



## II-151 - AVALIAÇÃO DE LAGOAS DE LEMNAS, COMO TRATAMENTO SECUNDÁRIO, PARA REMOÇÃO DE NUTRIENTES DO ESGOTO SANITÁRIO E VALORIZAÇÃO DE BIOMASSA

### Rodrigo de Almeida Mohedano<sup>(1)</sup>

Biólogo pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre em Aquicultura pela UFSC. Doutor em Engenharia Ambiental pela UFSC/PPGEA. Pós-doutorado na UFSC/PPGEA.

### Natalia Brugnago<sup>(2)</sup>

Enga. Ambiental pela Unicentro-PR. Mestranda em Eng. Ambiental no PPGEA/UFSC

### Rejane Helena Ribeiro da Costa<sup>(3)</sup>

Enga. Civil. Doutorado em Tratamento e Qualidade das Águas no Institut National des Sciences Appliquées (INSA, Toulouse, França), Pós-Doutorado na Université Montpellier I (França). É Professora Titular da Universidade Federal de Santa Catarina.

### Paulo Belli Filho<sup>(4)</sup>

Eng. Sanitarista e Ambiental. Doutorado em Química Industrial e Ambiental - Université de Rennes I. Pós-doutorado na Ecole Polytechnique de Montreal. É Professor adjunto da Universidade Federal de Santa Catarina.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Campus Reitor João David Ferreira Lima Dpto. de Eng. Sanitária e Ambiental- Bairro Trindade - Florianópolis - Santa Catarina - Brasil - CEP 88040-970 - Tel: (48) 3721-7743 - e-mail: (1) rodrigomohedano@gmail.com.

## RESUMO

A remoção de nutrientes de esgoto doméstico é um dos principais desafios para o setor de saneamento na atualidade. Quando os compostos nitrogenados e fosfatados não são removidos satisfatoriamente, os efluentes descartados podem causar sérios desequilíbrios ecológicos aos corpos receptores. Como uma alternativa eficiente e de baixo custo, as lagoas de lemnas tem sido utilizadas com sucesso no polimento de efluentes domésticos e da agroindústria. Esta tecnologia apresenta uma boa eficiência na remoção de nutrientes, além de produzir uma biomassa com alto teor de proteína bruta e amido, podendo ser utilizada na alimentação de animais e na produção de bicompostos. Deste modo, o presente estudo objetivou avaliar a eficiência de remoção de compostos nitrogenados e fosfatados por lagoas de lemnas como etapa secundária. Esta avaliação se deu através da operação de um sistema de tratamento piloto composto por uma lagoa anaeróbia (5000L) e duas lagoas de lemnas (*L. punctata*) em série (ambas com 10m<sup>2</sup>) o qual recebeu cargas de esgoto doméstico condominial a uma vazão de 200L.dia<sup>-1</sup>. Em quatro meses de operação foi observada uma eficiência de remoção de NTK (NitrogênioTotal Kjeldahl) de 92-84%, a partir de uma concentração média de 39,8 mg.L<sup>-1</sup>. Para a remoção de fósforo total (TP) a eficiência média foi de 90% a partir da concentração inicial de 20,0 mg.L<sup>-1</sup>. A produtividade média de biomassa (peso seco) foi de 7,2 g.m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup> apresentando um teor de proteína bruta de 35%. Deste modo as lagoas de lemnas apresentaram uma boa performance para o polimento de esgoto sanitário produzindo simultaneamente uma biomassa possível de valorização como fonte de proteína.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento, esgoto sanitário, lagoa de lemnas, nutrientes, macrófitas.

## INTRODUÇÃO

A remoção de nutrientes nos sistemas de tratamento de esgoto vem sendo um dos grandes desafios atuais, levando em consideração que sistemas convencionais, muitas vezes, são deficientes na remoção de nitrogênio e fósforo e demandam energia e mão de obra qualificada. Os nutrientes residuais presentes no esgoto sanitário, mesmo após o tratamento, podem atingir os corpos receptores, desencadeando o processo de eutrofização. Este excesso de nutrientes pode acarretar na degradação dos corpos receptores, reduzindo a concentração de oxigênio e podendo levar à morte de organismos aquáticos (Von Sperling, 2005).

Como alternativa, as lagoas de lemnas têm sido estudadas nas últimas décadas como tecnologia para o tratamento de efluentes. Elas têm demonstrando grande potencial para a remoção de nutrientes de esgoto

sanitário e da agroindústria, podendo remover entre 80 a 100% de nitrogênio como reportado por Xu e Shen (2011), Mohedano et al. (2012) e El-Shafai et al.(2006). Estudos indicam que as lemnas possuem uma alta capacidade de assimilação de nutrientes, podendo ser responsáveis por cerca de 30 a 70% do total de nitrogênio removido no sistema (Alaerts et al. 1996, Gijzen e Khondker 1997, Korner et. al 1998, Iqbal 1999, Benjawan e Koottatep 2007, Krishna e Polprasert 2008, Mohedano 2012 e Priya et al. 2012). O restante é removido por desnitrificação, absorção microbiológica, sedimentação e volatilização da amônia.

Essas lagoas além de remover nutrientes, incorporam OD na coluna d'água e clarificam o efluente devido à formação de uma barreira física formada pelas lemnas em sua superfície. A barreira impede a penetração de luz solar, inibindo o crescimento de algas e favorecendo a redução de sólidos suspensos por sedimentação, além de servirem como suporte para o crescimento de biofilme biológico que consome nutrientes e matéria orgânica (Iqbal, 1999).

Diferentemente de outras macrófitas utilizadas em sistemas de tratamento, as lemnas podem produzir uma biomassa com potencial para valorização. Sua biomassa em um ambiente adequado vem a conter até 45% de proteína (Landolt e Kandler 1987, Stambolie e Leng 1994), podendo ser utilizada para a produção de ração animal gerando ganhos econômicos a estação de tratamento. Estudos recentes mostraram que a biomassa das lemnas pode ser viável para produção de bicompostíveis devido a seu alto teor de amido (CHEN et al. 2012; GE et al. 2012).

Além da deficiência de sistemas convencionais em remover nutrientes, alguns sistemas como lagoas anaeróbias e UASB são responsáveis pela emissão de gases do efeito estufa (GEE). Entre esses gases o CO<sub>2</sub> vem ganhando destaque por ser o principal responsável pelo aumento da temperatura no planeta (Carvalho et al., 2002). Uma alternativa para controle dos níveis de CO<sub>2</sub> são as lagoas de lemnas, que além de tratar efluentes, são capazes de fixar carbono através da atividade fotossintética (NESPOULOUS et al 1989, SILVA et al 2012). A principal fonte de carbono das lemnas é o CO<sub>2</sub>, onde este carbono é fixado e transformado em carboidratos que, conseqüentemente, passam a compor a estrutura orgânica necessárias para o desenvolvimento das plantas (Mohedano, 2010). Sendo assim, a tecnologia de lagoas de lemnas tem se mostrado eficiente para a fixação de carbono podendo ser inserida em projetos de MDL, para obter créditos de carbono e gerar renda a estação de tratamento.

Por se tratar de um sistema de tratamento de lagoas de profundidade baixa, requer uma grande área superficial, mostrando-se viável para localidades com grandes áreas disponíveis, de clima tropical e temperado. Por se tratar de um sistema de manejo simples e fácil operação seu uso é ideal como sistemas descentralizados em pequenas comunidades

O presente trabalho teve por objetivo avaliar a eficiência de um sistema de lagoas de macrofitas lemnáceas, da espécie *Landoltia punctata*, na remoção de nitrogênio e fósforo de esgoto sanitário, bem como sua produção de biomassa para fins de valorização econômica.

## METODOLOGIA

### Descrição do sistema de tratamento

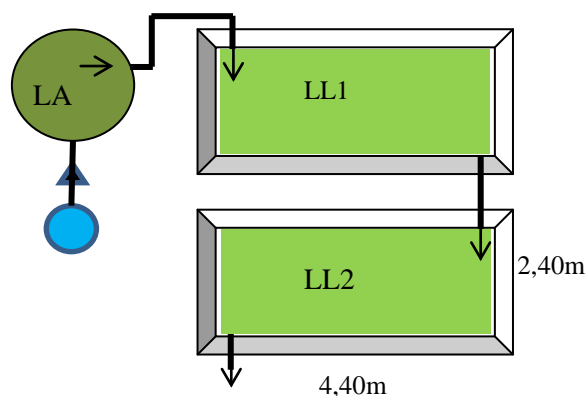
Para contemplar o objetivo proposto foi desenvolvido um sistema experimental, em escala piloto, instalado no campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no município de Florianópolis, Brasil. O sistema é constituído por três lagoas em escala piloto fabricadas em fibra de vidro. A primeira lagoa atua como uma lagoa anaeróbia (LA) e possui volume útil de 5000L. As outras duas lagoas possuem iguais dimensões, sendo 4,40 x 2,40 x 1,00m, ocupando área total de 10,56 m<sup>2</sup> e área útil de 8m<sup>2</sup>. Estas lagoas foram denominadas Lagoa de Lemnas 1 (LL1) e Lagoa de Lemnas 2 (LL2). A altura da coluna d'água era 42cm em ambas as lagoas, totalizando um volume útil de aproximadamente 3500L.

O esgoto sanitário utilizado para o experimento era oriundo de condomínios residenciais, sendo coletado após o tratamento preliminar (gradeamento e caixa de gordura) e transportado em caminhões limpa-fossa, quinzenalmente. No local do experimento, o esgoto era armazenado e aplicado no sistema de tratamento piloto através de uma bomba peristáltica. As macrófitas lemnáceas da espécie *Landoltia punctata* foram coletadas no

ambiente natural e introduzidas nas lagoas experimentais, em quantidade suficiente para cobrir a superfície. Durante um período de adaptação de 15 dias, as macrófitas receberam cargas leves de esgoto até a partida do experimento. A operação do sistema está descrita a seguir.

### Operação do sistema piloto experimental

Após o período de adaptação foi iniciada a operação do sistema com a aplicação do esgoto em fluxo contínuo, a uma vazão de 200L/dia. Após a aplicação em LA o esgoto seguia por gravidade para LM1 e LM2. O tempo de retenção hidráulica (TRH) para a vazão citada era de 25 dias para a lagoa anaeróbia (LA) e 17 dias para ambas as lagoas de lemnas. O esquema do sistema pode ser visto na figura 1.



**Figura 1: Sistema de tratamento experimental. LA-Lagoa anaeróbia; LL1- Lagoa de lemnas 1; LL2- Lagoa de lemnas 2**

### Monitoramento e análise do efluente

A coleta do efluente foi realizada semanalmente, nos pontos de entrada e saída de cada lagoa, por um período de 74 dias. Os parâmetros analisados, segundo o Standard Methods (APHA, 2005) foram fósforo total (PT), nitrogênio amoniacal (N-NH<sub>3</sub>) e nitrogênio total kjeldahl (NTK). Os dados obtidos foram processados estatisticamente para obtenção de valores de eficiência de remoção, cargas aplicadas e removidas além da confecção de gráficos.

### Monitoramento da biomassa

Segundo Mohedano et al. (2012) a avaliação da produtividade da biomassa de lemnas pode ser realizada pela determinação da taxa de crescimento específico (g.g<sup>-1</sup>.dia<sup>-1</sup>) e taxa de crescimento relativo (g.m<sup>-2</sup>.dia<sup>-1</sup>). Para isso, foi utilizado um quadrado flutuante de PVC (32mm) com área interna de 0,25 m<sup>2</sup>, o qual era lançado aleatoriamente nas lagoas e a biomassa no interior foi coletada e pesada. A biomassa excedente era retirada a cada 3 dias das lagoas. Toda a biomassa coletada foi seca em estufa a 55°C, por 48 horas para determinação do peso seco. Uma parcela de 50g de cada amostra foi posteriormente submetida a análise de proteína bruta, a qual consiste na determinação do nitrogênio total multiplicado pela constante 6,25 (AOAC, 2005)

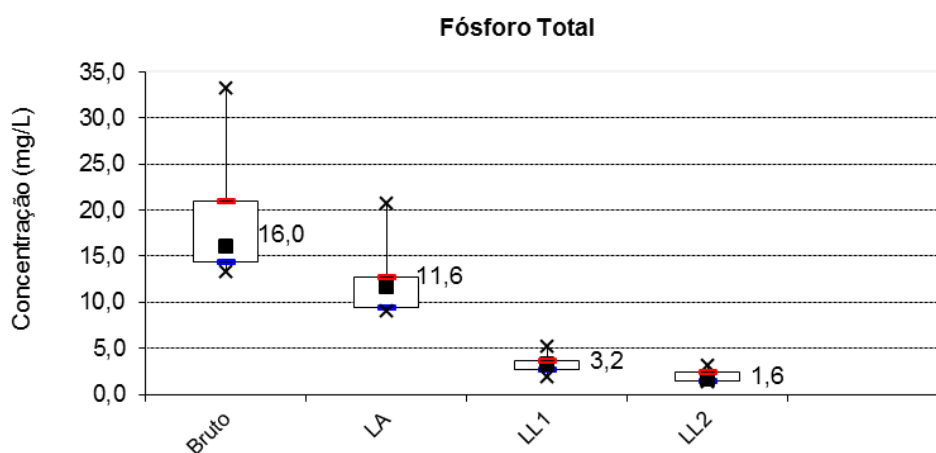
## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### Remoção de fósforo total

O sistema de lagoas de lemnas mostrou-se com grande potencial para a remoção de fósforo total, sendo a concentração média de entrada no sistema de 20 mgP.L<sup>-1</sup> e saída média de 1,7 mgP.L<sup>-1</sup>. A eficiência de remoção do sistema alcançou 90%, sendo que a maior parte da remoção ocorreu em LL1 (Figura 2).

Os valores de remoção de fósforo obtidos no presente trabalho são superiores a maioria dos trabalhos encontrados na literatura, como é o caso de Priya (2012), que obteve uma remoção de 79.39% utilizando Lemna minor. El-Shafai et al.(2006) com um sistema de lagoas por lemnas como pós-tratamento de um reator UASB obteve remoção de 78% de fósforo, já Alaerts et al. (1996) obteve remoção de 77% em um sistema de lagoas de lemnas para uma pequena população, Korner e Vermaat (1998) possuem um dos maiores valores de remoção de fósforo, onde obtiveram remoção máxima de fósforo de 99% utilizando Lemna gibba.

A remoção de nutrientes varia de acordo com as características químicas do efluente, a espécie de lemna utilizada e as condições de operação. Para sistemas com coleta periódica da biomassa, e com pH próximo a neutralidade a eficiência no tratamento se mostra maior. Iqbal (1999) esclarece que quanto maior a taxa de crescimento das lemnas, maior será a remoção de fósforo por mecanismos de absorção do  $PO_4^{3-}$  pelas lemnas, e ressalta a importância da colheita periódica para maximização da eficiência de remoção.



**Figura 2. Concentração de fósforo total nas diferentes etapas do sistema**

### Remoção de N-amoniacoal e NTK

A concentração média de entrada de NTK no sistema foi de 40 mg/L e saída média de 1,12 mg/L, apresentando assim uma remoção de cerca de 98% de NTK (Figura 3 e 4). Em relação ao nitrogênio amoniacoal observa-se uma remoção média de 98,6%.

El-Shafai et al. (2006) obteve remoção de 98% de NTK, já Alaerts et al (1996) obteve remoção de 74% de nitrogênio. Benjawan e Koottatep (2007) que em seu experimento em escala piloto tratando esgoto sanitário com uma mistura de L. minor e Wolfia arriza, obteve remoção de NTK de 89% e 92% para amônia. Com os resultados obtidos e comparação com a literatura observa-se um grande potencial das lagoas de lemnas para o polimento final no tratamento de efluentes. Alaerts et al. (1996) acrescenta que a rápida hidrólise do nitrogênio orgânico na água facilita sua absorção pelas plantas, e conseqüentemente a produção de biomassa. Em relação ao balanço de massa, Mohedano et al. (2012) afirmam que em concentrações na faixa do presente estudo, a maior parte da remoção de nitrogênio ocorre pela absorção direta pelas plantas e uma parcela menor devido ao processo de nitrificação/desnitrificação. A perda por volatilização da amônia é irrelevante devido ao baixo pH, característico neste tipo de lagoas.

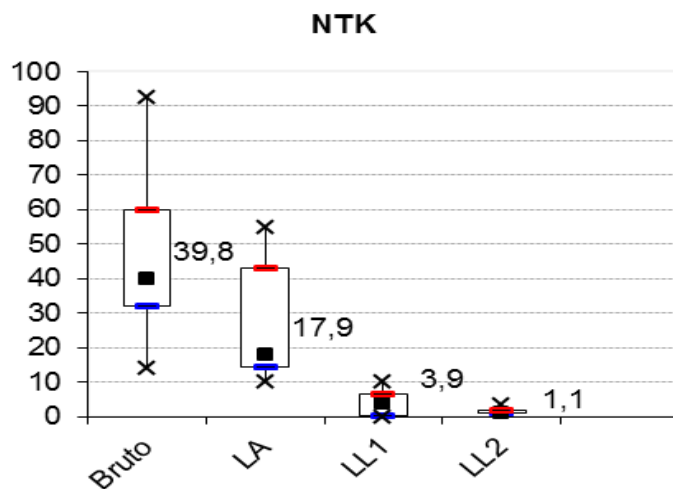


Figura 3. Concentração de NTK e Amônia nas diferentes etapas do sistema de tratamento.  
LA= Lagoa Anaeróbia; LL1 e 2 = Lagoa de lemnas 1 e 2

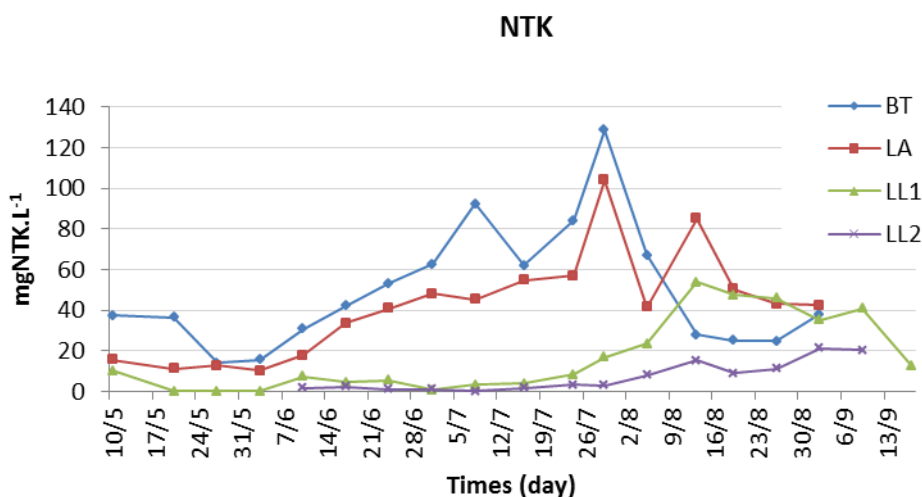


Figura 4. Variação na Concentração de NTK ao longo do período experimental, nas etapas do sistema de tratamento.

### Produtividade de Biomassa

No presente estudo o manejo da biomassa era feito duas vezes por semana. Durante todo o período experimental foram removidos 6,860 kg de biomassa seca, com uma média de 54,2g/d desta biomassa. A estimativa da taxa de crescimento superficial em LL1 foi de 6,06 g.m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup> de peso seco, para LL2 foi encontrado uma taxa de crescimento um pouco maior, de 7,48 g.m<sup>2</sup>.d<sup>-1</sup> (tabela 1). A produtividade máxima foi obtida na lagoa dois demonstrando uma capacidade de gerar 27,3 t.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> de biomassa seca.

Tabela 1. Taxa de crescimento específico (TCE) e taxa de crescimento superficial (TCS) considerando o peso seco.

Lagoas de lemnas	TCE (g.g.dia <sup>-1</sup> )	TCS (g.m <sup>2</sup> .d <sup>-1</sup> )
LL1	0,15	6,06
LL2	0,18	7,48

El-Shafai et al 2007 alcançou um rendimento de  $133,7 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{d}^{-1}$  com *L. gibba* no tratamento de esgoto sanitário após um reator UASB. Em trabalhos realizados por Oron e colaboradores, o rendimento da biomassa variou entre 80 e  $150 \text{ kg}\cdot\text{ha}\cdot\text{d}^{-1}$  (Oron et al, 1984; Oron et al., 1987. Oron e Willers, 1989). Porém o maior rendimento foi alcançado por Van der Steen et al (1998) com a espécie *L. gibba*, obtendo um rendimento de  $164 \text{ kg}/\text{ha}/\text{d}$ .

Vários fatores intervêm no crescimento da biomassa, entre os principais pode-se citar:

- Disponibilidade de nutrientes no meio;
- Luminosidade;
- Temperatura;
- Presença de compostos tóxicos;
- Disponibilidade de  $\text{CO}_2$ ; e
- Densidade da população.

A grande distinção na produtividade pode ser percebida nos trabalhos de Cheng et al 2002 e Mohedano et al 2012 que alcançaram produtividades de  $32 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  e  $18 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$ , respectivamente, ambos tratando dejetos suínos com a espécie *Landoltia punctata*. Os trabalhos reportados na literatura se encontram com grandes variações em seus valores de produtividade, podendo variar entre  $5,5 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  e  $38 \text{ g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{d}^{-1}$  (Oron et al, 1987; Alaerts et al, 1996; Korner et al, 1998; Cheng et al 2002; Landsman et al, 2005; Mohedano et al 2012).

Ao comparar com os estudos anteriores a taxa de crescimento superficial obtida nesta pesquisa se apresentou baixa, porém há grande distinção quanto às condições experimentais, como estudos de bancada sob condições controladas de temperatura, iluminação e nutrientes que tendem a obter taxas de crescimento maiores que estudos realizados em escala real ou piloto que sofrem variações na concentração dos efluentes, condições atmosféricas e iluminação.

Quanto à taxa de crescimento específico obtivemos um TCE de  $0,15 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$  em LL1 e  $0,18 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$  em LL2, esta taxa é baixa quando comparada aos trabalhos de Mohedano et al (2012), Caicedo (2005) e Bergman et al (2002) que conseguiram um TCE de 0,24, 0,28 e  $0,3 \text{ g}\cdot\text{g}^{-1}\cdot\text{dia}^{-1}$ , respectivamente. Porém a baixa produtividade de biomassa não prejudicou na eficiência do sistema em realizar o polimento do efluente

O teor proteico observado na biomassa apresentou um valor médio de  $35\pm 3,2\%$ . A alta taxa de crescimento anual desta biomassa somada ao elevado teor de proteína resulta em uma produtividade de proteína cerca de 20 vezes superior a da soja (MOHEDANO et al., 2012). Estudos mostram que a biomassa produzida possui grande potencial para complementação de ração animal (Mohedano, 2005; El-Shafai, 2006; Mohedano et al, 2012; Chen, 2012).

## CONCLUSÃO

As lagoas de lemnas demonstraram um grande potencial para a remoção de nutrientes de esgoto sanitário, alcançando remoção de até 90% de fósforo total e 98% de NTK. A produção de biomassa se mostrou baixa, porém não prejudicou a remoção de nutrientes por absorção. A biomassa produzida contém alto teor de proteína, podendo haver ganhos econômicos com o uso para produção de ração e bicomcombustível, além de ser positivo ao meio ambiente por evitar geração de resíduos. O crescimento das lemnas em climas quentes como o do Brasil, com invernos amenos melhoram o seu desenvolvimento, consequentemente a remoção de nutrientes. No entanto, estudos devem continuar sendo realizados para aperfeiçoamento e melhor entendimento do processo de tratamento e valorização da biomassa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Alaerts, G., Mahbubar, R. & Kelderman, P. 1996 Performance analysis of a full-scale duckweed-covered sewage lagoon. *Water Research*. 30 (4), 843–852.
2. AOAC (Association of Official Analytical Chemists) Official methods of analysis of the Association of Official Analytical Chemistry, 2005. 20ed., Washington, 1002p.



3. APHA. 2005 Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21st edition. American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
4. Benjawan, L. Koottatep, T. Nitrogen remove in recirculation duckweed ponds system. *Water Science and Technology*. v. 55, n. 11, p. 103-110. 2007.
5. Bergmann, B. A., Cheng, J., Classen, J. & Stomp, A. M. 2000 Nutrient removal from swine lagoon effluent by duckweed. *Transactions of the ASAE*. 42 (2), 263–269.
6. Caicedo, J.R. Effect of Operational Variables on Nitrogen Transformations in Duckweed Stabilization Ponds. 2005. Tese. Delft, The Netherlands. 163p. 2005.
7. Chen, Q., Jin, Y., Zhang, G., Fang, Y., Xiao, Y., Zhao, H. 2012 Improving Production of Bioethanol from Duckweed (*Landoltia punctata*) by Pectinase Pretreatment. *Energies*. 5, 3019-3032.
8. El-Shafai S. A., El-Gohary F., Nasr F.A., Van der Steen N. P., Gijzen H. J. 2006 Nutrient recovery from domestic wastewater using a UASB-duckweed pond system. *Bioresource Technology*. 98, 798-807.
9. Iqbal, S. 1999 Duckweed aquaculture. Potentials, possibilities and limitations, for combined wastewater treatment and animal feed production in developing countries. Switzerland. SANDEC report n.6, pp. 91
10. Körner, S.; Vermaat, J.E. 1998 The relative importance of *Lemna gibba*, bacteria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duckweed – covered domestic wastewater. *Water Research*. 32 (12), 3651- 366.
11. Landesman, L., Parker N. C. Fedler C. B., Konikoff, M. Modeling Duckweed Growth In Wastewater Treatment Systems. *Livestock Research for Rural Development*. v. 17, n. 6. 2005
12. MOHEDANO, Rodrigo de Almeida ; FRACALOSSO, D. M. ; RODRIGUES, J.B.R. 2005. *Lemna valdiviana* uma planta que trata os efluentes e alimenta peixes cultivados. *Panorama da Aqüicultura*, Rio de Janeiro, v. (87), p. 33-40.
13. Mohedano, R. A. 2010 Uso de macrófitas lemnáceas (*landoltia punctata*) no polimento e valorização do efluente de suinocultura e na fixação de carbono. Doc Thesis, Environmental Engineering, Federal University of Santa Catarina, Florianópolis, Brazil, pp 170.
14. Mohedano, R. A., Velho, V. F., Costa, R. H. R., Hofmann S. M., Belli Filho, P. 2012 Nutrient recovery from swine waste and protein biomass production using duckweed ponds (*Landoltia punctata*): Southern Brazil. *Water Science and Technology*. 65 (11), 2042-2048.
15. Priya, A., Avishek, K., Pathak, G. 2012 Assessing the potentials of *Lemna minor* in the treatment of domestic wastewater at pilot scale. *Environmental Monitoring and Assessment*. 184, 4301– 4307.