



ACESSO ABERTO

Data de Recebimento:
04/09/2026

Data de Aceite:
25 /09/2026

Data de Publicação:
05/10/2026

***Autor correspondente:**
Danielle da Silveira dos Santos,
Pós-doutorado,
Endereço para correspondência:
Av. Amaro Reinaldo dos Santos
Silva, 764, São José do Bar-
reto, Macaé, CEP 27965-045.
21976219266; E-mail: dani.
usu@gmail.com.

Citação:
SANTOS, D., et. al. Produção
de bioetanol de terceira gera-
ção a partir de nannochloropsis
oculata: contribuições para a
mitigação de impactos na lagoa
de araruama, são pedro da al-
deia/rj **Revista multidisciplinar
em educação e meio ambien-
te**, v. 7, n. 4, 2026. [https://doi.
org/10.51161/integrar/rema/4943](https://doi.org/10.51161/integrar/rema/4943)

DOI: 10.51161/integrar/
rema/4943

Editora Integrar© 2026.
Todos os direitos reservados.

PRODUÇÃO DE BIOETANOL DE TERCEIRA GE- RAÇÃO A PARTIR DE NANNOCHLOROPSIS OCU- LATA: CONTRIBUIÇÕES PARA A MITIGAÇÃO DE IMPACTOS NA LAGOA DE ARARUAMA, SÃO PE- DRO DA ALDEIA/RJ

Layla Arenari Cardozo^a, Eva Zopelario Salema Ferro^b, Marcos Paulo Figueiredo de Barros^a,
Danielle da Silveira dos Santos^a

^aUniversidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade. Av.
Amaro Reinaldo dos Santos Silva, 764, São José do Barreto, Macaé, CEP 27965-045, Brasil

^bUniversidade Federal do Rio de Janeiro. Instituto de Química. Av. Athos da Silveira Ra-
mos, 149, Bloco A. Centro de Tecnologia da Cidade Universitária, Rio de Janeiro, RJ. CEP
21941-909, Brasil.

RESUMO

A busca por fontes de energia renováveis tem impulsionado o desenvolvimento de alternativas sustentáveis, como os biocombustíveis 3G, que utilizam microalgas como matéria-prima. Dentre as espécies, a *Nannochloropsis oculata* destaca-se por sua alta taxa de crescimento, capacidade de fixação de CO₂ e síntese de metabólitos, como carboidratos, essenciais para a produção de bioetanol. A Lagoa de Araruama é um dos maiores sistemas lagunares hipersalinos do mundo, mas enfrenta desafios ambientais, como a eutrofização, devido ao despejo de efluentes domésticos e industriais. Este estudo teve como objetivo investigar o cultivo de *N. oculata* utilizando efluente da Lagoa de Araruama, como meio alternativo, avaliando sua viabilidade para bioprocessos sustentáveis. A pesquisa comparou o crescimento da *N. oculata* em meio sintético Guillard F/2 e em efluente bruto. O crescimento celular foi monitorado por espectrofotometria, e a conversão da biomassa em carboidratos fermentáveis foi realizada por hidrólise ácida, seguida de quantificação dos açúcares em Cromatografia Líquida. A hidrólise foi conduzida seguindo um planejamento estratégico visando otimizar as condições de cultivo, variando concentração do reagente e tempo em autoclave. Posteriormente, a fermentação alcoólica foi realizada para verificar a conversão dos açúcares em bioetanol. A hidrólise revelou a presença de carboidratos fermentáveis com concentrações variando conforme o pré-tratamento, utilizando ácido sulfúrico (até 0,5%) para síntese de açúcares e, posteriormente, produção de bioetanol a partir de *S. cerevisiae*.

Os resultados destacam o potencial biotecnológico da *N. oculata* na produção de biocombustíveis de terceira geração, ampliando as perspectivas para processos de biorremediação e bioenergia.

Palavras-chave: Microalgas, *Nannochloropsis oculata*, Bioetanol 3G.

ABSTRACT

The search for renewable energy sources has driven the development of sustainable alternatives, such as 3G biofuels, which utilize microalgae as feedstock. Among the various species, *Nannochloropsis oculata* stands out due to its high growth rate, CO₂ fixation capacity, and synthesis of metabolites-such as carbohydrates-that are essential for bioethanol production. The Araruama Lagoon is one of the world's largest hypersaline lagoon systems, yet it faces environmental challenges, such as eutrophication, caused by the discharge of domestic and industrial effluents. This study aimed to investigate the cultivation of *N. oculata* using effluent from the Araruama Lagoon as an alternative medium, evaluating its viability for sustainable bioprocesses. The research compared the growth of *N. oculata* in synthetic Guillard F/2 medium/ raw effluent. Cell growth was monitored via spectrophotometry, and the conversion of biomass into fermentable carbohydrates was achieved through acid hydrolysis, followed by sugar quantification using liquid chromatography. Hydrolysis was conducted according to a strategic plan designed to optimize cultivation conditions by varying reagent concentration and autoclaving time. Subsequently, alcoholic fermentation was performed to assess the conversion of sugars into bioethanol. Hydrolysis revealed the presence of fermentable carbohydrates at concentrations that varied depending on the pretreatment method; sulfuric acid (up to 0.5%) was used for sugar synthesis, followed by bioethanol production using *S. cerevisiae*. The results highlight the biotechnological potential of *N. oculata* for third-generation biofuel production, broadening the prospects for bioremediation and bioenergy processes.

Keywords: Microalgae; *Nannochloropsis oculata*; 3G Bioethanol

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a comunidade científica tem impulsionado estudos buscando alternativas eficazes para tratar e mitigar os impactos antrópicos, especialmente aqueles que afetam os corpos hídricos. Nesse contexto, a biorremediação tem se destacado como abordagem promissora. A biorremediação é um processo que emprega agentes biológicos, como microrganismos, para a degradação de poluentes. No contexto da eutrofização, esses microrganismos biorremediadores são capazes de absorver e metabolizar os poluentes, contribuindo para a redução dos efeitos desse fenômeno. Assim, essa tecnologia oferece uma

abordagem eficaz e ambientalmente amigável para a reabilitação de recursos hídricos (FRIAS, 2020; MIYASATO, 2023).

As águas residuais urbanas, ricas em N e P, nutrientes essenciais para o crescimento de algas, enfatizam a importância de uma gestão dos recursos hídricos. As microalgas, embora compartilhem semelhança com as plantas, distinguem-se por sua estrutura celular simplificada, o que lhes confere um crescimento mais rápido e uma maior capacidade de adaptação a diferentes condições ambientais (PAULO, 2011). Essas características tornam-as agentes promissores no tratamento de águas residuais, por exemplo.

Estudos sobre o uso desses microrganismos na redução da eutrofização ressaltam a relevância de abordagens inovadoras na preservação da qualidade da água e do ecossistema aquático (PAIVA, 2019; SOUZA, 2014).

Um exemplo da influência das atividades humanas sobre os ecossistemas aquáticos é a Lagoa de Araruama, uma das maiores lagunas hipersalinas do mundo. Esse ambiente desempenha um papel crucial na economia local, sustentando atividades como pesca, turismo, lazer e exploração de sal (PAULA et al., 2020; FREITAS & MARRONI, 2022). No entanto, o crescimento populacional acelerado nas cidades ao redor, como Araruama, Iguaba Grande, São Pedro da Aldeia, Cabo Frio e Arraial do Cabo, tem intensificado a urbanização e aumentado a pressão sobre o ecossistema. Esse aumento populacional está ligado à degradação ambiental da laguna, devido ao processo de eutrofização causado pelo excesso de nutrientes provenientes do esgoto doméstico e da liberação de N e P dos sedimentos. Essas mudanças comprometem a biodiversidade local e afetam negativamente as atividades econômicas dependentes da laguna (BERTUCCI et al., 2016; PAULA et al., 2020; BARROZO, 2021).

Paralelamente, junto a esse aumento populacional, surgiu uma demanda descontrolada por recursos energéticos. Dentre esses recursos, sobressaem as fontes não renováveis, como o carvão mineral, o petróleo e o gás natural, os quais atualmente compõem 80,3% da matriz energética mundial. Com o passar dos anos, nossas atividades cotidianas tornaram-se cada vez mais dependentes dessas fontes, que além de não serem renováveis e provocarem efeitos adversos no ambiente, incluindo a emissão de gases de efeito estufa, apresentam uma disponibilidade limitada. (MAGRO et al., 2016; MENDES et al., 2017; DUARTE et al., 2022).

O que torna as microalgas ainda mais promissoras na produção de biocombustíveis, é a sua independência da necessidade de solos aráveis, permitindo sua integração em águas residuais como fonte de nutrientes para o cultivo (PAULO, 2010; BARATA, 2016; REMPEL,

2018). Esse tipo de cultivo não apenas fornece os nutrientes essenciais, como N e P, mas também contribui para a redução dos custos de produção (PAULA et al., 2023). A eficiência fotossintética é um fator crucial para a produtividade das microalgas, pois influencia diretamente a capacidade desses organismos em fornecer substratos para a produção de diferentes biocombustíveis. Além disso, as microalgas desempenham um papel significativo na mitigação de CO₂, que é utilizado na síntese de seus compostos, contribuindo na redução das emissões de gases de efeito estufa (PAULO, 2011). No contexto de investigações voltadas para a produção de biocombustíveis a partir de microalgas, o gênero *Nannochloropsis* sp. tem sido objeto de extensas pesquisas (SOUZA, 2014).

Os biocombustíveis de terceira geração têm despertado um grande interesse devido às características promissoras das microalgas, que as posicionam como uma alternativa carbonosustentável e viável para essa forma de produção (PAULO, 2010). As microalgas possuem um mecanismo fotossintético, permitindo a fixação do dióxido de carbono (CO₂), e apresentam a capacidade de serem cultivadas em uma variedade de ambientes. Além disso, não competem com a agricultura, pois não dependem de terras agricultáveis para sua produção. A versatilidade na utilização da água também é um diferencial, já que podem ser cultivadas em água doce, salgada e até mesmo em efluentes e águas residuais, impróprias para consumo humano (PAULO, 2010; MARGARITES, 2014). O uso do efluente de lagoas como meio de cultivo para microalgas oferece uma abordagem inovadora, associando o tratamento de resíduos à produção de energia limpa.

Ademais, a espécie *N. oculata* demonstra aplicações bem documentadas na biorremediação, destacando-se sua habilidade na remoção de metais pesados presentes em águas empregadas no cultivo

de organismos aquáticos e na biorremediação de efluentes (ARRIADA, 2014; QUIEREGATI, 2021). Estudos indicam que a espécie demonstra uma excelente adaptação em efluentes, apresentando resultados significativos em termos de crescimento, especialmente em efluentes domésticos. Além disso, a espécie apresenta um rendimento lipídico e uma produção de açúcares comparáveis aos cultivos tradicionalmente empregados para essa finalidade (ARRIADA, 2014; REYIMU & OZÇIMEN, 2017).

Nesse sentido, o presente trabalho teve como objetivo investigar a eficiência do cultivo de *N. oculata* em efluente, visando a produção de bioetanol 3G como uma alternativa sustentável e economicamente viável para o setor de biocombustíveis.

2 MATERIAL E MÉTODOS

A metodologia aplicada neste estudo compreende o acompanhamento do crescimento das microalgas, a avaliação da eficiência na remoção de nutrientes do efluente e a obtenção de biomassa para subsequente produção de bioetanol. As análises e medições estão sendo conduzidas utilizando a espécie de microalga *N. oculata*, fornecida pelo Laboratório Integrado em Microbiologia e Bioprocessos do Instituto de Biodiversidade e Sustentabilidade NUPEM/UFRJ.

Para obter o efluente, realizaram-se duas coletas, entre 03/2023 e 10/2024, próximo à área residencial em São Pedro da Aldeia/RJ. Amostras da água da Lagoa de Araruama foram reservadas ao início e término do cultivo para quantificação dos níveis de N e P, permitindo não apenas verificar a capacidade da microalga *N. oculata* se desenvolver nesse ambiente, mas também sua eficiência na remoção desses nutrientes ao longo do período de cultivo. O fósforo foi determinado pelo método colorimétrico do azul de molibdênio (GRASSHOFF et al., 1983). O íon amônio (NH₄⁺) foi determinado pelo método colorimétrico do azul de indofenol (GRASSHOFF et al., 1983); o íon nitrito (NO) foi determinado pelo método espectrofotométrico baseado na reação de Griess; o íon nitrato (NO₃⁻) foi determinado através da sua redução a NO em coluna contendo grânulos de cádmio (GRASSHOFF et al., 1983). A concentração de carbono orgânico dissolvido (COD) foi obtida pelo analisador de carbono Shimadzu TOC - 5000. Os dados de temperatura da água (°C), salinidade, oxigênio dissolvido (mg/L) e pH foram obtidos através de uma sonda multiparâmetros Horiba U-50.

As microalgas foram previamente ativadas em tubos falcon (15ml) contendo solução salina (NaCl 0,9%) na proporção 10:1. Os tubos mantidos em fotoperíodo de 12h, agitação a 120 rpm e temperatura constante de 30°C. Posteriormente, as culturas foram centrifugadas a 4000 rpm por um período de 10 minutos. Após centrifugação, a solução salina foi retirada do tubo e substituída por 10 ml de nova solução salina. As células foram então ressuspensas e adicionadas 0,10 ml do meio Guillard F/2 antes de serem refrigeradas novamente. Uma segunda cultura foi estabelecida, desta vez utilizando o efluente in natura coletado na Lagoa de Araruama como meio de cultivo. A solução foi preparada com o efluente e *N. oculata* nas mesmas proporções do cultivo artificial. Foram retiradas alíquotas a cada quatro dias para posterior análise. O cultivo foi conduzido por um período até 25 dias.

O crescimento da biomassa foi monitorado por meio de leitura de densidade óptica no comprimento de onda de 700 nm, usando o Espectrofotômetro Shimadzu, utilizando as alíquotas coletadas e congeladas. A partir dos dados obtidos, foi construída uma curva de crescimento para dos cultivos

em meio artificial e em efluente, permitindo a definição das fases de adaptação, exponencial, estacionária e de declínio ou morte. Para completar a análise do crescimento celular, foi realizada a determinação da biomassa seca, bem como curva padrão da biomassa, correlacionando a densidade óptica a 700nm com o peso seco da biomassa.

Os ensaios para pré-tratamento da biomassa foram delineados através do Software Design Expert-Stat Ease. Dentre os diversos modelos de planejamento experimental, o sistema fatorial auxilia na elaboração de ensaios através de um número reduzido, quando comparados aos delineamentos mais robustos, como o “Central Rotacional” (RODRIGUES, 20025). Diante do exposto, tal ferramenta estatística foi empregada para a avaliação prévia das seguintes variáveis independentes: concentração de ácido sulfúrico (g/L), variando de 0,3 a 3g/L; bem como tempo de exposição, variando de 15 a 45 minutos sob elevada temperatura/ pressão em autoclave.

Na etapa final, os açúcares liberados foram submetidos à fermentação utilizando a levedura *S. cerevisiae* para a produção do bioetanol, através da proporção de 1:4 (hidrolisado:meio de cultivo LB), sob condições controladas à 30oC, 200 rpm, por 16h. A determinação dos compostos presentes nas amostras após ensaio de hidrólise e fermentação foi realizada por Cromatografia Líquida de Alta Eficiência (HPLC) - Shimadzu, na fase móvel composta por solução aquosa de 5mM de H2SO4, utilizando um fluxo de 0,6 mL/min em sistema isocrático. O tempo total foi de 35 min, com temperatura do forno ajustada para 55oC. Para separação dos compostos, foi empregada a coluna HPX-87 H Bio-Rad (I). A detecção foi realizada por meio de dois detectores: um detector UV-Vis ajustado para 210 nm, responsável pela identificação dos ácidos orgânicos, e um detector de índice de refração (RID) a 50oC, utilizado para quantificação de açúcares.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As microalgas demonstraram um crescimento significativo nos referidos meios de cultivo. Esses resultados sugerem que a microalga pode efetivamente contribuir para a remoção de nutrientes do ambiente, reforçando seu potencial para aplicações em processos de biorremediação (ARRIADA, 2014; REYIMU & OZÇIMEN, 2017).

Os resultados obtidos (Tabela 1) a partir das condições experimentais definidas pelo planejamento estratégico indicam que o ambiente experimental favoreceu o acúmulo de carboidratos em todas as amostras, refletindo a conversão eficiente da biomassa em açúcares fermentáveis. No entanto, a produção de etanol foi detectada apenas em duas condições experimentais, onde foram detectadas concentrações de 18,95 g/L (Amostra 1) e 10,25 g/L (Amostra 5). Esses resultados indicam que a resposta fermentativa variou conforme as condições aplicadas, sendo essencial a análise estatística para compreender quais fatores impactam diretamente a produção do bioetanol.

Tabela 1. Ensaios experimentais indicando as concentrações (g/L) alcançadas de carboidratos e bioetanol. desenvolvidas

AMOSTRAS	CELOBIOSE (g/L)	OLIGOSSACARÍDEOS (g/L)	GLICOSE (g/L)	ETANOL (g/L)
1	43,55	471,60	53,95	18,95
2	59,75	1440,70	52,85	ND
3	68,60	1332,20	52,60	ND
4	77,05	1349,80	52,40	ND
5	32,60	355,40	52,55	10,25
6	78,75	1275,55	56,15	ND
7	77,95	2631,50	50,50	ND

A hidrólise ácida das amostras resultou na liberação de diferentes concentrações de carboidratos, evidenciando que a severidade do tratamento influenciou a disponibilidade dos carboidratos fermentáveis. A concentração de celobiose variou entre 32,60 g/L (Amostra 5) e

78,75 g/L (Amostra 6). Além disso, observou-se uma grande variação na concentração de oligossacarídeos, com valores entre 355,40 g/L (Amostra 5) e 2631,50 g/L (Amostra 7). A glicose manteve-se relativamente constante, variando de 50,50 g/L a 56,15 g/L. Isso sugere que o aumento da concentração ácida e o tempo de exposição em autoclave favoreceu a quebra da biomassa. No entanto, esses fatores não necessariamente resultaram em maior produção de etanol, sugerindo que outras variáveis podem ter influenciado a eficiência fermentativa.

Os dados também revelam que, apesar da elevada concentração de carboidratos obtidos nas amostras 2, 3, 4, 6 e 7, não houve detecção de etanol após o processo fermentativo. A elevada presença de oligossacarídeos nessas amostras sugere que a hidrólise gerou compostos intermediários, exigindo uma etapa adicional para conversão em glicose fermentável. Esse fator deve ser considerado, pois uma hidrólise mais severa pode favorecer a formação desses açúcares. A conversão para etanol ocorreu exclusivamente nas amostras 1 e 5, o que sugere que a liberação de açúcares não fermentáveis ou a presença de compostos inibitórios pode ter comprometido a eficiência do processo fermentativo.

A relação entre a concentração de celobiose e a produção de etanol, sugere que as condições mais severas de hidrólise, associadas a maiores concentrações de ácido, podem ter afetado negativamente o processo fermentativo. A alta acidez pode ter criado um microambiente desfavorável à proliferação e atividade metabólica dos microrganismos fermentadores, dificultando a conversão dos açúcares em etanol (REMPEL, 2018). Esses achados reforçam a importância do delineamento experimental na otimização do processo, permitindo ajustes nas condições de hidrólise para maximizar a liberação de açúcares fermentáveis e, consequentemente, a produção de bioetanol.

No que concerne à análise estatística de variância (ANOVA) da produção de etanol (g/L) diante das estratégias de hidrólise, foi empregado o Software Design Expert com nível de significância de 90%, apresentando R2 de 0,92. Na Tabela 2 observa-se que modelo proposto foi significativo, apresentando valor de Fisher (p<0,05) e Erro puro não significativo (p>0,05).

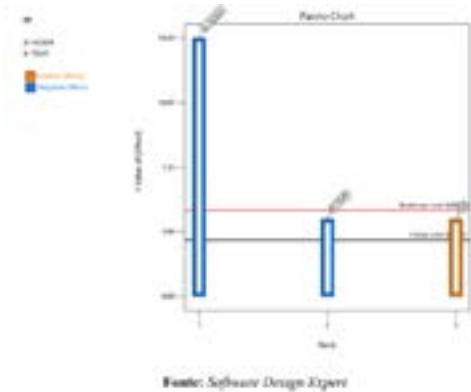
Tabela 2. Análise de variância do modelo gerado pelo Software Design Expert para a produção de etanol a partir do hidrolisado de microalga.

	Term	Stdized Effect	Sum of Squares	% Contribution
	Intercept			
m	A-Ácido	-14,6	213,16	62,2621
m	B-Tempo	-4,35	18,9225	5,52709
e	AB	4,35	18,9225	5,52709
	Curvature	-9,55794	91,3543	26,6837
e	Lack of Fit		0	0
e	Pure Error		0	0
	Lenth's ME	11,9889		0
	Lenth's SME	18,1823		0

Os parâmetros se mostraram significativos, no entanto, a interação entre ácido e tempo de exposição (sob elevadas temperaturas) não se mostrou significativa, sendo retirada do modelo. Cabe ressaltar que a curvatura do modelo apresentou significância estatística, o que aponta para ensaios posteriores a serem avaliados na concepção do delineamento composto central rotacional. Conforme descrito, a análise estatística indica que o modelo teve um ajuste significativo, bem como erros experimentais não significativos.

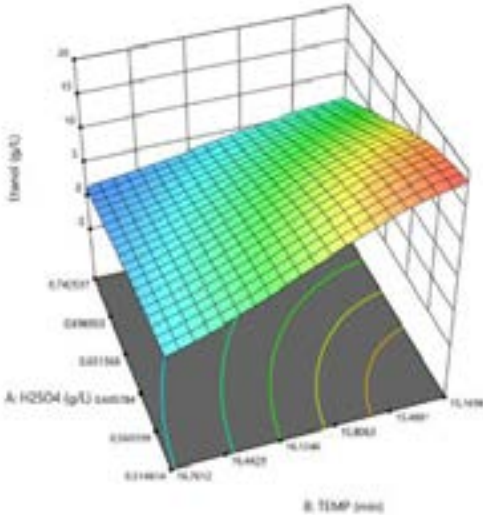
A Figura 1 aponta para a importância prioritária na concentração de ácido diante da hidrólise de biomassa da N. oculata, de acordo com o gráfico de Pareto. A utilização dessa ferramenta permite indicar quais parâmetros e interações têm influências significativas sobre cada variável de resposta considerada (BARBOSA, 2009). Ainda de acordo com Barbosa (2009), através desse diagrama torna-se visível a relação ação/benefício, ou seja, prioriza a ação que terá o melhor resultado. Ele consiste num gráfico de barras que ordena as frequências das ocorrências da maior para menor e permite a localização de problemas vitais e a eliminação de perdas. De acordo com os resultados expostos, cabe ressaltar que o tempo de exposição do ácido à temperatura elevada, bem como as interações entre as variáveis expostas não foram significativas, conforme destaca o gráfico.

Figura 1. Gráfico de Pareto avaliando as influências individuais das variáveis de estudo diante da produção de etanol.



Neste contexto, as análises dos resultados corroboram para a redução da concentração de ácido sulfúrico para o melhor rendimento do processo em etanol. A presença de inibidores, tais como HFM e furfural, após processo de hidrólise sob temperaturas elevadas podem influenciar no rendimento fermentativo da levedura, acarretando na inibição do processo. Ademais, a presença de elevadas concentrações de açúcares ao início do processo também promovem inibição das células pelo substrato, observado na Figura 2.

Figura 2. Superfície de Resposta avaliando a influência da interação os dos parâmetros de hidrólise diante da produção de etanol (g/L).



A superfície de contorno gerada indica que a maior produção de etanol ocorreu diante das menores concentrações de ácido sulfúrico avaliadas (Figura 1). No entanto, é importante destacar que a ausência total de ácido ou reagentes que possibilitem a hidrólise das microalgas acarretaria na inviabilidade da liberação de açúcares que promovem a fermentação. A descoberta da concentração ideal e não inibitória tornou-se de suma importância para a otimização do processo.

Do ponto de vista técnico econômico, na medida em que a produção de etanol se eleva, atrelada à redução das concentrações do ácido, o processo fermentativo torna-se mais atrativo a níveis industriais. O resultado corrobora para extrapolação de escala da condição ótima obtida neste trabalho. Além do interesse econômico pela redução de custos de um processo industrial, a redução desses parâmetros torna o presente trabalho ainda mais promissor.

4 CONCLUSÃO

O uso do planejamento estatístico permitiu avaliar de forma sistemática as variáveis experimentais e sua influência na liberação de carboidratos e na fermentação alcoólica. Esses resultados apontam para a importância prioritária das condições de ácido sulfúrico (até 0,5%) para síntese de açúcares e, posteriormente, produção de bioetanol a partir da levedura selecionada. Além disso, a produção de etanol ocorreu sem a necessidade de condições drásticas de pré-tratamentos, hidrólise enzimática ou condições controladas de pH, evidenciando a viabilidade do processo sem custos adicionais com enzimas e reagentes. Diante desses resultados, cabe ressaltar a importância da avaliação econômica no que tange ao desenvolvimento de ensaios futuros visando a extrapolação de escala do bioprocessos desenvolvido no presente trabalho.

REFERÊNCIAS

ARRIADA, A. Cultivo da microalga marinha Nannochloropsis oculata (Eustigmatophyceae) em água de produção de Petróleo: viabilidade de crescimento, produção de lipídios e açúcares. 2014. Dissertação (Doutorado em Oceanografia Biológica)-Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande/RS.

BARROZO, V. Avaliação da eutrofização na Lagoa de Araruama através da análise de fósforo em um perfil sedimentar. 2021. Dissertação (Bacharelado em Ciências Biológicas) – Universidade Federal

Fluminense, Niterói/RJ.

BERTUCCI, T.; SILVA, E.; MARQUES JR, A.; NETO, C. Turismo e Urbanização: os problemas ambientais da Lagoa de Araruama - Rio de Janeiro. São Paulo: Ambiente & Sociedade, v. 29, n. 4, p. 43-64. 2016.

DUARTE, V.; VALENTINI, M. H.; SANTOS, G. B.; NADALETTI, W.; VIEIRA, B. Biocombustíveis: uma revisão sobre o panorama histórico, produção e aplicações do biodiesel. Meio Ambiente (Brasil), v. 4, n. 2, p. 50-68, 2022.

FREITAS, G. G. ; MARRONI, Etienne Villela . A influência econômica da produção de sal marinho na região da lagoa de Araruama.. In: IX Encontro de Estudos Estratégicos e Relações Internacionais, 2022, Niteroi. IX Encontro Brasileiro de Estudos Estratégicos. Niteroi: UFF, 2022.

FRIAS, A.; SANTOS, E. Tecnologias Comerciais para Biorremediação de Corpos Hídricos. Revista Episteme Transversalis, Volta Redonda/RJ, v. 11, n. 3, p. 196-221, 2020.

GRASSHOFF, M. K.; EHRHARDT, K. K. Methods of Seawater Analysis. Second, Revised and Extended Edition.–With 108 figs, 26 tab., 419 pp. Weinheim/Deerfield Beach, Florida: Verlag Chemie 1983. ISBN 3–527-2599-8.

MAGRO, G., DECESARO, A., BERTICELLI, R., COLLA, L. Produção de Bioetanol Utilizando Microalgas: Uma Revisão. Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v.37, n.1, p. 159-174, jan. 2016.

MARGARITES, A. C. F. Síntese de carboidratos por microalgas e produção de bioetanol. 2014. Dissertação (Doutorado em Engenharia e Ciências de Alimentos) - Universidade Federal do Rio Grande, Rio Grande/RS.

MENDES, A.; TEIXEIRA, C.; ROCIO, M.; OLIVEIRA, L. Panoramas setoriais 2030: petróleo e gás. In: Panoramas setoriais 2030: desafios e oportunidades para o Brasil. Rio de Janeiro: Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social, p. 93-105, 2017.

MIYASATO, A. Biorremediação em Ambiente Aquático com Sistema em Fluxo com a Utilização de Biofilme. 2023. Dissertação (Licenciatura em Ciências Biológicas) - Universidade Federal de São Carlos. Araras/SP.

PAIVA, M. V. C. Pós-tratamento de efluentes domésticos utilizando microalgas para remoção de nutrientes, matéria orgânica residual e produção lipídica. 2019. Dissertação (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife/PE.

PAULA, D.; DIAS, J.; FONSECA, L.; RODRIGUES, M.; ALBUQUERQUE, M.; PALMA, M.; PEREIRA, S. Diálogos em torno da linha de uma costa: o oceano que nos une. Rio de Janeiro: FGEL-UERJ, 2020.

PAULO, R. F. O desenvolvimento industrial e o crescimento populacional como fatores do impacto ambiental. Veredas do Direito, Belo Horizonte, v. 7, n.13/14, p. 173-189, jan./dez. 2010.

QUIEREGATI, J. P. Extração e quantificação de polissacarídeos sulfatados da microalga *Nannochloropsis oculata* e avaliação da atividade antioxidante in vitro. 2021. Dissertação (Bacharel em Química) - Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal/RN.

REYIMU, Z.; ÖZÇİMEN, D. Batch cultivation of marine microalgae *Nannochloropsis oculata* and *Tetraselmis suecica* in treated municipal wastewater toward bioethanol production. Journal of Cleaner Production, v. 150, p. 40–46, 2017.

RODRIGUES, M. I. Planejamento de experimentos e otimização de processos: Uma estratégia sequencial de planejamentos, Casa do Pão Editora, 325 p. 2005.

SOUZA, C. V. Microalgas: do Tratamento de Efluentes para a Biorrefinaria. 2014. Dissertação (Mestrado em Energia e Bioenergia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa, Monte da Caparica, Portugal.