

II-142 – SISTEMA HÍBRIDO DE *WETLANDS* CONSTRUÍDOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE DE TANQUE SÉPTICO

Victória Regina Celso Monteiro ⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Estadual do Centro-Oeste (UNICENTRO). Mestranda em Engenharia Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Bolsista CAPES.

Pablo Heleno Sezerino

Doutor em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professor adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da (UFSC).

Carla Suntti

Engenheira Ambiental pela Universidade do Contestado (Campus Caçador). Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC. Professora da Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC) Campus de Videira/SC.

Dirceu Scaratti

Doutor em Engenharia de Produção pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Professor da Universidade do Oeste de Santa Catarina (UNOESC).

Luiz Sérgio Philippi

Doutor em Saneamento Ambiental pela Université de Montpellier I (França). Pós-doutorado pela Université de Montpellier II (França). Professor Voluntário do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC).

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campus Universitário Reitor João David Ferreira Lima - Sala 62 - Trindade - Florianópolis - SC - CEP: 88040-900 - Brasil - Tel: (48) 3721-7696 - e-mail: vicregina@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho apresenta a eficiência de *wetlands* construídos empregados no tratamento complementar de efluente de tanque séptico. O sistema em estudo é composto por um tanque séptico (TS) com volume de 13m³, seguido de um *wetland* construído de fluxo vertical (WCFV) com 70m² de área superficial e um *wetland* construído de fluxo horizontal (WCFH) com 50m² de área superficial, denominados de sistema híbrido, com disposição do efluente final por infiltração no terreno. A configuração TS seguido de WCFV e WCFH vem sendo monitorada e avaliada desde o ano de 2009, por meio de aferição de vazão afluente e amostragens pontuais seguidas de análises laboratoriais por meio dos parâmetros: pH, SS, DQO, NH₃, PO₄³⁻ e coliformes fecais. Com o monitoramento do volume de esgoto afluente obtém-se uma relação média de 5,17 m²/pessoa para o WCFV e de 3,69 m²/pessoa para o WCFH. Com o monitoramento realizado entre os anos de 2009 a 2012 obteve-se uma performance média de eficiência do sistema híbrido de *wetlands* construídos empregados no tratamento complementar de efluente de TS de 93% de DQO, 67% de SS, 81% de NH₃, 86% de PO₄³⁻ e redução de 2,2 unidades logarítmicas em termos de coliformes fecais.

PALAVRAS-CHAVE: Tanque Séptico, *Wetlands* Construídos, Sistema Híbrido.

INTRODUÇÃO

A tecnologia de tratamento de águas residuárias conhecida como sistemas *wetlands* construídos foi inicialmente empregada na Alemanha por Käthe Seidel do Instituto Max Planck em meados de 1950, para a remoção de fenol e na redução da carga orgânica de efluente de laticínio (KADLEC; KNIGHT, 1996). Ao longo dos anos de 1950 a 1970, inúmeros experimentos foram desenvolvidos pela pesquisadora Seidel, destacando-se aqueles conduzidos com intuito de melhorar a qualidade de efluentes de tanques sépticos empregados no tratamento descentralizados de esgotos. No Brasil as experiências intensificaram-se a partir do ano de 2000, com aplicações de sistemas *wetlands* construídos para o tratamento de diferentes águas residuárias, distribuídas ao longo de todo o território nacional, sob diferentes formas e arranjos, com diferentes materiais filtrantes e macrófitas empregadas.

Os *wetlands* construídos são capazes de promover a depuração de águas residuárias de maneira simples e economicamente atrativa, através de uma combinação de processos físicos, químicos e biológicos que incluem

sedimentação, precipitação, adsorção às partículas do solo, assimilação pelos tecidos das macrófitas e transformações microbiológicas (VYMAZAL; KROPFELOVÁ, 2008). Destacam-se, pois se apresentam como uma alternativa para o tratamento descentralizado de esgotos, inclusive no tratamento secundário e terciário de efluentes de tanques sépticos (PHILIPPI et al., 1999).

Atualmente diversos tipos de *wetlands* construídos têm sido implantados. Estes podem ser classificados como *wetlands* de escoamento superficial, *wetlands* de escoamento subsuperficial, que se subdividem em fluxo vertical e horizontal e, ainda, os sistemas híbridos, que são a combinação de duas unidades (Figura 1). Neste trabalho considerou-se como sistema híbrido a sequência de *wetland* construído de fluxo vertical (WCFV) seguido de *wetland* construído de fluxo horizontal (WCFH).

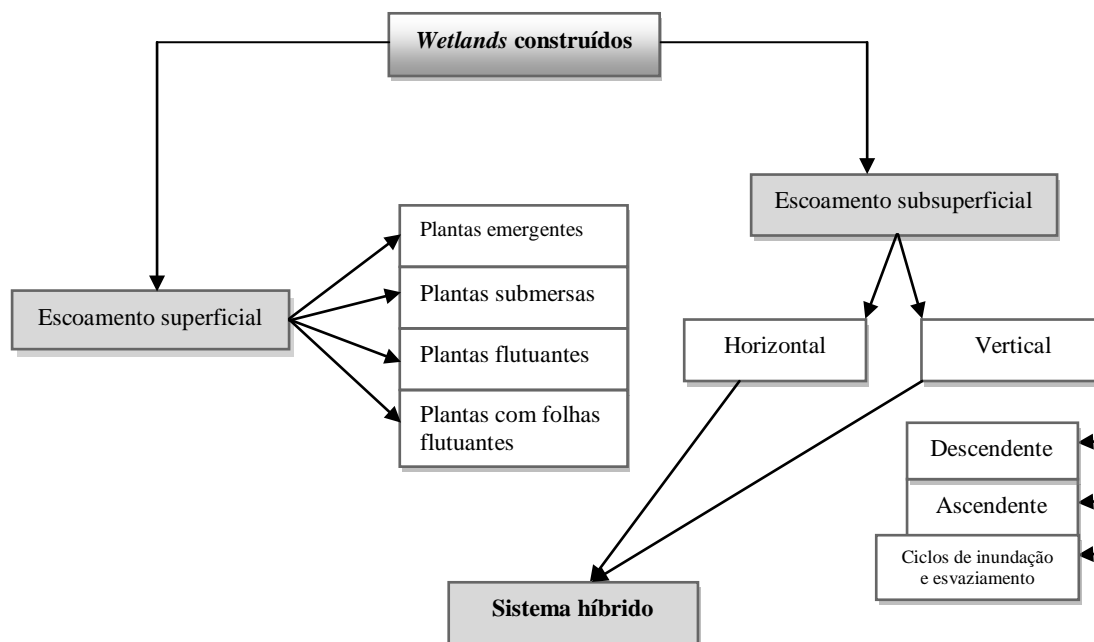


Figura 1. Variações dos sistemas de *wetlands* construídos.
Adaptado de Vymazal; Kropfelová, (2008).

Combinando-se as características individuais de cada *wetland* construído pode-se obter maior eficiência no tratamento, principalmente em relação à remoção de material carbonáceo, sólidos em suspensão e na transformação de nitrogênio (VYMAZAL; KROPFELOVÁ, 2008; KADLEC; WALLACE, 2009).

Este trabalho objetiva o monitoramento e avaliação da eficiência de um sistema híbrido composto por um WCFV seguido de um WCFH, aplicados no pós-tratamento de efluente de tanque séptico.

MATERIAIS E MÉTODOS

Esta pesquisa foi desenvolvida no Centro de Treinamento (CETREVI) da Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI, localizada na cidade de Videira – SC (latitude 27°00'30", longitude 51°09'06" e altitude de 750 m acima do nível do mar), com temperatura média anual de 17 °C.

CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA

O sistema de tratamento foi implantado em 2009, e é composto por um tanque séptico (TS) com volume de 13m³, seguido de WCFV com 70m² de área superficial e um WCFH com 50m² de área superficial, denominados de sistema híbrido, com disposição do efluente final por infiltração no terreno (Figura 2). Os *wetlands* construídos foram projetados para atender a máxima capacidade de geração de efluente do CETREVI, a qual foi: 50 pessoas nos leitos e 70 refeições diárias, gerando uma vazão de esgotos estimada em 8.500 L/dia.

O TS recebe por gravidade os efluentes do centro de treinamento, e este é então encaminhado também por gravidade a um reservatório de 2000 litros (Equalização - Figura 2), o qual possui uma bomba centrífuga monofásica acoplada que promove a alimentação intermitente do WCFV. O efluente do WCFV segue novamente por gravidade ao WCFH e então à disposição final.



Figura 2. Unidades de tratamento e pontos de amostragem (P1, P2 e P3) do CETREVI.

MATERIAL FILTRANTE

Inicialmente, o WCFV e o WCFH receberam uma camada suporte de 20 cm de brita nº 01, objetivando a proteção da tubulação de drenagem, em seguida foi inserida uma camada 30 cm de areia grossa, e na parte superior foi adicionada mais uma camada de brita nº 01, agora de 10 cm, com finalidade de proteção ao leito de areia e melhor distribuição do efluente. Os leitos de ambos os *wetlands* constituíram-se de areia de diâmetro efetivo (d_{10}) de 0,75 mm e coeficiente de uniformidade de 4,7, determinados através da curva granulométrica (Figura 3).

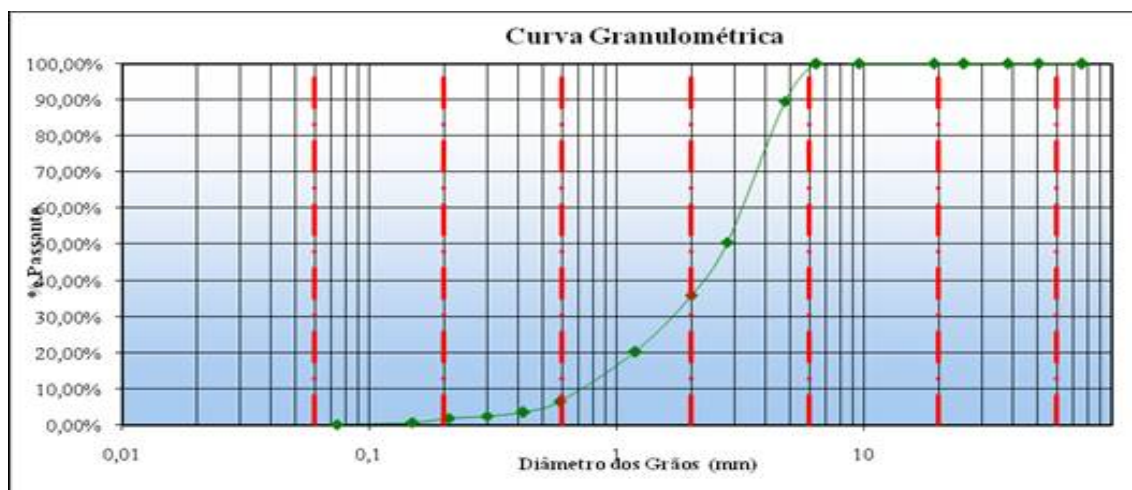


Figura 3. Curva granulométrica da areia utilizada como material filtrante no WCFV e WCFH.

MACRÓFITAS

Foram utilizadas as macrófitas do gênero *Typha sp*, planta popularmente conhecida como Taboa. Estas foram retiradas do seu habitat natural e transplantadas aos leitos dos *wetlands* com densidade de 3,5 mudas/m², como

pode ser visualizado na Figura 4. As mudas tiveram sua parte aérea retirada, sendo mantida a matéria orgânica presente nas raízes, a fim de melhorar a adaptação da planta ao meio filtrante.



Figura 4. Detalhe da retirada das macrófitas de seu habitat natural e o transplante para o leito do WCFV. Fonte: PELISSARI (2010).

PARÂMETROS E AMOSTRAGENS

As coletas de amostras e análises laboratoriais foram realizadas ao longo dos anos de 2009, 2010, 2011 e 2012. Os locais de amostragem foram três (Figura 2): efluente do tanque séptico (Ponto 1), efluente do WCFV (Ponto 2) e efluente do WCFH (Ponto 3). Os parâmetros avaliados foram: pH, sólidos suspensos (SS), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal (NH_3), fósforo ortofosfato (PO_4^{3-}) e coliformes fecais, realizados de acordo com APHA (2005).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados obtidos com o monitoramento do sistema (Tabela 1) estão expressos nas médias das concentrações residuais de cada etapa, para todos os parâmetros avaliados.

Tabela 1. Médias das concentrações efluentes avaliados em cada unidade estudada ao longo do período de 2009 a 2012.

Médias		2009	2010	2011	2012
pH	TS	6,67	6,76	6,43	6,76
	WCFV	6,89	7,00	6,56	7,03
	WCFH	6,43	6,76	6,44	6,77
SS (mg/L)	TS	82,61	64,75	120,68	35,00
	WCFV	38,08	24,00	12,98	40,00
	WCFH	44,40	10,40	12,18	18,00
DQO (mg/L)	TS	366,94	536,21	487,45	438,79
	WCFV	81,66	126,79	61,27	125,64
	WCFH	24,11	34,13	18,00	48,21
NH_3 (mg/L)	TS	55,09	48,04	41,71	55,77
	WCFV	28,28	19,71	12,30	24,39
	WCFH	6,20	15,32	8,86	6,24
PO_4^{3-} (mg/L)	TS	13,38	23,35	20,91	36,26
	WCFV	2,24	4,24	2,30	16,84
	WCFH	4,47	0,92	0,67	5,23
Coliformes Fecais (NMP/100mL)	TS	2,42E+06	1,44E+06	2,53E+06	3,48E+06
	WCFV	3,08E+05	1,93E+05	1,21E+05	1,25E+06
	WCFH	2,00E+05	1,20E+04	2,54E+04	4,15E+02

Em relação ao parâmetro DQO, obteve-se média de remoção global do sistema híbrido variando de 89% a 96%. Salienta-se que após o segundo ano de operação, atingiu-se 96% de eficiência. Estes dados corroboram com aplicações similares apresentados na literatura, Vera et al. (2012), em um sistema combinando tanque séptico, tanque Imhoff, dois *wetlands* verticais em paralelo e um horizontal na sequência, obtiveram remoção total de 89% para DQO.

Masi e Martinuzzi (2007) estudaram um sistema também de tratamento primário seguido de *wetland* horizontal e vertical, o qual possui a característica de flutuação de vazão afluente semelhante ao que ocorre neste trabalho, por se tratar de efluente proveniente de um hotel, e obtiveram 94% de remoção para DQO. Abidi et. al (2009) também obtiveram remoções maiores que 90% em um sistema híbrido de *wetland* vertical seguido de horizontal em escala piloto.

Para os SS obteve-se 67% de remoção média global. Masi e Martinuzzi (2007) alcançaram 94% para este parâmetro. Vale destacar que o acúmulo de sólidos suspensos no material filtrante é um dos fatores de colmatção de leito em *wetlands* e por isso é importante que uma fração significativa dos sólidos seja removida pelo tratamento primário (tanque séptico), prolongando a vida útil do *wetland*.

Para os coliformes fecais, obteve-se uma média de remoção global de 2,2 unidades logarítmicas, Abidi et. al (2009) também alcançaram remoções máximas de 2 unidades logarítmicas para este parâmetro. De acordo com Sezerino et al. (2012) este valor pode ser considerado baixo, porém deve ser levado em consideração o fato dos efluentes apresentarem como disposição final a infiltração no terreno, processo que promove o decaimento da concentração de coliformes devido aos processos de filtração e predação por outros micro-organismos que ocorrem no solo.

Na figura 5 podem ser verificadas as porcentagens de remoção médias para nitrogênio amoniacal e fósforo ortofosfato obtidas durante os anos de monitoramento. Pode-se observar que a remoção global de nitrogênio amoniacal máxima foi de 88% no ano de 2012, e a remoção média foi de 81%. Tal remoção pode estar associada à assimilação do nitrogênio pelas plantas e ainda à adsorção pelo material filtrante, alguns dos mecanismos pelos quais o nitrogênio pode ser removido do sistema, uma vez que não foi verificada a ocorrência da nitrificação. Vera et al. (2012) obtiveram remoção de somente 48% e Masi e Martinuzzi (2007) alcançaram 86%.

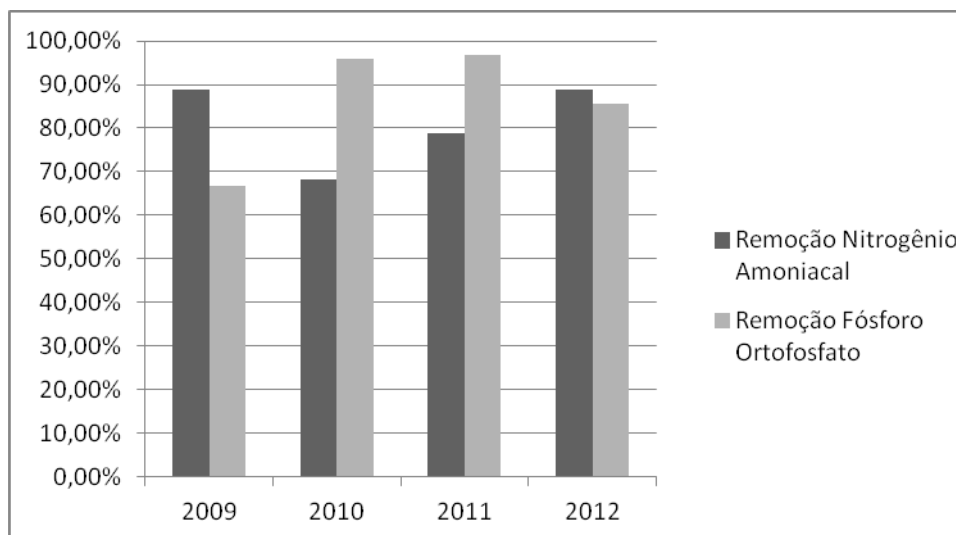


Figura 5. Remoções médias de nitrogênio amoniacal e fósforo ortofosfato alcançadas pelo sistema híbrido durante os anos de monitoramento.

Com relação ao ortofosfato, obteve-se média de remoção global de 86%, Masi e Martinuzzi (2007), alcançaram 94% de remoção para o fósforo total. Wen et al. (2011) obtiveram remoções de 93,4% a 98,3% em sistemas de *wetlands* horizontais seguido de verticais, os autores destacam que a assimilação pelas plantas é uma importante via para a remoção de fósforo em sistemas híbridos de *wetlands* construídos, e essa absorção pode variar de acordo com a espécie de macrófita utilizada e também com as estações do ano. Além disso, o fósforo pode ser removido através da absorção e adsorção pelo material filtrante.

O volume de esgotos na entrada do tanque séptico também vem sendo monitorado, de acordo com o número de visitantes mensais no centro de treinamento. Para tal monitoramento considera-se um consumo de 120 L/dia para alojamento e 70L/dia para visitante que não permaneça no alojamento. Dividindo-se as médias obtidas por 30 dias, obtém-se a vazão em litros por dia. Através da Figura 6 constata-se que as vazões médias se encontram principalmente entre 1000 e 2500 L/d, excluindo-se os meses de janeiro, onde o centro de treinamento praticamente não recebe visitantes. Este valor pode ser considerado baixo se comparado aos parâmetros de dimensionamento do sistema.

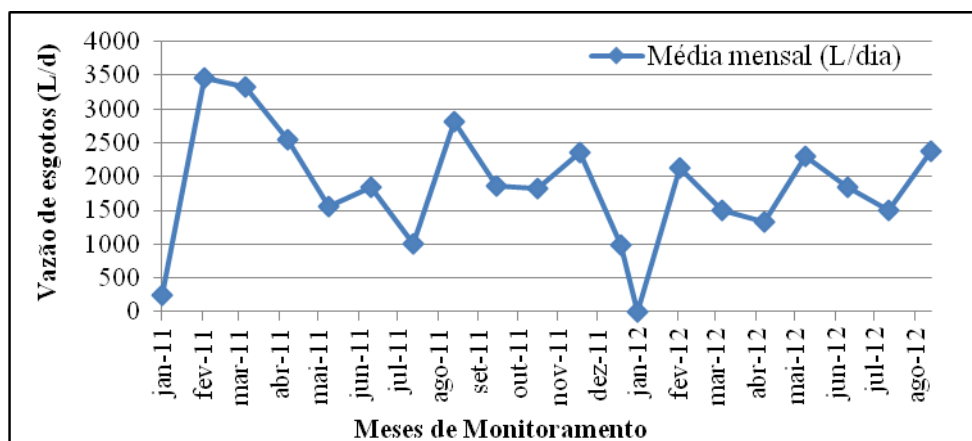


Figura 6. Médias das vazões de esgotos em L/d dos meses de janeiro de 2011 a agosto de 2012.

Calculando-se a média de vazão dos meses monitorados (valor obtido de 2.029 L/d), e dividindo-se pela taxa de contribuição de esgoto adotada em 150L/pessoa.dia, encontram-se cerca de 14 pessoas, desta forma é possível estimar a demanda de área dos *wetlands* por pessoa. Possuindo o *wetland* vertical 70 m² e o horizontal 50 m², obtém-se uma taxa de 5,17 m²/pessoa para o vertical e 3,69 m²/pessoa para o horizontal. Singha et al. (2009) estudaram a combinação de dois *wetlands* horizontais (totalizando 150 m²) seguidos de dois verticais (também totalizando 150 m²) onde adotaram a mesma produção de 150L/pessoa.dia, obtendo uma área de 2,25 m²/pessoa tanto para os verticais quanto para os horizontais, considerando-se a vazão média indicada pelos autores de 10.000 L/d.

A média de vazão apontada por Masi e Martinuzzi (2007) no hotel é de 25.000 L/d, e a faixa de consumo per capita para hotéis pode ser adotada em 705 L/pessoa.dia (TOMAZ, 2000), assim, obtém-se valores próximos aos obtidos para este trabalho, 4,5 m²/pessoa para o *wetland* horizontal e 5,07 m²/pessoa para o vertical.

Com o passar dos anos, pôde ser observado uma melhoria do sistema em alguns parâmetros devido a melhor adaptação dos *wetlands* como um todo. Philippi et al., (2006) relatam um aumento de 57% para 98% na remoção de DQO em um *wetland* com 12 anos de operação, os autores justificam este fato observando que quando a macrófita atinge a fase de maturação, o sistema alcança completamente seu objetivo. Vera et. al (2012) também constataram uma melhora na qualidade do efluente em um sistema híbrido, especialmente no segundo ano de operação, segundo tal trabalho, essa tendência pode ser devido a manutenção frequente, performance do tratamento primário, além da adaptação progressiva do substrato.

CONCLUSÕES

Através dos resultados obtidos constata-se que o sistema híbrido apresenta bons resultados quando aplicado ao tratamento de esgoto sanitário proveniente de tanque séptico, apresentando remoções médias globais de 67% para sólidos suspensos, 93% para DQO, 81% para nitrogênio amoniacal (N-NH₃), 86% para fósforo ortofosfato (P-PO₄³⁻) e 2,2 unidades logarítmicas para coliformes fecais.

A área dos *wetlands* por pessoa neste sistema é 5,17m²/pessoa para o sistema vertical e 3,69m²/pessoa para o sistema horizontal, valores que podem ser considerados próximos aos calculados para sistemas da literatura.

Observa-se ainda uma melhoria na performance do sistema com o passar dos anos, a qual pode ser justificada através da adaptação do *wetland* e das plantas aliada a um bom gerenciamento do sistema em geral.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABIDI, S. KALALLI, H.; JEDIDI, N.; BOUZAIANE, O.; HASSEN, A. Comparative pilot study of the performances of two constructed wetland wastewater treatment hybrid systems. *Desalination*, v. 246, n. 1-3, p. 370-377, set. 2009.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21th. ed. Washington. D.C.: APHA-AWWA-WEF, 2005.
3. KADLEC R.H., KNIGHT R.L. *Treatment Wetlands*. First Edition, CRC Press: Boca Raton, Florida, 1996.
4. KADLEC, R.H., WALLACE, S.D. *Treatment Wetlands*. Taylor & Francis Group, LLC, Segunda Edição, 2009.
5. MASI, F.; MARTINUZZI, N. Constructed wetlands for the Mediterranean countries: hybrid systems for water reuse and sustainable sanitation. *Desalination*, v. 215, n. 1-3, p. 44-55, set. 2007.
6. PELISSARI, C. Potencialidade dos Filtros Plantados com Macrófitas (*wetlands* construídos) de fluxo vertical e horizontal para o tratamento de esgoto doméstico – Implantação e Monitoramento da Fase Inicial de Operação. Trabalho de Conclusão de Curso. Biotecnologia Industrial, Universidade do Oeste de Santa Catarina, Videira, 2010.
7. PHILIPPI, L. S.; COSTA, R. H. R.; SEZERINO, P. H. Domestic effluent treatment through integrated system of septic tank and root zone. *Water Science and Technology*, v. 40, n. 3, pp. 125-131, 1999.
8. PHILIPPI, L. S.; SEZERINO, P. H.; PANCERI, B.; OLIJNYK, D. P.; KOSSATZ, B. Root Zone System to Treat Wastewater in Rural Areas in South of Brazil. In: 10th INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL. Pág 901-908, Lisbon, Portugal, 2006.
9. SEZERINO, P. H., BENTO, A. P.; PELISSARI, C.; SUNTTI, C.; TREIN, C. M.; SCARATTI, D.; MAGRI, M. E.; PHILIPPI, L.S. Two different layouts of constructed wetlands applied as decentralized wastewater treatment in southern brazil. 13th INTERNATIONAL CONFERENCE ON WETLAND SYSTEMS FOR WATER POLLUTION CONTROL. Perth, Western Australia: IWA - International Water Association, 2012.
10. SINGHA, S.; HABERL, R.; MOOGB, O. et al. Performance of an anaerobic baffled reactor and hybrid constructed wetland treating high-strength wastewater in Nepal - A model for DEWATS. *Ecological Engineering*, v. 35, p. 654-660, 2009.
11. TOMAZ, P. *Previsão de Consumo de Água – Interface das Instalações Prediais de Água e Esgoto com os Serviços Públicos*. 250p. Navegar Editora, 2000.
12. VERA, L., MARTEL, G.; MÁRQUEZ, M. Two years monitoring of the natural system for wastewater reclamation in Santa Lucía, Gran Canaria Island. *Ecological Engineering*, 2012.
13. VYMAZAL, J., KRÖFELOVÁ, L. *Wastewater Treatment in Constructed Wetlands with Horizontal Sub-Surface Flow*. Vol 14. Editora Springer, 2008.
14. VYMAZAL, J. Horizontal sub-surface flow and hybrid constructed wetlands systems for wastewater treatment. *Ecological Engineering*, p. 478-490, 2005.
15. WEN, L.; HUA, C. L.; PING, Z. Y.; XIANG, L. Z. Removal of Total Phosphorus From Septic Tank Effluent by the Hybrid Constructed Wetland System. *Procedia Environmental Sciences*, v. 10, p. 2102-2107, 2011.