



II-234 - VALORIZAÇÃO DO LODO DE ESGOTO EM PROCESSOS DE BIORREFINARIA UTILIZANDO A TECNOLOGIA DE LODO GRANULAR AERÓBIO VISANDO À RECUPERAÇÃO DE EXOPOLÍMERO SEMELHANTE A ALGINATO (ALE) DE ALTO VALOR AGREGADO.

Fyamma Beatriz do Nascimento Silva⁽¹⁾

Discente em Engenharia Ambiental pela Universidade Rural Federal de Pernambuco (UFRPE). Bolsista de Iniciação Científica CNPq da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

Elissandra Cheu Pereira Do Nascimento⁽²⁾

Doutoranda do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPE.

Henrique Cesar Guedes Campos⁽³⁾

Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da UFPE.

Maria de Lourdes Florencio dos Santos⁽⁴⁾

Professora Doutora do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UFPE.

Mario Takayuki Kato⁽⁵⁾

Professor Doutor do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da UFPE.

Endereço⁽¹⁾: Av. da Arquitetura, s/n - Cidade Universitária - Recife - Pernambuco - CEP: 50740-550 - Brasil - Tel: +55 (81) 2126-8200 - e-mail: fyamma.nascimento@ufrpe.com.br

RESUMO

Estudos recentes vêm revelando que o consórcio granular algal-bacteriano (LGA-AB) representa uma abordagem vantajosa para o tratamento de esgotos sanitários devido ao menor custo no processo de tratamento e promove remoção simultânea de matéria orgânica e nutrientes em um mesmo tanque. Além disso, o exopolímero semelhante ao alginato (ALE), subproduto de valor agregado e interesse comercial, pode ser obtido a partir deste consórcio. A recuperação de ALE em grânulos aeróbios pode permitir que mais de 50% dos materiais valiosos gerados pela Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) sejam recuperados, superando a recuperação de biogás, celulose, bioplásticos e fosfato. Diante disso, o objetivo desta pesquisa foi investigar o potencial de recuperação do ALE a partir do lodo biológico de esgoto cultivado em fotobiorreator em bateladas sequenciais (FRBS). Para isso, utilizou-se um fotobiorreator confeccionado em acrílico com volume útil de 4 L e operado com troca volumétrica de 50% com ciclos de 6 horas durante 150 dias de experimento. Os resultados apontaram granulação no sistema de forma rápida, após o 22º dia operacional. O sistema apresentou eficiências média de remoção de matéria orgânica de 85%, nitrogênio amoniacal de 79% e fósforo de 15%. A recuperação de ALE no fotobiorreator teve média de 42,1 mgALE/gSSV. Durante o experimento, a recuperação de ALE apresentou estabilidade dos resultados, queda de eficiência, possivelmente por causa do processo de formação dos grânulos, onde as substâncias poliméricas extracelulares (EPS) são responsáveis pela fortificação do grânulo. Durante este processo, EPS são expelidas e assim, pode-se recuperar o teor de ALE de forma mais expressiva.

PALAVRAS-CHAVE: Biopolímeros, Alginato, Águas residuárias.

INTRODUÇÃO

O manejo e descarte do excesso de lodo das estações de tratamento de águas residuais (ETE) representam um grande desafio mundial (Schambeck, 2020). Em países subdesenvolvidos, o lodo gerado no tratamento de esgoto é frequentemente descartado em lixões ou aterros sanitários. Em contrapartida, em países europeus, há exigências para que tais compostos sejam utilizados na geração de energia ou na recuperação de subprodutos de alto valor agregado (Healy *et al.*, 2015).

A tecnologia de lodo ativado é amplamente utilizada no tratamento biológico de águas residuárias (Klaus, 2012). No entanto, estudos apontam que o consórcio algal-bacteriano (LGA-AB), ganharam mais atenção após

apresentar vantagens, como: a redução de tempo de aeração, redução na emissão de CO₂ e a melhor na separação sólido-líquido (Ji *et al.*, 2020).

A literatura aponta que a possibilidade na recuperação dos bioprodutos através do consórcio granular algal-bacteriano (Chen *et al.*, 2021). O LGA-AB apresenta potencial na recuperação de recursos devido à quantidade significativa de substâncias poliméricas extracelulares (EPS) em seu conteúdo (Ladnorg *et al.*, 2019). Os exopolissacarídeos desempenham um papel fundamental no suporte estrutural para biofilmes e são responsáveis pela estrutura química e propriedades físicas dos grânulos, compostos por: polissacarídeos, proteínas, lipídeos, glicoproteínas, ácidos nucleicos, ácidos húmicos, entre outros componentes (Felz *et al.*, 2016; Lin *et al.*, 2013; Schambeck *et al.*, 2020). Uma parcela significativa do EPS presente no LGA-AB consiste em exopolímeros do tipo alginato (Chen *et al.*, 2022), também conhecidos como exopolissacarídeos semelhantes a alginato (ALE). O alginato, um polissacarídeo derivado de algas marrons, é utilizado nas indústrias farmacêutica, alimentícia e de papel (Cao, *et al.*, 2020). A recuperação e caracterização de ALE são essenciais para identificar a relevância do EPS na formação de LGA (Ladnorg *et al.*, 2019). A recuperação de ALE em grânulos aeróbios permite recuperar mais de 50% dos materiais valiosos que uma ETE pode gerar, em comparação com biogás, celulose, bioplásticos e fosfato (Zahra *et al.*, 2022).

Em síntese, temos que o ALE é um biopolímero testado em aplicações farmacêuticas, biomédicas avançadas, indústria de alimentos e papel (Cao *et al.*, 2020; Moradali *et al.*, 2018), seu valor de mercado pode variar entre US\$ 80-140/kg (Murujew *et al.*, 2019). Seu aproveitamento como bioprodutos a partir de biomassa granular vem sendo estudada para fins comerciais (Felz *et al.*, 2016; Schambeck *et al.*, 2020; Rollemberg *et al.*, 2020; Meng *et al.*, 2020), além de possibilitar a redução de custos em ETE, uma vez que cerca de 50 % dos custos de uma ETE está relacionada ao gerenciamento de lodo excedente e, mitigação dos efeitos ambientais decorrentes do descarte inadequado desse resíduo em lixões e aterros sanitários (Nizami *et al.*, 2017).

Nesse contexto, este estudo tem como objetivo investigar o potencial de recuperação do exopolímero semelhante ao alginato (quantificação), a partir do lodo biológico de esgoto cultivado em fotobiorreator em bateladas sequenciais (FRBS).

OBJETIVOS

Este estudo tem como objetivo analisar a capacidade de recuperação do exopolímero semelhante ao alginato, por meio de análises quantitativas, utilizando consórcio granular aeróbio algal-bacteriano em um FRBS projetado para tratamento de efluentes domésticos.

METODOLOGIA

Neste tópico, serão apresentados os procedimentos utilizados durante todo o período experimental com o fotobiorreator e consórcio algal-bacteriano.

SISTEMA OPERACIONAL

Para a realização deste trabalho foi utilizado um fotobiorreator em escala laboratorial (Figura 1), com volume útil de 4 L e troca volumétrica de 50%, operando à temperatura ambiente (30±2 °C). O FRBS foi operado sob regime de bateladas sequenciais com ciclos de 6 horas, divididos da seguinte forma: alimentação anaeróbia ascendente (60 min), reação aeróbia (264-282 min), reação anóxica (15 min), sedimentação (20-2 min) e descarte (1 min). As seguintes condições operacionais foram aplicadas ao FRBS: tempo de detenção hidráulica (TDH) de 12 horas; velocidade ascensional do ar de 0,5 cm/s; relação C:N de 8:1 e iluminação artificial de 140 ±20 μmol/m².s sob condição de fotoperíodo de 12h/12h (on:off).



Figura 1. Esquema do aparato experimental FRBS.

INÓCULO MICROBIANO E AFLUENTE

O FRBS foi inoculado com uma mistura de biomassa oriunda de lodos ativados e microalgas. A biomassa de lodos ativados foi coletada em um tanque de aeração da ETE do grupo Petrópolis, localizada na região metropolitana de Recife, Pernambuco. As microalgas foram cultivadas em uma lagoa de alta taxa em escala piloto instalada na unidade experimental da ETE – Mangueira (Recife, PE).

O afluente sintético, que simula esgoto doméstico neste trabalho, apresentou concentração inicial de DQO de 358,7 mg/L no início operacional. A composição do afluente sintético, apresentado na tabela abaixo, foi formulado com base em estudos do grupo de pesquisa e na solução de micronutrientes abordada por Huang *et al.* (2015):

Tabela 1: - Composição do afluente sintético

COMPOSTO	FÓRMULA MOLECULAR	CONCENTRAÇÃO
Glicose Anidra	$C_6H_{12}O_6$	24,5 mg/L
Bicarbonato de Sódio	$NaHCO_3$	12,5 mg/L
Cloreto de Amônio	NH_4Cl	8,5 mg/L
Fosfato Monopotássico	KH_2PO_4	0,85 mg/L
Sulfato de Magnésio	$MgSO_4 \cdot 7H_2O$	0,08 mg/L
Cloreto de Cálcio	$CaCl_2$	0,08 mg/L
Sulfato de Ferro	$FeSO_4 \cdot 7H_2O$	0,04 mg/L
Solução de micronutrientes	-	1,0 ml/L

MONITORAMENTO DO SISTEMA

Para o monitoramento da biomassa fotogranular, foram realizadas análises do índice volumétrico de lodo (IVL) e microscopia. O tamanho dos grânulos foi determinado conforme a metodologia descrita por Bin *et al.* (2011), utilizando-se peneiras com aberturas de 0,2 mm, 0,4 mm, 0,6 mm, 1,0 mm, 2,0 mm e 2,8 mm.



Para avaliar os fatores relacionados à recuperação de ALE, foram realizadas análises físico-químicas conforme as metodologias propostas pelo *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 22ª edição (APHA, 2012), com frequência de duas vezes na semana (Tabela 1).

Tabela 2: Parâmetros físico-químicos monitorados.

PARÂMETROS	REFERÊNCIA/MÉTODO DE ANÁLISE	UNIDADE
DQO	<i>Standard Methods</i> , Colorimétrico	mg/L
Nitrogênio amoniacal	<i>Standard Methods</i> , Destilação/Titulométrico	mg/L
Fósforo total	<i>Standard Methods</i> , Colorimétrico	mg/L
Série de sólidos	<i>Standard Methods</i> , Gravimétrico	g/L

SUBSTÂNCIAS POLIMÉRICAS EXTRACELULARES

O processo de extração de EPS em fotogrânulos seguiu a metodologia de Arellano-Badillo *et al.* (2014). Foi coletado 40 mL de licor misto do fotobiorreator, colocado em tubo falcon e centrifugado por 20 min a 4000 rpm. O sobrenadante foi descartado, foi adicionado 15 mL de soro fisiológico e agitou-se utilizando vortex. Após esse processo, a amostra foi deixada em banho Maria a 90°C por 1 h, após resfriamento da amostra, foi novamente centrifugado por 20 min a 4000 rpm e por fim, a amostra foi filtrada em membrana de 1,2 mm. Sabe-se que o valor de EPS é resultado da presença de proteínas (PN) e polissacarídeo (PS). Para extrair as frações de PN e PS utilizou-se o método descrito por Lowry *et al.* (1951) e Dubois *et al.* (1956), respectivamente.

EXOPOLÍMERO SEMELHANTE AO ALGINATO

O potencial de recuperação de ALE foi avaliado conforme Felz *et al.* (2020), Guimarães (2017) e Schambeck *et al.* (2020). Amostras do licor misto coletadas no final da reação aeróbia foram centrifugadas e liofilizadas para extração de ALE. 0,5 g de biomassa foi transferido para um erlenmeyer (250 mL) e adicionado 80 mL de carbonato de sódio (Na_2CO_3 0,2 M) e um agitador magnético. O erlenmeyer foi submetido a banho-maria a 80°C e agitado a 400 rpm por 60 minutos. Em seguida, o licor misto foi centrifugado para recuperar o sobrenadante (EPS solubilizado). O ALE foi extraído a partir do EPS solubilizado, com adição de HCl 1 M até o pH atingir aproximadamente $2,20 \pm 0,05$ (Schambeck *et al.*, 2020), e quantificado por medição de sólidos voláteis, de acordo com Felz *et al.* (2020).

RESULTADOS OBTIDOS

O fotobiorreator foi monitorado durante 150 dias de operação. O sistema alcançou a granulação completa a partir do 22º dia de experimento, como mostra a figura 2.

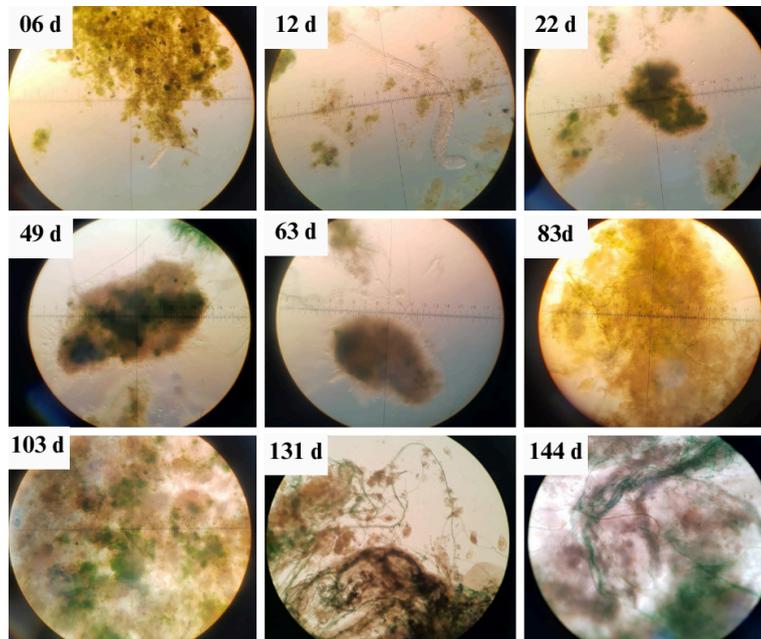


Figura 2. Desenvolvimento dos grânulos no fotobiorreator utilizando microscopia óptica com ampliação de 100x

Durante o experimento, o sistema alcançou grânulos de tamanho de 0,2 mm a 2,8 mm (Figura 4). A concentração de sólidos suspensos voláteis do licor misto (SSVLM) durante o experimento foi de 1,54 g/L.

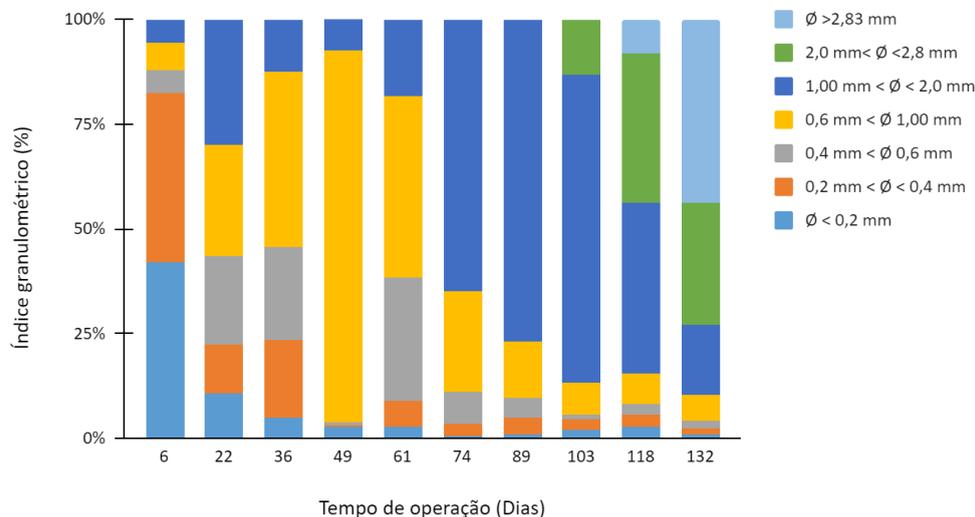


Figura 3. Classificação granulométrica dos grânulos

O FRBS apresentou resultados positivos com relação a eficiência de tratamento de efluentes, representados em termos de matéria orgânica e nutrientes (nitrogênio e fósforo). A concentração média de DQO no afluente sintético, responsável por alimentar o sistema, foi de $295,6 \pm 195,7 \text{ mg/L}$ e no efluente $40,7 \pm 21,0 \text{ mg/L}$. Em relação à eficiência de remoção no sistema, o fotobiorreator demonstrou eficiência significativa na remoção de matéria orgânica, nitrogênio amoniacal e fósforo total com uma remoção média de $85 \pm 9,3\%$, $79 \pm 19,3\%$ e $15 \pm 23,7\%$, respectivamente.



Para o conteúdo de EPS total, obteve-se uma média de concentração de 173,1 mg/gSSV. O teor de carboidratos e proteínas, que fazem parte da composição do EPS, apresentaram média de concentração de 121,3 mg/gSSV e de 49,7 mg/gSSV, respectivamente, conforme apresentado na Figura 7.

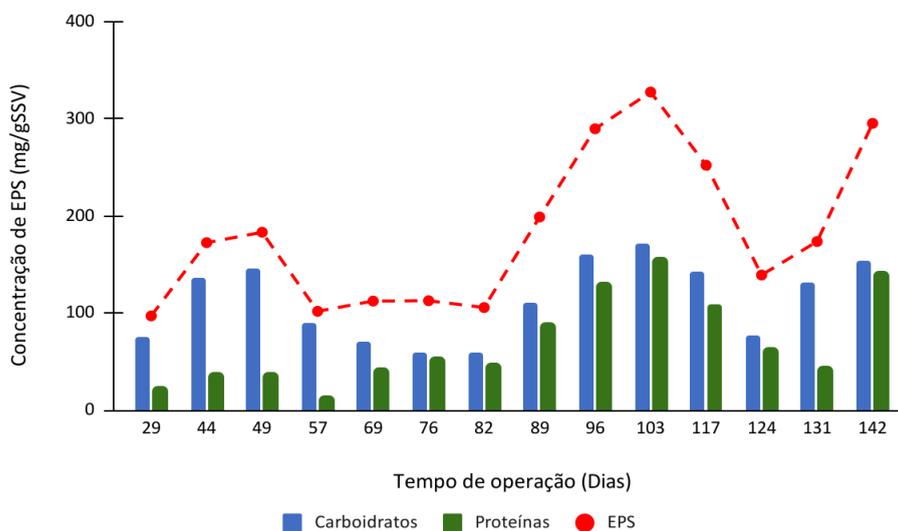


Figura 7. Teor de concentração de carboidratos e proteína com relação a EPS.

Em relação ao conteúdo de ALE recuperado da biomassa, obteve-se média de recuperação de $42,1 \pm 43,7$ mgALE/gSSV, mostrado na Figura 8.

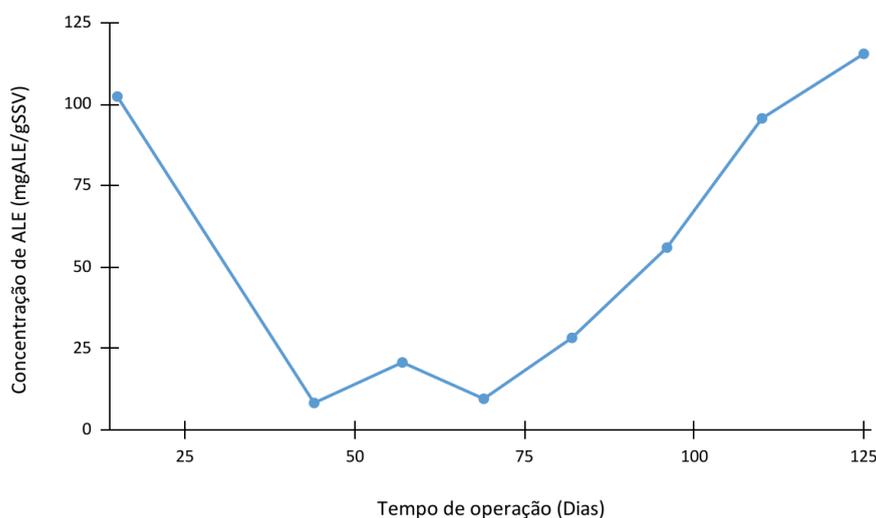


Figura 8. Conteúdo de ALE

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS OBTIDOS

Neste tópico serão discutidos os resultados obtidos durante o experimento.

DESENVOLVIMENTO DA BIOMASSA

Na primeira semana de observação, foi constatada a formação parcial de fotogrânulos no sistema, com mais de 50% dos mesmos apresentando diâmetros superiores a 0,2 mm (Figura 3). No 22º dia de operação, 89,17% da biomassa apresentava diâmetro superior a 0,2 mm, sendo que 47,4% desses grânulos mediam entre 0,4 mm e 0,6 mm, com IVL_{30}/IVL_{10} próximo a 90%. Estudos realizados por Liu *et al.* (2010) e De Kreuk *et al.* (2005) indicam que a granulação completa ocorre quando o sistema apresenta 80% de grânulos com diâmetros maiores do que 0,2 mm e IVL_{30}/IVL_{10} próximo a 90%, respectivamente, corroborando a afirmação de granulação bem-sucedida do sistema após o 22º dia de experimento. Após a finalização da fase de *start-up*, no 76º dia, foi identificada a presença predominante de agregados com diâmetro maior que 1,0 mm no sistema e IVL_{30}/IVL_{10} 97,5%. Foram identificadas a presença de grânulos maiores que 2,8 mm de diâmetro a partir do dia 89 de experimento.

Em relação ao teor de SSVLM, no início do experimento, no dia 6 de operação, foi detectado SSVLM da biomassa com 1,2 g/L. No 15º dia de experimento, foi possível observar aumento no teor de concentração de SSVLM, que foi de 1,7 g/L, mesmo o sistema não apresentando presença de grânulos no fotobiorreator. Após a granulação do sistema, no dia 22 do experimento, obteve-se SSVLM de 1,1 g/L. A concentração máxima de SSVLM foi no dia 76 de operação, com 5,3 g/L. Durante o experimento foi possível obter a média de SSVLM de 1,54 g/L.

REMOÇÃO DE MATÉRIA ORGÂNICA E NUTRIENTES

Na fase pré-granular, no 6º dia de operação, o fotobiorreator obteve uma remoção de DQO de 90,8%. No entanto, na semana seguinte, no 15º dia do experimento, houve uma diminuição significativa na eficiência de remoção de DQO, com o sistema apresentando uma eficiência de 68%, indicando instabilidade nos resultados nesta fase inicial. Após a formação dos grânulos no sistema, a eficiência de remoção tornou-se mais estável. Ao final do experimento, o sistema alcançou uma remoção média de 85%, resultado semelhante foi observado na literatura, como o estudo realizado por Alves (2017), que obteve uma remoção média acima de 80% com as configurações de operação do sistema de forma similar.

Durante o experimento, o sistema alcançou a remoção média de nitrogênio amoniacal de 79%. Em pesquisa reportada por Guimarães (2017), obteve resultado similar na remoção de nitrogênio amoniacal, com média de 75% de eficiência de remoção. A fase pré granular do sistema, até o 22º dia de experimento, foi possível obter média de 70% de remoção. Após a formação de agregados, houve aumento e estabilização na eficiência de remoção de nutrientes.

O sistema alcançou a remoção média de fósforo total abaixo de 15%. Até o 22º operacional, fase que antecedeu a formação de grânulos no sistema, o reator apresentou remoção média de apenas 4,4%, a baixa eficiência na remoção de fósforo total na fase pré-granular pode ser justificado pelo lento desenvolvimento de microrganismos acumuladores de fosfato (PAO's), esses microrganismos são essenciais para remoção de fósforo no sistema, conforme apontam Weissbrodt *et al.* (2017), e devido a suas características de crescimento lento, levam um período para crescer e se adaptar ao sistema.

RECUPERAÇÃO DE ALE

O conteúdo de EPS, juntamente com o ALE, foram monitorados a partir da formação de grânulos no sistema, que aconteceu após o dia 22 de experimento. É possível observar que durante todo o experimento o valor de carboidratos se manteve maior que o de proteínas, mostrado na Figura 9, assim como estudos realizados por He *et al.*, 2018. Os autores, obtiveram maior produção de polissacarídeos, em relação a proteína, durante a formação granular do sistema, indicando possível contribuição do teor de carboidrato no processo de formação de consórcios granulares algas-bactérias.



O conteúdo de ALE recuperado no sistema teve média de 42,1 mg/g. Ainda na fase pré granular, no dia 15 de experimento, o sistema alcançou recuperação de 102,4 mgALE/gSSV. No entanto, o resultado obtido durante o 44° dia de experimento apresentou queda drástica no conteúdo de ALE, com cerca de 11,8 mg/gSSV. Essa constante diminuição na recuperação de ALE pode estar ligado à formação dos grânulos. Sabe-se que o EPS desempenha papel crucial no processo de granulação, e é durante esse processo que o EPS é expelido. Após a finalização da fase *start-up* do sistema, foi observado o crescimento de na recuperação de ALE de forma mais expressiva. O sistema alcançou maior rendimento de ALE no 125° dia de experimento com 116 mgALE/gSSV, valores próximos de recuperação de ALE em outros estudos sobre granulação aeróbia foram reportados por Lin *et al.* (2010) e Ladnorg *et al.* (2019) com respectivamente 160,4 mgALE/gSSV e 174,5 mgALE/gSSV recuperados.

CONCLUSÕES

Através deste estudo é possível concluir que:

O sistema do fotobiorreator alcançou a formação de grânulos com êxito a partir do 22° dia operacional. Foi possível obter grânulos de 0,4 mm a 2,83 mm e média de IVL_{30}/IVL_{10} de 95% no sistema, durante o período de pesquisa, comprovando que o desenvolvimento de fotogrânulos aeróbios foi bem-sucedido em um fotobiorreator de escala laboratorial tratando esgoto doméstico sintético.

Durante o experimento, foi possível obter média de remoção satisfatória de DQO de 85%, e de nitrogênio amoniacal de 79%.

Em relação à recuperação de ALE, o sistema alcançou uma extração média de 42,1 mgALE/gSSV. Isso deve-se principalmente a fase de *start-up* que durou 70 dias, período com fotogrânulos pouco desenvolvidos. Portanto, é possível observar a recuperação do biopolímero em um consórcio granular algal-bacteriano tratando de águas residuárias. No entanto, mais estudos devem ser realizados para avaliar as condições de recuperação de subprodutos e a qualidade do ALE para fins de aplicação comercial, visando implementação em grande escala.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES, O. I. M. **Aspectos microbiológicos do tratamento de esgotos sanitários em reatores em batelada sequencial com lodo granular**. Dissertação. 95p. Recife: Universidade Federal de Pernambuco, 2017.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA). **Standard Methods For The Examination of Water and Wastewater**. 22 ed. United Book Press: Washington, 2012.
3. ARELLANO-BADILLO, M., *et al.* Effect of the organic matter to ammonia ratio on aerobic granulation during 4-chlorophenol degradation in a sequencing batch reactor. **Clean: Soil, Air, Water** 20, p. 428–433, 2014.
4. BIN, Z. *et al.* Dynamic and distribution of ammonia-oxidizing bacteria communities during sludge granulation in an anaerobic–aerobic sequencing batch reactor. **Water Research**, v.45, p.6207-6216, 2011.
5. CAO, L. *et al.* Egg-box model-based gelation of alginate and pectin: A review. **Carbohydrate Polymers**, v. 242, p. 116389, 2020.
6. CHEN, X. *et al.* Simultaneous recovery of phosphorus and alginate-like exopolysaccharides from two types of aerobic granular sludge. **Bioresource Technology**, p. 126411, 2021.
7. DE KREUK, M. K.; PRONK, M.; VAN LOOSDRECHT, M. C. M. Formation of aerobic granules and conversion processes in an aerobic granular sludge reactor at moderate and low temperatures. **Water Research**, v. 39, p. 4476–4484, 2005.
8. DUBOIS, M. *et al.*, Colorimetric method for determination of sugars and related substances, **Chemosphere**, v. 28, p, 350–356, 1956.



9. FELZ, S. *et al.* Extraction of structural extracellular polymeric substances from aerobic granular sludge. *JoVE. Journal of Visualized Experiments*, n. 115, p. e54534, 2016.
10. FELZ, S. *et al.* Aerobic granular sludge contains Hyaluronic acid-like and sulfated glycosaminoglycans-like polymers. *Water research*, v. 169, p. 115291, 2020.
11. HE, Q. *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, n. June, p. 222–230, 2018.
12. HEALY, M. G. *et al.* Resource recovery from sewage sludge. *Sewage Treatment Plants*, p. 139, 2015.
13. HUANG, W. *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.
14. GUIMARÃES, L. B. **Caracterização microbiológica do lodo granular na remoção de nutrientes e potencial de recuperação de exopolímeros de efluentes em reatores em bateladas sequenciais.** Tese (Doutorado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis - SC, 2017.
15. JI, B. *et al.* Removal mechanisms of phosphorus in non-aerated microalgal-bacterial granular sludge process. *Bioresource Technology*, v. 312, 2020.
16. KLAUS, G. F. **Estudo de um sistema compacto de tratamento de efluentes sanitários do tipo lodos ativados.** 88f. 2012. Monografia (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
17. LADNORG, S. *et al.* Alginate-like exopolysaccharide extracted from aerobic granular sludge as biosorbent for methylene blue: Thermodynamic, kinetic and isotherm studies. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 7, n. 3, p. 103081, 2019.
18. LIN, Y. *et al.* Characterization of alginate-like exopolysaccharides isolated from aerobic granular sludge in pilot-plant. *Water Research*, v. 44, n. 11, p. 3355-3364, 2010.
19. LIN, Y. M. *et al.* The chemical and mechanical differences between alginate-like exopolysaccharides isolated from aerobic flocculent sludge and aerobic granular sludge. *Water Research*, v. 47, p. 57-65, 2013.
20. LIU, Y. Q. *et al.* Formation, physical characteristics and microbial community structure of aerobic granules in a pilot-scale sequencing batch reactor for real wastewater treatment. *Enzyme and Microbial Technology*, v. 46, p. 520–525, 2010.
21. LOWRY, O. H. *et al.* Protein Measurement with the Folin Phenol Reagent. *J Biol Chem*, v. 193, p. 265–275, 1951.
22. MENG, F. *et al.* Application of aerobic granules-continuous flow reactor for saline wastewater treatment: Granular stability, lipid production and symbiotic relationship between bacteria and algae. *Bioresource technology*, v. 295, p. 122291, 2020.
1. MORADALI, M. F. *et al.* Alginate biosynthesis and biotechnological production. In: *Alginates and their biomedical applications.* Springer, Singapore, 2018.
23. MURUJEW, O. *et al.* Recovery and reuse of alginate in an immobilized algae reactor. *Environmental technology*, v. 42, n. 10, p. 1521-1530, 2021.
24. NIZAMI, A. S. *et al.* Waste biorefineries: enabling circular economies in developing countries. *Bioresource technology*, v. 241, p. 1101-1117, 2017.
25. ROLLEMBERG, S. L. S. *et al.* Pilot-scale aerobic granular sludge in the treatment of municipal wastewater: optimizations in the start-up, methodology of sludge discharge, and evaluation of resource recovery. *Bioresource technology*, v. 311, p. 123467, 2020.
26. SCHAMBECK, C. M. *et al.* Biopolymers recovery: dynamics and characterization of alginate-like exopolymers in an aerobic granular sludge system treating municipal wastewater without sludge inoculum. *Journal of Environmental Management*, v. 263, p. 110394, 2020.
27. WEISSBRODT, D. G. *et al.* Modeling hydraulic transport and anaerobic uptake by PAOs and GAOs during wastewater feeding in EBPR granular sludge reactors. *Biotechnology and Bioengineering*, v. 114, 2017.
28. ZAHRA, S. A. Alginate-like exopolysaccharides in aerobic granular sludge: A review. *Materials Today: Proceedings*, v. 65, p. 3046–3053, 2022.