



II – 770 OTIMIZAÇÃO DO SISTEMA DE TRATAMENTO DE EFLUENTES DOMÉSTICO: DESENVOLVIMENTO DE LODO GRANULAR AERÓBIO ALGAL-BACTERIANO POR MEIO DE BATELADAS SEQUENCIAIS EM LAGOS DE ALTA TAXA

Josivaldo Sátiro ⁽¹⁾

Doutorando em Engenharia Civil pela Universidade da Beira Interior, Portugal. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, Brasil. Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba, Brasil.

Antônio Gustavo Neto

Possui graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária pela Universidade Federal de Alagoas, mestrado em Engenharia Civil com ênfase em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade Federal de Pernambuco e doutorado em Engenharia Civil com ênfase em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela mesma instituição. É professor Adjunto da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG)

Anny Oliveira

Bacharel em Ciências Biológicas com ênfase em ciências ambientais pela Universidade Federal de Pernambuco

Antônio Albuquerque

Professor Associado e investigador sênior do Departamento de Engenharia Civil e Arquitectura da Universidade da Beira Interior (Covilhã, Portugal), dos centros de investigação FibEnTech e GeoBioTec-UBI, e Professor Convidado da Escola de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Goiás (Brasil).

Lourdinha Florencio

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco, mestrado em Engenharia Civil (Hidráulica e Saneamento) pela Escola de Engenharia de São Carlos Universidade de São Paulo e doutorado em Ciências Agrícolas e Ambiental (Tecnologia Ambiental) pela Universidade de Wageningen - Holanda (1994). É Professora Titular do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco.

Endereço: FibEnTech, GeoBioTec e Departamento de Engenharia Civil e Arquitetura, Universidade da Beira Interior, Calçada Fonte do Lameiro, 6201-001, Covilhã, Portugal.

RESUMO

A deterioração dos corpos aquáticos, decorrente do lançamento de esgotos sem tratamento, pode ser mitigada com a utilização de processos biológicos de tratamento, reduzindo a concentração de matéria orgânica, nutrientes, entre outros poluentes. Os sistemas que utilizam lodo granular aeróbio algal-bacteriano são considerados alternativas promissoras e sustentáveis, pois não requerem aeração artificial e representam possibilidade da produção de produtos com valor agregado, como lipídios, os quais podem ser empregados na produção de biocombustíveis. Nesse contexto, o objetivo principal deste trabalho foi investigar a influência de fatores, como a altura de lâmina d'água e partida do sistema na biofloculação de microalgas. O trabalho foi realizado em escala piloto. Em relação aos resultados, observou-se a estabilização da biomassa e a fase estacionária do sistema após 20 dias de operação, com remoção média de DQO solúvel de 89%, 89% e 88% para a LAT1, LAT2 e LAT3, respectivamente. Em relação à sedimentabilidade da biomassa, nas LAT 2 e LAT 3 foi observado um aumento das partículas da biomassa e na eficiência de floculação, na medida que o sistema de agregado microalga-bactéria foi se estabilizando. Nessa perspectiva, este estudo com agregado microalga-bactéria apresentou resultados para remoção de matéria orgânica e nutrientes elevados, principalmente na LAT 2, com altura de lâmina d'água de 0,30 m, demonstrando a relevância da partida dos sistemas por meio das bateladas sequenciais.



PALAVRAS-CHAVE: Biofloculação; Consórcio Microalga-bactéria; Lagoas de Alta Taxa; Lodo Granular Aeróbio; Tratamento de Efluentes.

INTRODUÇÃO

As Lagoas de Alta Taxa (LAT) representam uma abordagem avançada e mais refinada em comparação com as tradicionais lagoas de estabilização. Este sistema promove o crescimento de algas e se caracteriza por ser energeticamente eficiente, de baixo custo operacional e altamente expansível, reduzindo a necessidade de área para sua implementação (Young et al., 2019). A implementação das LAT possibilita a recuperação de recursos, especialmente através da biomassa de algas, o que viabiliza sua reutilização em diversas atividades, fomentando assim a economia circular no tratamento de águas residuais (Sutherland et al., 2020).

Para que o tratamento ocorra nas lagoas, estabelece-se uma relação mutualística e simbiótica entre os organismos presentes. Nesse processo, o oxigênio gerado pela fotossíntese das algas é utilizado pelas bactérias para oxidar a matéria orgânica, enquanto o dióxido de carbono necessário para as algas é proveniente do metabolismo bacteriano na lagoa (Coggins et al., 2020). Além disso, o desempenho das LATs é influenciado por uma variedade de fatores tanto internos quanto externos, como níveis de oxigênio dissolvido, pH, temperatura e radiação (Sutherland et al., 2017).

O consórcio entre as microalgas autotróficas e as bactérias heterotróficas é estabelecido por meio da produção de substâncias poliméricas extracelulares (EPS) pelas bactérias, as quais facilitam a agregação das microalgas e das bactérias. Esse processo ocorre em quatro etapas distintas: iniciação, maturação, manutenção e desintegração (Yanjia Xu, Yao Wang, 2016), seguindo uma sequência na qual as algas inicialmente aderem à superfície do lodo floculento, seguidas pela adesão de novas bactérias às algas (Zhang et al., 2018).

Neste contexto, reconhecendo a necessidade de abordar desafios como o alto consumo energético e os custos associados à colheita da biomassa no processo aeróbio, a adoção do tratamento de efluentes domésticos por meio do consórcio microalga-bactéria emerge como uma solução crucial. Assim, o presente estudo propôs avaliar a biofloculação do consórcio microalga-bactéria no tratamento de esgotos sanitários em duas lagoas de alta taxa em escala piloto operacionalizadas em bateladas sequenciais. Utilizando o mecanismo de inoculação de lodos ativados, o objetivo foi examinar a estabilidade do sistema, sua eficácia no tratamento de efluentes e o potencial para aumentar a sedimentabilidade da biomassa.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi conduzida em três lagoas de alta taxa em escala piloto (conforme mostrado na Figura 1), operadas na Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) Mangueira, situada na cidade de Recife, Pernambuco. Todas as três lagoas foram construídas utilizando fibra de vidro e possuem áreas superficiais idênticas, assim como altura da borda livre de 0,2 metros. Cada lagoa foi numerada de acordo com sua altura de projeto: LAT1 com altura máxima de lâmina d'água de 0,3 metros; LAT2 com 0,5 metros; e LAT3 com 0,7 metros.

[

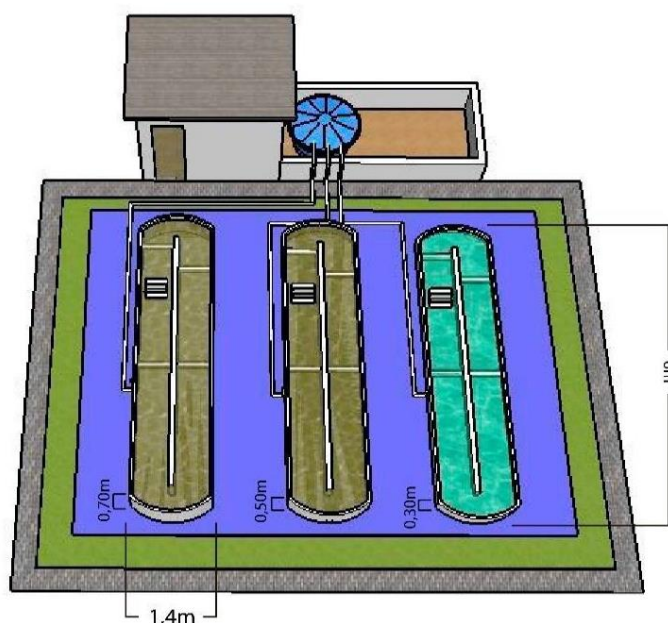


Figura 1. Desenho esquemático das dimensões das LATs

As dimensões das Lagoas de Alta Taxa (LATs) foram estabelecidas como: largura de 1,4 metros, comprimento de 6,0 metros e altura útil de 0,3 metros. O afluente utilizado para o estudo foi proveniente de um reator UASB, responsável pelo tratamento de esgotos de origem predominantemente doméstica. A operação foi conduzida em duas bateladas sequenciais, com durações de 11 e 13 dias, permitindo assim o início do processo de start-up das LATs e o desenvolvimento do consórcio entre microalgas e bactérias.

A primeira batelada teve início após a inoculação dos lodos ativados, portanto, a concentração inicial de sólidos suspensos voláteis (SSV) nas lagoas foi em torno de $148,00 \pm 15,7$ mg/L para a LAT1, $521,00 \pm 35,36$ mg/L para a LAT2 e $655,00 \pm 100,4$ mg/L para a LAT3. Nesta fase, o objetivo foi avaliar a adaptação das bactérias e o crescimento da biomassa juntamente com as espécies de microalgas. Após 11 dias do start-up do sistema, iniciou-se a segunda batelada, que visou diminuir a concentração de sólidos no sistema e a turbidez, além de facilitar a penetração de radiação solar nas lagoas. Para tanto, houve descarga de 80% do efluente presente nas três lagoas. Após a descarga, efetuou-se novamente o enchimento das LATs até as alturas de coluna d'água supracitadas anteriormente.

Por fim, para acompanhamento da capacidade de remoção de matéria orgânica e nutrientes do sistema operacional, as análises físico-químicas foram realizadas com o efluente bruto e solúvel de acordo com APHA, 2017.

RESULTADOS

No Quadro 1, são fornecidos os resultados dos parâmetros de processo no início da operação das lagoas, durante a primeira batelada de 11 dias, a segunda batelada de 13 dias e no final das bateladas. Observa-se uma diferença inicial nas concentrações de sólidos suspensos voláteis (SSV) nas LAT 2 e LAT 3 em comparação com a LAT 1, devido ao processo de inoculação com lodo ativado que ocorreu nessas duas últimas lagoas (LAT 2 e LAT 3). Esse efeito da inoculação também teve impacto nas concentrações de matéria orgânica e nutrientes, uma vez que o lodo ativado apresenta concentrações mais elevadas desses compostos.

**Quadro 1.** Caracterização do efluente do reator UASB e das LATs no regime de bateladas

VARIÁVEIS	UNIDADE	AF 1ª.BAT	INÍCIO DA 1ª BATELADA*			AF 2ª.BAT	INÍCIO DA 2ª BATELADA			FINAL DA 2ª BATELADA		
			LAT 1	LAT 2	LAT 3		LAT 1	LAT 2	LAT 3	LAT 1	LAT 2	LAT 3
pH	-	7,37	7,61	7,5	7,25	7,30	8,18	7,52	7,47	10,08	9,66	9,01
OD	mg.L ⁻¹	1,19	0,17	0,1	0,12	0,28	8,66	0,27	0,24	8,68	10,4	7,61
Temperatura	°C	28,7	31,2	30,3	30,3	30,7	30,7	30,7	29,9	27,1	27,2	27,2
DQO	mg.L ⁻¹	153,06 ± 16,24	149,51 ± 16,25	633,63 ± 15,57	643,39 ± 15,55	255,15 ± 67,84	94,21 ± 18,17	272,88 ± 19,06	317,55 ± 28,77	255,86 ± 69,46	240,97 ± 47,43	98,46 ± 22,74
DBO	mg.L ⁻¹	90	90,00	565,42	574,93	150	104,8	262,95	315,42	292,7	259,41	103,99
N-amoniacal	mg.L ⁻¹	18,4	18,4	17,4	17,6	31,8	12,98	16,66	22,51	0,34	0,48	0,57
Nitrito	mg.L ⁻¹	0,008	0,008	0	0	0,005	0,004	0,122	0,04	0	0	0
Nitrato	mg.L ⁻¹	0,52	0,52	0	0	0	0	0,005	0,21	0	0	11,31
Fósforo Total	mg.L ⁻¹	3,322	3,322	8,12	8,21	5,75	5,75	6,76	6,56	4,9	7,62	4,13

A Figura 2a, referente à batelada 1, fica evidente uma maior quantidade de partículas em suspensão, elevando a turbidez do meio, que dificultou o crescimento do Agregado Microalga-Bactéria (AMAB) na LAT 2 e na LAT 3. A elevada turbidez dificulta a penetração de luz na coluna d'água, e conseqüentemente, um baixo crescimento e formação dos agregados em simbiose com microalgas e bactérias é esperado. Na Figura 2b observa-se que a partir de dois dias de operação da segunda batelada, houve uma redução na turbidez do meio, permitindo o início da formação do agregado microalga-bactéria. Em seguida, apresenta-se a Figura 3 com os resultados obtidos em relação ao crescimento da biomassa durante as bateladas.

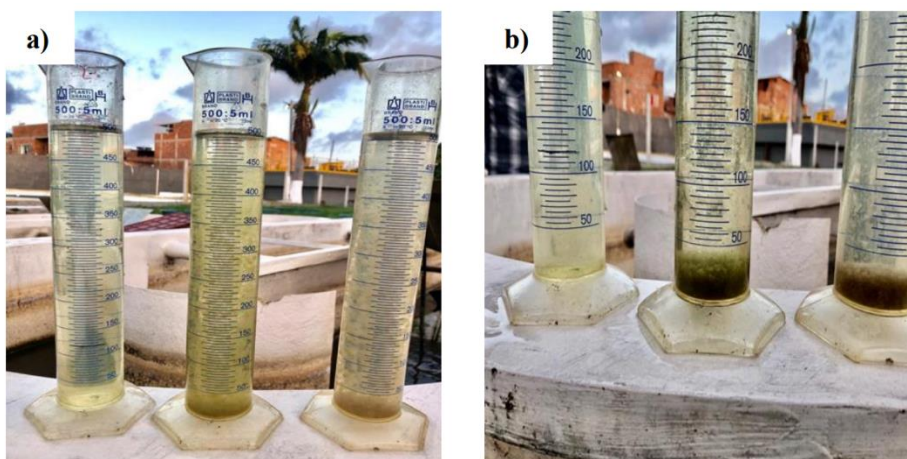


Figura 2. Imagens das bateladas LAT1, LAT2 e LAT3: a) Características do final da primeira batelada; b) Início da formação dos agregados na segunda batelada.

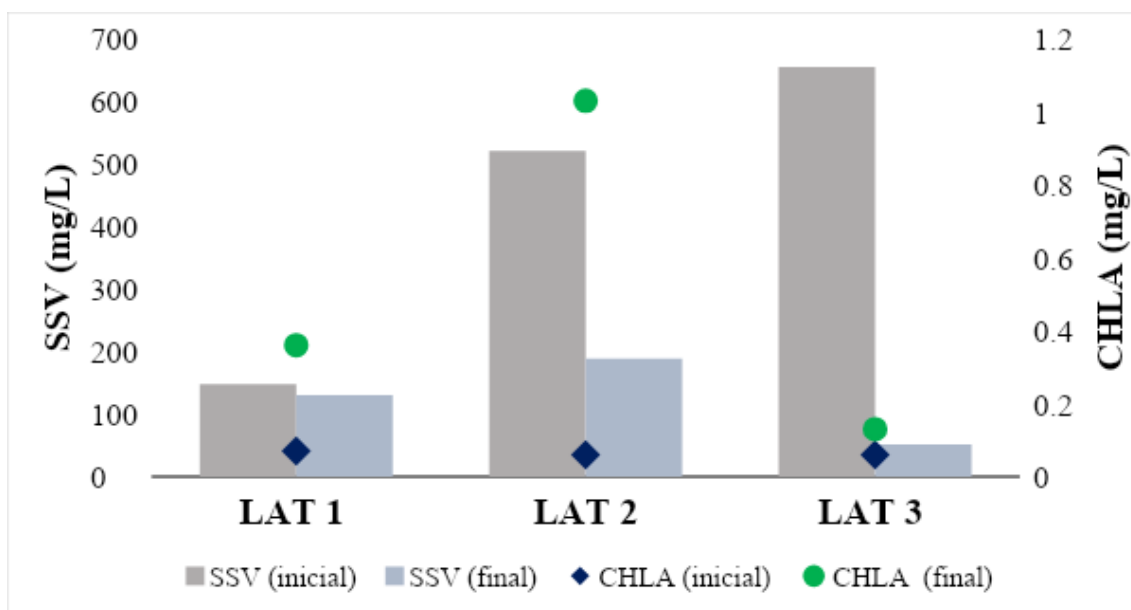


Figura 3. Comportamento do crescimento da biomassa durante as duas bateladas.

DISCUSSÃO

Na primeira batelada observaram-se concentrações de OD baixas, associadas a origem do afluentes proveniente de tratamento anaeróbio, e elevada concentração de SSV, principalmente devido ao processo de inoculação, causando baixa abundância de microrganismos autotróficos.

Em relação aos valores de nitrogênio amoniacal encontrados na primeira e segunda batelada, equivalente a 18,4 e 31,8 mg.L⁻¹, respectivamente, pode ser decorrente da conversão do nitrogênio orgânico realizado no processo anaeróbio. Nesta via, a amônia é liberada através da degradação dos aminoácidos.

Os valores iniciais de pH na primeira batelada foram de 7,61, 7,5 e 7,25, próximos da neutralidade, para as três lagoas, caracterizado pela alimentação com afluentes anaeróbios e pela pouca atividade fotossintética no início do sistema. Entretanto, esses valores de pH foram aumentando gradualmente, até atingir na segunda batelada valores na faixa de 10,8, 9,66 e 9,01 para a LAT1, LAT2 e LAT3, nesta ordem, resultante do consumo de CO₂ diluído empregado pelas microalgas para seu crescimento fotoautotrófico, conforme sugerido por Su et al., 2012.

As remoções de DQO solúvel, que desconsidera a biomassa, ao fim da batelada 2, alcançaram 89%, 89% e 87,8% e para DBO solúvel obteve cerca de 94%, 92% e 92% para LAT1, LAT2 e LAT3, respectivamente. Esses resultados de remoção de matéria orgânica estão em consonância com o observado em sistemas similares por Arcila & Buitrón, 2016, contudo esses autores trabalharam apenas com uma batelada de 10 dias. Além do exposto acima, a produção de sólidos nas LATs foi observada não somente pelo crescimento das microalgas, mas concomitantemente com o crescimento de outros microrganismos como as bactérias e o zooplâncton. Com 11 dias iniciais da primeira batelada, foi analisado que rapidamente houve a remoção de matéria orgânica e nutrientes, porém, com baixos valores de clorofila-a, 0,20, 0,32 e 0,26 mg.L⁻¹, para LAT1, LAT2 e LAT3, respectivamente.

No final da segunda batelada houve uma diminuição na concentração de SSV de 148,00, 521,00 e 655,00 mg.L⁻¹ para 130,00, 188,50 e 51,50 mg.L⁻¹ para as LAT1, LAT2 e LAT3, respectivamente, essa redução da concentração de sólidos, em parte influenciada pela estratégia de partida da segunda batelada que renovou – 50% para LAT 1 e 2 com altura de 0,30m e 70% para LAT 3 com altura de 0,50m – do esgoto para sua partida, porém não refletiu em aumento significativo de clorofila-a de 0,26, 1,03 e 0,13 mg.L⁻¹ como mostra a Figura 3.



SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO
DE ENGENHARIA SANITÁRIA
E AMBIENTAL

CONCLUSÃO



- A inoculação foi eficiente para a geração de biomassa com agregado microalga-bactéria. Obteve-se partículas de até 1 mm de granulometria, apresentando grau satisfatório de sedimentabilidade e biofloculação;
- A utilização de duas bateladas sequenciais com duração total de 24 dias mostrou ser uma estratégia promissora para desenvolver o consórcio microalga-bactéria;
- As LAT 1 e LAT 2 que operaram com altura de coluna d'água de 0,30 m apresentaram melhor desempenho na remoção de nutrientes e matéria orgânica. Essa performance pode estar relacionada com os níveis maiores de radiação solar que chegam nas LATs, aumentando a atividade fotossintética do meio.



REFERÊNCIAS

- APHA. (2017). Standard Methods. *Encyclopedia of Forensic Sciences: Second Edition*, 522–527. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-382165-2.00237-3>
- Arcila, J. S., & Buitrón, G. (2016). Microalgae–bacteria aggregates: effect of the hydraulic retention time on the municipal wastewater treatment, biomass settleability and methane potential. *Journal of Chemical Technology and Biotechnology*, 91(11), 2862–2870. <https://doi.org/10.1002/jctb.4901>
- Coggins, L. X., Larma, I., Hinchliffe, A., Props, R., & Ghadouani, A. (2020). Flow cytometry for rapid characterisation of microbial community dynamics in waste stabilisation ponds. *Water Research*, 169, 115243. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2019.115243>
- Su, Y., Mennerich, A., & Urban, B. (2012). Synergistic cooperation between wastewater-born algae and activated sludge for wastewater treatment: Influence of algae and sludge inoculation ratios. *Bioresource Technology*, 105, 67–73. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2011.11.113>
- Sutherland, D. L., Park, J., Heubeck, S., Ralph, P. J., & Craggs, R. J. (2020). Size matters – Microalgae production and nutrient removal in wastewater treatment high rate algal ponds of three different sizes. *Algal Research*, 45(July 2019), 101734. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2019.101734>
- Sutherland, D. L., Turnbull, M. H., & Craggs, R. J. (2017). Environmental drivers that influence microalgal species in fullscale wastewater treatment high rate algal ponds. *Water Research*, 124, 504–512. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2017.08.012>
- Yanjia Xu, Yao Wang, Y. Y. and D. Z. (2016). The Role of Starvation in Biomass Harvesting and Lipid Accumulation: Co-Culture of Microalgae–Bacteria in Synthetic Wastewater. *Environmental Science & Technology*, 33(2), 482–489. <https://doi.org/10.1002/ep>
- Young, P., Taylor, M. J., Buchanan, N., Lewis, J., & Fallowfield, H. J. (2019). Case study on the effect continuous CO2 enrichment, via biogas scrubbing, has on biomass production and wastewater treatment in a high rate algal pond. *Journal of Environmental Management*, 251(September), 109614. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109614>
- Zhang, B., Lens, P. N. L., Shi, W., Zhang, R., Zhang, Z., Guo, Y., Bao, X., & Cui, F. (2018). Enhancement of aerobic granulation and nutrient removal by an algal–bacterial consortium in a lab-scale photobioreactor. *Chemical Engineering Journal*, 334(September 2017), 2373–2382. <https://doi.org/10.1016/j.cej.2017.11.151>