

---

## Imobilização de *Tetradesmus obliquus* em matriz de alginato para biorremediação de efluentes

Beatriz Jacob-Furlan, Paulo Alexandre Silveira da Silva, Gilvana Scoculi de Lira, Ihana Aguiar Severo, Rafael Silva Ribeiro Gonçalves, Lauber de Souza Martins, José Viriato Coelho Vargas, André Bellin Mariano

<https://doi.org/10.4322/mp.978-65-994457-8-1.c7>

### Resumo

Devido ao crescimento da urbanização mundial e déficit no fornecimento de saneamento básico, ocorre um crescente volume de águas residuais e consequente contaminação das mesmas. Dessa forma, a fim de minimizar impactos ambientais negativos, a Organização das Nações Unidas (ONU) desenvolveu a Agenda 2030, ao que tange 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS). O ODS número 6 aborda o tema saneamento básico e acesso à água potável. Neste cenário, as microalgas despertaram interesse nos mais variados contextos científicos, como a produção de energia renovável, obtenção de bioprodutos e biorremediação em função do tratamento de efluentes. À vista disso, considera-se imprescindível a realização de estudos que envolvam tecnologias inovadoras para o tratamento das águas residuárias, como por exemplo o processo de imobilização de microalgas. Dessa maneira, o proposto capítulo trata da imobilização da espécie de microalga *Tetradesmus obliquus* em matriz polimérica de alginato de sódio. De modo que, enfatiza e afirma a atual relevância das microalgas no cenário científico, ambiental e tecnológico, e seu potencial biorremediador.

**Palavras-chave:** tratamento de águas residuais, matriz polimérica, microalgas, sustentabilidade, tecnologias emergentes.

## 1. Introdução

No final do século XX as microalgas passaram a ser muito estudadas, devido a difusão do termo sustentabilidade, visto que os recursos naturais são finitos, e para isso, era necessário procurar meios renováveis para obtenção de bioprodutos, bioenergia e até mesmo realizar biorremediação (CONTANZA, 1994). Sendo assim, a comunidade científica se dedicou fielmente em desenvolver pesquisas a respeito das microalgas, desde a produção de biocombustíveis, extração de biomassa e biopolímeros e produção de hidrogênio (TAHER, 2013).

As microalgas são organismos unicelulares, autotróficos ou heterotróficos e de fácil reprodução que vêm apresentando grande destaque no universo científico (FURLAN *et al.*, 2020). As microalgas podem ser cultivadas em ambientes abertos ou reatores fechados com regime alimentar à base de compostos químicos com uma dieta que contempla carbonatos, fosfatos, nitratos e até mesmo alguns gases como CO<sub>2</sub>, compostos estes que podem ser classificados em orgânicos ou inorgânicos. Esses organismos são os responsáveis pela maior parte da produção de oxigênio terrestre, e estão presentes em oceanos, lagos e lagoas naturais ao redor do mundo (LEHMUSKERO, 2018).

Nesse contexto, as microalgas exigem certa cautela em seus cultivos, pois caso sejam muito expostas podem levar a contaminação (ANTEZANA *et al.*, 2020). Partindo desse pressuposto, e sabendo que as microalgas possuem um potencial já explorado na biorremediação (FURLAN, *et al.*, 2020), uma nova gama de possibilidades científicas se abre ao tocante da imobilização celular em matrizes poliméricas para tratamento de efluentes.

A partir de uma técnica de aprisionamento celular, as microalgas podem ser retidas em uma membrana polimérica, que pode ser permeável, possibilitando a biorremediação de um efluente por meio da absorção dos nutrientes presentes na solução (MUNIZ, 2018). Visto que a microalga pode se alimentar das fontes de carbonatos, nitratos e fosfatos, e estas cargas estão presentes nos efluentes, isso acaba por favorecer o cenário da biorremediação com uso da imobilização de microalgas (GIESE, 2016).

De acordo com a Organização das Nações Unidas para Educação, Ciência e Cultura (UNESCO, 2017), o aumento da população mundial, favorece

de modo direto o aumento de águas residuais, sendo estas por sua vez, efluentes nobres em matéria orgânica, portanto, passível de que a microalga imobilizada trate o meio externo e se alimentando dentro de uma matriz. Dessa forma, promovendo a biorremediação em caráter de tratamento secundário.

Desse modo, o objetivo deste trabalho consiste em imobilizar microalgas em matriz polimérica de alginato de sódio, a fim de validar seu potencial em se manter no interior da micela polimérica, delineando assim um paralelo para tratamento de efluentes por biorremediação.

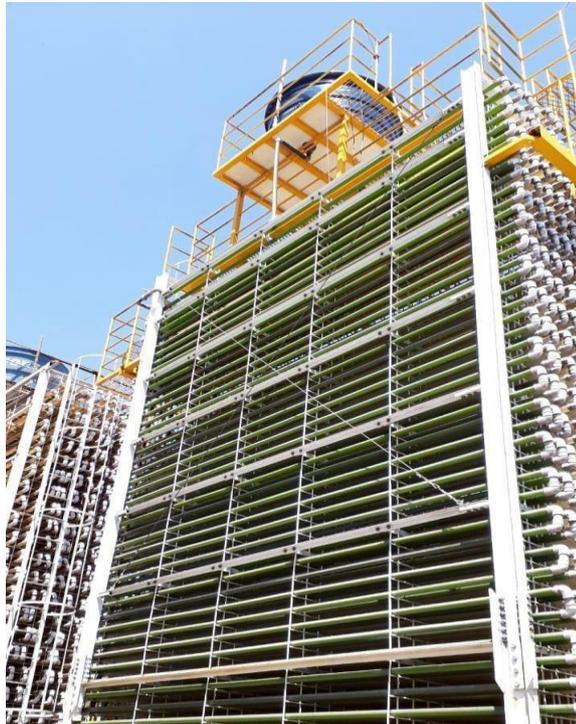
## 2. Microalgas – Visão geral

Microalgas são consideradas microrganismos unicelulares de rápida reprodução, podendo ser caracterizadas biologicamente como autotróficas ou heterotróficas (FURLAN et. al., 2020). Elas podem ser cultivadas em diversas formas, desde tanques abertos, lagos e lagoas como se encontra na natureza, bem como de forma industrial, por meio do uso de fotobiorreatores (ARUN *et al.*, 2021), sendo escalonada a partir de cultivos manuais feitos em escala laboratorial.

As microalgas são as responsáveis pela maior parte da fotossíntese no planeta, por serem encontradas em vastidão no meio ambiente (LEHMUSKERO, 2018). Ademais, possuem a capacidade de promoverem biorremediação, limpando o ar atmosférico por meio da fotossíntese, o que promove além de seu crescimento, a oxigenação do ambiente (SCHMITZ *et al.*, 2015; DERNER *et al.*, 2006). Para seu crescimento, as microalgas possuem como fonte alimentar, carbonos de origem orgânica e inorgânica, além de fontes de nitrato e fosfato, estas que são permitidas pelos meios que elas estão imersas (BOROWITZKA, 2018).

No Núcleo de Pesquisa e Desenvolvimento em Energia Autossustentável (NPDEAS), da Universidade Federal do Paraná (UFPR), o cultivo de microalgas acontece de forma laboratorial, piloto e industrial. Contando com o suporte de um laboratório de biotecnologia focado em produzir inóculos de microalga em pequena escala, escalona-se cultivos até chegar à alimentação à escala piloto e industrial, por meio de *airlifts* e fotobiorreatores tubulares compactos (FBRs). Os FBRs do tipo *airlifts* comportam cerca de 44 L em toda sua extensão, enquanto

os FBRs, similares à escala industrial, chegam a comportar até 10000 L, como podemos observar na Figura 1.



**Figura 1.** FBR tubular compacto construído no NPDEAS na UFPR.

### 2.1. Meios de cultivo

As microalgas podem ser cultivadas de diversas formas em laboratório, desde que o básico seja fornecido (CHISTI, 2007). O cultivo pode ser classificado em fotoautotrófico, fotoheterotrófico, heterotrófico e mixotrófico, de acordo com a origem do carbono e presença de fonte luminosa. Em cultivos fotoautotróficos, é utilizado carbono de origem orgânica e luz como fonte de energia, caso o carbono seja de origem inorgânica, o cultivo é chamado de fotoheterotrófico. Já nos cultivos heterotróficos não há a presença de luz, toda energia necessária para o crescimento é retirada da fonte de carbono de origem orgânica. Enquanto nos cultivos mixotróficos o meio é suplementado com carbono de origem orgânica e inorgânica, e submetido a presença de energia luminosa (CARDOSO, 2011).

Os cultivos em sistema semi-contínuo também são utilizados, onde as microalgas ora têm acesso à luz, ora são privadas desse contato. No fim do

cultivo, a fonte de iluminação acaba por fornecer maiores quantidades de densidade, o que promove um maior valor agregado à produção microalgal (ANGELO, 2014).

Para alimentação do cultivo de microalgas, meios sintéticos são produzidos, com compostos químicos derivados de sais orgânicos e inorgânicos. Um dos principais meios utilizados é o meio sintético CHU (1942), dentro das concentrações conforme apresentado na Tabela 1.

**Tabela 1.** Composição do meio CHU com concentrações dos sais químicos.

Componente	Fórmula	Concentração final (g.L <sup>-1</sup> )
Nitrato de sódio	NaNO <sub>3</sub>	0,25
Cloreto de cálcio di-hidratado	CaCl <sub>2</sub> .2H <sub>2</sub> O	0,025
Sulfato de magnésio hepta-hidratado	MgSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,075
Fosfato de potássio dibásico	KH <sub>2</sub> PO <sub>4</sub>	0,075
Fosfato de potássio monobásico	K <sub>2</sub> HPO <sub>4</sub>	0,175
Cloreto de sódio	NaCl	0,025
EDTA (Ácido etilenodiamino tetra- acético)	C <sub>10</sub> H <sub>16</sub> N <sub>2</sub> O <sub>8</sub>	0,05
Hidróxido de sódio	KOH	0,031
Sulfato ferroso hepta-hidratado	FeSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	0,005
Ácido bórico	H <sub>3</sub> BO <sub>3</sub>	0,01142
Sulfato de zinco hepta-hidratado	ZnSO <sub>4</sub> .7H <sub>2</sub> O	8,82×10 <sup>-5</sup>
Cloreto de manganês tetra-hidratado	MnCl <sub>2</sub> .4H <sub>2</sub> O	1,44×10 <sup>-5</sup>
Molibdato de sódio di-hidratado	NaMoO <sub>4</sub> .2H <sub>2</sub> O	7,1×10 <sup>-6</sup>
Sulfato de cobre penta-hidratado	CuSO <sub>4</sub> .5H <sub>2</sub> O	1,57×10 <sup>-5</sup>
Nitrato de cobalto hexa-hidratado	Co(NO <sub>3</sub> ) <sub>2</sub> .6H <sub>2</sub> O	4,9×10 <sup>-6</sup>

FONTE: Adaptado de SANTOS, (2016).

## 2.2. Águas residuais

Os recursos hídricos possuem diversas características, e são consideradas águas residuais quando afetadas via contaminantes derivados de esgotos domésticos ou descartes industriais indevidos que podem conter

microrganismos patogênicos e/ou substâncias tóxicas. Dessa forma, podem desencadear doenças, intoxicações e infecções (SILVA, 2011).

Conforme mencionado o expressivo aumento das águas residuárias se evidencia também a baixa cobertura e captação de coleta de esgoto, onde diversas regiões não possuem serviços de abastecimento e saneamento básico, o que faz com que a população afetada acabe descartado seus efluentes em áreas indevidas e conseqüentemente afeta drasticamente e contamina os recursos hídricos, lençóis freáticos, e até mesmo os subterrâneos.

Nesse contexto, foi instituída uma agenda denominada Agenda 2030, oriunda da ONU, que possui cerca de 169 metas. O plano majoritário que compreende esta ação é um plano de ação para o planeta, para as pessoas e para a prosperidade. Desde 2015, existe dentro da Agenda 2030, 17 ODS, tornando mais relevante a busca por métodos tecnológicos que priorizem o tratamento das águas residuais, e efluentes agroindustriais, promovendo também a diminuição de descartes indevidos de efluentes e alcance universal de água tratada à toda população.

### **2.3. Tratamento de águas residuais**

Para o tratamento de águas residuais existem normas, que segundo a Agência Nacional de Águas (ANA), durante o ano de 2017, cerca de 43% apenas de todo o esgoto no Brasil foi coletado e tratado. Enquanto 39% da carga orgânica era removida pelas quase 3 mil estações de tratamento espalhadas em território nacional. O exigido pela resolução CONAMA 430, é que a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) seja de no mínimo 60%.

As estações de tratamento de esgoto (ETE) não promovem o tratamento das águas residuais. A estação responsável é a estação de tratamento de águas residuais (ETAR), onde por meio de processos físicos, químicos e biológicos, de acordo com o grau de contaminação e de purificação a ser alçado, efetuam o procedimento de tratamento (OLIVEIRA, 2014). Existem três etapas que compõem o tratamento básico das águas residuais, conforme apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2.** Três etapas que integram o tratamento básico de águas residuais.

<b>Etapas</b>	<b>Descrição</b>
Tratamento primário	Consiste em processos físico-químicos. Enfoque principal em remover contaminantes sólidos (de origem orgânica e inorgânica) presentes na água;
Tratamento secundário	Ocorre por meio de métodos biológicos. Remove contaminantes que não foram removidos apenas com o tratamento primário;
Tratamento terciário	Utilização de processos biológicos para a separação dos microrganismos mais resistentes que não foram removidos nas etapas anteriores.

Adaptado de OPERSAN (2015); ETA (2015).

### 3. Imobilização celular de microalgas

A imobilização é uma técnica utilizada por meio do aprisionamento celular no interior de uma matriz, em sua maioria polimérica, por procedimento de interações físico-químicas por meio de ciência dos materiais (MUNIZ, 2018). A fixação do material dentro da matriz pode ser aplicada para promoção do tratamento de efluentes, pois retém os sólidos e elimina as etapas de sedimentação. Assim, é possível diminuir o custo do processo e aumentar a eficiência dos tratamentos, visto que passando pelas etapas primárias e secundárias, estas são incapazes de reter os rejeitos existentes (GIESE, 2015).

Além disso, as microalgas estão cada vez mais cotadas por promoverem biorremediação ambiental, podendo ser utilizadas no tratamento de águas residuais (STURM & LAMER, 2011). Diante da sua capacidade de conversão energética e tratamento, (NAGARAJAN *et al.*, 2020) o cultivo com microalgas para este fim é extremamente vantajoso, principalmente por promover integração com algumas formas de tratamentos (ROOSTAEI & ZHANG, 2017), além de possuir uma implementação de baixo custo e ser energeticamente viável decorrente do uso da energia solar para o crescimento celular (ACIÉN FERNÁNDEZ *et al.*, 2018), e pela remoção dos compostos presentes nas águas

residuais, com premissa de remoção de alguns microrganismos (NAGARAJAN *et al.*, 2019). O reuso das cápsulas é um ponto de relevância, visto que se a matriz utilizada tiver características de um material inerte, ela apresentará resistência mecânica (MUNIZ, 2018).

#### 4. Imobilização experimental

A partir do cultivo da microalga *Tetrademus obliquus*, a imobilização experimental foi realizada, a fim de validar um protocolo existente para analisar o comportamento da micela e quantificar os reagentes necessários de acordo com a batelada de experimento.

A primeira imobilização tomou forma, conforme apresentado na Figura 2.



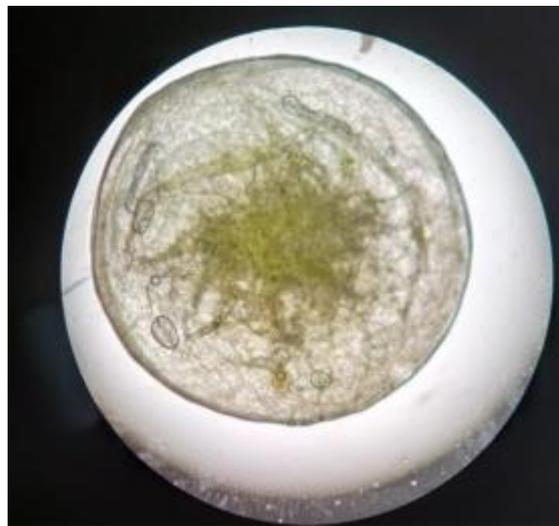
**Figura 2.** Microalgas encapsuladas sob teste piloto.

Após as microalgas terem sido imobilizadas satisfatoriamente, conforme Figura 2, foram inseridas em meio CHU (Figura 3) a fim de acompanhar seu desenvolvimento, resistência e escoamento para o meio externo.



**Figura 3.** Microalgas imobilizadas inseridas em meio CHU.

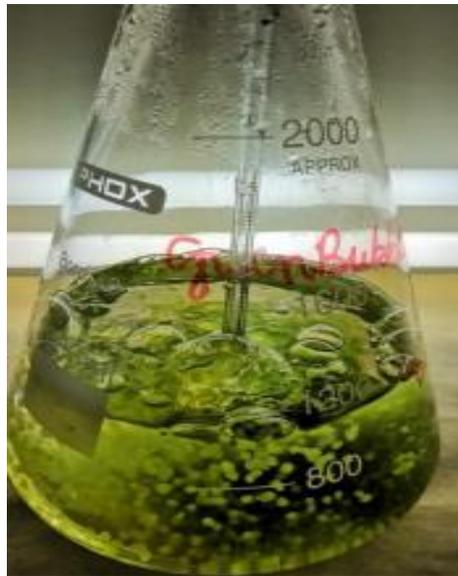
A imobilização foi resistente por cerca de 45 dias, sem que houvesse declínio do cultivo. Elas permaneceram inativas em crescimento, conforme mostra a Figura 4, após serem analisadas por microscópio.



**Figura 4.** Micela imobilizada de microalga vista em microscópio.

Outro ponto de interesse é que não houve rompimento de microalga para o meio externo e a cápsula também não se desfez durante o período.

Comprovando assim, que ela pode ser armazenada por um longo período até ser utilizada, em condições ambientes, vide Figura 5.



**Figura 5.** Reator com microalgas imobilizadas em meio CHU para validação experimental.

## 5. Considerações finais

Desse modo, pode-se concluir que a imobilização de microalgas em matriz polimérica de alginato de sódio, é efetiva, além de que ela é passível de ser armazenada por cerca de 1 mês em solução aquosa.

Uma dificuldade encontrada é a solubilização da matriz, permitindo um gargalo para trabalhos futuros. Além disso, é favorável o cenário de pesquisa para esse ambiente, visto que as algas imobilizadas possuem maior resistência enquanto equiparadas a seu estado inicial dispersas em solução aquosa.

Certo é que, conforme os experimentos demonstram, a matriz fornece abertura suficiente para que a microalga se alimente das fontes externas presentes no meio, de tal forma que isso pode ser empregado em biorremediação de efluentes.

Para trabalhos futuros, é interessante explorar análises básicas diárias de cultivos imobilizados, e com o potencial quantitativo e qualitativo de biorremediação a partir de níveis de tratamento de fosfatos e nitratos que a alga

imobilizada pode retirar do meio externo, a fim de demonstrar que ela promove a biorremediação no efluente.

## 6. Agradecimentos

A realização dessa pesquisa se deve graças ao suporte técnico do NPDEAS. Além disso, agradecemos aos Programas de Pós-Graduação em Engenharia e Ciência dos Materiais (PIPE) e Engenharia Mecânica– (PGMEC), ao Departamento de Química (UFPR) e ao Programa de Recursos Humanos da ANP - PRH 12.1, gestão FINEP. Agradecimentos também ao CNPq pelo financiamento das bolsas de Iniciação Científica e ao Projeto de Pesquisa 308460/2020-0.

## 7. Referências

ACIÉN Fernández, F.G., Gómez-Serrano, C. & Fernández-Sevilla, J.M. (2018). Recovery of Nutrients From Wastewaters Using Microalgae. *Frontiers in Sustainable Food Systems* *Frontiers Media S.A.* 2, 59. <https://www.frontiersin.org/article/10.3389/fsufs.2018.00059/full>. Acesso em 28 de Julho de 2021.

ANA. Agência Nacional de Águas. Atlas Esgotos revela mais de 110 mil km de rios com comprometimento da qualidade da água por carga orgânica. 2017. Disponível em < <https://www.ana.gov.br/noticias/atlas-esgotos-revela-mais-de110-mil-km-de-rios-com-comprometimento-da-qualidade-da-agua-por-cargaorganica>>. Acesso em: 30 de janeiro de 2021.

ANGELO, E. A.; ANDRADE, D, S; FILHO, A, C. Cultivo não-fotoautotrófico de microalgas: uma visão geral. **Semina: Ciências Biológicas e da Saúde**, Londrina, v. 35, n. 2, p. 125-136, 2014.

ANTEZANA, V. C. P., FURLAN, B. J., ZATTA, P. H. S., MARTINS, L. S., MARIANO, A. B. ESTUDO COMPARATIVO DO CRESCIMENTO DE MICROALGAS TETRADESMUS OBLIQUUS EM DIFERENTES MEIOS DE CULTIVO. In: Anais do I Congresso Virtual de Estudantes e Profissionais de Engenharia Ambiental e Sanitária. Anais. Goiânia (GO) Ambiente Virtual, 2020. DOI: 10.29327/ConVEPEAS.269630 Acesso em: 11/04/2021

ARUN, J.*et al.* Technical insights into the production of green fuel from CO<sub>2</sub> sequestered algal biomass: A conceptual review on green energy. **Science of The Total Environment**, v. 755, n. 142636, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2020.142636>.

BOROWITZKA, M. A. Biology of Microalgae. In: LEVINE, I. A.; FLEURENCE, J. (Ed.). **Microalgae Health and Disease Prevention**. Amsterdam: Academic Press, Elsevier, 2018. p. 23–72.

CACURO, Thiago Aguiar. Compósitos de Alginato como Material Inteligente, Modulação de Solubilidade e Objeto de Ensino. 2019. 217f. Tese de Doutorado – Sorocaba: Universidade Federal de São Carlos, 2019.

CARDOSO, Aderlânio da Silva. O uso de microalgas para a obtenção de biocombustíveis. In **Revista Brasileira de Biociências**, Porto Alegre, n., p.542-549, 29 ago. 2011.

CHISTI, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>.

Costanza, R. Economia ecológica: uma agenda de pesquisa. *In: May, P. H. e Serôa da Motta, R. (Orgs.). Valorando a natureza: análise econômica para o desenvolvimento sustentável*. Editora Campus. 1994.

CHU, S.P. The influence of the mineral composition of the medium on the growth of planktonic algae. **Journal of Ecology**, v. 30, p. 284-325, 1942. <https://doi.org/10.2307/2256574>.

DERNER, R. B.; OHSE, S.; VILLELA, M.; CARVALHO, S.M.; FETT, R. Microalgas, produtos e aplicações. **Ciência Rural**, v. 6, p. 1959 -1967, 2006.

FURLAN, Beatriz Jacob; ZATTA, Pedro Henrique Siqueira; ANTENAZA, Valeria Cristina Pereira; MARTINS, Lauber de Souza; MARIANO, André Bellin., 2021. Estudo do crescimento de microalgas em meio de cultivo CHU e dejetos suínos. *Meio Ambiente, Sustentabilidade e Tecnologia*, Volume 6. 1ed. Belo Horizonte, Minas Gerais.: Editora Poisson, v. 6, p. 204-211. <http://dx.doi.org/10.36229/978-65-5866-094-1.CAP.24>.

GIESE, E.C., 2015. Potencial Biotecnológico do Uso de Microorganismos Imobilizados em Gel de Alginato de Cálcio. **SÉRIE TECNOLOGIA AMBIENTAL - CETEM**. ISBN: 978-85-8261-029-9

LEHMUSKERO, A., Skogen Chauton, M., Boström, T. Light and photosynthetic microalgae: a review of cellular- and molecular-scale optical processes, **Progress in Oceanography**. 168 (2018) 43–56. <https://doi.org/10.1016/j.pocean.2018.09.002>.

MALINOSKI, L.; MARANHO, L. T. Imobilização de consórcio de bactérias extraídas da rizosfera de *Echinochloa polystachya* (KUNTH) Hitchc., Poaceae, e seu potencial para a degradação de petróleo. **Brazilian Journal of Development**, [S.L.], v. 6, n. 7, p. 50373-50395, 2020. <http://dx.doi.org/10.34117/bjdv6n7-623>.

MUNIZ, C. B. DE O. Avaliação Da Influência De Quitosana Na Porosidade E Resistência De Microesferas De Alginato/Quitosana Para Imobilização De Microrganismos E Posterior Uso No Tratamento De Águas Residuárias. UFCG, p. 47, 2018.

NAGARAJAN, D.; Chang, J.S.; Lee, D.J. Pretreatment of Microalgal Biomass for Efficient Biohydrogen Production-Recent Insights and Future Perspectives. **Bioresource Technology** 2020, 302, 122871. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2020.122871>.

NAGARAJAN, D., Lee, D.-J., Chang, J.-S., 2019. Recent insights into consolidated bioprocessing for lignocellulosic biohydrogen production. **International Journal of Hydrogen Energy** 44 (28), 14362–14379. <https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2019.03.066>.

OLIVEIRA, T. Imobilização De Microalgas *Chlorella* sp. Em Matriz De Alginato. UEPB, p. 36, 2014.

ONU. Organização das Nações Unidas. Transformando Nosso Mundo: A Agenda 2030 para o Desenvolvimento Sustentável. 2015. Disponível em. Acesso em 28 de janeiro de 2021.

OPERSAN. OPERSAN Soluções Ambientais. Níveis de Tratamentos de Efluentes. 2015. Disponível em. Acesso em 15 de março de 2021.

PAWAR, S. N. Chemical Modification of Alginate. In. Jayachandran Venkatesan; Sukumaran Anil; Se-Kwon Kim (ed.). **Seaweed Polysaccharides**. [s.l.] Elsevier Inc., 2017.

PAWAR, S. N.; EDGAR, K. J. Chemical Modification of Alginates in Organic Solvent Systems. *Biomacromolecules*, v. 12, n. 11, p. 4095–4103, 14 nov. 2011b.

ROOSTAEI, J., Zhang, Y., 2017. Spatially explicit life cycle assessment: opportunities and challenges of wastewater-based algal biofuels in the United States. **Algal Research**. 24 (B), 395–402.

SANTOS, B. Estratégias para aumentar a produtividade de biomassa de microalgas com carbono orgânico. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2016.

SCHLEE, T.; MADAU, M.; ROESSNER, D. Synthesis enhancements for generating highly soluble tetrabutylammonium alginates in organic solvents. **Carbohydrate Polymers**, v. 114, p. 493–499, 2014.

SCHLEE, T.; MADAU, M.; ROESSNER, D. Two competing reactions of tetrabutylammonium alginate in organic solvents: Amidation versus  $\gamma$ -lactone synthesis. **Carbohydrate Polymers**, v. 138, p. 244–251, 2016.

SCHMITZ, R., DECESARO, A., SANTETI, G., REINEHR, C. O., THOMÉ, A., COLLA, L. M. Lipídios microalgais como biossurfactantes em processo de biorremediação de diesel e biodiesel em solo. **Ciência & Engenharia**, v. 24, n. 1, p. 63-70, 2015.

SILVA, M. C. C. DE P. TRATAMENTO TERCIÁRIO DE EFLUENTE SECUNDÁRIO, USANDO A MICROALGA *Chlorella* sp. IMOBILIZADA EM MATRIZ DE ALGINATO DE CÁLCIO. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-graduação em Ciência e Tecnologia) - Campina Grande: Universidade Estadual da Paraíba, 2011.

SOTAMINGA, Francisco Paul. Funcionalização de alginato e de seus blocos homopoliméricos para conjugação com compostos de interesse biotecnológico. Dissertação (Mestrado em Programa de Pós-graduação em Engenharia de Biorprocessos e Biotecnologia) - Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2020.

STURM, B. S. M., Lamer, S. L., 2011. An energy evaluation of coupling nutrient removal from wastewater with algal biomass production. **Applied Energy** 88,3499–3506.

TAHER, D. M. Biodiesel de microalgas cultivadas em dejetos suínos biodigeridos. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2013.

UNESCO. Relatório Mundial das Nações Unidas Sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2017. p. 8, 2017.

## **Autores**

Beatriz Jacob-Furlan, Paulo Alexandre Silveira da Silva, Gilvana Scoculi de Lira, Ihana Aguiar Severo, Rafael Silva Ribeiro Gonçalves, Lauber de Souza Martins, José Viriato Coelho Vargas, André Bellin Mariano

Universidade Federal do Paraná (UFPR), Rua Cel. Francisco Heráclito dos Santos, nº 100 - Centro Politécnico – Prédio da Administração – 2º andar, Caixa Postal 19011, CEP 81531-980, Curitiba – Paraná, Brasil.

\* Autor para correspondência: [beatrizfurlan@ufpr.br](mailto:beatrizfurlan@ufpr.br)