



UTILIZAÇÃO DE MICROALGAS NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

Antônio Rony da Silva Pereira Rodrigues, Universidade Estadual do Ceará,
ronny346silva@gmail.com

Resumo

O petróleo, gás natural, carvão mineral entre outros materiais, estão na classe dos combustíveis fósseis, esses por serem de matéria orgânica libera altas quantidades de CO₂. O uso de matérias primas alternativas são meios viáveis para diminuir essa emissão, sendo as microalgas uma possibilidade para isso. Foi realizado a busca de trabalhos entre os meses de fevereiro e março de 2022, em 3 bases de dados: PubMed, ScienceDirect e Redalyc. Após seleção de trabalhos, 13 artigos foram selecionados para integrar a versão final do estudo, sendo 7 da ScienceDirect e 6 da PubMed, nenhum artigo da Redalyc foi selecionado. Foi possível observar que inúmeras microalgas estão sendo matéria de estudo em diversas partes do planeta, com o propósito de utilizar as mesmas como matéria prima para produção de biocombustíveis. Vale destacar, o uso da microalga *Chlorella vulgaris* que é uma das espécies mais estudadas e mais promissoras como matéria prima para produção de biocombustíveis, por ter a capacidade de ser cultivadas em águas residuais em sistemas de lodo ativado. O presente trabalho contribui para o aprofundamento e desenvolvimento de novas reflexões acerca do uso de microalgas como método alternativo para a produção de biocombustíveis em substituição dos combustíveis fósseis.

Palavras-chave: Microalgas, biocombustíveis, biomassa.

1. Introdução

O consumo de energia, principalmente de combustíveis fósseis (petróleo e gás natural) cresceu bruscamente após a revolução industrial, trazendo consequências drásticas como a poluição do ar e mudanças climáticas, principalmente relacionadas ao efeito estufa e ao aquecimento global (PINTO, 2008).

Nos países em desenvolvimento, a energia consumida no setor de transportes tem apresentado forte tendência de crescimento nos últimos anos, e a expectativa é de que esta tendência se repita caso não ocorram mudanças radicais no padrão de consumo de energia (WBSCD, 2004).

Mas a produção petrolífera em ambiente marinho provoca inúmeros problemas de contaminação, como muitos outros problemas ambientais graves, exigem uma prevenção, precaução e correção das atividades afim de evitar impactos ambientais derivados dos derramamentos de petróleo nesse meio. Tem-se observado uma preocupação crescente em relação a esse tipo de poluição, por ser cada vez mais frequente e causar muitas vezes, danos irreversíveis ao meio ambiente (OLIVEIRA, 2012).



O mundo continua fortemente dependente dos combustíveis fósseis, apesar da crescente preocupação com os efeitos do uso desses combustíveis sobre o clima. Por serem biodegradáveis, os biocombustíveis causam menos impactos ao meio ambiente do que os combustíveis fósseis, se tornando uma alternativa promissora para substituir, parcialmente ou totalmente, combustíveis derivados de petróleo e gás natural em motores à combustão (ANP, 2019).

Diante desse contexto, torna-se necessário entendimento do uso de microalgas para a produção de biocombustíveis, visando a diminuição dos danos causados pelo uso de combustíveis fósseis e também pela utilização de biocombustíveis provindos de plantas, que podem prejudicar a cadeia produtiva de alimentos. Esse estudo, tem com o objetivo avaliar o potencial lipídico e de produção de biocombustíveis de microalgas, e quais espécies são descritas na literatura como potenciais matérias-primas para desenvolvimento de biocombustíveis.

2. Fundamentação teórica

O biodiesel foi introduzido na matriz energética brasileira, através da Lei 11.097, de 13 de janeiro de 2005 que fixou para todo o território nacional o percentual mínimo obrigatório de adição de biodiesel ao diesel de 2% em volume ao diesel vendido ao consumidor final, a partir de janeiro de 2008 e de 5% a partir de janeiro de 2013 e estabeleceu o modo de utilização e o regime tributário distinguido por região de plantio (BRASIL, 2005).

O Brasil possui alto potencial para produção de biocombustíveis, principalmente de segunda geração. Entre os anos de 2017 a 2021, foram produzidos 28,7 milhões de m³ de biodiesel no território brasileiro, com uma variação de produção de 10,1% entre 2020 e 2021. Enquanto a produção de etanol, no mesmo período foi produzido 159,6 milhões de m³, no ano de 2022 durante o mês de março ocorreu queda de 6,3% na produção de etanol, quando comparado ao mesmo período no ano de 2021. A receita da exportação de etanol anidro brasileiro gerou 2,7 bilhões de dólares nos últimos 5 anos (2017-2021), tendo gerado 72 milhões de dólares apenas nos 3 primeiros meses de 2022 (ANP, 2021).

O uso de biocombustíveis no Brasil, está vinculado principalmente a produção de etanol provindo do plantio de cana-de-açúcar. O etanol ou álcool etílico, como também é conhecido, pode ser produzido a partir da 1ª geração e 2ª geração (WETTERLUND et al., 2016). O etanol de primeira geração não é vantajoso ambientalmente, pois produz resíduos, além que o processo para produção de etanol de cana-de-açúcar libera altos níveis de CO₂ no decorrer da cadeia produtiva (LORENZI&ANDRADE, 2019).

Uma tendência de estudos globais, aponta a aplicação de microalgas como amais promissora fonte de matéria-prima para a produção de biocombustíveis, as microalgas possuem alto potencial lipídico e não estão inseridas na cadeia alimentícia. Elas utilizam a energia solar para converter o CO₂ e água em biomassa, pois são organismos fotossintéticos que se desenvolvem em ambientes aquáticos (CARNEIRO et al, 2018).



3. Metodologia

Trata-se de um estudo de abordagem qualitativa, realizado através de uma revisão integrativa de literatura. A revisão integrativa (RI) é um método que permite síntese de conhecimento por meio de processo sistemático e rigoroso. A condução de RI se pauta nos princípios preconizados de rigor metodológico no desenvolvimento de pesquisas. As etapas deste método são: 1) elaboração da pergunta da revisão; 2) busca e seleção dos estudos primários; 3) extração de dados dos estudos; 4) avaliação crítica dos estudos primários incluídos na revisão; 5) síntese dos resultados da revisão e 6) apresentação do método (MENDES et al.,2019).

Tendo em conta o objetivo do estudo, na primeira etapa do estudo, foi levantado o seguinte questionamento: como funciona e quais são as principais microalgas envolvidas na produção de biocombustíveis?

A segunda etapa do estudo, foi realizado a busca de trabalhos entre os meses de fevereiro e março de 2022, em 3 bases de dados: PubMed (*Central: PMC- National Library of Medicine National Institutes of Health*), ScienceDirect (*Elsevier*) e Redalyc (*Red de Revistas Científicas de Acceso Abierto no comercial propiedad de la academia*). A busca por estudos foi feita através dos termos em língua portuguesa e inglesa: “*Biofuels; Biodiesel; Biomass; Microalgae*”, incorporado ao operador booleano *and*.

Foram aplicados critérios de inclusão e exclusão para seleção dos artigos. Artigos publicados entre os anos de 2018 a 2022, em qualquer idioma, que estivessem disponíveis na íntegra e que respondessem o objetivo do estudo, foram incluídos, enquanto artigos repetidos, artigos incompletos, resumos de trabalhos, trabalhos publicados em anais de eventos, resenhas de livros e artigos que não respondiam o questionamento da RI, foram excluídos do estudo. Inicialmente, a seleção se deu através da leitura de títulos e resumos dos trabalhos obtidos na busca nas bases de dados. Em seguida, foi realizada a leitura na íntegra dos artigos selecionados na etapa de leitura de títulos e resumos, com objetivo de avaliar se respondiam à pergunta norteadora.

4. Resultados

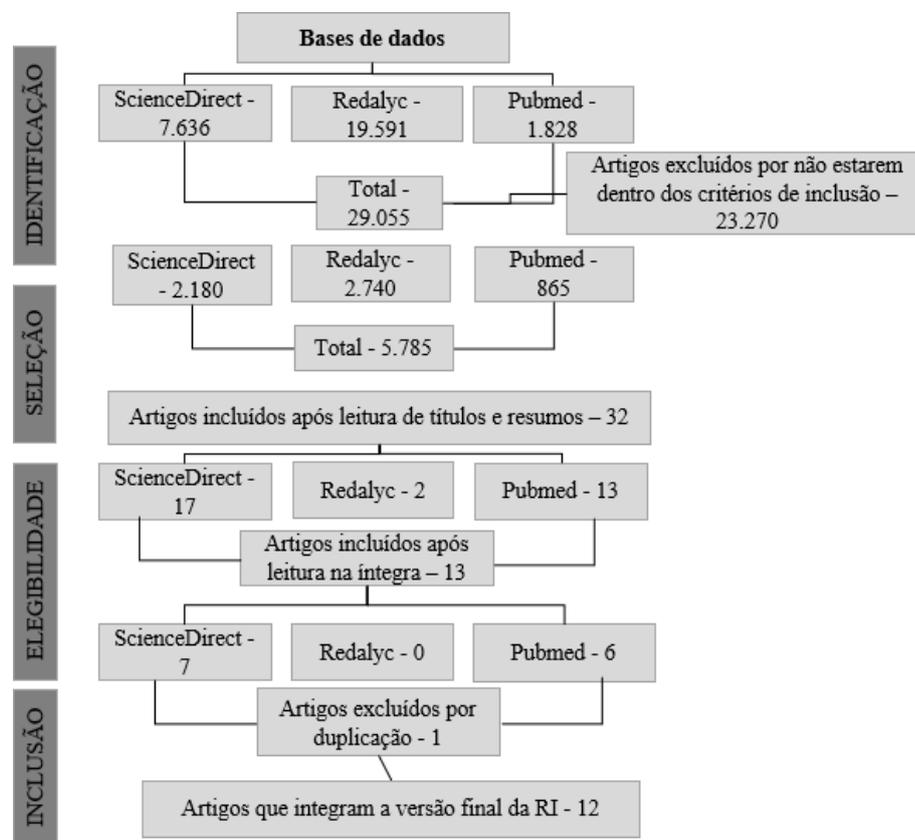
Durante a busca bibliográfica foram encontrados 29.055 trabalhos antes da aplicação dos critérios de inclusão e exclusão, distribuídos por 7.636 na ScienceDirect, 19.591 na Redalyc e 1.828 na PubMed. Quando aplicado os critérios de trabalhos que estivessem disponíveis na íntegra e de anos de publicação ficaram 5.785 artigos, sendo excluídos nessa etapa 23.270 trabalhos.

Na etapa seguinte se deu a seleção por leitura de títulos e resumos, onde 32 artigos foram selecionados para leitura na íntegra. Após a leitura na íntegra, 13 artigos foram selecionados para integrar a versão final do estudo, sendo 7 da ScienceDirect e 6 da PubMed, nenhum artigo da Redalyc foi selecionado. Tendo em vista que um estudo estava presente em ambas as bases de dados, esse foi excluído dando preferência para a base onde o estudo



foi inicialmente encontrado. As etapas para realização do estudo estão descritas na Figura 1.

Figura 1. Fluxograma das etapas para realização do estudo.



Fonte: Autores, 2022

Durante a pesquisa por artigos foram selecionadas as palavras que mais se repetiam no decorrer dos trabalhos que se vieram a integrar a revisão integrativa de literatura, essas palavras foram usadas para montar uma nuvem de palavras, realizada através do uso do *software Wordle*. A nuvem de palavras pode ser visualizada na Figura 3.



Figura 3. Nuvem de palavras dos achados no estudo.

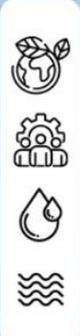


Fonte: Autores, 2022

Os 12 artigos selecionados tiveram seu conteúdo analisado na íntegra, de modo a verificar suas reais contribuições para construção das novas reflexões acerca da temática. Os principais aspectos dos estudos selecionados, a distribuição dos artigos quanto a autores e ano de publicação, tipo de estudo, local de estudo, periódico e resultados, estão dispostos na Tabela 3.

Tabela 1. Caracterização dos estudos incluídos na revisão

AUTOR/ANO	TIPO DE ESTUDO	LOCAL DO ESTUDO	PERIÓDICO	RESULTADO
2022				
Mendonça, H.V et al., 2022	Pesquisa laboratorial	Brasil	Science of The Total Environment	1 kg de <i>Scenedesmus obliquus</i> é possível obter ~306 g de biocombustíveis, enquanto 1 kg de <i>Chlorella vulgaris</i> produziu 276 g de biocombustíveis
Muhammad, G et al., 2022	Pesquisa laboratorial	China	Renewable Energy	O maior rendimento de éster metílico de ácido graxo é obtido em 19,90% com base no peso da biomassa seca de <i>Chlorella pyrenoidosa</i> .
Tizvir, A et al., Jiang, Y et al., 2018	Pesquisa laboratorial	Irã China	Renewable Energy Biotechnology Biofuels	O índice de cetano e poder calorífico do A produtividade de biomassa e o teor de lipídios de <i>D. ehrenbergianum</i> cultivados no sobrenadante precipitado com estruvita foram 161,06 mg/l/dias e 34,33%, respectivamente, que foi maior do que quando cultivado no meio padrão BG-11.
Yang, H et al., 2018	Pesquisa laboratorial	China	Bioresource Technology	O conteúdo lipídico de <i>Monoraphidium dybowskii</i> e a produtividade lipídica aumentam em 20% na indução industrial de sal em dois estágios, enquanto a produtividade da biomassa aumenta em 80% para aumentar a LP no modo semi-contínuo em ORPs de 5 m ² .



IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL
Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização:  

Apoio:  

Silambarasan, S et al., 2021	Pesquisa laboratorial	Chile	Chemosphere	A linhagem LS04 obteve a biomassa ($1,31 \pm 0,08 \text{ g L}^{-1}$). O teor de lipídios de LS04 foram $14,85 \pm 0,86\%$ (peso celular seco). A alta proporção de ácidos graxos C16-C18 encontrada nos lipídios do LS04 indicou a adequação a produção de biodiesel.
Vasistha, S et al., 2021	Pesquisa laboratorial	Índia	Journal of Water Process Engineering	Melhoria de biomassa ($3,43 \text{ g L}^{-1}$) e lipídio (36 %) são observados pela associação de <i>Chlorosarcinopsis</i> -ZnO NPs.
2020				
Sorokina, K.N et al., 2020	Pesquisa laboratorial	Rússia	Bioresource Technology	A biomassa residual obtida após a transesterificação direta com LIs foi submetida à hidrólise ácida (rendimento de açúcar foi de $81,1 \pm 2,4\%$). O hidrolisado purificado foi fermentado utilizando <i>Actinobacillus succinogenes</i> 130Z para obter um rendimento de ácido succínico de $0,67 \text{ gg}^{-1}$ de açúcares fermentescíveis.
Vignesh, N.S et al., 2020	Pesquisa laboratorial	Índia	Fuel	O conteúdo lipídico de <i>Coelastrella</i> e <i>Dictyococcus</i> sp. melhora sob estresse de N e os parâmetros de qualidade do biodiesel estão de acordo com as normas ASTM e europeias.
2019				
Abinandan, S et al., 2019	Pesquisa laboratorial	Austrália	Bioresource Technology	A transesterificação in situ da biomassa indicou maior rendimento de biodiesel com concentrações metais, sugerindo que a <i>Desmodesmus</i> sp. e <i>Heterochlorella</i> sp. são produtoras de lipídios e consequentemente de biocombustíveis.
Sakarika, M; Kornaros, M, 2019	Pesquisa laboratorial	Grécia	Bioresource Technology	O poder calorífico da biomassa seca de <i>C. vulgaris</i> é $24.538 \pm 182 \text{ kJ kg}^{-1}$ e a produtividade lipídica de $442,9 \pm 6,5 \text{ mg L}^{-1} \text{ d}^{-1}$ pode ser alcançada sob limitação de enxofre.
2018				
Jiang, Y et al., 2018	Pesquisa laboratorial	China	Biotechnology Biofuels	A produtividade de biomassa e o teor de lipídios de <i>D. ehrenbergianum</i> cultivados no sobrenadante precipitado com estruvita foram $161,06 \text{ mg/l/dias}$ e $34,33\%$, respectivamente, que foi maior do que quando cultivado no meio padrão BG-11.
Yang, H et al., 2018	Pesquisa laboratorial	China	Bioresource Technology	O conteúdo lipídico de <i>Monoraphidium dybowskii</i> e a produtividade lipídica aumentam em 20% na indução industrial de sal em dois estágios, enquanto a produtividade da biomassa aumenta em 80% para aumentar a LP no modo semi-contínuo em ORPs de 5 m^2 .

Fonte: Autores, 2022

Scenedesmus obliquus e *Chlorella vulgaris* foram estudadas para a produção de biomassa, cultivadas em águas residuais de laticínios tratadas por sistemas de lodo ativado. A concentração de ácido linolênico é superior a 12%, com estabilidade oxidativa satisfatória e boa qualidade. As espécies podem gerar entre 4.863.708 kg e 9.246.456 kg ano⁻¹ de biocombustíveis. Dois hectares são necessários para produzir $24,99 \times 10^9$ L ano⁻¹ de bioetanol de microalgas, em valor inferior ao utilizado no cultivo da cana-de-açúcar (MENDONÇA et al., 2022).

Estudos de Wang et al (2020), identificou três cepas denominadas como L7, H7 e L10 de organismos acumuladores de polifosfato com alto efeito acumulador de quando entra em contato com a microalga *Chlorella pyrenoidosa* em águas residuais tem efeito no crescimento da microalga e na taxa média de crescimento de rendimento lipídico das microalgas na fase estacionária aumenta em 13,6% e 90,1% no grupo H7. A identificação das espécies indicou que a cepa H7 pertence a *Klebsiella* sp.

A transesterificação direta da biomassa da espécie *Choricystis* sp. produz rendimento em ésteres metílicos de ácidos graxos, correspondendo a 422,9 mg de ésteres por grama de biomassa seca, o que é 115% maior do que o proporcionado pela soja (196,9 mg de ésteres por grama de biomassa seca), a qual é a oleaginosa mais utilizada para produção de biodiesel no Brasil, sendo viável ao uso como matéria prima de biocombustíveis (MENEZES et al., 2013).

Na microalga *Chlorella vulgaris* a limitação de nitrogênio (concentração de nitrato < 21,66 mg/L) e a inanição aumenta o teor de lipídios, mas diminui a produtividade da biomassa, a concentração de pigmento e o teor de proteína nas células das algas. Comparativamente, a inanição de nitrogênio por 3 dias é uma estratégia mais adequada para produzir biomassa rica em lipídios. Resultou em um aumento na produção de biomassa e teor lipídico de 266 mg/L e 31,33%, respectivamente. Sob privação de nitrogênio, ácidos graxos saturados (C-16:0, C-20:0 e C-18: C. *vulgaris* FACHB-1068 uma matéria-prima potencial para a produção de biodiesel (LIU et al., 2022).

Produção de bioetanol a partir de *Schizochytrium* usando glucano induzido por *E. coli* foi testada com SSF (sacarificação e fermentação simultâneas), que resultou em 11,8 g de etanol/ l foi produzido a partir de 25,7 g/l de glicose, rendimento máximo teórico de etanol com base em glucano em hidrolisado é de 89,8%. Mais de 86% da energia de entrada foi contribuída pela glicose. A energia da biomassa foi cerca de 64,66% da energia total produzida quando a concentração de fosfato foi de 4 g L⁻¹ (KIM et al., 2012; LIANG et al., 2010).

5. Conclusões

Com a análise dos estudos que integram essa RI, foi possível observar que inúmeras microalgas estão sendo matéria de estudo em diversas partes do planeta, com o propósito de utilizar as mesmas como matéria prima para produção de biocombustíveis, como meio



de substituir ou diminuir o uso de combustíveis fósseis e de alguns biocombustíveis que tem como matéria prima produtos que participam da cadeia produtiva de alimentos.

Vale destacar, o uso da microalga *Chlorella vulgaris* que é uma das espécies mais estudadas e mais promissoras como matéria prima para produção de biocombustíveis, por ter a capacidade de ser cultivadas em águas residuais em sistemas de lodo ativado. Apresentando alta concentração de ácido linolênico com estabilidade oxidativa satisfatória.

Vê-se que o desenvolvimento de estudos acerca da produção de biocombustíveis é promissor, estudos experimentais para analisar produtividade, poder calorífico em diferentes motores e emissão de carbono liberado na combustão de biocombustíveis de microalgas se veem necessário. Desse modo, o presente trabalho contribui para o aprofundamento e desenvolvimento de novas reflexões acerca do uso de microalgas como método alternativo para a produção de biocombustíveis em substituição dos combustíveis fósseis.

6. Agradecimentos

Universidade Estadual do Ceará - UECE

7. Referências bibliográficas

AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO, GÁS E BIOCOMBUSTÍVEIS. Anuário Estatístico Brasileiro de Petróleo, Gás e Biocombustíveis 2021. 2021. Disponível em <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/dados-estatisticos>>. Acesso em 03.05.2022.

ABINANDAN, S.; SUBASHCHANDRABOSE, S. R.; PANNEERSELVAN, L.; VENKATESWARLU, K.; MEGHARAJ, M. Potential of acid-tolerant microalgae, *Desmodesmus* sp. MAS1 and *Heterochlorella* sp. MAS3, in heavy metal removal and biodiesel production at acidic pH. *Bioresourcetechnology*, 278, 9-16. 2019.

ANP - AGÊNCIA NACIONAL DO PETRÓLEO. Biocombustíveis. 2019. Disponível em: <<https://www.gov.br/anp/pt-br/centrais-de-conteudo/publicacoes/anuario-estatistico/anuario-estatistico-2019>>. Acesso em: 04.05.2022.

BRASIL. Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005. Dispõe sobre a introdução do biodiesel na matriz energética brasileira. **Diário Oficial [da República Federativa do Brasil]**, Brasília, DF, 14 jan. 2005. Seção I, p. 8. Disponível em: <<https://www.jusbrasil.com.br/diarios/425092/pg8-secao-1-diario-oficial-da-uniao-dou-de-14-01-2005>>. Acesso em: 04.05.2022



CARNEIRO, G. A.; SILVA, J. J. R.; OLIVEIRA, G. A.; PIO, F. P. B. O uso de microalgas na produção de biocombustíveis. **Research, Society and Development**, 7(5), 1-12, e1075181. 2018.

DING, W.; JIN, W.; ZHOU, X.; LI, S. F.; TU, R.; HAN, S. F.; HUANG, Y. Enhanced lipid extraction from the biodiesel-producing microalga *Chlorella pyrenoidosa* cultivated in municipal wastewater via *Daphnia* ingestion and digestion. **Bioresource Technology**, 306,123162. 2020.

DE MENDONÇA, H. V.; OTENIO, M. H.; MARCHÃO, L.; LOMEU, A.; DE SOUZA, D. S.; REIS, A. Biofuel recovery from microalgae biomass grown in dairy wastewater treated with activated sludge: The next step in sustainable production. **Science of The Total Environment**, 824,153838. 2022.

GOMAA, M.; ALI, M. M. Enhancement of microalgal biomass, lipid production and biodiesel characteristics by mixotrophic cultivation using enzymatically hydrolyzed chitin waste. **Biomass and Bioenergy**, 154, 106251. 2021.

KIM, J. K.; UM, B. H.; KIM, T. H. Bioethanol production from micro-algae, *Schizocytrium sp.*, using hydrothermal treatment and biological conversion. **Korean Journal of Chemical Engineering**, 29(2), 209-214. 2012.

MENDES, K. D. S.; SILVEIRA, R. C. C. P.; GALVÃO, C. M. Uso de gerenciador de referências bibliográficas na seleção dos estudos primários em revisão integrativa. **Texto & Contexto-Enfermagem**, 28. 2019.

MENEZES, R. S.; LELES, M. I. G.; SOARES, A. T.; FRANCO, P. I. B.; ANTONIOSI FILHO, N. R.; SANT'ANNA, C. L.; VIEIRA, A. A. H. Avaliação da potencialidade de microalgas dulcícolas como fonte de matéria-prima graxa para a produção de biodiesel. **Química Nova**, 36(1), 10-15. 2013.

OLIVEIRA F. F. A. **O Projeto de Monitoramento Ambiental na Etapa de Perfuração de Poços Marítimos de Óleo e Gás no Brasil: Um Estudo de Caso na Bacia de Campos, Rio de Janeiro**. 2012. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica e Escola de Química, Programa de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

LIANG, Y.; SARKANY, N.; CUI, Y.; YESUF, J.; TRUSHENSKI, J.; BLACKBURN, J. W. Use of sweet sorghum juice for lipid production by *Schizochytrium limacinum* SR21. **Bioresource Technology**, 101(10), 3623-3627. 2010.

LIU, T.; CHEN, Z.; XIAO, Y.; YUAN, M.; ZHOU, C.; LIU, G.; YANG, B. Biochemical and Morphological Changes Triggered by Nitrogen Stress in the Oleaginous Microalga *Chlorella vulgaris*. **Microorganisms**, 10(3), 566. 2022.

LORENZI, B. R.; ANDRADE, T. H. N. O etanol de segunda geração no Brasil – Políticas e redessociotécnicas. **Revista Brasileira de Ciências Sociais**, 34, (100), e3410014. 2019.

MUHAMMAD, G.; NGATCHA, A. D. P.; LV, Y.; XIONG, W.; EL-BADRY, Y. A.; ASMATULU, E.; ALAM, M. A. Enhanced biodiesel production from wet microalgae biomass optimized via responsesurface methodology and artificial neural network. **Renewable Energy**, 184, 753-764. 2022.

PINTO, T. A. **Gasolina, Gás Natural e Etanol: Comparação dos principais impactos ambientais da produção ao consumo final**. 2008. Dissertação (Graduação) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Biociências, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2008.

SAKARIKA, M.; KORNAROS, M. *Chlorella vulgaris* as a green biofuel factory: comparison between biodiesel, biogas and combustible biomass production. **Bioresource technology**, v. 273, p. 237-243, 2019.

SOROKINA, K. N.; SAMOYLOVA, Y. V.; GROMOV, N. V.; OGORODNIKOVA, O. L.; PARMON, V. N. Production of biodiesel and succinic acid from the biomass of the microalga *Micractinium* sp. IC-44. **Bioresource Technology**, 317, 124026. 2020.

SILAMBARASAN, S.; LOGESWARI, P.; SIVARAMAKRISHNAN, R.; KAMARAJ, B.; CHI, N. T. L.; CORNEJO, P. Cultivation of *Nostoc* sp. LS04 in municipal wastewater for biodiesel production and their deoiled biomass cellular extracts as biostimulants for *Lactuca sativa* growth improvement. **Chemosphere**, 280, 130644. 2021.

TIZVIR, A.; SHOJAEFARD, M. H.; ZAHEDI, A.; MOLAEIMANESH, G. R. Performance and emission characteristics of biodiesel fuel from *Dunaliella tertiolecta* microalgae. **Renewable Energy**, 182, 552-561. 2022.

WETTERLUND, E.; LEDUC, S.; DOTZAUER, E.; KINDERMANN, G. Optimal use of forest residues in Europe under different policies – second generation biofuels versus combined heat and power. **Biomass Conversion and Biorefinery**, 3, 3-16. 2016.

WORLD BUSINESS COUNSEL FOR ECONOMIC DEVELOPMENT- WBCSD, 2004, *Mobility 2030: Meeting the Challenges to Sustainability*. Geneva, Suíça. 2004.

IV SUSTENTARE & VII WIPIS
WORKSHOP INTERNACIONAL
Sustentabilidade, Indicadores e Gestão de Recursos Hídricos
 de 16 a 18 de novembro de 2022

EVENTO GRATUITO TOTALMENTE ONLINE

Realização: SUSTENTARE FUD CAMPINAS

WIPES IBCOP

Apoio: Agência das Relações PCJ

COMITÊS PCJ

VASISTHA, S.; KHANRA, A.; RAI, M. P. Influence of microalgae-ZnO nanoparticle association on sewage wastewater towards efficient nutrient removal and improved bi-diesel application: An integrated approach. **Journal of Water Process Engineering**, 39, 101711. 2021.

VIGNESH, N. S.; VIMALI, E.; SANGEETHA, R.; ARUMUGAM, M.; ASHOKKUMAR, B.; GANESHMOORTHY, I.; VARALAKSHMI, P. Sustainable biofuel from microalgae: application of lignocellulosic wastes and bio-iron nanoparticle for biodiesel production. **Fuel**, 278, 118326. 2020.

ZHANG, R.; WANG, J.; ZHAI, X.; CHE, J.; XIU, Z.; CHI, Z. Carbonate assisted lipid extraction and biodiesel production from wet microalgal biomass and recycling waste carbonate for CO₂ supply in microalgae cultivation. **Science of The Total Environment**, 779, 146445. 2021.