

## II-131 – USO COMBINADO DE *WETLANDS* CONSTRUÍDOS COM FLUXO VERTICAL E MICROALGAS COMO TRATAMENTO TERCIÁRIO DESCENTRALIZADO PARA REMOÇÃO E RECUPERAÇÃO DE NUTRIENTES DE EFLUENTE DOMÉSTICOS

**Gleison de Souza Celente<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul (UNISC), RS. Mestrando em Tecnologia Ambiental pela UNISC.

**Gustavo Stolzenberg Colares<sup>(2)</sup>**

Engenheiro Ambiental e Sanitarista pela Universidade Federal de Pelotas, RS. Mestrando em Tecnologia Ambiental pela UNISC.

**Ênio Leandro Machado<sup>(3)</sup>**

Químico Industrial pela Universidade Federal de Santa Maria, RS. Mestre em Química pela Universidade de Santa Maria. Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS.

**Eduardo A. Lobo<sup>(4)</sup>**

Biólogo pela Universidade do Chile, Chile. Mestre em Ciências Biológicas pela Universidade Federal de São Carlos, SP. Doutor em Ciências Aquáticas pela Universidade de Ciências Marinhas e Tecnologia de Tóquio, Japão. Pós Doutor em Contaminação Aquática no Instituto Nacional de Recursos Ambientais, Tsukuba, Japão.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Av. Deputado Nicolau Euclides Kliemman, 3322/131H - Esmeralda – Santa Cruz do Sul - RS - CEP: 96835-422 - Brasil - Tel: (51) 998518583 - e-mail: [gleison\\_celente@hotmail.com.br](mailto:gleison_celente@hotmail.com.br)

### RESUMO

O uso combinado de *wetlands* construídos (WC's) e microalgas como sistema de tratamento, tanto secundário como terciário, desempenha uma importante complementação aos mecanismos já existentes para tratamento de efluentes, seja pela sua simplicidade ou pela sua operação de baixo custo. Neste contexto, o presente trabalho objetivou o tratamento de efluente proveniente de um reator anaeróbio do campus da Universidade de Santa Cruz do Sul, RS, caracterizado como águas amarelas e negras, advindas principalmente dos sanitários. A configuração da linha em série de tratamento contou com um tanque e superfície de acrílico rugosa para adesão das microalgas com recirculação de vazão de 520 L.h<sup>-1</sup>, seguido de dois *wetlands* construídos de fluxos verticais descendentes plantados com a macrófita *Hymenachne grumosa*, com tempo de retenção hidráulico total de 21 dias. O sistema encontra-se em fase inicial. Para o presente estudo, as eficiências ao final do sistema para condutividade, turbidez, sólidos totais dissolvidos e absorvância, carbono orgânico total, carbono inorgânico, carbono total, nitrogênio total, n-amoniaco e fósforo solúvel foram 47,8%; 98,2%; 48,1%, 73,2%, 55,7%, 75,5%, 72,9%, 67,9%, 99,8% e 47,0% respectivamente, resultados que indicam um sistema promissor para tratamento de efluente doméstico.

**PALAVRAS-CHAVE:** *Wetlands* Construídos, Microalgas, Remoção de Nutrientes.

### INTRODUÇÃO

Métodos biológicos para tratamento de efluentes, tanto secundário como terciário, tais como sistemas de microalgas e *wetlands* construídos (WC's), desempenham uma complementação aos mecanismos já existentes para tratamento de efluentes, seja pela sua simplicidade ou pela sua operação de baixo custo (Okurut et al. 1999; Kadlec e Wallace 2008), além de dispensarem a aplicação de produtos químicos, apresentarem melhor eficiência termodinâmica de biodegradação e permitirem o reuso dos produtos finais (Lourenço et al. 2015; Sukačová et al. 2015).

A aplicação de microalgas no tratamento de efluente data há mais de 60 anos, inicialmente com o propósito de promover a oxigenação do efluente (Oswald et al. 1953). Os principais componentes para o desenvolvimento desses microrganismos fotossintetizantes são fósforo, nitrogênio, dióxido de carbono e energia solar, através dos quais acumulam matéria orgânica (Blanken et. al. 2013; Suganya et al. 2016). Maximizado pela alta taxa de desenvolvimento, as microalgas são eficientes na remoção e estocagem de nutrientes e com isso, para a

redução de cargas eutrofizantes, além de apresentarem custo reduzido, baixa geração de lodo, oxigenação do efluente e não exigem tempo de retenção longo (Boelee et al. 2011; Choi e Lee 2012).

WC's constituem um ambiente com alta taxa biológica, que simulam os mecanismos de redução e biodegradação de poluentes que ocorrem naturalmente em áreas alagadas sem, contudo, exigir gastos energéticos, já que a energia utilizada basicamente provém de fontes naturais como o sol, vento, solo, plantas e microrganismos, sendo assim, a energia requerida pelas diferentes configurações de WC's não ultrapassam  $0,18 \text{ kw.h.m}^{-3}$  (Brix 1999; Wallace 2006; Austin and Nivala 2009). Seu uso para tratamento de águas e de efluente pode dar-se em diferentes configurações conforme o regime hidráulico utilizado: fluxo superficial e subsuperficial com regime vertical ou horizontal (Kadlec e Wallace 2008). Virtualmente, podem ser subdivididos em sumidouros em termos de remediação (coluna de água, substrato, microbiota e flora) (Shilton et al. 2012; Shelef et al. 2013).

Neste contexto, o presente trabalho objetivou o uso integrado de filtro de microalgas e dois tanques de *wetlands* construídos de fluxo vertical descendente junto à Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de um campus universitário para remoção e/ou redução de cargas poluidoras, principalmente as eutrofizantes.

## MATERIAIS E MÉTODOS

No período transcorrido entre agosto e dezembro de 2016 foi desenvolvido um sistema para tratamento terciário utilizando WC's e microalgas junto à ETE da UNISC, cujo efluente é composto por águas negras e amarelas advindas dos sanitários, sendo a urina o principal resíduo, em função da população flutuante média da universidade ser de 11.500 indivíduos por semestre (Düpont e Lobo 2012).

Foi desenvolvida uma configuração em série de três caixas de duzentos litros cada, de polietileno de alta densidade (PEAD) com formato retangular (92 cm de comprimento; 55 cm de largura; 58,5cm de altura), sendo a primeira destinada ao tratamento com filtro de microalgas, enquanto a segunda e terceira foram destinadas ao sistema de *wetlands* construídos com regime hidráulico vertical descendente em batelada. O afluente do processo foi captado na caixa equalizadora da estação de tratamento passando por um tanque anaeróbio para tratamento secundário. Todo o desenvolvimento do projeto se deu junto à Estação de Tratamento de Efluente da Universidade de Santa Cruz do Sul, Município de Santa Cruz do Sul, RS, tendo a contribuição para o efluente mictórios e bacias sanitárias, caracterizando efluente de águas amarelas e escuras (Benetto et al. 2009).

A caixa com microalgas apresentou o ponto de inicial de alimentação do efluente proveniente do reator anaeróbio. Um suporte de 45° de declividade e de dupla camada de acrílico - dispostas paralelamente e com aproximadamente 15 mm de distância entre si - foi utilizado como base para a adesão das microalgas desenvolvidas espontaneamente no efluente. A superfície interna superior da base de acrílico apresentou rugosidade, facilitando a adesão do biofilme, e possuía  $0,54 \text{ m}^2$  de área superficial. O sistema contou com recirculação por bomba submersa que distribuía o efluente sobre toda a superfície rugosa com uma vazão de aproximadamente  $520 \text{ L.h}^{-1}$ . O sistema também contou com iluminação automática por LED branca durante a noite (600 lm), para tentar induzir uma maior atividade fotossintética das microalgas e com isso, magnificar a remoção de nutrientes, já que a taxa de crescimento está diretamente ligada ao ciclo de luz/escurecimento (Wahidin et al. 2013; Schulze et al. 2014). Além disso, em torno deste sistema foi disposta uma tela mosquiteira para evitar proliferação de mosquitos. Neste sistema, teve-se o controle de entrada de efluente através de bomba centrífuga, alimentando 71 litros.

As duas caixas de *wetlands* construídos apresentavam exatamente a mesma configuração, tendo o substrato composto por 150 mm de cascalho na base para facilitar a drenagem, e 400 mm de brita nº2. A macrófita utilizada foi a *Hymenachne grumosa* da família Poaceae e comum na região, previamente identificada junto ao Laboratório de Botânica da UFRGS. As macrófitas foram dispostas com uma densidade de 24 brotos por metro quadrado. A alimentação foi realizada por gravidade na superfície do substrato através de garfos de três dentes, representados por canos PVC de  $\frac{3}{4}$  polegadas de diâmetro, com furos de 4 milímetros distanciados entre si a cada 40 milímetros. Os furos estavam presentes ao longo do comprimento de cada um dos garfos na superfície superior, garantindo melhor distribuição do afluente.

O ponto de drenagem de cada caixa foi realizado na face lateral, localizado a aproximadamente 100 milímetros do fundo da caixa. O tempo de retenção no sistema com microalgas foi de sete dias, alimentando, após esse período, as duas caixas de *wetlands* construídos, as quais também possuíam tempo de retenção de sete dias juntas, totalizando vinte e um dias de retenção para toda a linha de tratamento.

Os parâmetros para caracterização do efluente bruto e pós-tratamento foram, Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio Total, Fósforo Solúvel, Carbono Total, Inorgânico e Orgânico, Condutividade, pH, Cor Absorciométrica e Turbidez. As determinações analíticas foram realizadas nos laboratórios da UNISC seguindo os protocolos descritos em APHA (2005).

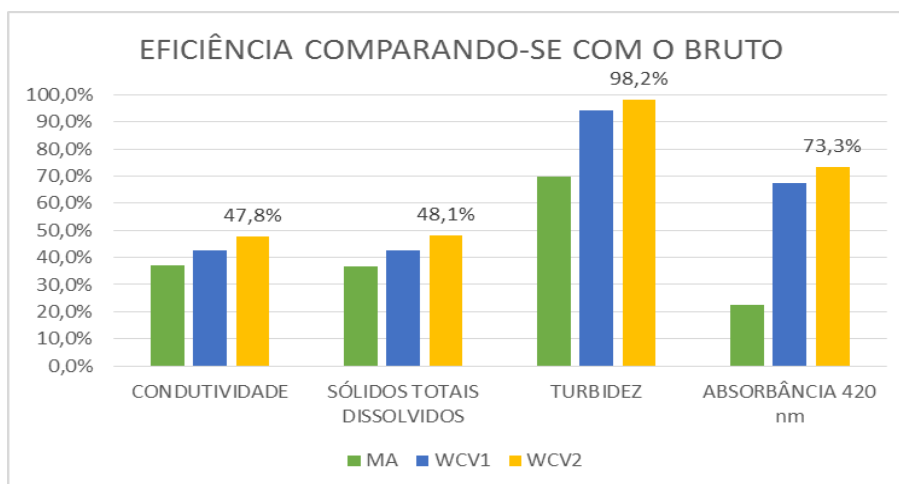
## RESULTADOS

As concentrações médias ( $\pm$  desvio-padrão) dos parâmetros físicos analisados para um período de onze semanas (14 de fevereiro a 24 de abril de 2017) apresentam-se na tabela 1, incluindo pH, condutividade, sólidos totais dissolvidos (STD), turbidez e cor aparente. Complementarmente, a figura 1 apresenta a eficiência do processo comparando-se a saída de cada etapa com o bruto (saída dos tanques anaeróbicos) para o mesmo período. O ponto WCV2 representa a eficiência para o processo como um todo, já que corresponde ao último ponto de análise e de saída do efluente tratado.

**Tabela 1 : Concentrações médias. B - efluente bruto. MA - tanque de microalgas. WCV - primeiro (WCV1) e segundo (WCV2) *wetland* construído de fluxo vertical descendente plantado com *Hymenachne grumosa*.**

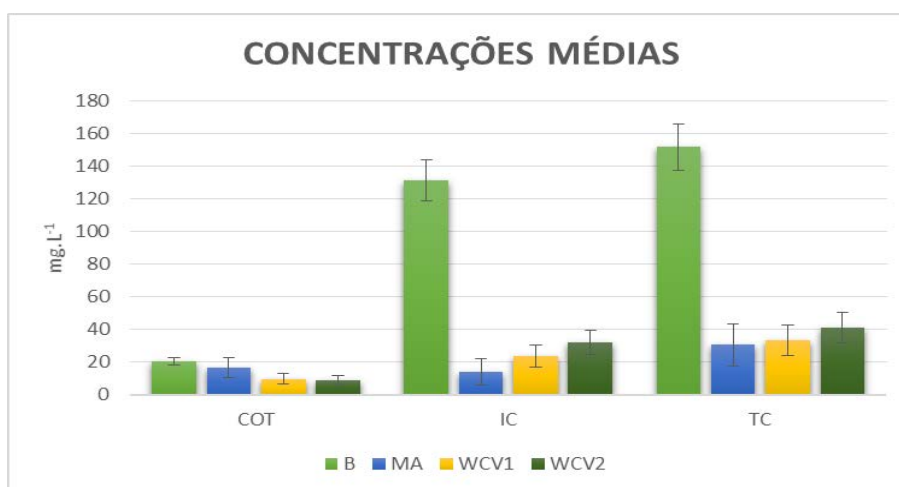
PARÂMETROS	B	MA	WCV1	WCV2
pH	7,4 $\pm$ 0,2	8,2 $\pm$ 0,5	7,3 $\pm$ 0,2	7,4 $\pm$ 0,2
CONDUTIVIDADE	1148,4 $\pm$ 71,4	722,1 $\pm$ 114,8	659,8 $\pm$ 128,3	599,2 $\pm$ 133,4
STD	558,9 $\pm$ 32,9	353,7 $\pm$ 50,00	321,2 $\pm$ 69,6	290,2 $\pm$ 55,7
TURBIDEZ	43,2 $\pm$ 43,0	13,0 $\pm$ 10,6	2,5 $\pm$ 4,0	0,8 $\pm$ 0,8
COR APARENTE	0,14 $\pm$ 0,07	0,11 $\pm$ 0,05	0,05 $\pm$ 0,02	0,04 $\pm$ 0,02

Conforme se observa na tabela 1, a condutividade, os sólidos totais dissolvidos e a turbidez apresentaram uma redução significativa entre o efluente bruto (B) com cada etapa do processo (MA, WCV1 e WCV2) ( $p < 0,01$ ), comprovando que o sistema mostrou-se eficiente na remoção destes parâmetros. A correlação entre sólidos totais dissolvidos e turbidez já foi demonstrada por Teixeira e Senhorelo (2000), assim como relações lineares significativas entre condutividade e sólidos totais dissolvidos para amostras de esgoto bruto e de efluentes de lagoas de estabilização foram verificados por Oliveira et al. (1999). Para absorvância a redução foi significativa entre o bruto e os dois *wetlands* construídos (WCV1 e WCV2) ( $p < 0,01$ ), provavelmente pela capacidade filtrante do substrato e remoção da biomassa que foi produzida no primeiro tanque (Steinmann et al. 2003).



**Figura 1: Eficiências médias. MA - tanque de microalgas. WCV - primeiro (WCV1) e segundo (WCV2) wetland construído de fluxo vertical descendente plantado com *Hymenachne grumosa*.**

Verificam-se, na figura 1, as eficiências da redução (baseadas nas médias das concentrações) dos parâmetros no sistema, para condutividade, turbidez, STD e absorbância, sendo de 47,8%; 98,2%; 48,1% e 73,2%, respectivamente. Destaca-se que para condutividade, sólidos totais dissolvidos e turbidez, o tanque com o filtro de microalgas (MA) contribui com mais de 70% na redução desses parâmetros. Isso se deve provavelmente pela precipitação de sólidos suspensos e íons, além da degradação da matéria orgânica no primeiro tanque, seguido pela capacidade filtrante do primeiro e segundo wetland construído (Vymazal et al. 1998; Shelef et al. 2013).

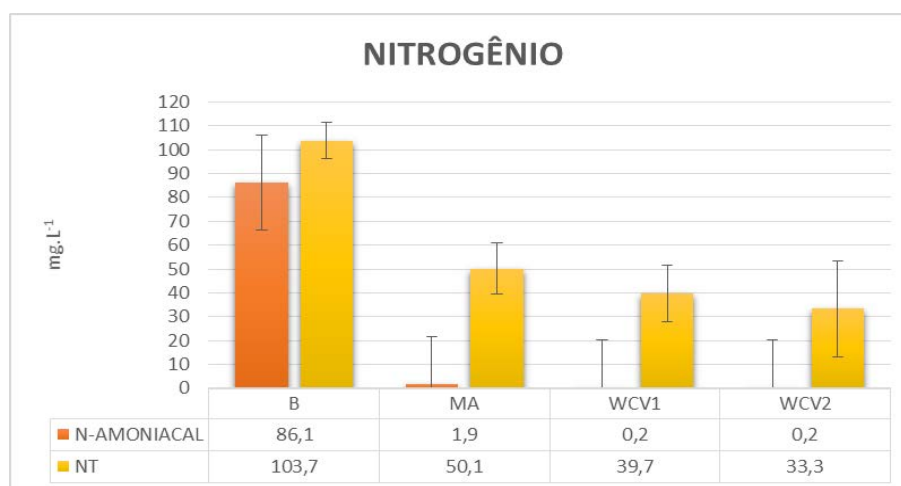


**Figura 2: Concentrações médias ( $\pm$  desvio-padrão). MA - tanque de microalgas. WCV - primeiro (WCV1) e segundo (WCV2) wetland construído de fluxo vertical descendente plantado com *Hymenachne grumosa*. COT - Carbono Orgânico Total. IC - Carbono Inorgânico. TC - Carbono Total.**

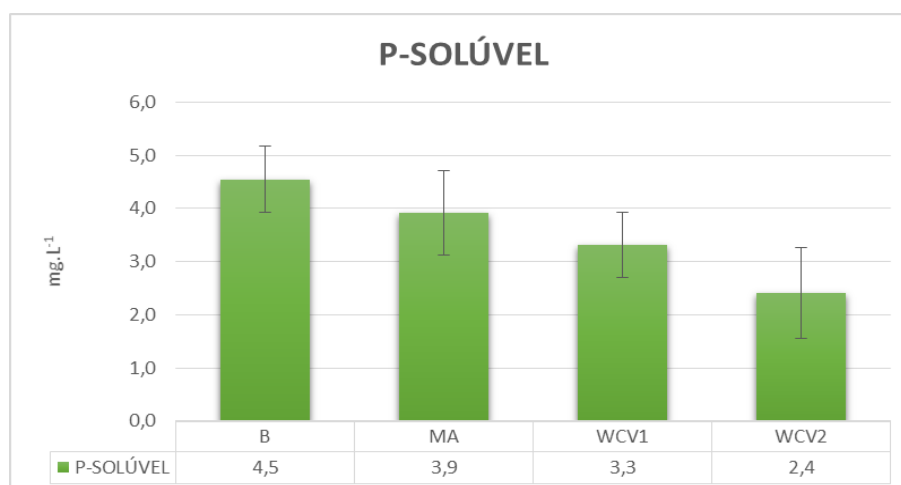
A figura 2 mostra as concentrações médias ( $\pm$  desvio padrão) para os parâmetros carbono orgânico total, carbono inorgânico e carbono total, alcançando eficiências de 55,7%, 75,5% e 72,9%, respectivamente, ao final do sistema (WCV2). É importante salientar que as macrófitas liberam carbono orgânico na forma de açúcares, amino ácidos e ácidos orgânicos através de suas raízes (Singer 2006), o que pode e deve influenciar a concentração final desse parâmetro, além disso, a baixa redução de carbono orgânico no primeiro tanque (MA) pode ser justificado pelo fato das microalgas utilizarem apenas formas inorgânicas de carbono como fonte de energia através da oxidação desses e  $\text{CO}_2$  como fonte de carbono (Gray 2004). O carbono inorgânico em efluente doméstico é principalmente representado por sódio, cálcio, potássio, magnésio, cloro, enxofre, fosfato, sais de amônia e metais pesados que podem ser removidos através de filtração, troca iônica, sedimentação,

oxidação e absorção biológica (Gray 2004; Von Sperling 2007), sendo que os três últimos devem ter sido os fatores principais de redução considerando que a menor concentração foi na saída do tanque com filtro de microalgas. As reduções do carbono foram significativas entre o bruto e todos os tanques ( $p < 0,01$ ) para IC e TC, já para TOC a redução foi significativa entre o bruto e os dois *wetlands* construídos ( $p < 0,01$ ).

A figura 3 mostra as concentrações médias ( $\pm$ desvio padrão) para nitrogênio total e amoniacal com eficiência de remoção de 67,9 e 99,8%, respectivamente, sendo que o nitrogênio amoniacal representa em torno de 83% do nitrogênio total, o que é o esperado para efluente doméstico (Vymazal 2002). Considerando o pH médio de  $8,2 \pm 0,5$  para o MA, a volatilização de  $\text{NH}_3$  é irrelevante (Sperling 2007). Assim, os processos mais significativos para a redução do NT seriam a nitrificação/desnitrificação, amonificação, assimilação pelas plantas e microrganismos presentes no meio e adsorção na matrix (Vymazal 2007).



**Figura 3: Concentrações médias ( $\pm$  desvio-padrão). MA - tanque de microalgas. WCV - primeiro (WCV1) e segundo (WCV2) *wetland* construído de fluxo vertical descendente plantado com *Hymenachne grumosa*. N-AMONIAL - Nitrogênio Amoniacal. NT - Nitrogênio Total.**



**Figura 4: Concentrações médias ( $\pm$  desvio-padrão). MA - tanque de microalgas. WCV - primeiro (WCV1) e segundo (WCV2) *wetland* construído de fluxo vertical descendente plantado com *Hymenachne grumosa*. P-SOLÚVEL - Fósforo Solúvel.**

As concentrações médias ( $\pm$  desvio padrão) para fósforo solúvel apresentam-se na figura 4. Verifica-se que no final da última etapa (WCV2) a eficiência alcançou 47% de redução, considerada significativa quando comparada a concentração do bruto com o efluente final ( $p < 0,01$ ). Vymazal (2007) aponta que a eficiência na remoção de fósforo é esperada ser alta apenas quando se utiliza substrato com alta capacidade de adsorção.

Para esse parâmetro o fator responsável pela redução provavelmente foi a adsorção no substrato (Vymazal 2013), seguido por assimilação pelas plantas com menor contribuição para a redução total (Tanner et al. 1995).

## CONCLUSÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

No sistema proposto houve redução significativa nas concentrações de todos os parâmetros analisadas;

O tanque com filtro de microalgas foi o principal responsável pela redução do carbono inorgânico contribuindo assim, com a redução do carbono total, porém não apresentou redução significativa do carbono orgânico total ( $p > 0,01$ );

Redução significativa de fósforo solúvel foi apresentada no último *wetland* construído, provavelmente pela adsorção do mesmo em sítios livres;

Conclui-se dessa forma que para a fase inicial e de maturação do processo, os resultados preliminares indicam um sistema promissor para tratamento de efluente doméstico.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. American Public Health Association. Standard Methods for the Examination of water and Wastewater. 21 ed. Washington. 2005.
2. AUSTIN, D.; NIVALA, J. Energy requirements for nitrification and biological nitrogen removal in engineered wetlands. *Ecological Engineering* 35(2): 184-192, 2009.
3. BENETTO, E. et al. Life cycle assessment of ecological sanitation system for small-scale wastewater treatment. *Science of The Total Environment*, v. 407, n. 5, p. 1506-1516, 2/15/ 2009.
4. BLANKEN, W. et al. Cultivation of microalgae on artificial light comes at a cost. *Algal Research*, v. 2, n. 4, p. 333-340, 2013.
5. BOELEE, N. C., H. TEMMINK, M. JANSSEN, C. J. N. BUISMAN AND R. H. WIJFFELS. "Nitrogen and phosphorus removal from municipal wastewater effluent using microalgal biofilms." *Water Research* 45(18): 5925-5933. 2011.
6. BRIX, H. How 'green' are aquaculture, constructed wetlands and conventional wastewater treatment systems? *Water Science and Technology* 40(3): 45-50, 1999.
7. CHOI, H.-J. AND S.-M. LEE. "Effects of microalgae on the removal of nutrients from wastewater: various concentrations of *Chlorella vulgaris*." *Environ Eng Res* 17(1): 3-8. 2012.
8. DE OLIVEIRA, R.; SILVA, S. A.; JÚNIOR, G. B. A.; SILVA, S. T. A. Relação entre condutividade e sólidos totais dissolvidos em amostras de esgoto bruto e de lagoas de estabilização. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 20Feira Internacional de Tecnologias de Saneamento Ambiental, 3. ABES, 1999.
9. DÜPONT, A., LOBO, E. A. Evaluation of the efficiency of the sewage treatment plant (STP) from the University of Santa Cruz do Sul (UNISC), RS, Brazil. *Acta Limnologica Brasiliensia*, 24(2): 119-126, 2012.
10. GRAY, N. F. *Biology of wastewater treatment*, World Scientific. 2004.
11. KADLEC, R. H.; WALLACE, S. *Treatment wetlands*. CRC press. 2008.
12. OKURUT, T.; RIJS, G.; VAN BRUGGEN, J. Design and performance of experimental constructed wetlands in Uganda, planted with *Cyperus papyrus* and *Phragmites mauritianus*. *Water Science and Technology* 40(3): 265-271, 1999.
13. OSWALD, W. J., H. B. GOTAAS, H. F. LUDWIG AND V. LYNCH (1953). "Algae Symbiosis in Oxidation Ponds: III. Photosynthetic Oxygenation." *Sewage and Industrial Wastes* 25(6): 692-705.
14. SHELEF, O.; GROSS, A.; RACHMILEVITCH, S. Role of plants in a constructed wetland: current and new perspectives. *Water*, v. 5, n. 2, p. 405-419, 2013.
15. SHILTON, A. N.; POWELL, N.; GUIEYSSE, B. Plant based phosphorus recovery from wastewater via algae and macrophytes. *Current opinion in biotechnology* 23(6): 884-889, 2012.
16. SCHULZE, P. S., L.; BARREIRA, A.; PEREIRA, H. G.; PERALES, J. A.; VARELA, J. C. Light emitting diodes (LEDs) applied to microalgal production. *Trends in biotechnology* 32(8): 422-430, 2014.

17. SINGER, A. The chemical ecology of pollutant biodegradation. Bioremediation and phytoremediation from mechanistic and ecological perspectives, p 5–19. Phytoremediation and rhizoremediation. Theoretical background. Springer, Dordrecht, Netherlands, 2006.
18. STEINMANN, C. R.; WEINHART, S.; MELZER, A. A combined system of lagoon and constructed wetland for an effective wastewater treatment. *Water Research*, v. 37, n. 9, p. 2035-2042. ISSN 0043-1354. 2003.
19. SUGANYA, T. et al. Macroalgae and microalgae as a potential source for commercial applications along with biofuels production: A biorefinery approach. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 55, p. 909-941. ISSN 1364-0321. 2016.
20. SUKÁČOVÁ, K.; TRTÍLEK, M.; RATAJ, T. Phosphorus removal using a microalgal biofilm in a new biofilm photobioreactor for tertiary wastewater treatment. *Water research*, v. 71, p. 55-63. ISSN 0043-1354. 2015.
21. TANNER, C. C., JOHN S. C., AND MARTIN P. U. "Effect of loading rate and planting on treatment of dairy farm wastewaters in constructed wetlands—II. Removal of nitrogen and phosphorus." *Water research* 29.1. 27-34. 1995.
22. TEIXEIRA, E. C.; SENHORELO, A. P. Avaliação de correlação entre turbidez e concentração de sólidos suspensos em bacias hidrográficas com uso e ocupação diferenciada. In: Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, 27. ABES, 2000.
23. VON SPERLING, M. (2007). *Wastewater characteristics, treatment and disposal*, IWA publishing.
24. VYMAZAL, J.; BRIX, H.; COOPER, P. F.; GREEN, M. B.; HABERT, R. *Constructed Wetlands for Wastewater Treatment in Europe*. Backhuys Publishers, Leiden. 1998.
25. VYMAZAL, J. "The use of sub-surface constructed wetlands for wastewater treatment in the Czech Republic: 10 years experience." *Ecological Engineering* 18(5): 633-646. 2002.
26. VYMAZAL, J. "Removal of nutrients in various types of constructed wetlands." *Science of The Total Environment* 380(1–3): 48-65. 2007.
27. VYMAZAL, J. "The use of hybrid constructed wetlands for wastewater treatment with special attention to nitrogen removal: a review of a recent development." *Water research* 47(14): 4795-4811. 2013.
28. WAHIDIN, S.; IDRIS, A.; SHALEH, S. R. M. The influence of light intensity and photoperiod on the growth and lipid content of microalgae *Nannochloropsis* sp. *Bioresource technology* 129: 7-11, 2013.
29. WALLACE, S. Feasibility, design criteria, and O&M requirements for small scale constructed wetland wastewater treatment systems. *Water Intelligence Online* 5: 9781780403991, 2006.
30. ARORA, M.L., BARTH, E., UMPHRES, M.B. *Technology evaluation of sequencing batch reactors. Journal Water Pollution Control Federation*, v.57, n.8, p. 867-875, ago. 1985.
31. DATAR, M.T., BHARGAVA, D.S. *Effects of environmental factors on nitrification during aerobic digestion of activated sludge. Journal of the Institution of Engineering (India), Part EN: Environmental Engineering Division*, v.68, n.2, p.29-35, Feb. 1988.
32. FADINI, P.S. Quantificação de carbono dissolvido em sistemas aquáticos, através da análise por injeção em fluxo. Campinas, 1995. Dissertação de mestrado-Faculdade de Engenharia Civil-Universidade Estadual de Campinas, 1995.