

II – 059 – RECUPERAÇÃO DE FÓSFORO EM BIOMASSA ALGAL- BACTERIANA EM FOTOBIORREATOR EM BATELEAS SEQUENCIAIS NO TRATAMENTO DE ESGOTO DOMESTICO DE BAIXA CARGA ORGANICA

Ana Alice Xavier de Almeida⁽¹⁾

Engenheira Agrícola e Ambiental pela Universidade Federal Rural de Pernambuco. Mestranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco.

Henrique Cesar Guedes Campos⁽²⁾

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco.

Elissandra Cheu Pereira do Nascimento⁽³⁾

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco.

Bruna Scandolaro Magnus⁽⁴⁾

Professora da Universidade Federal de Pernambuco, no Departamento de Engenharia Civil, Centro de Tecnologia e Geociências

Maria de Lourdes Florêncio dos Santos⁽⁵⁾

Professora Titular do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco

Endereço⁽¹⁾: Rua Aureo Xavier, 889 - Cordeiro - Recife - Pernambuco - CEP: 50721-050 - Brasil - Tel: +55 (81) 99675-3891 - e-mail: alixe.xavier@ufpe.br.

RESUMO

A aplicação do consórcio algal-bacteriano no tratamento de efluentes tem sido objeto de estudo por vários aspectos, que vão além da diminuição da carga poluidora. Dentre esses aspectos, destaca-se a alta capacidade de remoção de nutrientes e o potencial de aproveitamento da biomassa excedente. Desta forma, este estudo investigou a performance do consórcio granular algal-bacteriano em um fotobiorreator em bateladas sequenciais, operando com ciclos de 4 h, tratando efluente doméstico sintético sob intensidade luminosa, bem como, avaliou a capacidade de recuperação de fósforo na biomassa. Para alcançar o objetivo desta pesquisa foi confeccionado um fotobiorreator de acrílico transparente, volume útil de 3,5 L, com relação altura/diâmetro de 8 mm e troca volumétrica de 55%. O sistema foi inoculado com a mistura de lodo aeróbio proveniente de uma estação de lodos ativados por aeração prolongada. Dessa forma, grânulos aeróbios foram obtidos no fotobiorreator, atingindo diâmetros superiores a 0,2 mm. Os resultados mostram, que durante todo o experimento a eficiência de remoção de DQO se manteve estável. O crescimento de microalgas no fotobiorreator pode ter auxiliado na remoção de nitrogênio, pois o sistema alcançou uma boa eficiência nesta remoção. A concentração de clorofila chegou em ótimas concentrações no sistema, indicando simbiose entre as bactérias heterotróficas com a microalga. Também foram perceptíveis concentrações em cinco frações de fósforo presente na biomassa, constatadas concentrações de fósforo total, orgânico, inorgânico, apatita e não apatita, respectivamente, mostrando o potencial de recuperação da biomassa para a aplicação na agricultura.

PALAVRAS-CHAVE: Tratamento de esgoto; fotobiorreator; consórcio alga-bactéria; recuperação de nutrientes, fósforo na biomassa.

INTRODUÇÃO

Pensando na implementação de novas tecnologias sustentáveis para o tratamento de esgoto que, dão ênfase em impactos sociais e ecológicos, como a não poluição de corpos hídricos e a diminuição de internações por doenças causadas pela disposição de esgotos não tratados, a produção conjunta de biomassa algal com o tratamento de efluentes vêm se tornando uma alternativa eficiente. Isso ocorre devido ao fato que os processos realizados por microalgas e bactérias podem sustentar uma estratégia de mitigação de gases de efeito estufa, através do processo fotossintético realizados pelas algas, onde utilizam o dióxido de carbono (CO₂), produzido do processo bacteriano, e liberam oxigênio (O₂) (WILSON et al., 2014). Além disso, podem concentrar o

tratamento de efluentes em áreas menores, diferentemente de tratamentos convencionais, como o de lodos ativados.

O desenvolvimento de consórcio granular algal bacteriano, conhecidos como fotogrânulos, reportado por HUANG et al., (2015), consta como um resultado proveniente do crescimento de microalgas em lodo granular aeróbio (LGA). Os fotogrânulos possuem eficiente remoção de matéria orgânica e nutrientes, boa sedimentabilidade e boa retenção de biomassa (HE et al., 2018). A biomassa pode apresentar um potencial para a recuperação deste nutriente com qualidade para fertilização agrícola, devido ao possível acúmulo de fósforo (P) durante o processo de fotogranulação. Dessa forma, esse estudo busca avaliar a biodisponibilidade de fósforo em biomassa algal-bacteriana utilizando um fotobiorreator em batelada sequencial para tratar esgoto doméstico sintético de baixa concentração.

Diante dos desafios de promover a fotogranulação, estudos sobre o consórcio granular algal-bacteriano foram desenvolvidos com sucesso no tratamento de esgoto de baixa concentração e mantiveram a estabilidade granular com estrutura compacta (SALES et al., 2022).

Este trabalho, avalia o desenvolvimento dos fotogrânulos aeróbios em fotobiorreator em bateladas sequenciais a partir de inóculo de microalgas e lodo bacteriano. Também avalia os mecanismos de remoção de matéria orgânica e nutrientes da biomassa formada. Além disto, a recuperação de fósforo do esgoto é avaliada através da quantificação da fração biodisponível na biomassa algal

OBJETIVOS

Avaliar a biodisponibilidade de fósforo em biomassa algal-bacteriana utilizando um fotobiorreator em batelada sequencial para tratar esgoto doméstico sintético de baixa concentração.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

1. Avaliar o processo de formação dos fotogrânulos no tratamento de esgoto sintético de baixa concentração;
2. Avaliar mecanismos de remoção de matéria orgânica e nutrientes da biomassa formada;
3. Quantificar o fósforo biodisponível dos fotogrânulos.

METRIAS E MÉTODOS

SISTEMA EXPERIMENTAL E CONDIÇÕES OPERACIONAIS

O sistema experimental está instalado no Laboratório de Saneamento Ambiental da UFPE, em Recife - PE, e é composto por um fotobiorreator em bateladas sequenciais (FRBS) em escala de bancada. O FRBS foi confeccionado em acrílico formato de coluna de 1,0 m de altura, com 0,08m de diâmetro interno, volume de 5 L e um volume útil de 2,2 L.

INOCULO MICROBIANO E AFLUENTE SINTÉTICO

O FRBS foi alimentado com efluente sintético, composto por uma fonte de carbono, composta por acetato e glicose (300 mg.L^{-1}), uma de nitrogênio amoniacal (NH_4^+) com cloreto de amônia (30 mg.L^{-1}) e uma de fósforo (PO_4^{3-}) proveniente de fosfato de potássio monobásico (4 mg.L^{-1}). A composição de esgoto foi definida de acordo com caracterização de efluente local (SALES et al., 2022). Foi adicionada uma solução de micronutrientes composta por ácido bórico, cloreto de zinco, cloreto de cobre, sulfato de manganês monohidratado, molibdato de amônio tetra hidratado, cloreto de alumínio, cloreto de cobalto hexahidratado e cloreto de níquel, para somar na composição do esgoto, com concentrações, de acordo com APHA (2012). O reator foi inoculado com 1,0 L de lodo aeróbio advindo da Estação de Tratamento de Esgotos Suape Empreendimentos Ambientais, no Cabo de Santo Agostinho, cidade que integra a região metropolitana de Recife-PE.

CONDIÇÕES OPERACIONAIS DO FOTOBIORREATOR

O FRBS foi operado durante 50 dias, em ciclos de 4 horas (6 ciclos/dia) e troca volumétrica de 55%. A operação incluiu alimentação anaeróbia lenta (30 min), fase anóxica (60 min) com pulsos de ar de 1 minuto a cada 30 minutos, fase aeróbia (143 min), sedimentação (5 min) e descarte (2min).

PARÂMETROS ANALISADOS

Análises físico-químicas foram empregadas para avaliar o desempenho na remoção de matéria orgânica e nutrientes, de acordo com o APHA (2012).

O índice volumétrico do lodo foi analisado a partir da metodologia de Schwarzenbecket al. (2004), monitorando a sedimentabilidade da biomassa em diferentes tempos. Também foi analisada a granulometria, utilizando uma metodologia adaptada de Bin et al. (2011) que consiste no peneiramento de uma amostra do reator, a partir de um conjunto de peneiras de malhas em diâmetros pré-estabelecidos. Foram realizadas também análises de Clorofila-a, de acordo com a metodologia de Tang et al. (2016).

As frações de fósforo presentes na biomassa de forma fracionada foram medidas de acordo com os métodos descritos por RUBAN et al., (1999). O método consiste em extrair, de forma separada, os componentes: Fósforo total, fósforo inorgânico, fósforo orgânico, fósforo não apatita e fósforo apatita.

RESULTADOS

A partir da análise de granulometria foi possível observar que no início da operação do sistema, no dia 09, havia a predominância de flocos dispersos no fotobiorreator. Após 22 dias de operação, já foi possível observar uma biomassa mais agregada, percebendo a presença de pequenos grânulos, ainda contendo flocos microbianos, os quais, no final da operação o fotobiorreator já apresentava grânulos superiores a 0,2 mm (tabela 1). A capacidade de sedimentação da biomassa, foi analisada a partir do IVL, o qual no início do experimento o apresentou IVL_{10} e IVL_{30} de 230,6 mL/g e 196,9 mL/g, respectivamente, e assim uma relação IVL_{30}/IVL_{10} de 0,7. Ao final do experimento, o sistema possuía biomassa com boa sedimentabilidade, apresentando valores de IVL_{10} de 80,3 mL/g e IVL_{30} de 74,9 mL/g, respectivamente, atingindo relações IVL_{30}/IVL_{10} superiores a 0,9, como descrito na tabela 1. A presença de microalgas no fotobiorreator foi quantificada pela análise de clorofila-a, onde quantificou, após 36 dias de operação, a concentração de 11,8 mg/g SSV (tabela1).

Tabela 1: Desenvolvimento da biomassa.

ANÁLISE	RESULTADOS
Granulometria	Grânulos superiores a 0,2 mm
Índice Volumétrico do Lodo	Relação IVL_{10}/IVL_{30} de 0,9
Clorofila-a	Concentração de 11,8 mg/g SSV

No período inicial do sistema as remoções de DQO foram baixas, apresentando média de 58%, porém, após este período, as remoções aumentaram significativamente, podendo ser observado no fotobiorreator eficiências de remoção acima de 90% (tabela 2), tornando estáveis durante todo o experimento. Assim como a matéria orgânica, o sistema removeu consideravelmente o nitrogênio, atingindo 72% de remoção, como a reportado na tabela 2, em conjunto com a eficiência de remoção de fósforo, que obteve 88,2%.

Tabela 2: Remoção de matéria orgânica e nutrientes.

ANÁLISE	EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO
Matéria Orgânica	90%
Nitrogênio	72,0%
Fósforo	88,2%

Foi possível observar cinco frações de fósforo na biomassa formada no fotobiorreator: Fósforo total, orgânico, inorgânico, apatita e não apatita, assim podendo quantificar o fósforo biodisponível no sistema, gerado a partir da fração orgânica e da fração não apatita, que pode ser potencialmente liberado e utilizado por microrganismos e plantas, já as parcelas inorgânicas e apatita contém outros elementos que são difíceis de ser

utilizados por microrganismos e plantas. No início do experimento foram constatadas concentrações de 4,90 mg/g.SSV, 3,12 mg/g.SSV, 1,78 mg/g.SSV, 1,40 mg/g.SSV, 0,38 mg/g.SSV para fósforo total, orgânico, inorgânico, apatita e não apatita, respectivamente.

Tabela 3: Fósforo na biomassa.

ANÁLISE	RENDIMENTO
Fósforo total	4,90 mg/g.SSV
Fósforo orgânico	3,12 mg/g.SSV
Fósforo inorgânico	1,78 mg/g.SSV
Fósforo apatita	1,40 mg/g.SSV
Fósforo não-apatita	0,38 mg/g.SSV

ANÁLISE DOS RESULTADOS

Foi possível desenvolver os fotogrânulos aeróbios a partir da avaliação do desenvolvimento da biomassa (tabela 1), onde foi observado que os grânulos atingiram diâmetros superiores a 0,2 mm, além do aparecimento de microalgas filamentosas aderidas ao grânulo. Em conjunto, foi verificado na análise do índice volumétrico do lodo, onde os resultados colaboraram com SALES et al. (2022), afirmando que presença de microalgas no sistema favorece a capacidade de sedimentação da biomassa, uma vez que agregadas a bactérias torna-a mais pesadas, caracterizando uma boa sedimentação. Além disso, o dado da análise de clorofila-a, confirma que foi possível desenvolver o consórcio alga-bactéria em fotobiorreatores, mostrando o crescimento das microalgas presentes no fotobiorreator.

Por conta do período de start-up, foram constatadas baixas remoções de matéria orgânica e nutrientes, mas após o período de granulação, 22 dias, as remoções aumentaram, atingindo resultados como apontados na tabela 2. Os resultados se assemelham aos da remoção de matéria orgânica de Wang, et al. (2019), que também quantificou remoções superiores a 90%. Já a remoção de nitrogênio confirma que os sistemas granulares algal bacterianos possuem melhores remoções comparados a sistemas apenas bacterianos, assim como o reportado por Liu et al. (2018). Além disso, o resultado da eficiência de remoção de fósforo destaca a viabilidade da biodisponibilidade de fósforo que o consórcio algal bacteriano apresenta, o que torna esse sistema promissor na recuperação desse subproduto de valor agregado (Zhao et al., 2018).

Em relação a biodisponibilidade de fósforo na biomassa, verificou-se cinco frações de fósforo presente (tabela 3), formadas no fotobiorreator, assim podendo quantificar o fósforo biodisponível no sistema, gerado a partir da fração orgânica e da fração não apatita, que pode ser potencialmente liberado e utilizado por microrganismos e plantas, já as parcelas inorgânicas e apatita contém outros elementos que são difíceis de ser utilizados por microrganismos e plantas.

Dessa forma, o sistema foi capaz de promover a remoção de matéria orgânica e nutrientes, onde foi quantificado o seu potencial para a recuperação de subprodutos, como a recuperação de fósforo, o qual pode ser utilizado como fertilizante biológico na agricultura (MULBRY et al., 2005). Além disso, maiores estudos são recomendados para compreender o papel de cada biomassa de forma separada são necessários.

CONCLUSÕES

O consórcio granular algal-bacteriano foi desenvolvido com sucesso sob período anaeróbio/ anóxico sob iluminação. Grande percentual de grânulos com diâmetro superior a 0,6 mm foi alcançado no fotobiorreator, assim o sistema foi capaz de promover o processo de remoção de nutrientes.

A biomassa algal se adaptou bem ao meio, comprovado pela presença de fotogrânulos com boa sedimentabilidade ($IVL_{10}/IVL_{30} > 0,9$) e parcela floculenta. Foram observados o aparecimento de outros tipos de microalgas, que foram fundamentais para o desenvolvimento da pesquisa. Durante o experimento, foi possível obter remoções de DQO, amônia e fósforo de até 90%, 72% e 88%.



Através das análises das frações de fósforo na biomassa, tais como fósforo total, fósforo orgânico, fósforo inorgânico, fósforo apatita e fósforo não apatita, foram identificadas maiores concentrações de fósforo orgânico (3,12 mg/g.SSV) e fósforo inorgânico (1,78 mg/g.SSV), o que revela o potencial de recuperação deste recurso de biomassa fotogranular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). Standard Methods for the examination of water and wastewater. 22ed. United Book Press: Washington, 2012
2. BIN, Zhang et al. Dynamic and distribution of ammonia-oxidizing bacteria communities during sludge granulation in an anaerobic-aerobic sequencing batch reactor. *Water Research*, v.45, n. 18, p.6207-6216, 2011.
3. HE, Qiulai et al. Natural sunlight induced rapid formation of water-born algal-bacterial granules in an aerobic bacterial granular photo-sequencing batch reactor. *Journal of hazardous materials*, v. 359, p. 222-230, 2018.
4. HUANG, Wenli et al. Effect of algae growth on aerobic granulation and nutrients removal from synthetic wastewater by using sequencing batch reactors. *Bioresource technology*, v.179, p.187-192, 2015.
5. LIU, Lin et al. Characteristics and performance of aerobic algae-bacteria granular consortia in a photo-sequencing batch reactor. *Journal of hazardous materials*, v.349, p.135-142, 2018.
6. MULBRY, Walter et al. Recycling of manure nutrients: use of algal biomass from dairy manure treatment as a slow release fertilizer. *Bioresource technology*, v.96, n. 4, p.451-458, 2005.
7. RUBAN, V. et al. Seleção e avaliação de procedimentos de extração sequencial para determinação de formas de fósforo em sedimentos lacustres. *Revista de Monitoramento Ambiental*, v.1, n.1, pág. 51-56, 1999.
8. SALES, Marcos et al. Start-up strategies to develop aerobic granular sludge and photogranules in sequential batch reactors. *Science of the Total Environment*, v. 828, p. 154402, 2022.
9. SCHWARZENBECK, N.; ERLEY, R.; WILDERER, P. A. Aerobic granular sludge in an SBR-system treating wastewater rich in particulate matter. *Water Science and Technology*, v.49, n.11-12, p.41-46, 2004.
10. TANG, Cong-Cong et al. Effect of aeration rate on performance and stability of algal-bacterial symbiosis system to treat domestic wastewater in sequencing batch reactors. *Bioresource Technology*, v.222, p.156-164, 2016.
11. WANG, Xiaochun et al. Impact of carbon to nitrogen ratio on the performance of aerobic granular reactor and microbial population dynamics during aerobic sludge granulation. *Bioresource technology*, v.271, p.258-265, 2019.
12. WILSON, Michael H. et al. CO₂ recycling using microalgae for the production of fuels. *Applied Petrochemical Research*, v.4, p.41-53, 2014.
13. ZHAO, Ziwen et al. Response of algal-bacterial granular system to low carbon wastewater: Focus on granular stability, nutrients removal and accumulation. *Bioresource technology*, v.268, p.221-229, 2018.