

II-101 - WETLAND CONSTRUÍDO PLANTADO COM *Heliconia psittacorum* PARA TRATAMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO: INÍCIO DE OPERAÇÃO

Samara Terezinha Decezaro⁽¹⁾

Engenheira Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Mestre em Engenharia Civil – Área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela UFSM. Doutoranda em Engenharia Civil – Área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental na UFSM.

Delmira Beatriz Wolff

Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Engenharia Ambiental pela UFSC. Doutora em Engenharia Ambiental pela UFSC. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Ronaldo Kanopf de Araújo

Engenheiro Ambiental pelo Centro Universitário Franciscano. Mestre em Engenharia Civil – Área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal de Santa Maria (UFSM). Doutorando em Engenharia Civil – Área de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental na UFSM.

Daniele Damasceno Silveira

Bióloga pela Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões (Santiago/RS). Doutora em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Bolsista de Desenvolvimento Tecnológico Industrial B na UFSC.

Henrique Baldi Faccenda

Graduando em Engenharia Sanitária e Ambiental na Universidade Federal de Santa Maria (UFSM).

Endereço⁽¹⁾: Avenida Roraima, 1000 – Prédio 10, CTLAB, 2º andar, sala 548 – Santa Maria - RS - CEP: 97105-900 - Brasil - Tel: (55) 99824108 - e-mail: samaradecezaro@hotmail.com

RESUMO

Este trabalho objetiva avaliar a remoção de matéria orgânica carbonácea, de sólidos e a nitrificação no período inicial de operação de um *wetland* construído de fluxo vertical (WCFV) plantado com *Heliconia psittacorum*, aplicado ao tratamento de esgoto doméstico. O sistema de tratamento estudado é composto por: (i) tratamento primário por tanque séptico (TS), com volume útil de 3,39 m³ e; (ii) tratamento secundário e avançado por WCFV (24,5 m² de área superficial, preenchido com brita 1 e brita 2 e plantado com *Heliconia psittacorum* numa densidade de 7,7 mudas/m²). Durante o período de monitoramento, que compreendeu os 4 (quatro) primeiros meses de operação, o sistema de tratamento recebeu uma vazão média de 1.283 L/d. O WCFV foi operado de forma intermitente, por meio de 4 pulsos por dia (média de 375 L cada pulso), sendo a taxa de aplicação hidráulica média de 52,38 mm/d. Quanto ao desempenho do sistema experimental, o tanque séptico apresentou eficiências de remoção médias de 29%, 46% e 31% para DQO, DBO e SS, respectivamente. Já o WCFV, submetido a carregamentos de 30,58 g DQO/m².d, 14,54 g DBO/m².d, 13,11 g SS/m².d e 3,92 g N-NH₄⁺/m².d, apresentou eficiências de remoção médias de 40%, 40% e 32% para DQO, DBO e SS, respectivamente, e 44% de conversão de N-NH₄⁺, sendo que a nitrificação foi evidenciada após 55 dias do início de operação. A *Heliconia psittacorum* teve um bom desenvolvimento no WCFV e as condições operacionais com as quais se trabalhou possibilitaram a adaptação dos micro-organismos do sistema experimental (TS + WCFV) ao tratamento de esgoto doméstico.

PALAVRAS-CHAVE: *Wetlands* construídos, início de operação, *Heliconia psittacorum*, esgoto doméstico.

INTRODUÇÃO

Os *wetlands* construídos (WC) são uma alternativa de baixo custo em relação às estações de tratamento de esgotos convencionais, especialmente no contexto de pequenas comunidades com equivalente populacional de menos de 2000 habitantes (PUIGAGUT et al., 2007). Esses sistemas podem ser empregados no tratamento complementar de efluentes anaeróbios, tais como os oriundos de tanques sépticos, no âmbito do tratamento descentralizado de esgotos. Das diversas configurações existentes de WC, destacam-se os *wetlands* construídos de fluxo vertical (WCFV). Dentre as vantagens dos WCFV, estão a elevada remoção de matéria orgânica carbonácea e de sólidos dos esgotos, além de boa nitrificação (SAEED e SUN, 2012).

Os WCFV são projetados para operar com fluxo intermitente, o que intensifica a entrada de oxigênio atmosférico para o material filtrante. Dessa forma, são estabelecidas as condições para que ocorra a remoção aeróbia de matéria orgânica e a nitrificação.

As primeiras investigações a respeito do tratamento de águas residuárias utilizando WCFV foram conduzidas na década de 1960 pelos pesquisadores alemães Seidel e Kickuth, com foco em efluentes das usinas de processamento de leite e na remoção de fenóis (KADLEC e KNIGHT, 1996; BOON, 1995 apud CONLEY et al., 1991). Em diversos países da Europa, a utilização de sistemas *wetlands* no tratamento de águas residuárias é bem consolidada. No Brasil, entretanto, esses sistemas ainda são pouco utilizados. Em nível de pesquisa no país, existem trabalhos sobre WCFV aplicados no pós-tratamento de esgotos sanitários, destacando-se as realizadas por Sezerino et al. (2008), Platzer et al. (2007) e Olijnyk (2008). Esses trabalhos apresentam os parâmetros físicos, os critérios de projeto e operacionais adotados em WCFV, utilizando areia como material filtrante. Contudo, ainda não há no país o estabelecimento desses parâmetros e critérios para WCFV preenchidos com brita, plantados com *Heliconia* sp. e aplicados no tratamento secundário e avançado de esgoto doméstico.

Diante disso, neste trabalho tem-se como objetivo avaliar a remoção de matéria orgânica carbonácea, de sólidos e a nitrificação no período inicial de operação de um *wetland* construído de fluxo vertical plantado com *Heliconia psittacorum* aplicado ao tratamento de esgoto doméstico.

MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho é parte integrante de um projeto de pesquisa financiado pela Financiadora de Estudos e Projetos (FINEP), denominado RENTED – Rede Nacional de Tratamento de Esgotos Descentralizados. A rede foi criada pela Chamada pública MCT/MCIDADES/FINEP/Ação Transversal – Saneamento Ambiental e Habitação – 06/10.

O estudo está sendo desenvolvido numa Estação de Tratamento de Efluentes – ETE destinada ao tratamento de parte dos esgotos domésticos gerados na Casa do Estudante Universitário da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM), município de Santa Maria, Rio Grande do Sul. O sistema (Figura 1) é composto por: (i) tratamento primário por tanque séptico (TS), com volume útil de 3,39 m³ e; (ii) tratamento secundário por *wetland* construído de fluxo vertical (WCFV), com 24,5 m² de área superficial (comprimento = 7 m; largura = 3,5 m; altura da camada filtrante = 0,75 m), alimentado de forma intermitente, por meio de 4 pulsos por dia (média de 375 L cada pulso). A vazão de projeto foi de 1.500 L/d, equivalente a 10 habitantes.

O material escolhido para preenchimento do WCFV foi brita lavada, sendo brita 2 no fundo e também na camada superior, e brita 1 ($d_{10}=9,5$; $d_{30}=12,5$; $d_{60}=15$ mm; coeficiente de uniformidade, $U = 1,58$) na camada intermediária do WCFV. O ensaio granulométrico da brita 1 foi realizado de acordo com a NBR 7.217 (ABNT, 1987).

A macrófita escolhida para transplântio no WCFV foi a planta ornamental *Heliconia psittacorum*. As macrófitas foram transplantadas diretamente no material filtrante do WCFV, depois de decorridos 23 dias do início de operação (03/10/2015), numa densidade de 7,7 mudas/m². As mudas utilizadas apresentavam tamanho entre 30 a 50 cm de altura e já continham inflorescências.

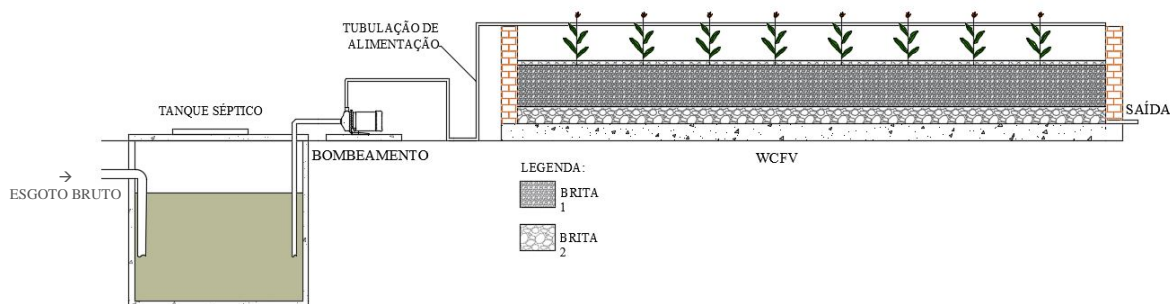


Figura 1: Corte longitudinal representando a estação de tratamento experimental

O tanque séptico (TS) não recebeu inóculo com lodo anaeróbio, tampouco o material filtrante (brita) foi inoculado com lodo aeróbio, com bactérias nitrificantes. Na partida operacional, etapa que compreende o presente estudo, o objetivo foi dar condições para o estabelecimento do tratamento anaeróbio no TS e para o desenvolvimento do biofilme e das plantas no WCFV.

Foram realizadas amostragens simples, no período de setembro a dezembro de 2015, em três pontos: Ponto 1: Efluente bruto; Ponto 2: Efluente do tanque séptico; Ponto 3: Efluente do WCFV. As análises físico-químicas foram realizadas com base no *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012). No quadro 1 estão descritos os métodos das análises e os respectivos códigos/referências conforme o *Standard Methods*.

Parâmetro	Método	Código (APHA, 2012)
Sólidos em suspensão (SS)	Gravimétrico	2540 D
Sólidos totais (ST)	Gravimétrico	2540 B
Sólidos sedimentáveis (SSd)	Volumétrico	2540 F
Demanda bioquímica de oxigênio total (DBO _{5,20})	Respirométrico - manométrico	5210 D
Demanda química de oxigênio total (DQO)	Refluxo fechado - colorimétrico	5220 D
Nitrogênio amoniacal (N-NH ₄ ⁺)	Destilação e titulometria	4500-NH ₃ B.; 4500-NH ₃ C.
Nitrogênio nitrito (N-NO ₂ ⁻)	Cromatografia iônica	4110 B
Nitrogênio nitrato (N-NO ₃ ⁻)	Cromatografia iônica	4110 B

Quadro 1: Parâmetros monitorados e os respectivos métodos utilizados nas análises físico-químicas.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Durante o período de monitoramento (set.– dez./2015), a ETE experimental foi operada com vazão média de 1.283 L/d, com taxa de aplicação hidráulica (TAH) média no WCFV de 52,38 mm/d. O esgoto bruto afluente à ETE foi caracterizado como forte, segundo as faixas estabelecidas por Metcalf e Eddy (2003), apresentando concentrações médias superiores a 350 mg/L para DBO, 800 mg/L para DQO e superior a 400 mg/L para SS. Na tabela 1 estão apresentadas as concentrações médias e os desvios padrão dos parâmetros monitorados no esgoto bruto e nos efluentes das unidades de tratamento.

Tabela 1: Concentrações de matéria orgânica carbonácea, de sólidos e de nitrogênio no esgoto bruto (EB), no efluente do tanque séptico (TS) e no efluente do WCFV.

Parâmetro*	EB		TS		WCFV	
	Média	DP	Média	DP	Média	DP
SS	705	480	250	108	141	81
ST	1092	384	735	102	737	71
SSd	10	9	2,32	2,26	-	-
DBO _{5,20}	608	287	278	129	149	38
DQO	977	423	584	209	322	70
N-NH ₄ ⁺	66	9	75	11	42	7
N-NO ₂ ⁻	-	-	-	-	1,67	1,33
N-NO ₃ ⁻	-	-	0,65	0,36	8,33	7,65

*Unidades em mg/L, com exceção de sólidos sedimentáveis (SSd), cuja unidade é mL/L.

Remoção de matéria orgânica carbonácea – DQO e DBO

Na figura 2 são mostradas as concentrações de DQO e de DBO no esgoto bruto (EB) e nos efluentes das unidades de tratamento (TS e WCFV). Durante o período de monitoramento, as concentrações de DQO no esgoto bruto tiveram grande variação (elevado desvio padrão), com média 977 mg/L. No TS, a concentração média efluente de DQO foi de 584 mg/L, sendo que esta unidade apresentou eficiência de remoção média de 29% para este parâmetro. No WCFV, aplicando cargas de 30,58 g DQO/m².d, a eficiência de remoção média de DQO foi de 40%, com concentração efluente média de 322 mg/L. Nas três primeiras amostragens, a remoção de DQO no WCFV ficou em torno de 60%. Nesse período, a maior parte da DQO afluente pode ter sido removida pelo mecanismo de filtração no material de recheio do WCFV, sendo que neste período, constatou-se no afluente dessa unidade, elevada concentração de matéria orgânica em termos de DQO e também de sólidos em suspensão.

Quanto à DBO, as concentrações afluentes à estação experimental foram em média 608 mg/L. O TS apresentou em média eficiências de remoção de DBO de 46%, sendo 278 mg/L a concentração média efluente. Quanto ao WCFV, a média das eficiências de remoção de DBO foi de 40%, quando o mesmo recebeu em média uma carga de 14,54 g DBO/m².d.

As baixas eficiências do WCFV para remoção de matéria orgânica carbonácea no período de estudo podem estar relacionadas ao fato do biofilme estar ainda no início do desenvolvimento. Contudo, o sistema experimental atendeu, na maioria das amostragens realizadas, concentrações de matéria orgânica carbonácea no efluente final em concordância com os padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA n° 430/2011, em nível federal, e CONSEMA n° 128/2006, para o Estado do Rio Grande do Sul. A primeira, estabelece padrão de 120 mg/L para DBO ou remoção mínima de 60%. Já a segunda, estabelece que efluentes domésticos somente podem ser lançados nos corpos d'água do Rio Grande do Sul respeitando os padrões de 180 mg/L para DBO e 400 mg/L para DQO (na faixa de vazão < 20 m³/d).

Constatou-se que em média, nos primeiros quatro meses de operação, com cargas afluentes médias de 1,25 Kg DQO/d e 0,78 Kg DBO/d, o sistema experimental (TS + WCFV) apresentou eficiência de remoção de 63% para DQO e de 72% para DBO. A remoção de DQO obtida no sistema experimental enquadra-se dentro da faixa de remoção esperada para um conjunto de tanque séptico + vala de infiltração ou um conjunto de tanque séptico + filtro de areia. Segundo a NBR 13.969/1997 (ABNT, 1997), nesses conjuntos, a faixa provável de remoção de DQO é de 40 a 75%. Quanto à DBO, de acordo com a NBR 13.969/1997, a faixa provável de remoção é de 50 a 85% para tanque séptico seguido por filtro de areia e de 50 a 80% para conjunto de tanque séptico seguido de vala de infiltração (ABNT, 1997).

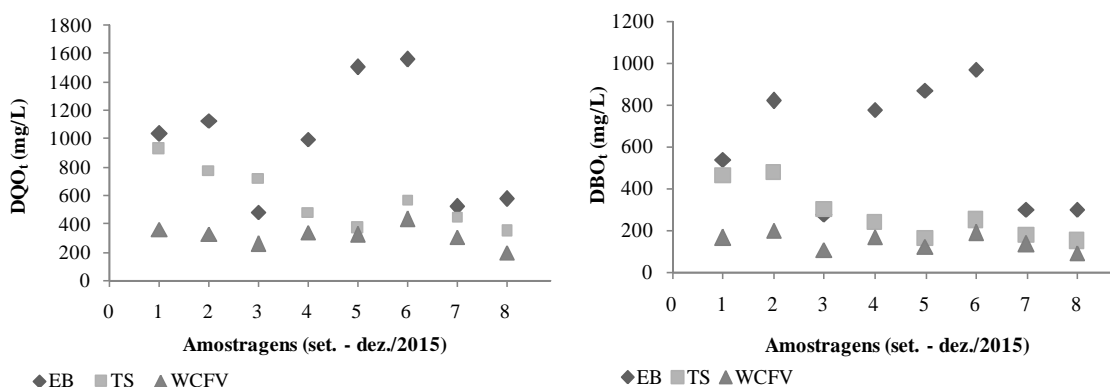


Figura 2: Concentrações de DQO e de DBO no esgoto bruto (EB) e no efluente das unidades de tratamento (tanque séptico – TS e *wetland* construído de fluxo vertical – WCFV)

Remoção de sólidos

Assim como ocorreu para a matéria orgânica carbonácea (em termos de DQO e DBO), as concentrações de sólidos no esgoto bruto tiveram grande variação no decorrer do período de monitoramento (elevado desvio padrão), conforme mostrado na figura 3. Em termos de sólidos em suspensão, as concentrações médias foram de 705 mg/L, 250 mg/L e 141 mg/L no esgoto bruto, no efluente do tanque séptico e no efluente do WCFV, respectivamente. O tanque séptico foi responsável pela remoção média de 31% das concentrações de SS afluentes. Já no WCFV, aplicando uma carga média de 13,08 g SS/m².d, a eficiência de remoção média de SS foi de apenas 32%. Contudo, as eficiências globais de remoção de SS no sistema experimental (TS + WCFV) foram em média 69%, atingindo em grande parte das amostragens, o padrão de lançamento estabelecido pela legislação estadual CONSEMA 128/2006, que determina concentração de SS efluente de no máximo 180 mg/L (faixa de vazão < 20 m³/d). Além disso, os resultados também mostraram que as eficiências de remoção de SS alcançadas pelo conjunto tanque séptico + WCFV foram semelhantes à faixa de remoção típica de sistemas de tanque séptico em conjunto com filtro de areia ou com vala de infiltração, que é de 70 a 95%, segundo a NBR 13969/1997 (ABNT, 1997).

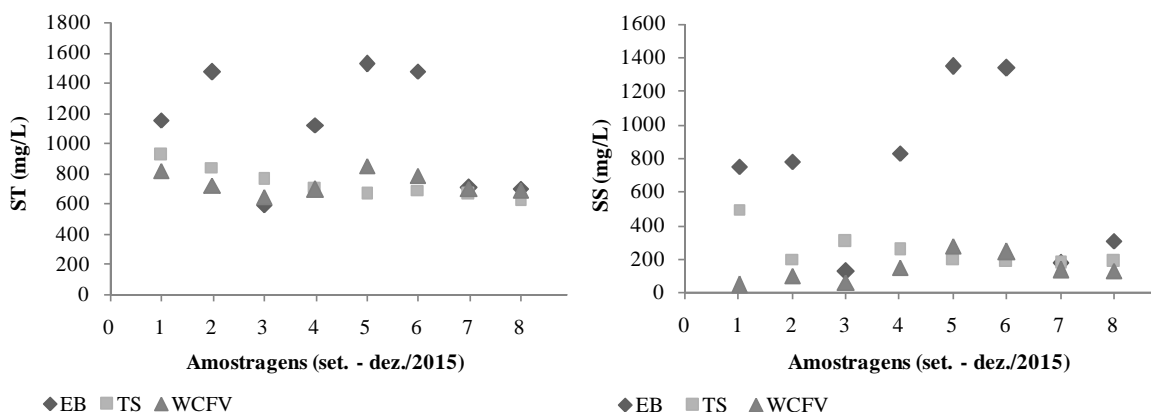


Figura 3: Concentrações de ST e de SS no esgoto bruto (EB) e no efluente das unidades de tratamento (tanque séptico – TS e wetland construído de fluxo vertical – WCFV)

Transformações da série nitrogenada

Quanto ao nitrogênio amoniacal, as concentrações médias de N-NH₄⁺ foram de 66 mg/L, 75 mg/L e 42 mg/L no esgoto bruto, no efluente do tanque séptico e no efluente do WCFV, respectivamente. Na figura 4 são apresentadas as concentrações de N-NH₄⁺, N-NO₂⁻ e N-NO₃⁻ afluentes e efluentes do WCFV ao longo do período de monitoramento. Apesar do pouco tempo de operação do WCFV, o qual recebeu no período avaliado cargas afluentes de 3,92 g N-NH₄⁺/m².d, já ocorreu eficiência de conversão de N-NH₄⁺ de 44%, em média, com concentrações efluentes médias de 9,5 mg N-NO₃⁻/L. Dentre os principais fatores que proporcionaram as diferentes transformações do nitrogênio no WCFV destacam-se a disponibilidade de oxigênio (devido principalmente à alimentação intermitente) e a assimilação de nitrogênio pelas macrófitas. A nitrificação foi evidenciada a partir da terceira amostragem (55 dias após o início de operação), na qual a concentração de N-NO₃⁻ foi de 5,56 mg/L. As concentrações de N-NO₃⁻ no efluente do WCFV a partir daí, aumentaram expressivamente, atingindo valores próximos a 20 mg/L, após 3 meses de operação. Ressalta-se, diante dos primeiros resultados, que apesar da baixa eficiência do WCFV na remoção de matéria orgânica carbonácea, foi observado que já ocorreu nitrificação no sistema. Isso indica uma boa oxigenação do material suporte, causada pela alimentação intermitente e também devido à transferência de oxigênio pelas raízes da *Heliconia* sp. Além disso, demonstra a rápida adaptação de bactérias nitrificantes no WCFV.

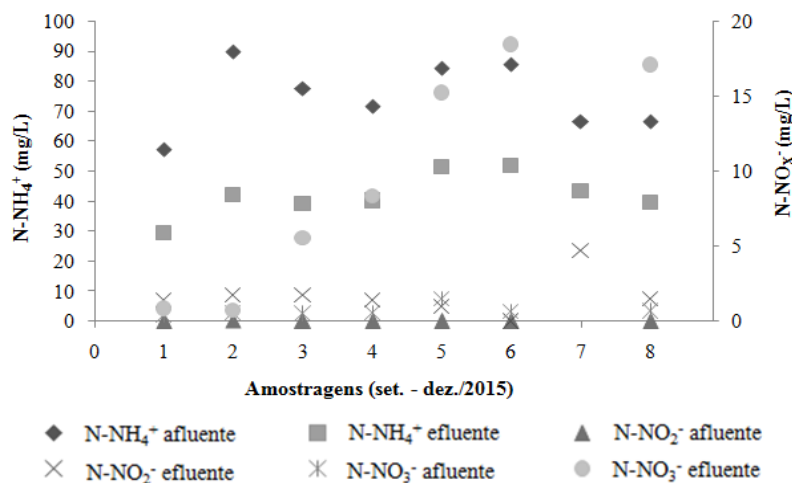


Figura 4: Concentrações de N-NH₄⁺ e de N-NO_x (N-NO₂⁻ e N-NO₃⁻) afluentes e efluentes do WCFV ao longo do período de monitoramento

Desenvolvimento de *Heliconia psittacorum*

Foi constatado que a *Heliconia psittacorum* apresentou um bom desenvolvimento no WCFV, sendo que após uma fase inicial de senescência foliar, com supressão das flores, iniciou o surgimento de muitas brotações, com folhas de aspecto sadio (Figura 5). O desenvolvimento satisfatório da *Heliconia* no WCFV de estudo, contribui com o tratamento e com a valorização paisagística do local em que a ETE está implantada.

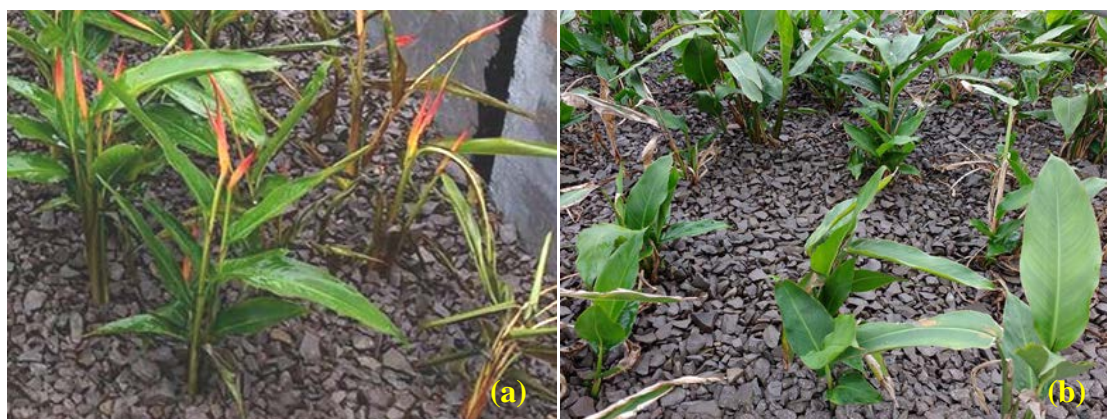


Figura 5: Desenvolvimento de *Heliconia psittacorum* no WCFV. Fotografias em outubro de 2015, logo após o transplante (a) e em dezembro de 2015, contendo novas brotações (b).

CONCLUSÕES

Com base nos quatro primeiros meses de operação do sistema experimental, e considerando que não foi realizado inóculo no TS, tampouco no material suporte (brita) e a necessidade de desenvolvimento das plantas e do biofilme, tanto no material filtrante quanto nas raízes e rizomas das plantas no WCFV, as condições operacionais com as quais se trabalhou possibilitaram a adaptação dos micro-organismos do sistema experimental (TS + WCFV) ao tratamento de esgoto doméstico. O sistema de tanque séptico seguido de WCFV apresentou remoção de matéria orgânica e de sólidos satisfatória, sendo em média de 72% para DBO, 63% para DQO e 69% para SS. O sistema atendeu, na maioria das amostragens realizadas, concentrações de matéria orgânica carbonácea no efluente final em concordância com os padrões estabelecidos pelas resoluções CONAMA n° 430/2011, em nível federal, e CONSEMA n° 128/2006, para o Estado do Rio Grande do Sul. Além disso, constatou-se em média 44% de conversão de N-NH₄⁺ no WCFV, sendo que a nitrificação foi evidenciada após 55 dias do início de operação.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à FINEP pelo financiamento dessa pesquisa, à Capes pelas bolsas de mestrado e doutorado, ao CNPq pela bolsas de pós-doutorado e iniciação científica e à Pró-Reitoria de Infraestrutura da Universidade Federal de Santa Maria pelo apoio na instalação e manutenção do experimento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7.217**: Agregados – Determinação da composição granulométrica. Rio de Janeiro, 1987.
2. ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13969**: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.
3. APHA – AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. Washington-DC, 2012.
4. CONLEY, L. M.; DIC, R. I.; LION, L. W. An assessment of the root zone method of wastewater treatment. **Research Journal of the WPCF**, v. 63, n. 6, p. 239-247, 1991.
5. KADLEC, R. H.; KNIGHT, R. L. **Treatment Wetlands**. Boca Raton, Florida: Lewis Publishers, 893 p., 1996.
6. METCALF & EDDY. Inc. **Wastewater Engineering treatment. Disposal Reuse**. 4 ed. New York, McGraw - Hill Book, 1815 p., 2003.
7. OLIJNYK, D. P. **Avaliação da nitrificação e desnitrificação de esgoto doméstico empregando filtros plantados com macrófitas (Wetlands) de fluxos vertical e horizontal – sistemas híbridos**. 113 f. Dissertação (Mestrado) – Centro Tecnológico, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.
8. PLATZER, C.; SENF, C.; HOFFMANN, H.; CARDIA, W.; COSTA, R. H. R. da. Dimensionamento de wetland de fluxo vertical com nitrificação – Adaptação de modelo europeu para as condições climáticas do Brasil. In: *24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*: ABES, Belo Horizonte, 2007.
9. PUIGAGUT, J.; VILLASEÑOR, J.; SALAS, J. J.; BÉCARES, E.; GARCÍA, J. Subsurface-flow constructed wetlands in Spain for the sanitation of small communities: a comparative study. **Ecol. Eng.**, v. 30, p. 312–319, 2007.
10. SAEED, T.; SUN, G. A Review on nitrogen and organics removal mechanisms in subsurface flow constructed wetlands: dependency on environmental parameters, operating conditions and supporting media. **J. Environ. Manage.**, v. 112, p. 429–448, 2012.
11. SEZERINO, P.H.; BENTO, A.P.; OLIJNYK, D.P.; PHILIPPI, L.S. Nitrificação em wetlands construídos de fluxo vertical empregando diferentes cargas aplicadas sob condições de clima subtropical. In: *XXXI Congresso Interamericano AIDIS, Santiago – Chile*: AIDIS. CD-ROM, 2008.