

II-379 - AVALIAÇÃO DA EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE NUTRIENTES DE ESGOTO DOMÉSTICO EM LAGOAS DE LEMNAS E PRODUÇÃO DE BIOMASSA

Camila Cassuly Teles⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pela UDESC-SC. Mestranda em Engenharia Ambiental no PPGEA/UFSC.

Gustavo Tonon⁽²⁾

Engenheiro Ambiental pela UDESC-SC. Mestrando em Engenharia Ambiental no PPGEA/UFSC.

Rodrigo de Almeida Mohedano⁽³⁾

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

Paulo Belli Filho⁽⁴⁾

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

Rejane Helena Ribeiro da Costa⁽⁵⁾

Eng. 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 na Universidade Federal de Santa Catarina.

Endereço⁽¹⁾: Campus Reitor João David Ferreira Lima Dpto de Eng. Sanitária e Ambiental – Bairro Trindade – Florianópolis – Santa Catarina – Brasil – CEP 88040-970 – Tel: +55 (48) 3721-7743 - e-mail: (1) camila_cassuly@hotmail.com.

RESUMO

Considerando a problemática da eutrofização em corpos receptores, as lagoas de lemnas têm demonstrado um grande potencial para remoção de nutrientes (N e P) de efluentes domésticos e agroindustriais. Estas macrófitas aquáticas apresentam elevadas taxas de absorção de nutrientes, além de produzirem uma biomassa passível de valorização, seja na produção de biocombustíveis ou na alimentação animal. O presente estudo objetivou avaliar a eficiência de remoção de compostos nitrogenados e fosfatados por lagoas de lemnas no tratamento de esgoto doméstico. Para isso, foi desenvolvido um experimento em escala piloto, composto por duas lagoas de lemnas (L1 e L2) em série (10,08m² e TDH de 17 dias, cada) para o tratamento de esgoto doméstico. O sistema foi operado com uma vazão de 200 L.dia⁻¹ e monitorado por meio de análises de parâmetros físico-químicos (NT, N-NH₃, N-NO₂⁻, N-NO₃⁻, PT, P-PO₄, DQO, OD e pH). A taxa de crescimento e a composição da biomassa de macrófitas foram estudadas para fins de valorização. Como resultados, referentes ao período de 200 dias de monitoramento, observou-se eficiência de remoção de nutrientes de NT = 91% a partir de 64,2 mg.L⁻¹ e PT = 95% a partir de 6,3 mg.L⁻¹, assim como para matéria orgânica, DQO = 59% a partir de 77,6 mg/L⁻¹. De forma complementar, a biomassa produzida durante o tratamento atingiu uma produtividade de 19,4 e 12 ton.ha.ano⁻¹ (peso seco) para L1 e L2, respectivamente. Nas condições avaliadas, as lagoas de lemnas apresentaram um bom desempenho, proporcionando o polimento do esgoto tratado.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de efluentes, esgoto doméstico, lagoa de lemnas, nutrientes, macrófitas.

INTRODUÇÃO

O tratamento e o reúso das águas residuais são uma das soluções-chave para enfrentar a crise hídrica atual, pois cerca de 90% da água residual de países em desenvolvimento fluem sem tratamento até os rios, lagos e zonas costeiras (ONU, 2015). 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. Como consequência, os nutrientes residuais presentes no esgoto doméstico ao serem lançados nos ecossistemas aquáticos podem induzir o processo de eutrofização. Ou seja, o 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).

Neste contexto, as lagoas de lemnas têm sido aplicadas e avaliadas nas últimas décadas, como tecnologia alternativa para o tratamento de efluentes (SKILICORN *et al.*, 1993; FAO, 1999). As lemnas são pequenas macrófitas aquáticas (subfamília *Lemnoideae*) que apresentam a maior taxa de crescimento entre as plantas vasculares além de uma elevada exigência por nitrogênio e fósforo (IQBAL, 1999). Estes dois fatores em conjunto contribuem para uma eficiente remoção de nutrientes em sistemas de tratamento de águas residuárias (MOHEDANO, 2010). Em comparação com outras espécies de macrófitas já utilizadas, como o aguapé, as lemnas apresentam a vantagem de produzir uma biomassa rica em proteína e de fácil manejo. Deste modo, esta tecnologia alia a alta eficiência de remoção de nutrientes com o baixo custo e baixa complexidade operacional do sistema, além de produzir uma biomassa passível de valorização (CAICEDO, 2000).

Essa tecnologia tem 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 *et al.* 2012 e PRIYA *et al.* 2012). O restante é removido por desnitrificação, absorção microbiológica, sedimentação e volatilização da amônia.

Quanto ao fósforo, a principal via de remoção é a absorção direta pela biomassa, mas também ocorre a adsorção em partículas de argila e de matéria orgânica, a precipitação química, e pela remoção do lodo (IQBAL, 1999). A capacidade de absorção de fósforo pelas plantas depende da taxa de crescimento, frequência de coleta e disponibilidade de ortofosfato ($P-PO_4^{3-}$) na água (forma assimilável de P pelas plantas) (MOHEDANO, 2010). Estudos demonstram o grande potencial da tecnologia na remoção de fósforo de efluentes, como exemplo, Alaerts *et al.* (1996) relataram uma remoção de 77% de fósforo total de uma estação de tratamento de esgoto sanitário de pequeno porte. Já Mohedano *et al.* (2012) alcançaram uma remoção de 98,8% utilizando a espécie *Landoltia punctata* tratando dejetos suínos.

Essas lagoas além de remover nutrientes, podem incorporar oxigênio na coluna d'água e clarificar o efluente devido à formação de uma barreira física em sua superfície. Esta 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, cujos microrganismos consomem nutrientes e matéria orgânica (IQBAL, 1999).

Diferente de outras macrófitas utilizadas em sistemas de tratamento, as lemnas podem produzir uma biomassa com potencial para valorização, a qual, quando cultivada em um ambiente adequado poderá conter entre 20 e 45% de proteína (LANDOLT e KANDELER 1987, STAMBOLIE e LENG 1994). Essa biomassa é passível de 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 também viável para produção de bicomcombustíveis (etanol) devido a seu alto teor de amido (CHEN *et al.* 2012; GE *et al.* 2012).

Por se tratar de um sistema de tratamento de lagoas de profundidade baixa, requer uma grande área superficial, mostrando-se viável para localidades com áreas disponíveis, de clima tropical e temperado. Por ser de manejo simples e fácil operação, seu uso é ideal em sistemas descentralizados em pequenas comunidades. Nesse contexto, o presente estudo teve como objetivo avaliar a eficiência da aplicação de lagoas de lemnas para a remoção de compostos nitrogenados e fosfatados do efluente doméstico, além da valorização de sua biomassa.

METODOLOGIA

Descrição e operação do sistema piloto experimental

O estudo foi desenvolvido em um sistema experimental, em escala piloto, instalado no campus da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), no município de Florianópolis, SC, Brasil, formado por três tanques de equalização e duas lagoas de lemnas, todos em fibra de vidro. A capacidade total de armazenamento dos 3 tanques de equalização é de 11 m³. As lagoas de lemnas, denominadas de L1 e L2, estão dispostas em série, possuem as mesmas dimensões (4,20 x 2,40 x 1,00 m), ocupam área total de 10,08 m² e área útil de 8 m². A altura da coluna d'água é de 42 cm em ambas as lagoas, totalizando um volume útil de aproximadamente 3500 L. O esquema do sistema pode ser visto na Figura 1.

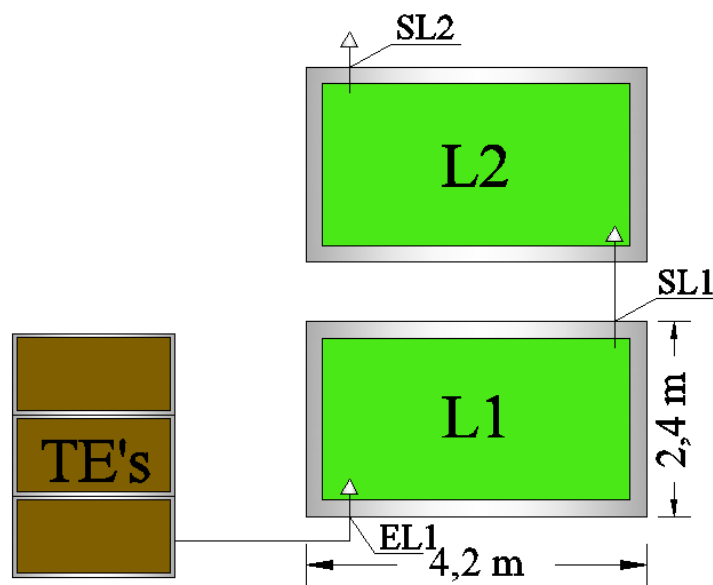


Figura 1. Representação esquemática do sistema de tratamento experimental. TE's – Tanques de Equalização; L1 - Lagoa de lemnas 1; L2 - Lagoa de lemnas 2. Pontos de coleta: EL1 – Entrada da Lagoa de Lemnas 1; SL1 – Saída da Lagoa de Lemnas 1; SL2 – Saída da Lagoa de Lemnas 2.

O esgoto doméstico provém de um condomínio residencial, sendo coletado após o tratamento preliminar (gradeamento e caixa de gordura) e transportado por caminhões limpa-fossa. Na unidade piloto, o esgoto é armazenado e aplicado no sistema de tratamento por meio de uma bomba peristáltica. As macrófitas lemnáceas da espécie *Landoltia punctata* inicialmente foram introduzidas nas lagoas em quantidade suficiente para cobrir toda a superfície.

O sistema opera em fluxo contínuo a uma vazão de 200 L.d^{-1} . Após os TE's o esgoto segue por gravidade para L1 e L2. O esgoto fica armazenado durante 25 dias nos tanques de armazenamento (TE's) sendo que o tempo de detenção hidráulico (TDH) é de 17 dias para ambas as lagoas de lemnas.

O dimensionamento das lagoas foi feito com base na carga de amônia a ser aplicada, pois, segundo Caicedo (2005), a concentração de amônia pode ser um fator limitante para o funcionamento das lagoas de lemnas, cargas muito elevadas podem causar efeito tóxico nas macrófitas. A carga média aplicada nas lagoas deste experimento foi de $13,2 \text{ kg N-NH}_3.\text{ha}^{-1}.\text{d}^{-1}$, com média de concentração de $52,8 \text{ mg N-NH}_3.\text{L}^{-1}$. Em termos de carga orgânica foi aplicada $19,4 \text{ kg DQO}.\text{ha}^{-1}.\text{d}^{-1}$.

Monitoramento e análises do efluente

O período de monitoramento foi de 200 dias. Duas estratégias de coletas de amostras foram adotadas: semanalmente para os pontos de entrada e saída de cada lagoa (Figura 1), e quinzenalmente para pontos localizados no perfil das lagoas (Figura 2). Nesses estabeleceu-se 3 diferentes profundidades de amostragem em pontos equidistantes ao longo das lagoas, de 10 cm, 25 cm e 35 cm, perfazendo um total de 9 pontos de coleta em cada lagoa.

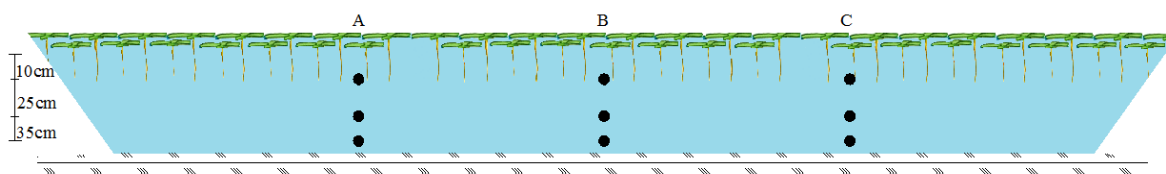


Figura 2. Representação esquemática dos pontos de coleta em 3 profundidades nas lagoas de lemnas.

Os parâmetros, a metodologia e a frequência das análises estão demonstrados na Tabela 1. Os dados obtidos foram processados estatisticamente para obtenção de valores de eficiência de remoção, cargas aplicadas e removidas além da confecção de gráficos.

Tabela 1 – Parâmetros, metodologia e frequência de análises.

Análise	Método	Amostra/Frequência
Nitrogênio Amoniacal (NH₃⁺-N)	Método salicilato (Kit Hach)	Pontos de perfil: Quinzenalmente EL1,SL1,SL2: Semanalmente
Nitrogênio Total	Método persulfato (Kit Hach)	EL1,SL1,SL2: Semanalmente
Fósforo Total	Método molybdovanadato. SM* 4500P C	EL1,SL1,SL2: Semanalmente
Nitrito (NO₂⁻-N), Nitrato (NO₃⁻-N) e Fosfato (PO₄-P)	Cromatografia líquida de troca iônica (DIONEX DX 120). SM* 4110C	Pontos de perfil: Quinzenalmente EL1,SL1,SL2: Semanalmente
OD	Oxímetro portátil Alfakit	EL1,SL1,SL2: Semanalmente
pH	pHmetro Hanna HI8314	EL1,SL1,SL2: Semanalmente
DQO	Método colorimétrico de refluxo fechado (SM* 5220D)	EL1, SL1, SL2: Semanalmente

*SM = número de referência do método segundo o Standard Methods (APHA, 2005).

Avaliação quantitativa da biomassa

A avaliação da produtividade da biomassa de lemnas foi realizada pela determinação da taxa de crescimento específico (dada em g.g⁻¹.dia⁻¹) e taxa de crescimento relativo (g.m⁻².dia⁻¹), segundo Mohedano *et al.* (2012). Para isso, foi utilizado um quadrado flutuante de PVC (32 mm) com área interna de 0,25 m², o qual era lançado aleatoriamente em 3 pontos diferentes nas lagoas e a biomassa no interior era coletada e pesada. A biomassa excedente foi retirada duas vezes por semana. Toda a biomassa coletada era seca em estufa a 55°C, por 24 horas para determinação do peso seco.

Análise de Dados

Para os pontos amostrais do perfil foram avaliadas as concentrações de P-PO₄, N-NO₂, N-NO₃, N-NH₃, e com os dados coletados foram construídos gráficos tipo *Boxplot*, agrupando os valores de acordo com as diferentes profundidades (10 cm, 15 cm e 35 cm) e de acordo com as distâncias ao longo das lagoas (A- Início, B- Meio, C- Fim). Nesses agrupamentos foram realizadas análises estatísticas de variância (ANOVA) utilizando o teste de comparações múltiplas de Tukey para avaliar a hipótese de igualdade entre as profundidades e distâncias. Os dados referentes à biomassa foram também, armazenados em planilhas eletrônicas e então comparados com os demais. O processamento dos dados foi feito com auxílio do software Microsoft Excel 2007, com a extensão *Action 2.5*.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Remoção de nutrientes (N e P)

Com relação à remoção de nutrientes encontradas no período experimental, pode-se perceber uma elevada remoção dos compostos fosfatados e nitrogenados quando aplicadas cargas de NT e PT de 21,2 kg.ha⁻¹.d⁻¹ e 1,6 kg.ha⁻¹.d⁻¹, respectivamente. Os valores de pH apresentaram valores neutros durante o período experimental, permanecendo entre 6,5 e 7,5, caracterizando um processo biológico estável. O pH influencia diretamente o processo de absorção direta da amônia pelas plantas e em pH muito elevado a amônia tem efeito tóxico para as plantas (CAICEDO, 2005). Os resultados de eficiência e concentração obtidos relacionados às cargas aplicadas estão demonstrados na Tabela 1.

Tabela 1- Valores médios e desvio padrão (DP) dos resultados obtidos quanto à caracterização de Nitrogênio Total (NT), Nitrogênio Amoniacal (N-NH₃), Fósforo Total (PT) e Ortofosfato (P-PO₄) das diferentes etapas do sistema de Lagoas de Lemnas.

Parâmetros n = 27 (mg/L)	Carga (kg/ha.d)	EL1 Média ± DP	SL1 Média ± DP	SL2 Média ± DP	Eficiência %
NT	21,2	64,2 ± 21,2	21,5 ± 12,7	6,0 ± 5,7	90,6
N-NH ₃	13,2	52,8 ± 18,9	15,4 ± 7,0	2,3 ± 3,2	95,7
PT	1,6	6,3 ± 2,2	1,7 ± 1,1	0,3 ± 0,6	95,3
P-PO ₄	1,0	4,1 ± 2,1	1,3 ± 1,0	0,2 ± 0,4	96,1

n* = Número de amostras.

Na Figura 3 estão apresentados os valores obtidos para P-PO₄ e fósforo total (PT), ao longo do período de estudo. Para o fósforo total a concentração média de entrada nas lagoas foi de 6,3 mg PT.L⁻¹ e na saída com média de 0,3 mg PT.L⁻¹. A eficiência de remoção das lagoas alcançou 95%, sendo que a maior parte da remoção ocorreu em L2 (82%). Em relação ao ortofosfato (P-PO₄), a concentração média de entrada foi de 4,1 mg P-PO₄.L⁻¹ e saída média de 0,2 mg P-PO₄.L⁻¹, com eficiência global de 96,1%, sendo que a maior porcentagem de remoção ocorreu em L2 (88%).

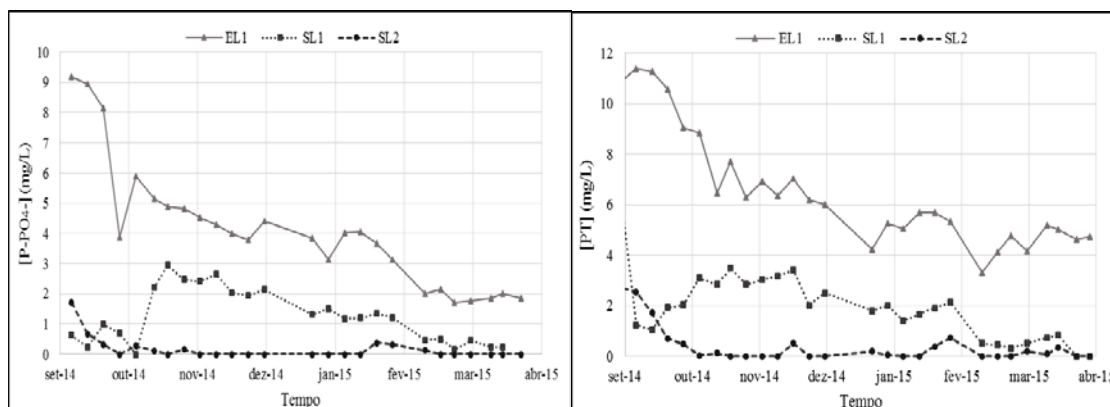


Figura 3. Representação gráfica da concentração de P-PO₄ e PT no tempo. EL1 - Entrada da lagoa 1; SL1-Saída da lagoa 1; SL2- Saída da lagoa 2.

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% utilizando *Lemna minor*. El-Shafai *et al.* (2006) com um sistema de lagoas por lemnas como pós-tratamento de um reator UASB relatam remoção de 78% de fósforo, já Alaerts *et al.* (1996) obtiveram remoção de 77% em um sistema de lagoas de lemnas para uma pequena população, e Korner e Vermaat (1998) conseguiram valores de remoção de fósforo de 99% utilizando *Lemna gibba*. Iqbal (1999) esclarece que quanto maior a taxa de crescimento das lemnas, maior será a remoção de fósforo por mecanismos de absorção do PO₄³⁻ pelas lemnas, e ressalta a importância da colheita periódica para maximização da eficiência de remoção.

Na Figura 4 são apresentados os resultados obtidos para N-NH₃ e NT ao longo do tempo do estudo. Para o nitrogênio total a concentração média de entrada na lagoa 1 foi de 64,2 mg NT.L⁻¹ e saída do sistema de 6,0 mg NT.L⁻¹, com 90,6% de eficiência de remoção. Em relação ao N-NH₃, a concentração média de entrada foi de 52,8 mg N-NH₃.L⁻¹ e na saída a média foi de 2,3 mg N-NH₃.L⁻¹, resultando em 95,7% de remoção. Tanto para N-NH₃ quanto para NT a maior parte da remoção ocorreu em L2, 71,9% e 85,3%, respectivamente. Em relação ao nitrito e nitrato, os valores foram muito baixos nas amostras analisadas (EL1: 0,09 mg N-NO₂.L⁻¹ e 0,02 mg N-NO₃.L⁻¹; SL1: 0,15 mg N-NO₂.L⁻¹ e 0,40 mg N-NO₃.L⁻¹; SL2: 0,08 mg N-NO₂.L⁻¹ e 0,32 mg N-NO₃.L⁻¹). Este fato pode ser explicado devido à taxa de consumo pelas plantas ser maior do que a velocidade de nitrificação, além do baixo OD encontrado durante o período. Deste modo acredita-se que a absorção direta de nutrientes pelas plantas (fito extração) é a principal via de remoção. Contudo, estudos mais

detalhados sobre o balanço de massa devem ser desenvolvidos para elucidar as vias de remoção nesses sistemas.

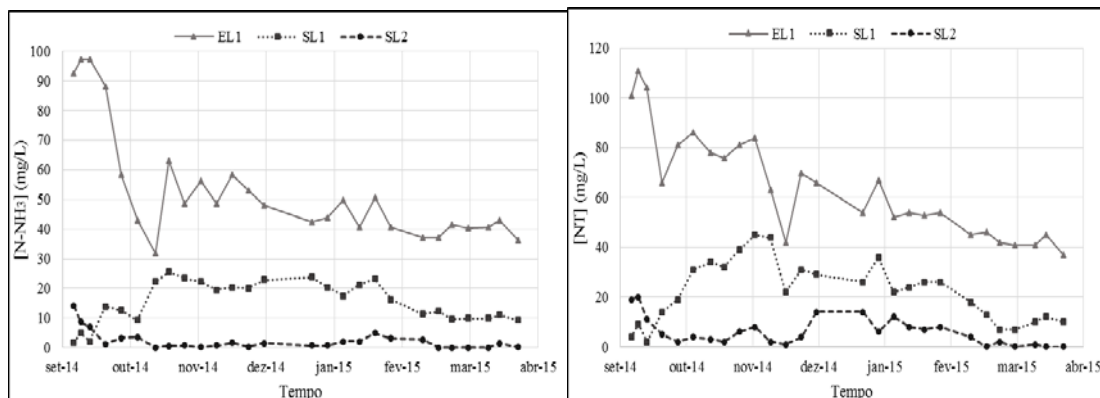


Figura 4. Representação gráfica da concentração de $N-NH_3$ e NT no tempo. EL1 - Entrada da lagoa 1; SL1-Saída da lagoa 1; SL2- Saída da lagoa 2.

Na Figura 5 estão apresentados os resultados da exploração estatística dos resultados na forma de gráfico *Boxplot*. Os resultados obtidos com a análise de variância pelo método de Tukey demonstraram que não houve diferença significativa entre os conjuntos analisados. Verificou-se que para um intervalo de confiança de 95%, não se rejeita a hipótese de igualdade entre os conjuntos, tanto para profundidade quanto ao longo do comprimento para as concentrações de amônia e fosfato. Dessa forma, pode-se considerar que as lagoas demonstram uma homogeneidade de nutrientes na massa d'água, já que não se observa variações nas concentrações de $P-PO_4$ e $N-NH_3$ ao longo do tratamento, assim como nos pontos de entrada e saída das lagoas.

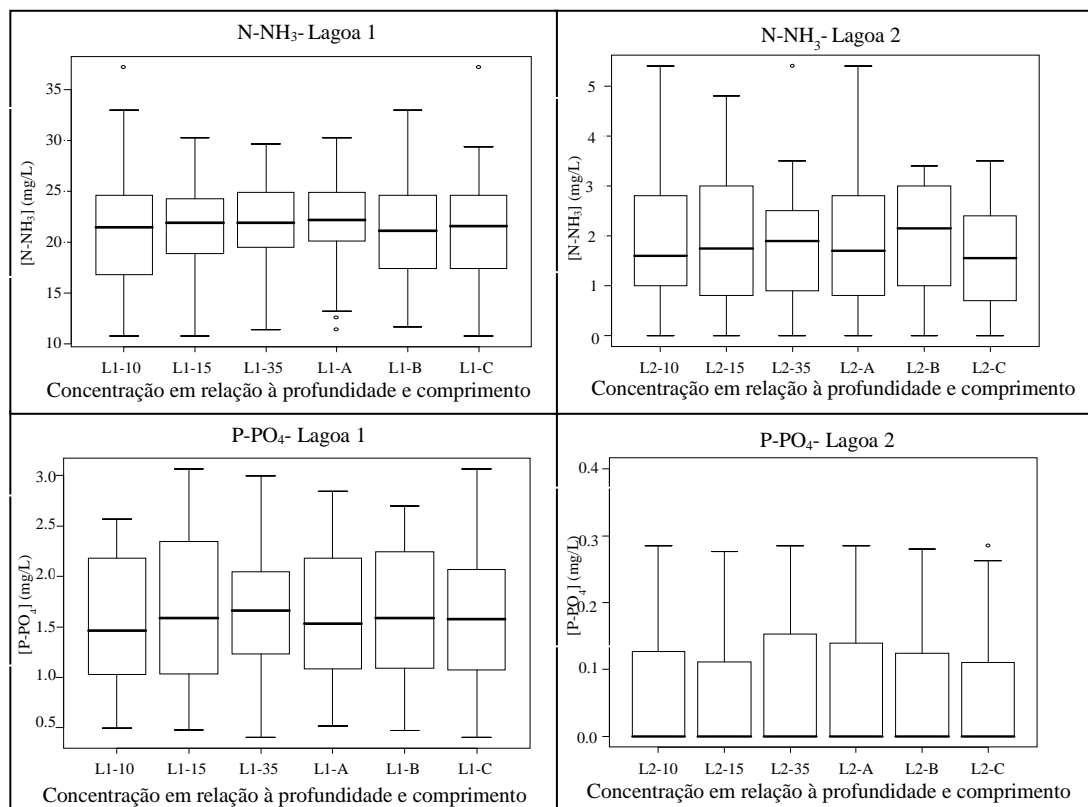


Figura 5. *Boxplots* das concentrações de $N-NH_3$ e $P-PO_4$ dos pontos de perfil de L1 e L2 em relação à profundidade (10, 25 e 35 cm) e ao longo do comprimento (A - Início, B - Meio, C - Fim).

Avaliação qualitativa e quantitativa da biomassa

A taxa de crescimento específica média (TCE) obtida no trabalho foi de 0,08 g.g⁻¹.d⁻¹ e de 0,046 g.g⁻¹.d⁻¹ para L1 e L2, respectivamente. Esses valores estão abaixo daqueles encontrados por Mohedano (2010) e Bergman *et al.* (2000), que obtiveram 0,24 g.g⁻¹.d⁻¹ e 0,3 g.g⁻¹.d⁻¹, respectivamente, utilizando a mesma espécie (*Landoltia punctata*). A produtividade média estimada em SL1 foi de 5,3 g.m⁻².d⁻¹ (peso seco) e em L2 de 3,29 g.m⁻².d⁻¹ (peso seco), o rendimento é baixo quando comparado com o obtido por El-Shafai *et al.* (2006), que foi de 13,8 g.m⁻².d⁻¹ e de Mohedano *et al.* (2012), tratando dejetos suínos, que obtiveram 8,3 g.m⁻².d⁻¹ (seco). Apesar da baixa produtividade, não houve um comprometimento da eficiência do tratamento podendo ser este um fator positivo, pois a menor produção de biomassa reduz a necessidade de mão de obra para o manejo de remoção.

CONCLUSÕES

As lagoas de lemnas avaliadas apresentaram eficiências bastante satisfatórias, proporcionando o polimento do esgoto tratado. A remoção de nutrientes foi de 91%, 96%, 95% e 96%, para NT, N-NH₃, PT e P-PO₄, respectivamente, mesmo com baixa produtividade da biomassa de lemnas. O efluente final apresentou características dentro dos padrões de lançamento exigidos na legislação ambiental. Pelos resultados de perfil foi possível concluir que as lagoas apresentam homogeneidade na concentração de compostos solúveis, com concentrações de fosfato e amônia igualmente distribuídos pelo perfil das lagoas.

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. 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.
3. Benjawan, L. Koottatep, T. Nitrogen remove in recirculation duckweed ponds system. *Water Science and Technology*. v. 55, n. 11, p. 103-110. 2007.
4. 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.
5. Caicedo, J.R., Van Der Steen, N.P., Arce, O.; Gijzen, H.J. Effect of total ammonia nitrogen concentration and pH on growth rates of duckweed (*Spirodella polirrhiza*). *Wat. Res.* 34: (15): 3829-3835. 2000.
6. Caicedo, J.R. Effect of Operational Variables on Nitrogen Transformations in Duckweed Stabilization Ponds. Tese. Delft, The Netherlands. 163pp. 2005.
7. Chen, J. Y., Zhang, G., Fang, Y., Xiao, Y., Zhao, H. Improving Production of Bioethanol from Duckweed (*Landoltia punctata*) by Pectinase Pretreatment. *Energies*. v. 5, n. 8, p. 3019-3032. 2012.
8. Cheng, J., Landesman, L. Bergman, B. A. Classen, J. J. Howard, J. W.; Yamamoto, Y. T. b Nutrient Removal from Swine Lagoon Liquid by *Lemna minor*. *Am. Soc. Agric. Eng.* 45 (4): 1003- 1010. 2002b.
9. 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.
10. FAO. Livestock's long shadow. Food and Agriculture Organization of The United Nations. Rome. 319 p. 1999.
11. Ge, X., Zhang, N., Phillips, G. C., Xu, J. Growing *Lemna minor* in agricultural wastewater and converting the duckweed biomass to ethanol. *Bioresource Technology*. v. 124, p. 485-488. 2012.
12. Gijzen, H. J., M. Khondker. An overview of the ecology, physiology, cultivation and applications of duckweed. Inception Report. Annex 1. Literature Review. Duckweed Research Project (DWRP). Dhaka, Bangladesh. 53 p. 1997.
13. 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.
14. Krishna, K.C. Bal; Polprasert, Chongrak. An integrated kinetic model for organic and nutrient removal by duckweed-based wastewater treatment (DUBWAT) system. *Ecological Engineering*, Thailand, v. 34, p. 243-250, 29 ago. 2008.
15. Körner, S.; Vermaat, J.E. 1998 The relative importance of *Lemnagibba*, bacteria and algae for the nitrogen and phosphorus removal in duckweed – covered domestic wastewater. *Water Research*. 32 (12), 3651- 366.

16. Korner, S., Lyatuu, G.B. ; Vermaat, J.E. The influence of *Lemna gibba* on the degradation of organic material in duckweed-covered domestic wastewater. *Water Research*. v. 32, n. 10, p. 3092-3098. 1998.
17. Landolt, E., R. Kandeler. The family of Lemnaceae - A monographic study: Phytochemistry, Physiology, Application, and bibliography. In: *Biosystematic Investigations in the Family of Duckweeds (Lemnaceae)*. Veroeffentlichungen des Geobotanischen Institutes der ETH, Stiftung Ruebel, Zuerich. v. 4, n. 95, p. 638. 1987.
18. Mohedano, R. A. 2010 Uso de macrófitas lemnáceas (*landoltiapunctata*) 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.
19. 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 (*Landoltiapunctata*): Southern Brazil. *Water Science and Technology*. 65 (11), 2042-2048.
20. ONU. Até 2050, um bilhão de pessoas viverão em cidades sem água suficiente, diz Banco Mundial. Disponível em: <<http://nacoesunidas.org/ate-2050-um-bilhao-de-pessoas-viverao-em-cidades-sem-agua-suficiente-diz-banco-mundial/>>. Acesso em: 21 mar. 2015.
21. 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.
22. Stambolie, J. H., Leng R. A. Unpublished observations. UNE, Armidale NSW Australia. 1994.
23. Von Sperling, M. Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. 3. edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2005. 452p.
24. Xu, J.; Shen, G. Growing duckweed in swine wastewater for nutrient recovery and biomass production. *Bioresource Technology*, Raleigh, v.102, n.2, p.848–853, 2011.