

Produção de biodiesel a partir das microalgas: revisão

Biodiesel production from microalgae: a review

DOI: 10.55905/ijsmtv9n3-013

Recebimento dos originais: 05/06/2023

Aceitação para publicação: 03/07/2023

Gisely Souza Campos Moraes

Mestra em Engenharia de Produção pela Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FEG - UNESP)

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima (IFRR)

Endereço: Av. Glaycon de Paiva, 2496, Pricumã, Boa Vista – RR, CEP: 69303-340

E-mail: gisely.moraes@ifrr.edu.br

Messias Borges Silva

Doutor em Engenharia Química pela Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)

Instituição: Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FEG - UNESP)

Instituição: Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo (EEL - USP)

Endereço: Rodovia Itajubá-Lorena km 74,5 Campinho, Lorena – SP, CEP: 12600-000

E-mail: messias@dequi.eel.usp.br

Marcela Aparecida Guerreiro Machado

Pós-doutora em Engenharias pela Universidade de São Paulo (USP)

Instituição: Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (FEG - UNESP)

Endereço: Rua Ariberto Pereira da Cunha, 333, Pedregulho, Guaratinguetá – SP, CEP: 12516-410

E-mail: marcela@feg.unesp.br

Sandoval Menezes de Matos

Mestre em Agroecologia pela Universidade Estadual de Roraima (UERR)

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima (IFRR)

Endereço: BR-174, Km, 512, Vila Novo Paraíso Caracaraí – RR, CEP: 69365-000

E-mail: sandoval.matos@ifrr.edu.br

Orcid: <https://orcid.org/000-0002-3307-1775>

Josimar da Silva Chaves

Doutor em Agronomia pela Universidade Estadual de Roraima (UERR)
Instituição: Universidade Federal de Roraima (UFRR) - Campus Murupu
Endereço: Rodovia 174, Km 37, S/N, P.A Nova Amazônia, Boa Vista – RR,
CEP: 69300-000

E-mail: Josimar.chaves@ufr.br

Orcid: <https://orcid.org/0000-0001-5871-5605>

Edilacy da Silva Sampaio

Mestra em Engenharia de Produção pela Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá da
Universidade Estadual Paulista “Júlio, de Mesquita Filho” (FEG - UNESP)

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Roraima (IFRR)

Endereço: Av. Glaycon de Paiva, 2496, Pricumã, Boa Vista – RR, CEP: 69303-340

E-mail: edilacy.sampaio@ifrr.edu.br

Luiz Antônio Mendonça Alves da Costa

Doutor em Ciências

Instituição: Departamento de Química, Universidade Federal de Roraima

Endereço: Av. Capitão Ene Garcez, 2413, Bloco III, Sala 345, Aeroporto, Campus
Paricarana, Boa Vista - RR, CEP: 69310-000

E-mail: luizufr@gmail.com

Valdeídes Marques Lima

Doutor em Agronomia pela Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA)

Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará (IFPA)

Endereço: Rod. Ernesto Alcyoli, Km 3, Estrada do Forte, Nova Colina-PA,

CEP: 68377-630

E-mail: valdeide.lima@ifpa.edu.br

RESUMO

O desenvolvimento de fontes de energia renováveis tem se tornado cada vez mais necessário e os biocombustíveis têm vindo a assumir uma maior relevância na sociedade. As culturas tradicionais para a produção do biodiesel levantam sérios problemas ao nível da sustentabilidade ambiental. Devido a estas questões as microalgas têm sido foco de muitos estudos nos últimos anos em função de sua grande aplicabilidade na área ambiental; devido à sua elevada eficiência fotossintética para produção de biodiesel microalgal. O cultivo de microalgas pode ser realizado em dois sistemas: sistema aberto raceway (lagoas) e sistema fechado (fotobiorreatores), o meio de crescimento deve fornecer os elementos inorgânicos e essenciais que incluem nitrogênio (N), fósforo (P) e ferro. O óleo pode ser extraído por processos químicos onde solventes como benzeno, éter ou hexano são usados para promover a extração de lipídios. Desse modo a transesterificação química é o método mais usado no processo de obtenção do biodiesel a partir do óleo microbiano. Portanto estudos apontam a possibilidade do cultivo de microalgas para a possível obtenção do biodiesel em substituição ao proveniente do petróleo. O estudo foi realizado através de pesquisas bibliométricas como na base de dados de publicações científicas Scopus, na qual apresenta uma breve descrição sobre a

produção de biodiesel a partir das microalgas, suas vantagens e desvantagens são apresentados nesta revisão.

Palavras-chave: microalga, biodiesel e cultivo.

ABSTRACT

The development of renewable energy sources has become increasingly necessary and biofuels have become more relevant in society. Traditional crops for biodiesel production pose serious environmental sustainability problems. Due to these issues microalgae have been the focus of many studies in recent years due to their great applicability in the environmental area; due to its high photosynthetic efficiency for the production of microalgal biodiesel. Microalgae cultivation can be performed in two systems: open raceway system (ponds) and closed system (photobioreactors), the growth medium must provide the essential inorganic elements that include nitrogen (N), phosphorus (P) and iron. The oil can be extracted by chemical processes where solvents such as benzene, ether or hexane are used to promote lipid extraction. In this way, the chemical transesterification is the method most used in the process of obtaining biodiesel from the microbial oil. Therefore, studies point to the possibility of cultivating microalgae for the possible production of biodiesel instead of oil. The study was carried out through bibliometric researches such as the Scopus scientific publications database, which presents a brief description of the production of biodiesel from microalgae, its advantages and disadvantages are presented in this review.

Keywords: microalgae, biodiesel and cultivation.

1 INTRODUÇÃO

Como consequência do acréscimo, do clima o planeta vem sofrendo importantes alterações percebidas, como por exemplo, na redução das chuvas e no desaparecimento de espécies que compunham antes a fauna e a flora. A perspectiva do esgotamento futuro das reservas petrolíferas tem impulsionado novas pesquisas em busca de outras fontes de energia (HIDALGO, 2013).

O desenvolvimento de fontes de energia renováveis tem se tornado cada vez mais necessário e os biocombustíveis têm vindo a assumir uma maior relevância na sociedade. Entretanto, um dos entraves da síntese de biodiesel é o elevado custo da matéria-prima, pois a mesma representa entre 70% e 85% do custo global da produção (OLIVEIRA, 2014).

As matérias-primas tradicionalmente utilizadas para a produção de biodiesel são de origem agrícola como, por exemplo, colza, girassol, soja ou palma. A tecnologia de

conversão destas matérias-primas está completamente desenvolvida e aplicada no mercado. No entanto, as culturas mencionadas levantam sérios problemas ao nível da sustentabilidade ambiental, dado que necessitam de imensas áreas, fertilizantes químicos e pesticidas, assim como problemas na competição entre o setor alimentício e energético, (GAIVÃO, 2013; AMARAL, 2016). Devido aos custos e grandes impactos ambientais que a matéria-prima tradicional vem causando ao meio ambiente, outras alternativas para a produção de energia tem sido cada vez estuda.

Atualmente o biodiesel é produzido industrialmente a partir de óleos vegetais e animais, mas não a partir de microalgas. Porém esse fato tende a mudar, devido o potencial de produção de biocombustíveis tendo como matéria-prima os óleos extraídos das microalgas, processo este pesquisado há algumas décadas, mas atualmente tem recebido mais atenção, devido aos esforços em minimizar os possíveis efeitos nas mudanças climáticas globais.

Devido a estas questões as microalgas têm sido foco de muitos estudos nos últimos anos em função de sua grande aplicabilidade na área ambiental; devido à sua elevada eficiência fotossintética e mais rápido crescimento comparado a qualquer cultura energética, eles se reproduzem rapidamente (MANDAL, 2009). Por sua vez as microalgas têm sido promissoras devido a produção de biodiesel que envolve a extração de lipídeos da biomassa microalgal baseada no processo de transesterificação (AMARAL, 2016).

Baseado neste contexto, este trabalho teve como objetivo estudar o potencial de microalgas bem como os sistemas de cultivo, vantagens e desvantagens de utilização do óleo extraído de tais microrganismos como matéria-prima na síntese de biodiesel.

2 POTENCIALIDADE DAS MICROALGAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL

As microalgas são microrganismo autotróficos procariontes ou eucariontes, são organismos microscópicos fotossintetizantes que crescem rapidamente e em diferentes condições ambientais devido a sua estrutura celular simples, unicelular ou multicelular. A biodiversidade de microalgas é enorme e eles representam um recurso quase inexplorado (LOURES, 2016; OLIVEIRA, 2014).

Chisti (2007); Mata (2009) caracterizam as microalgas como micro-organismos fotossintéticos, que combinam água e dióxido de carbono atmosférico com luz solar para produzirem várias formas de energia que produzem biomassa (polissacarídeos, proteínas, lipídios e hidrocarbonetos), que pode ser utilizada na produção de biocombustíveis e suplementos alimentares e podem ser empregados na captura de dióxido de carbono da atmosfera, por essas características as microalgas possuem um potencial para a redução dos gases responsáveis pelo efeito estufa devido ao sequestro de Dióxido de Carbono (CO₂).

Devido a essas características pode ser uma boa alternativa para substituir o biodiesel proveniente de matéria-prima tradicional, para Ahmad (2011) Mais de 95% deste tipo de biodiesel é feito a partir de óleos alimentares conforme Tabela 1, por exemplo, a palma e a soja são culturas cujos óleos são uma parte vital na alimentação humana, desviar essas culturas alimentares para a produção de óleo em grande escala de produção de biodiesel poderá trazer desequilíbrio para o mercado mundial de produtos alimentares.

Tabela 1- Comparação de microalgas com outras matérias-primas de biodiesel

Matéria-prima	Produtividade em óleo (L/m ²)	Área necessária (m ² .ano-1.kg-1 Biodiesel)	Teor de óleo (%m.m-1)
Milho	172	1540	44
Soja	446	594	18
Canola	1190	223	41
Palma	5950	45	36
Microalga (teor elevado de óleo)	136,900	2	70
Microalga (teor reduzido de óleo)	58,700	4,5	30

Fonte: Chisti, (2007) e Mata, (2009).

De acordo com os dados da Tabela 1 observa-se que as microalgas poderão ser uma fonte promissora de energia renovável em comparação com as fontes de culturas oleaginosas.

3 CLASSIFICAÇÃO DAS MICROALGAS

As microalgas estão entre as formas mais antigas de vida do planeta, surgindo como precursoras das plantas, que são organismos microscópicos fotossintéticos podem ser encontradas em todo mundo, principalmente distribuídas nas águas em ambientes marinhos e de água doce (LOURES, 2016).

Podem ser classificadas em algas verdes (*Chlorophyta*), algas vermelhas (*Rhodophyta*) e diatomáceas (*Bacillariophyta*), possuem alta taxa de crescimento e podendo assim sintetizar e acumular rapidamente quantidades elevadas de lipídios em comparação às plantas terrestres, é estimado que existem mais de 50 mil espécies, mas apenas um número limitado, cerca de 30.000, foram estudados e analisados (MATA, 2009; OLIVEIRA, 2014).

Muitas microalgas eucarióticas têm a capacidade de armazenar grandes quantidades de compostos ricos em energia, tais como triacilglicerol e o amido, que podem ser utilizados para a produção de vários biocombustíveis, incluindo biodiesel e bioetanol (OLIVEIRA, 2014). As microalgas possuem um elevado teor de óleo, porém uma variação em tal volume ocorre de espécie para espécie essas variações de teor de óleos podem ser evidenciadas no Quadro 01.

Quadro 01- Conteúdo de óleo de microalgas adequadas para produção de biodiesel

Microalga	Teor de óleo (% de peso seco)	Referências
<i>B. braunii</i>	25-75	Chisti (2007)
<i>Chlorella emersonii</i>	63	Illman et al. (2000)
<i>Chlorella minutissima</i>	57	Illman et al. (2000)
<i>C. vulgaris</i>	56,6	Liu et al. (2007)
<i>C. protothecoides</i>	23	Illman et al. (2000)
<i>Chlorella sorokiniana</i>	22	Illman et al. (2000)
<i>C. cohnii</i>	20	Chisti (2007)
<i>Nannochloropsis sp.</i>	31-68	Chisti (2007)
<i>N. oleoabundan</i>	54	Metting (1996)
<i>Chlorella sp.</i>	28-32	Chisti (2007)

Fonte: Singh, (2011)

De acordo com a Tabela-2 observa-se que algumas espécies de microalgas são mais propícias para obtenção de óleo. De acordo com Singh (2011), o teor de óleo em microalgas pode exceder 80% em peso de biomassa seca, outros autores como, Zorn (2017) afirma que os lipídios encontrados nas células microbiais dependem da espécie de microalga e das condições de cultivo e afirma ter encontrado um teor de óleo mais alto na espécie *Nannochloropsis*.

4 CULTIVO DAS MICROALGAS

O cultivo de microalgas pode ser realizado em dois sistemas: sistema aberto *raceway* (lagoas) e sistema fechado (fotobiorreatores). O meio de crescimento deve fornecer os elementos inorgânicos que constituem a célula de algas, elementos essenciais que incluem nitrogênio (N), fósforo (P) e ferro (CHISTI, 2007).

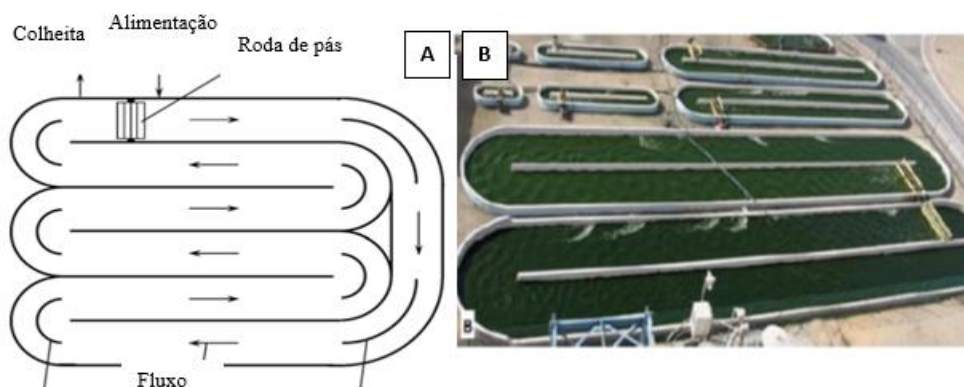
De acordo com Pereira (2012) nos sistemas fotossintéticos, a produção de biomassa é realizada através da conversão de dióxido de carbono (CO₂), energia luminosa e nutrientes inorgânicos e o cultivo fotossintético permite o emprego de sistemas abertos, nos quais os cultivos estão expostos em contato direto com a atmosfera, e sistemas fechados, em que o contato com a atmosfera é significativamente reduzido ou inexistente.

4.1 RACEWAY

O sistema aberto é constituído por canais de recirculação independentes Figura 01, conhecido como pista de corrida (*raceways*), com profundidade que são entre 20 e 30 cm. A recirculação e a agitação são promovidas pela ação de pás fixas no início de cada lagoa (DZUMAN, 2013).

Este método de cultivo possui baixo custo para implantação, entretanto possui alguns entraves como baixa produtividade, exposição as flutuações diárias de temperatura e passível contaminação por microrganismos ou outras algas (ZHU, 2014); (DZUMAN, 2013).

Figura 01- Sistema de cultivo aberto em tanque (Raceway)



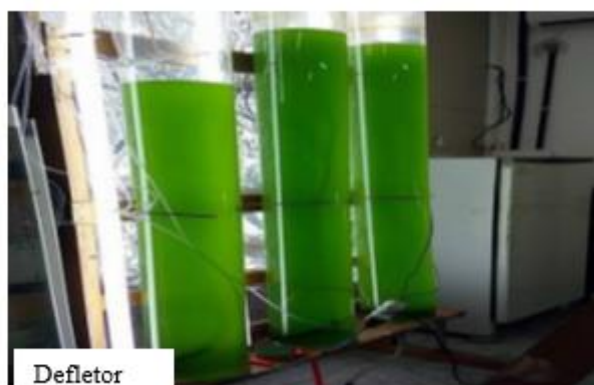
Fonte: Figura (A) Chisti, (2007) e Figura (B) Gaivão, (2013).

4.2 FOTOBIORREATOR

O sistema fechado para o cultivo de microalga e denominado de fotobiorreator Figura 02. Sendo ele constituído por tubos de plástico, vidro ou policarbonato, o formato dos tubos pode ser disposto de várias formas, depende da adequação do sistema (DZUMAN, 2013).

Nos fotobiorreatores é possível controlar as condições de cultivo, tal como quantidade dos nutrientes, temperatura, iluminação e pH. Assim permite uma alta produtividade de biomassa quando comparados com os sistemas abertos (CHISTI, 2007; DZUMAN, 2013).

Figura 02- Sistema fechado de cultivo (Fotobiorreator)



Fonte: Zorn (2017)

Deletor

Vários modelos de fotobiorreatores podem ser encontrados, contudo, devem-se priorizar os protótipos que forneçam as condições ideais para o tipo de cultura que está sendo analisada. Em geral, os fotobiorreatores constituídos por uma estrutura mais sofisticada são mais versáteis, porém, apresentam maior custo de produção (LOURES, 2016).

5 EXTRAÇÃO DE ÓLEO DA MICROALGA

Existem vários tipos de lipídios e de ácidos graxos produzidos pelas microalgas que podem ser extraídos para a produção de biocombustíveis. O método de extração de lipídios e eficiência são altamente dependentes das espécies de microalgas e da sua composição química (LOURES, 2016).

O óleo pode ser extraído por processos químicos onde solventes como benzeno, éter ou hexano são usados para promover a extração de lipídios. O uso de enzimas é outro método de extração eficaz, que torna o fracionamento do óleo mais fácil. Além destes métodos, o tradicional choque osmótico também é usado para rompimento da alga (PEREIRA, 2012).

Para Mubarak (2017) existe os métodos mecânico e ultrassônico para extrair lipídio, o método mecânico utiliza prensa para quebrar as células e comprimir o óleo a partir da biomassa seca e pode extrair cerca de 75% de óleo. Mas este método é muito lento e requer uma grande quantidade de biomassa. O método ultrassônico utiliza frequências de ondas sonoras superiores a 20 kHz este efeito suporta a extração de lipídios a partir de microalgas este método melhora o rendimento de óleo com reduzido tempo de extração.

De acordo com Pereira (2012) a extração com fluido supercrítico é um método inovador, onde o gás dióxido de carbono (CO₂) sofre pressão e aquecimento, adquirindo ambas propriedades de líquido e gás. Este fluido liquefeito atua como solvente, extraindo o óleo da matéria-prima (PEREIRA, 2012).

6 OBTENÇÃO DO BIODIESEL

De acordo com Oliveira (2010) a produção do biodiesel a partir das algas, tem início na seleção de espécies de microalgas, considerando condições específicas dos

De acordo com Mata 'et al' (2011) essa reação torna-se mais eficiente na presença de um catalisador podendo ser um ácido ou uma base que é usado para melhorar a taxa de reação de transesterificação.

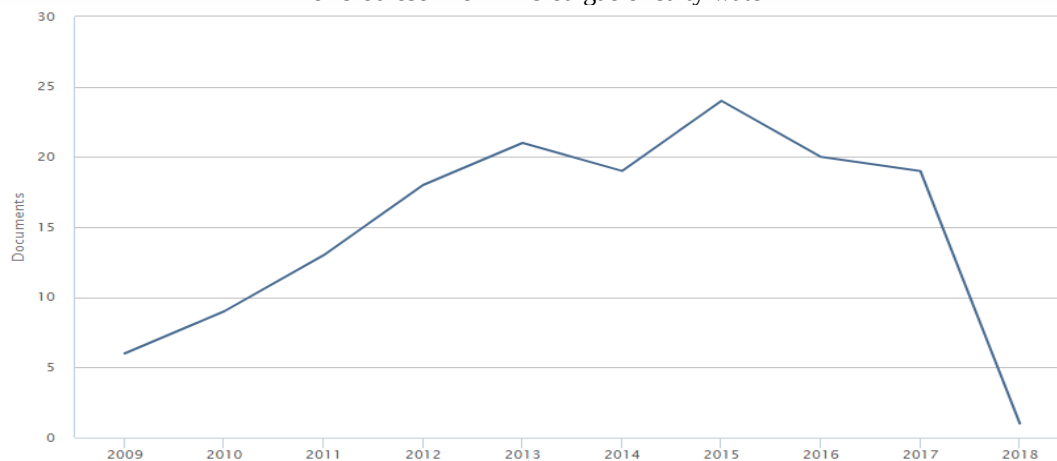
No entanto a catálise alcalina conduz a reação mais rápida e maiores rendimentos que a catálise ácida nos processos de produção de biodiesel. No entanto como os óleos microalgais apresentam elevados índices de acidez; sendo assim a transesterificação via catálise ácida apresenta-se como a rota mais adequada para a produção de biodiesel a partir dos lipídeos microalgais (ZORN, et all, 2017).

7 METODOLOGIA

O estudo foi realizado através de pesquisas bibliométricas, bem como pesquisas na base de dados de publicações científicas *Scopus*, por ser uma base mais abrangente e que proporciona maior acessibilidade aos dados. Assim, foram pesquisados relacionadas as seguintes palavras chaves em inglês: "*Production of biodiesel from microalgae*" e "*Production of biodiesel from microalgae of salty water*", no período de 2009 a 2018, com as seguintes áreas de limitação Chemical engineering, Chemistry, Energy e Engineering, como resultado da pesquisa foram obtidos no total 150 (cento e cinquenta) artigos publicados.

A Figura 04, observa-se as publicações por ano, que em 2009 houve apenas seis publicações e em 2015, vinte e quatro publicações, em 2017 houve dezenove publicações. Apesar de haver um decréscimo em publicações no ano de 2017, nota-se que o tema ainda é relevante.

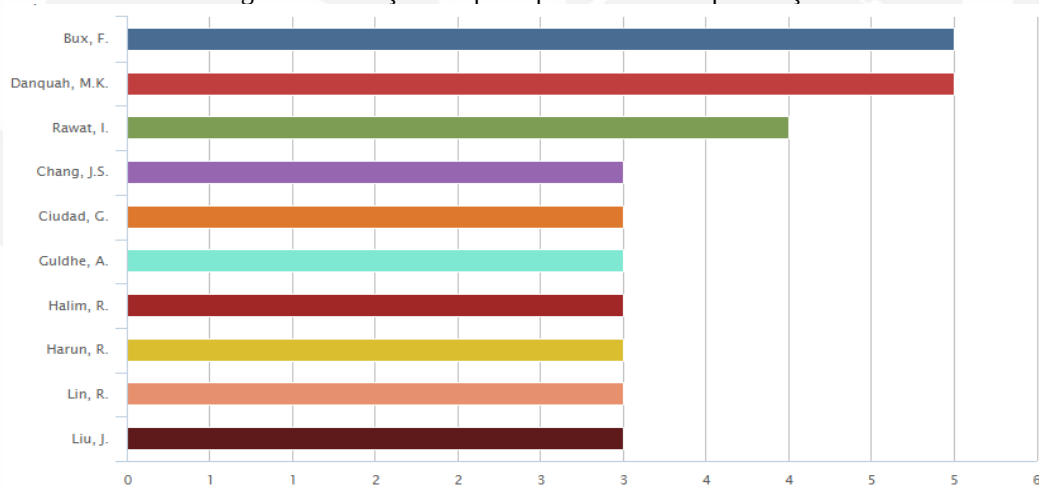
Figura 04- Publicações entre 2009 e 2018 sobre Production of biodiesel from microalgae e "Production of biodiesel from microalgae of salty water"



Fonte: Scopus, (2018)

Na Figura 05, mostra os principais autores publicados por ano, sendo destaque para Bux, Danquah e Rawat foram os autores com mais publicações no período da pesquisa.

Figura 05- Relação dos principais autores das publicações



Fonte: Scopus, (2018)

Ao analisar os artigos desses autores, observa-se há uma interação entre os linhas de pesquisas para Bux (2017) e Danquah (2015) possuem similaridades pois, pesquisam sobre energia renovável, sugerindo o uso de microalga para se obter o biodiesel.

Bux (2017) faz uma pesquisa sobre a melhor forma de ruptura da microalga para obter o biodiesel, uma vez que pesquisa as catálises, ácido heterogêneo, ácido homogêneo e enzimas, para se obter o melhor rendimento.

Para Danquah (2015), o uso de energias renováveis torna-se cada vez mais adequada para substituir o uso de combustíveis derivados do petróleo e ressalta que nos últimos anos, o cultivo de microalgas como matéria-prima como alternativa para a produção de biocombustíveis recebeu atenção significativa. Uma vez que as microalgas têm uma taxa de crescimento rápido, podem acumular grandes quantidades de lipídios e carboidratos intracelular para a produção de biodiesel.

De acordo com Rawat (2014), o processo de produção de biomassa algal em larga escala, para a produção de biodiesel ainda é desafiador, para o autor a microalga *Scenedesmus* sp. possui um grande potencial, quando é cultivada em lagoa circular aberta.

8 VANTAGENS E DESVANTAGENS

No Quadro 02 são evidenciadas as vantagens e desvantagens, segundo alguns autores, da utilização das microalgas como fontes lipídicas para a síntese de biodiesel. Para Chisti (2013) limitações para a comercialização de combustíveis de algas precisam ser compreendidos e implementados para qualquer futura comercialização.

Uma vez que o biodiesel proveniente de microalgas ainda se encontra em escala laboratorial, apesar de ser ambientalmente sustentável ainda é um combustível caro para a comercialização em larga escala em comparação ao proveniente do petróleo, ainda para Chisti (2013) afirma que a comercialização em larga escala desse combustível ainda é sombrio, mais para comercialização a médio prazo seria adequado para aplicações de nichos, por exemplo: para o setor de aviação.

Quadro 02- Vantagens e desvantagens do óleo de microalgas para a produção do biodiesel

Vantagens	Desvantagens
- O cultivo de microalgas consome menos água que o cultivo em terra; -A liberação de óxido nitroso pode ser minimizada quando microalgas são utilizados para a produção de biocombustíveis; -A alta taxa de crescimento das microalgas torna possível para satisfazer a demanda maciça de biocombustíveis utilizando espaços limitados; -Seus subprodutos podem ser usando como adubo ou para a produção de outros produtos de alta energia;	-Cultivos em sistemas de lagoas abertas são propensos à contaminação; -Valor comercial do combustível de alga é inferior ao combustível diesel; -Combustíveis derivados de algas são caros em comparação com combustíveis derivados de petróleo; -Uma grande quantidade de energia para remoção de água de algas; -Dificuldade na disponibilidade de encontrar espécies de microalgas natural ou geneticamente modificada, que tem altas produtividades lipídicas.

Fonte: Chisti (2007); Chisti (2013); Ahmad (2011); Li (2008); Oliveira (2014).

9 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento de fontes de energia renováveis tem se tornado cada vez mais necessário e os biocombustíveis têm vindo a assumir uma maior relevância na sociedade, recursos energéticos capazes de serem naturalmente renovados em um curto espaço de tempo e que derivem direta e indiretamente de fontes energéticas como sol, vento, ondas e biomassa vegetal e microalgal, têm sido explorados. Dessa forma os estudos apontam a possibilidade do cultivo de microalgas para a possível obtenção do biodiesel em substituição ao proveniente do petróleo

AGRADECIMENTOS

Esse trabalho contou com as instituições UNESP, IFRR e USP.



REFERÊNCIAS

AMARAL, M, S., Zorn, S. M. F. E., Pedro, G. A. (2016). Kinetics of photoautotrophic cell growth of the marine microalgae *Chlorella minutissima*. Influence of white, blue and red LEDs in cultivation. *Journal of Multidisciplinary Engineering Science and Technology* –JMEST- ISSN: 2458-940 (3n Vol. 3 Issue 11).

AHMAD A. L., MAT YASIN N. H., DEREK C. J.C., LIM J.K. (2011). Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd. All rights reserved.

BUX, F; SINGH, B; ANSARI, F; SINGH, P; GUILDHE, A. (2017). (Biodiesel synthesis from microalgal lipids using tungstated zirconia as a heterogeneous acid catalyst and its comparison with homogeneous acid and enzyme catalysts. *Fuel*, Elsevier- Scopus, v 187, pp180-188.

CHISTI, Y. (2007). Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, (v. 25, pp, 294-306).

CHISTI, Y. (2013). Constraints to commercialization of algal fuels. *Journal of Biotechnology*, (v. 167, pp 201-214),

CARDOSO. A, S; VIEIRA. G, E G; MARQUES. A, K. (2011). O uso de microalgas para a obtenção de biocombustíveis. *Revista Brasileira de Biociências* (v.9, p.4)

D'OCA, M.G.M.; HAERTEL, P.L.; MORAES, D.C.; CALLEGARO, F.J.P.; KURZ, M.H.S.; PRIMEL, E.G.; CLEMENTIN, R.M.; MORÓN-VILLARREYES, J.A. (2011). Base/acid-catalyzed FAEE production from hydroxylated vegetable oils. *Fuel*, (v. 99, p.p 912-916)

DZUMAN, M. J; (2013). Efeito da reciclagem repetida do meio de cultivo da microalga *Scenedesmus sp.* para a produção de biodiesel. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Federal do Paraná.

DANQUAH. M,K; RAHEEM. A; AZLINA. W, A, K, G; YAP. T, Y, H; HARUN, R. (2015). Thermochemical conversion of microalgal biomass for biofuel production. *Renewable and Sustainable energy Reviews-Elsevier*, V. 49, p.p 990-999.

FARAG, H. A.; EL-MAGHRABY, A.; TAHA, N. A. (2011). Optimization of factors affecting esterification of mixed oil with high percentage of free fatty acid. *Fuel Processing Technology*, v. 92, p.p 507-510.

GAIVÃO, J. J. R. P. DE M. (2013). **Aplicação de diferentes metodologias na produção de biodiesel a partir da microalga *Nannochloropsis sp.*** Dissertação (Mestrado Integrado em Engenharia da Energia e do Ambiente). Universidade de Lisboa.

HIDALGO, P.; TORO, C.; CIUDAD, G.; NAVIA, R. (2013). Advances in direct transesterification of microalgal biomass for biodiesel production. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 12, n. 2, p. p179-199.

LI, Y; HORSMAN, M; WU, N; LAN, C, Q; CALERO, N, D. (2008). Biofuels from Microalgae. **Biotechnology Progress**, v 24, p.p 815-820.

LOURES, C, C.A. (2016). **Otimização do processo de cultivo da microalga *chlorella minutissima* como fonte de matéria-prima para a produção de biodiesel**. Tese (doutorado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá.

MANDAL, S.; MALLICK, N. (2009). Microalga *Scenedesmus obliquus* as a potential source for biodiesel production. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 84, n. 2, p.p 281–291.

MATA, T. M.; MARTINS, A. a. e CAETANO, N. S. (2009). Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p.p 217-232.

OLIVEIRA, C, J; SCHAFFNER, R, D; CREMONEZ, P, A; FEROLDI, M; TELEKEN, J,G (2014). Produção de biodiesel a partir das algas: uma revisão. **Journal of Agronomic Sciences**, Umuarama, v.3, n. especial, p.p 202-221.

PEREIRA, C. M. P. et al. (2012). Biodiesel renovável derivado de microalgas: avanços e perspectivas tecnológicas. *Quim. Nova*.

RAWAT, I; GULDHE, A; SINGH, B; RAMLUKAN, K; BUX, F. (2014). Efficacy of drying and cell disruption techniques on lipid recovery from microalgae for biodiesel production. *Fuel- Elsevier- Scopus*, v.128, p.p 46-52.

SANTOS, A, C, M; CARIJO, R,S; SILVA, V,C,F; COSTA, M, F; FERREIRA, T, P.(2015). Uso de microalgas para a produção de biodiesel: vantagens e limitações use of microalgae for biodiesel production: advantages and limitations. **Revista Eletrônica de Energia**, v. 5, n. 1, p. p 23 -31.

SCHMITZ, R; MAGRO, C, D; COLLA, L, M. (2012) .Aplicações ambientais de microalgas, **Revista CIATEC – UPF**, vol.4 (1), p.p.48-60.

SINGH, N; DHAR, D. (2011) .Microalgae as second generation biofuel. A review. *Agronomy for Sustainable Development*, Springer Verlag/EDP Sciences/INRA.

ZHU, L. D; HILTUNEN, E; ANTILA, E; ZHONG, J,J; YUAN, Z,H ; WANG, Z, M. (2013). Microalgal biofuels: Flexible bioenergies for sustainable development. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. Elsevier Ltd. All rights reserved.

ZORN, S, M, F, E. (2017). **Desenvolvimento do processo de extração de lipídios da biomassa de microalgas marinhas**. Dissertação (Mestrado em Ciências - Programa de Pós Graduação em Engenharia Química na Área de Processos Catalíticos e Biocatalíticos). Escola de Engenharia de Lorena da Universidade de São Paulo.

ZORN, S. M. F. E; GONÇALVES, B. C. M; CANILHA, L; GUIMARÃES, D.H.P; SILVA, M. B. (2017). Extração de óleo microalgal por solventes orgânicos: uma alternativa para a produção de biodiesel. *Revista Janus*, v.13, p.24 .

