

AVALIAÇÃO DA REMOÇÃO DE NITROGÊNIO E FÓSFORO EM LAGOA DE MACRÓFITAS FLUTUANTES E LAGOAS DE ALTA TAXA DE MICROALGAS

José Carlos Alves Barroso Júnior⁽¹⁾

⁽¹⁾Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Maria Cristina de Almeida Silva⁽²⁾

⁽¹⁾Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Nestor Leonel Muñoz Hoyos⁽³⁾

⁽¹⁾Doutor em Engenharia de Meio Ambiente

Luiz Olinto Monteggia⁽⁴⁾

⁽¹⁾Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Lígia Conceição Tavares⁽⁵⁾

⁽¹⁾Mestra em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental

Endereço⁽¹⁾: Faculdade Dom Bosco Porto Alegre (FDB), Rua Mal. José Inácio da Silva, 355, 90520-280, Passo D'Areia, Porto Alegre – RS, Brasil - País - Tel: +55 (51) 98186-3969 - e-mail: jrzenite@gmail.com

RESUMO

O devido tratamento dos efluentes sanitários e industriais é essencial para o equilíbrio no ambiente e prevenir a eutrofização dos corpos hídricos. O controle destes seres fotossintéticos em sistemas de lagoas para tratamento de efluentes sanitários podem auxiliar na remoção e recuperação dos nutrientes e resultar no efluente clarificado e baixa carga poluidora. As lagoas com presença de macrófitas e as lagoas de alta taxa de cultivo de microalgas (LAT) utilizadas na depuração de esgotos sanitários e industriais são variantes das lagoas de estabilização. O presente estudo tem como objetivo a avaliação da remoção de nitrogênio e fósforo em lagoas com presença de macrófitas e lagoas de alta taxa de cultivo de microalgas. O efluente bruto foi preliminarmente tratado através de reator anaeróbio UASB com volume de 18,3 m³ e seu efluente dividido ao meio para cada uma das lagoas com volume individual de 80m³ ao trabalhar com lâmina d'água de 30 cm. Uma delas foi cultivada microalgas - LA - (cultivo misto) e em outra com o cultivo de macrófitas flutuantes- LM - (*Lemna minor*, *Spirodela Intermedia*, *Spirodela polyrhiza*, e *Wolffia columbiana*). As coletas e análises dos efluentes foram realizadas uma vez por semana durante o período de 4 meses, de fevereiro de 2016 até maio de 2016, totalizando 10 amostras para o período quente e 10 para o frio. As duas lagoas foram testadas em dois períodos: elevadas temperaturas (verão), ou período quente e baixas temperaturas (outono), ou período frio, com influência da radiação solar. Foi utilizado TDH de 4,1 dias nas lagoas e avaliada a remoção de nutrientes. Os sistemas de lagoas apresentam valores de concentração dos nutrientes mais elevados durante o período frio quando comparados ao período quente, com exceção dos valores de nitrato apresentados na LA. No comparativo entre as lagoas, a LA apresenta valores de concentração de nitrogênio amoniacal e NTK inferiores que os apresentados pela LM para o período quente e frio, possivelmente devido a fotossíntese realizado pelas microalgas, o que tem como resultado a elevação nos valores de pH. Porém os valores de concentração de nitrito e nitrato são menores para a LM. As concentrações de fósforo total apresentadas pela LA (1,7 mg/L) são mais elevadas que as concentrações da LM (1,6 mg/L) no período quente, já para o fosfato ocorre o contrário.

PALAVRAS-CHAVE: Lagoas de microalgas, Lagoas de macrófitas, remoção de nutrientes, tratamento de efluentes.

INTRODUÇÃO

O devido tratamento dos efluentes sanitários é essencial para evitar a eutrofização dos corpos hídricos e consequentemente o desenvolvimento de macrófitas e microalgas em níveis acima do equilíbrio ambiental. O controle destes seres fotossintéticos em sistemas de lagoas para tratamento de efluentes sanitários podem auxiliar na remoção e recuperação dos nutrientes e resultar no efluente clarificado e baixa carga poluidora.

As lagoas com presença de macrófitas e as lagoas de alta taxa de cultivo de microalgas (LAT) utilizadas na depuração de esgotos sanitários e industriais são variantes das lagoas de estabilização.

As LAT são canais abertos, com profundidade de água entre 0,2 m a 1,0 m possuindo um sistema de mistura, normalmente mecanizado (OSWALD, 1987; BENEMANN; OSWALD, 1996; PARK; CRAGGS; SHILTON, 2011), que podem substituir de forma vantajosa as lagoas facultativas e de maturação (Benemann et al. 1977).

Nas lagoas de tratamento com presença de microalgas, é possível a remoção/recuperação de nitrogênio e fósforo, através da sorção pelas microalgas (Hernández and Meurer 1995).

Quando não há a remoção das microalgas do meio líquido podem ser apresentadas baixas remoções de fósforo da lamina d'água atingindo valores entre 25-55 % de remoção (Barroso, 2015; Benítez et al., 2018; Larsdotter, 2006; Powell, N. et al., 2010). Já a remoção de nitrogênio pode ocorrer pela sorção por parte das microalgas, nitrificação/desnitrificação e/ou volatilização de parte do nitrogênio amoniacal devido ao elevado pH (>9,5), atingindo remoções entre 40 – 80% do nitrogênio total (Barroso Júnior 2020; Posadas et al. 2014; Wang et al. 2014).

Conforme (Greenaway e Woolley 2001), lagoas de tratamento com presença da macrófitas como a *Lemna gibba* contribuiu na remoção de nitrogênio e fósforo, com remoções de 15 - 80% de nitrogênio e 24 - 80% de fósforo. Em lagoas com presença de *Spirodela intermedia* obteve-se valores de remoção de nitrogênio amoniacal de 84,0 % e fósforo total de 38,1 %, além de favorecer a nitrificação (Basílico et al. 2017).

Lagoas de macrófitas com presença da *Spirodela polyrrhiza* tratando efluentes sanitários apresenta taxa de remoção e recuperação de nitrogênio de 73,5 % e fósforo de 65,0 % (Cheng and Stomp 2009; Li et al. 2016; Zhao et al. 2015). Já VALDERRAMA et al., (2002) utilizou um sistema de tratamento composto de *Wolffia sp.* e *Chlorella vulgaris*, onde essa cultura reduziu o nitrogênio amoniacal em 71,6% e o fósforo em 28,0%.

O objetivo principal deste trabalho é avaliar a remoção de nutrientes (fósforo e nitrogênio) no sistema de tratamento de efluentes através das lagoas, sendo uma com presença de macrófitas e a outra com cultivo de microalgas, em condições de temperatura quente (verão) e fria (outono).

Os objetivos específicos foram de operar as lagoas com TDH de 4,1 dias para cada condição operacional (quente e frio) em escala piloto, avaliando a eficiência de remoção de nutrientes com a finalidade de identificar o melhor tratamento e condição operacional para remoção de cada um dos nutrientes.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os estudos foram realizados na planta experimental localizada em Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) do município de Porto Alegre – RS em que clima classificado como subtropical úmido. Segundo o INMET (2020), a precipitação anual nesta área é de 1397 mm, bem distribuídos ao longo do ano com picos mais elevados entre os meses de junho a setembro.

O efluente bruto foi preliminarmente tratado através de reator anaeróbio UASB com volume de 18,3 m³ e seu efluente dividido ao meio para cada uma das lagoas com volume individual de 80m³ ao trabalhar com lâmina d'água de 30 cm. Uma delas foi cultivada microalgas - LA - (cultivo misto) e em outra com o cultivo de macrófitas flutuantes- LM - (*Lemna minor*, *Spirodela Intermedia*, *Spirodela polyrrhiza*, e *Wolffia columbiana*), como apresentado na Figura 1.

O desenvolvimento das espécies presentes de microalgas e macrófitas ocorreu de forma espontânea, desenvolvendo-se naturalmente na região de estudo, não havendo inoculação. No caso das microalgas há diversos gêneros com elevada variação para os predominantes, dentre eles: *Nitzschia*, *Chlorella*, *Euglena*, *Desmodesmus*, *Scenedesmus*, *Gomphonema*, *Lepocinclis*, *Trachelomonas*, *Coelastrum*, *Tetrastrum* e *Phacus*. Para as macrófitas as espécies predominantes se resumem nas quatro apresentadas ao longo deste trabalho.

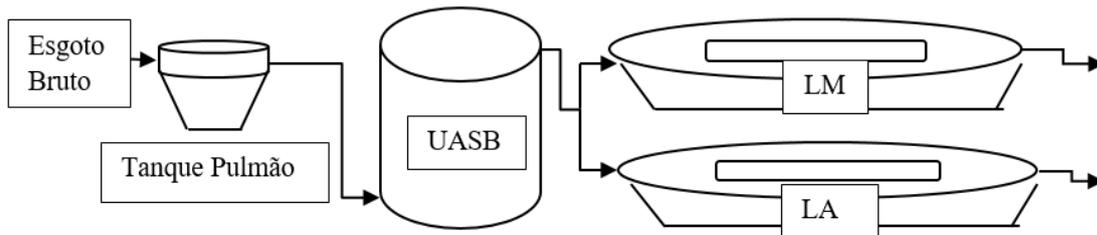


Figura 1- Esquema da planta piloto de tratamento de efluentes do IPH.

As coletas e análises dos efluentes foram realizadas uma vez por semana durante o período de 4 meses, de fevereiro de 2016 até maio de 2016, totalizando 10 amostras para o período quente e 10 para o frio.

As duas lagoas foram testadas em dois períodos: elevadas temperaturas (verão), ou período quente e baixas temperaturas (outono), ou período frio, com influência da radiação solar. Foi utilizado TDH de 4,1 dias nas lagoas, este tempo foi determinado a partir de experimentos já realizados pelo grupo de pesquisa de bioenergia e ambiente IPH/UFRGS, realizados inicialmente por Gómez et. al (2016). A Figura 2 apresenta a planta experimental das lagoas em escala piloto.

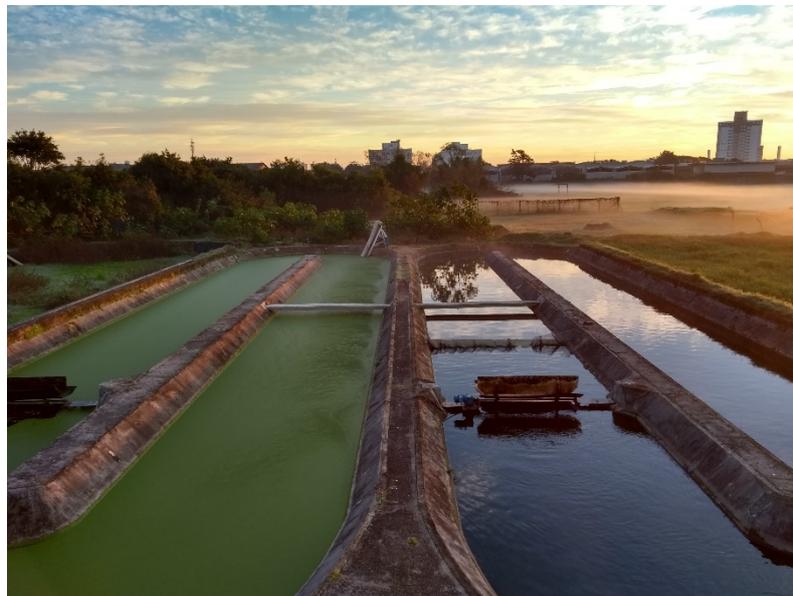


Figura 2 - Lagoa de macrófitas a esquerda e lagoas de cultivo de microalgas a direita em escala piloto.

As temperaturas foram medidas por sensores instalados na chegada do afluente bruto, no reator UASB e nas lagoas de tratamento. Nesta etapa avaliou-se o desempenho de cada grupo de organismos fotossintetizante, a fim de avaliar as remoções de nutrientes nas condições operacionais.

RESULTADOS

O experimento foi realizado entre fevereiro e maio 2016, operando em período quente (primavera e verão) e período frio (outono e inverno), conforme o Tabela 1.

Tabela 1 - Período de operação e valores do TDH testados nas lagoas.

TDH (dias)	Nº de amostras	Vazão (m³/h)	Período	Clima
4,1	10	0,81	Fev-Mar/2016	Quente
4,1	10	0,81	Abril-Maio/2016	Frio

Na Tabela 2 são apresentados os dados de temperatura médias, máximas e mínimas registradas nas lagoas.

Tabela 2 - Temperaturas das lagoas para o período quente e frio.

Período Quente		
	LM	LA
Máximo (°C)	35,4	35,6
Média (°C)	30,6 ± 4,8	30,8 ± 5,4
Mínimo (°C)	27,1	27,4
Período Frio		
	LM	LA
Máximo (°C)	23,2	23,6
Média (°C)	17,9 ± 2,9	19,5 ± 3,2
Mínimo (°C)	12,0	12,1

Os resultados das análises de desempenho do sistema de tratamento foram avaliados em duas vertentes principais, a parcela nitrogenada e a fosfórica, apresentados na Tabela 3 de caracterização dos efluentes nos sistemas de tratamento.

Tabela 3 - Caracterização dos efluentes no sistema de tratamento no período quente e frio.

Período Quente				
Parâmetro	EB	UASB	LA	LM
Amônia	26,3 ± 8,0	31,4 ± 5,8	4,20 ± 1,9	21,80 ± 3,3
NTK	33,0 ± 8,9	32,5 ± 8,5	14,70 ± 5,5	23,00 ± 3,4
Nitrito	-	-	1,02 ± 0,548	-
Nitrato	0,33 ± 0,035	0,13 ± 0,053	6,28 ± 3,191	0,22 ± 0,072
Fósforo total	5,80 ± 1,0	3,50 ± 0,4	1,70 ± 0,1	1,60 ± 0,2
Fosfato	1,57 ± 0,644	1,69 ± 0,399	0,95 ± 0,437	1,0917 ± 0,399
Período Frio				
Parâmetro	EB	UASB	LA	LM
Amônia	18,20 ± 6,3	26,90 ± 5,6	11,30 ± 2,8	17,60 ± 3,1
NTK	30,20 ± 7,9	29,80 ± 7,2	14,40 ± 3,2	19,50 ± 4,6
Nitrito			0,72 ± 0,0791	0,19 ± 0,0791
Nitrato	0,5 ± 0,042	0,49 ± 0,064	1,55 ± 0,391	0,50 ± 0,066
Fósforo total	5,0 ± 0,81	4,25 ± 0,43	2,51 ± 0,22	3,52 ± 0,26
Fosfato	2,5 ± 0,98	3,00 ± 1,03	1,12 ± 0,15	1,29 ± 0,44

Análise do Nitrogênio:

Foram avaliados os componentes de nitrogênio nas formas de NTK, amoniacal, nitrito e nitrato. Para o nitrogênio amoniacal os menores valores são obtidos na LA, sendo menor para o período quente. Estes valores são possíveis devido a realização da fotossíntese pelas microalgas, o que eleva o valor do pH do líquido na lagoa atingindo valores acima de 9,5 e assim, parcela do nitrogênio amoniacal pode ser convertido em gás e se desprender do meio líquido (VLEK; CRASWELL, 1981; AZOV; GOLDMAN, 1982).

Podem ocorrer também reações de nitrificação, as quais necessitam de níveis de O₂ acima de 1,5 mg/L (TCHOBANOGLIOUS et al., 2015). Como consequência, há consumo de alcalinidade e aumento da concentração de nitrato.

Nas lagoas é possível que ocorra a remoção de nitrogênio pelo processo de nitrificação-desnitrificação, com nitrificação durante o dia e desnitrificação no período noturno (sem ausência de radiação solar), observado também por Chang et al. (2011); Muñoz et al. (2009) e Zoppas; Bernardes; Meneguzzi (2016).

Na LM é possível ainda a remoção do nitrogênio (nitrito, nitrato e nitrogênio amoniacal) a partir da assimilação destes poluentes pelas lemnáceas e microrganismos aderidos nas suas raízes, removendo o poluente do meio líquido.

Análise do fósforo:

As menores concentrações de fósforo foram encontradas na LM, porém as duas lagoas obtiveram concentrações inferiores as apresentadas pelo reator UASB. Os valores da concentração de fósforo nas lagoas durante o período frio são mais elevados que no período quente ($p < 0,05$), isto devido as baixas temperaturas (< 20 °C), o que reduz a velocidade das reações químicas e biológicas (Tchobanoglous et al. 2015).

Os valores de fósforo apresentados na LM, pode ser explicado pela remoção do excesso de macrófitas flutuantes, as quais necessitam de nutrientes (N, P, K entre outros) que são sorvidos do meio líquido. Junto com as macrófitas podem ser removidas as colônias de microrganismos aderidas nas raízes, que também necessitam de nutrientes para se desenvolver, sendo estes dois os principais meios de remoção de fósforo em lagoas de macrófitas (Barroso Júnior 2020; Teles 2016; J. Xu and Shen 2011; Yin et al. 2015).ão celular pode ser capaz de aumentar a produção de biogás e inclusive a proporção de gás hidrogênio produzido.

CONCLUSÕES

Os sistemas de lagoas apresentam valores de concentração dos nutrientes mais elevados durante o período frio quando comparados ao período quente, com exceção dos valores de nitrato apresentados na LA. Possivelmente isto ocorre devido à combinação de fatores de influência na velocidade de nitrificação, sorção do nitrato pelas microalgas e a velocidade das reações de desnitrificação.

No comparativo entre as lagoas, a LA apresenta valores de concentração de nitrogênio amoniacal e NTK inferiores que os apresentados pela LM para o período quente e frio, possivelmente devido a fotossíntese realizado pelas microalgas, o que tem como resultado a elevação nos valores de pH. Porém os valores de concentração de nitrito e nitrato são menores para a LM, isto pode ocorrer devido a menor taxa de nitrificação na LM e também a maior sorção das formas ionizadas do nitrogênio nesta lagoa, pois além da sorção pelas macrófitas há a sorção pelos microrganismos aderido as raízes das macrófitas.

As concentrações de fósforo total apresentadas pela LA são mais elevadas que as concentrações da LM no período quente, já para o fosfato ocorre o contrário. Já para o período frio ocorre o inverso do período quente, ou seja, as concentrações de fósforo total da LM são mais elevadas que os apresentados pela LA e as concentrações de fosfato são maiores para a LA quando comparados a LM. Desta forma, é possível que o fator temperatura e radiação solar possuam maior influência no sistema de macrófitas que no de microalgas.

Para avaliação mais profunda dos nutrientes é possível avaliar as lagoas com outros valores de TDH, obtendo assim diferentes tempos de contato entre os microrganismos e o substrato, o que possibilita diferentes taxas de sorção dos nutrientes por parte dos microrganismos e seres fotossintetizantes.

Para as duas lagoas não ocorreu a limitação de desenvolvimento dos microrganismos e dos seres fotossintetizantes por parte dos nutrientes, visto que em todos os momentos analisados há a presença de fósforo e nitrogênio na lâmina d'água das lagoas. Isto pode ser possível caso eleve-se o TDH das lagoas.

AGRADECIMENTOS

O presente trabalho foi realizado com apoio da CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal Nível Superior) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico), sem os quais não seria possível o desenvolvimento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Barroso Júnior, José Carlos Alves. 2020. 1 PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS HÍDRICOS E SANEAMENTO AMBIENTAL AVALIAÇÃO “AVALIAÇÃO DE LAGOAS DE

TRATAMENTO COM PRESENÇA DE MACRÓFITAS FLUTUANTES E MICROALGAS APLICADAS AO PÓS- TRATAMENTO DE ESGOTO SANITÁRIO EM CONDIÇÕES DE CLIMA SUBTROPICAL. ”

2. Basílico, Gabriel, Laura Cabo, Anahí Magdaleno, and Ana Faggi. 2017. “Report Information from ProQuest Índice.” *Water, Air, & Soil Pollution* 227 (6)(June).
3. Benemann, John R, and W.J. Oswald. 1996. “Systems and Economic Analysis of MicroalgaePonds for Conversion of CO2 to Biomass.”
4. Bueno, Rodrigo De Freitas. 2011. “Nitrificação e Desnitrificação Simultânea Em Reator Com Biomassa Em Suspensão e Fluxo Contínuo de Esgoto.” : 148.
5. Li, Lei et al. 2016. “Effects of Duckweed (*Spirodela Polyrrhiza*) Remediation on the Composition of Dissolved Organic Matter in Effluent of Scale Pig Farms.” *Journal of Environmental Sciences (China)*: 1–10.
6. Oswald, W. J. 1987. “Sewage Treatment in Tropical High Rate Ponds.” National Conference on Environmental Engineering.
7. Park, J. B K, R. J. Craggs, and A. N. Shilton. 2011. “Wastewater Treatment High Rate Algal Ponds for Biofuel Production.” *Bioresource Technology* 102(1): 35–42.
8. Posadas, E. et al. 2014. “Microalgae-Based Agro-Industrial Wastewater Treatment: A Preliminary Screening of Biodegradability.” *Journal of Applied Phycology* 26(6): 2335–45.
9. Tchobanoglous, George et al. 2015. *Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos*. 5a edição.
10. Teles, Camila Cassuly. 2016. UFSC “AVALIAÇÃO DE LAGOAS DE LEMNAS PARA O POLIMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO COM FOCO NA MICROBIOTA ASSOCIADA.” Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.
11. Tonon, Gustavo. 2016. “AVALIAÇÃO DE LAGOAS DE LEMNAS PARA O POLIMENTO DE ESGOTO DOMÉSTICO: EMISSÕES DE GEE E VALORIZAÇÃO DE BIOMASSA NA PRODUÇÃO DE BIOMETANO.” Universidade Federal de Santa Catarina.
12. Xu, J., and G. Shen. 2011. “Growing Duckweed in Swine Wastewater for Nutrient Recovery and Biomass Production.” *Bioresource Technology* 102.
13. Yin, Yehu et al. 2015. “Bioresource Technology The Influence of Light Intensity and Photoperiod on Duckweed Biomass and Starch Accumulation for Bioethanol Production.” 187: 84–90.
14. Zhao, Y. et al. 2015. “Pilot-Scale Comparison of Four Duckweed Strains from Different Genera for Potential Application in Nutrient Recovery from Wastewater and Valuable Biomass Production.” *Plant Biology* 17(s1): 82–90., v.57, n.8, p. 867-875, ago. 1985.
15. 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.
16. 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.