção de 49 e 42% de nitrogênio amoniacal para os banhados construídos horizontal e vertical, respectivamente. Em termos de remoção de fósforo os resultados ainda estão variando, talvez devido a própria utilização desse nutriente para o crescimento das raízes e flores das plantas, conforme Malavolta (1989).



REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL, M.S., MATOS, A.T., SOARES, A.A. Plantio e desempenho fenológico da Taboa (*Typha* SP.) utilizada no tratamento de esgoto doméstico em sistema alagado construído. *Revista eletrônica - Engenharia Sanitária e Ambiental* v.12, n.3, p. 266-272, jul./dez. 2007.
2. CASELLES-OSORIO, A., GARCIA, J. Performance of experimental horizontal subsurface flow constructed wetlands fed with dissolved or particulate organic matter. *Water Research* 40, p. 3603-3611, 2006.
3. CONSEMA, Conselho Estadual do Meio Ambiente. Resolução no 128/2006. Porto Alegre. 9p., 2006.
4. COOPER, P.F., FINDLATER, B.C. Constructed wetlands in water pollution control. International Association on Water Pollution Research and Control. Pergamon Press, Oxford, 1990.
5. FLECK, E. Sistema integrado por filtro anaeróbio, filtro biológico de baixa taxa e banhado construído aplicado ao tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Dissertação de Mestrado em Engenharia. Instituto de Pesquisas Hidráulicas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 323 p., 2003.
6. GOMES, L., GEHLING, G. Guia do Curso de Capacitação: Gestão Integrada de Resíduos Sólidos, ReCESA, 56p., 2007.
7. KISSMANN, K.G. Plantas infestantes e nocivas. 2 ed. v.1. São Paulo: BASF, p. 569-572, 1997.
8. MALAVOLTA, E. *Abc da Adubação*. 5 ed. São Paulo: Ed. Agronômica Ceres. 292p., 1989.
9. MANNARINO, C.F., FERREIRA, J.A., CAMPOS, J.C., RITTER, E. Wetlands para tratamento de lixiviados de aterros sanitário: experiências no aterro sanitário de Piraf e no aterro metropolitano de Gramacho (RJ). *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Rio de Janeiro, v.11, n.2, p.108-112, abr./jun. 2006.
10. MEIRA, C.M.B.S., CEBALLOS, B.S.O., SOUSA, J.T., KONIG, A. Wetlands vegetados no polimento de águas superficiais poluídas: primeiros resultados. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001.
11. SCHIMANKO, H. Sistemas de Tratamento do Lixiviado de Aterro Sanitário. Monografia de Conclusão de graduação em Engenharia Civil. Faculdade de Engenharia Civil, Universidade de Santa Maria, 44p., 2008.
12. TONIATO, J.V., ROQUE, O.C.C, KACZALA, F., NASCIMENTO, V.B., ROQUE, D.C. Avaliação de um wetland construído no tratamento de efluentes sépticos. 23º Congresso Associação Brasileira de Engenharia Sanitária, 2005.
13. VALENTIM, M.A.A. Desempenho de leitos cultivados (“constructed wetland”) para tratamento de esgoto: contribuições para concepção e operação. Tese de Doutorado em Engenharia Agrícola. Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, 233 p., 2003.