



USO DE MICROALGAS PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL: VANTAGENS E LIMITAÇÕES
USE OF MICROALGAE FOR BIODIESEL PRODUCTION: ADVANTAGES AND LIMITATIONS

Rodolfo dos Santos Carrijo

Universidade Federal do Tocantins, Brasil
rodolfo_carrijo@hotmail.com

Valéria Cristina Ferreira Silva

Universidade Federal do Tocantins, Brasil
valeriacristinaxd@mail.uft.edu.br

Anne Caroline Mascarenhas dos Santos

Universidade Federal do Tocantins, Brasil
caroline-mascarenhas@hotmail.com

Mayra Fonseca Costa

Universidade Federal do Tocantins, Brasil
mayra-fonseca@hotmail.com

Taciano Peres Ferreira

Universidade Federal do Tocantins, Brasil
taciano10@mail.uft.edu.br

RESUMO

Nos últimos anos, os estudos relacionados ao uso de microalgas para a produção de biodiesel vêm ganhando espaço, sendo estes motivados em especial pelas diversas problemáticas encontradas na utilização de culturas agrícolas convencionais para o mesmo fim. Além de não competirem com a produção de alimentos, as microalgas apresentam como principais vantagens o rápido crescimento, a elevada capacidade de produzir e armazenar óleo e a necessidade de menores áreas e quantidades de água para o seu cultivo. Contudo, ainda existem limitações principalmente relacionadas aos métodos de cultivo, obtenção da matéria seca e extração do conteúdo lipídico que demandam maiores gastos e inviabilizam o processo em larga escala. Assim, este artigo tem por objetivo apresentar as principais vantagens e dificuldades encontradas na utilização de microalgas para a produção de biodiesel, através da análise dos principais métodos e sistemas de cultivo utilizados para o seu crescimento, tendo em vista o enorme potencial e benefícios que elas apresentam quando empregadas com esse propósito.

Palavras-chave: Microalgas; Óleo; Produção; Biodiesel.

ABSTRACT

In the last years, studies related to the use of microalgae for biodiesel production is gaining momentum, these being particularly motivated by various problems found in the use of conventional agricultural crops for the same purpose. Besides not compete with food production, the microalgae present as main advantages the fast growth, high capacity of producing and storing oil and the need for smaller areas and amount of water for cultivation. However, still exist limitations mainly correlated to the cultivation method, obtaining dry matter and extraction of lipid content that require higher expenses and make impracticable the large-scale process. Thus, this article aims to present the main advantages and difficulties encountered in the use of microalgae for the production of biodiesel, through the analysis of the main methods and cropping systems used for growth, given the huge potential and benefits they have when used for this purpose.

Keywords: Microalgae; Oil; Production; Biodiesel.

1 INTRODUÇÃO

Os crescentes impactos danosos ao meio ambiente, especialmente após a primeira revolução industrial, tem despertado nas últimas décadas a atenção das comunidades internacionais para os graves infortúnios que atingem a Terra. Em virtude do aumento das emissões dos gases que contribuem para o efeito estufa, advindos principalmente da combustão de combustíveis fósseis, a temperatura média do planeta tem se elevado a cada ano (GOUVEIA, 2012).

Como consequência desse acréscimo, o clima do planeta vem sofrendo importantes alterações percebidas, por exemplo, na redução das chuvas e no desaparecimento de espécies que compunham antes a fauna e flora. Além do agravamento do efeito estufa, a perspectiva do esgotamento futuro das reservas petrolíferas tem impulsionado novas pesquisas em busca de outras fontes de energia que podem complementar ou substituir estas (HIDALGO et al., 2013).

Uma das alternativas para a minimização desses problemas consiste na substituição das matrizes energéticas não-renováveis, por exemplo, o petróleo, por fontes renováveis de energia, como os biocombustíveis (LAM & LEE, 2012). No caso do biodiesel, apesar de ele ser biodegradável e sua queima gerar baixos níveis de poluição, a sua produção a partir de culturas como dendê, girassol e a soja possui algumas desvantagens, especialmente no que condiz à sustentabilidade da sua obtenção (DEFANTI et al., 2010).

Nesse sentido, alguns dos entraves encontrados no emprego dessas oleaginosas como matérias-primas se resumem basicamente no balanço energético de produção pouco favorável e, na necessidade de grandes extensões de terra e quantidades de água para o desenvolvimento das mesmas (SCOTT et al., 2010). Outra problemática envolve o uso de óleos vegetais comestíveis para a síntese do biodiesel. Teoricamente, o aumento da demanda do biocombustível resultaria na redução da oferta de alimentos, em virtude do deslocamento da produção agrícola para a síntese do primeiro, no qual elevaria os preços dos produtos alimentícios (MENEZES et. al, 2013; MONIAK; MORESCO, 2014).

Nos últimos anos, com o intuito de contornar essas barreiras, pesquisas relacionadas ao uso de microalgas para a produção de biodiesel vem ganhando espaço. Além da grande produtividade de biomassa e capacidade de acúmulo de triacilgliceróis que muitas espécies possuem, o cultivo destas necessita de menor volume de água e espaço quando comparado a culturas agrícolas (AMARO et al., 2011).

Outro ponto de destaque envolve a fonte de carbono utilizada, por ser derivada quase que exclusivamente do dióxido de carbono presente na atmosfera, fato que contribui para a contenção do aumento do efeito estufa. Em relação ao rendimento de óleo por hectare, das diversas matérias-primas que podem ser utilizadas para a produção do biocombustível, as microalgas se sobressaem exibindo aproximadamente 80% a mais de rendimento quando comparadas à soja, canola e o milho (CHISTI, 2007).

Pretende-se nesta revisão, abordar as principais vantagens e dificuldades encontradas na utilização de microalgas para a produção de biodiesel, tendo em vista o enorme potencial e benefícios que as mesmas apresentam quando empregadas para esse fim.

2 ALGAS

As algas são organismos aquáticos fotossintetizantes com exigências simples de crescimento (luz, carboidratos, CO₂, N, P e K), sendo a denominação alga utilizada convencionalmente para se referir a organismos multicelulares, enquanto o termo microalga, que não possui valor taxonômico, é empregado para reportar-se a espécies algais unicelulares. As microalgas estão presentes nos mais diversos locais do planeta, sendo precipuamente encontradas em ambientes marinhos, de água doce e no solo (FAGERSTONE et al., 2011 ; SCOTT et al., 2010) .

Abrangendo organismos procarióticos e eucarióticos com clorofila e outros pigmentos fotossintéticos, as microalgas são normalmente identificadas e divididas com relação às propriedades destes pigmentos. São consideradas também para a identificação às características citológicas e morfológicas das mesmas, muitas vezes em associação a técnicas de biologia molecular (MONIAK; MORESCO, 2014).

As principais divisões que compõem as microalgas são as procarióticas Cyanophyta e Prochlorophyta e as eucarióticas Chlorophyta, Euglenophyta, Rhodophyta, Haptophyta, Heterokontophyta, Cryptophyta e Dinophyta. Apesar das disparidades na estrutura e morfologia dos constituintes de cada filo, estes são do ponto de vista fisiológico e metabólico análogos as plantas (BRENNAN; OWENDE, 2010).

3 PRINCIPAIS ESPÉCIES PRODUTORAS

Os estudos acerca da utilização de microalgas como alternativa para produção de combustíveis se intensificaram em meados de 1978, estimulados especialmente pela ocorrência de mais uma grande crise mundial do petróleo na qual culminou no aumento dos preços do seu barril. Nesse período, o Programa de Espécies Aquáticas, dirigido pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável dos Estados Unidos, analisou mais de 3 mil tipos de microalgas quanto a produtividade de óleo, confirmando assim o grande potencial de inúmeras espécies para a produção de biodiesel (DEFANTI et al., 2010).

Com base nesses dados, diversas pesquisas seguiram-se com o mesmo objetivo. Atualmente são conhecidas mais de 100 mil estirpes diferentes, das quais muitas produzem lipídeos em quantidades suficientes para produção de biodiesel em larga escala. Dentre as microalgas com maior conteúdo de triacilgliceróis destacam-se a *Botryococcus braunii*, *Chlorella vulgaris*, *Dunaliella tertiolecta*, *Nannochloropsis* sp, *Schizochytrium* sp e *Scenedesmus obliquus* (PEREIRA et al., 2012), cujo teores de óleo variam de acordo com o tipo de cultivo e a composição bioquímica de cada uma (CHISTI, 2007; PEREIRA et al., 2012).

Outra espécie que tem sido explorada é a microalga heterotrófica *Schizochytrium limacinum*, que possui grande capacidade de síntese de biomassa e lipídeos. Empregando, por exemplo, o método de transesterificação direta para a produção de biodiesel a partir da biomassa seca da *S. limacinu*, foram obtidos rendimentos de 57% do biocombustível com um teor de 66,37% de ésteres de ácidos graxos, valores estes excelentes quando comparados a outras técnicas (JOHNSON; WEN, 2009).

FENG e outros (2014) apontam também a microalga *Chlorococcum pamirum* como um organismo promissor para a produção de biocombustíveis. Os dados alcançados pelos pesquisadores revelaram a

obtenção de um maior teor de lipídeo (64,9%) quando a *C. pamirum* foi mantida sob menores taxas de nitrogênio e quantidades maiores de sal (FENG et al., 2014).

Já HOLBROOK et al. (2014) lograram resultados notáveis a partir dos estudos sobre a espécie *Monoraphidium sp. Dek19*. Além dessa estirpe se adaptar muito bem a regiões de baixa temperatura e de pouca incidência luminosa, apresenta ainda, bom crescimento em águas residuais e teores lipídicos semelhantes ao da soja (HOLBROOK et al., 2014).

4 SÍNTESE DE LIPÍDEOS

O que torna o uso de microalgas para a produção de biodiesel uma alternativa promissora é basicamente a sua elevada capacidade de sintetizar lipídeos. Com o intuito de maximizar a biossíntese deve-se favorecer a produção de triacilgliceróis (TAG) em detrimento da biomassa, partindo do princípio que a quantidade de óleo é inversamente proporcional a esta última (SCOTT et al., 2010).

Isso pode ser alcançado promovendo situações de estresse à cultura, por exemplo, pela privação de nutrientes essenciais, como o nitrogênio e fósforo, que irá interferir na produção de proteínas importantes ao crescimento do organismo, deslocando assim a energia absorvida pela fotossíntese para a produção de moléculas de armazenamento como os TAG (RODOLFI et al., 2009).

Em condições adversas, como temperaturas extremas e anaerobiose, a síntese de lipídeos também é favorecida, pois as células ainda conseguem fixar dióxido de carbono apesar de a densidade celular ser baixa sob tais circunstâncias. Modificações ou o silenciamento de rotas metabólicas, como a do amido, são estratégias que também podem ser exploradas com o mesmo objetivo (FRANCO et al., 2013).

5 CULTIVO DE MICROALGAS

A cultura de microalgas não possui sistema de safra, podendo a sua coleta verificar-se diariamente, ou seja, de forma contínua. A utilização de adubos químicos durante o processo é desnecessário se houver a possibilidade do emprego de águas residuais e dejetos advindos, por exemplo, de culturas animais (KHAN et al., 2009; MANDAL; MALLICK, 2011).

No cultivo artificial, para melhor desenvolvimento destas, as condições de cultura devem assemelhar-se as encontradas nos seus habitats naturais. Por exemplo, a utilização de luz solar como fonte de energia tem como vantagem a redução dos custos de produção. Não obstante, isto pode não ser possível devido às variações diárias e sazonais de luz, que poderão influenciar o rendimento final de óleo (NOBRE et al., 2013).

Assim, para sistemas produtivos ao ar livre, a luz é normalmente elemento limitante, sendo necessário o uso de lâmpadas fluorescentes para o cultivo de espécies fotossintetizantes. Vale ressaltar, que para a correta escolha da fonte luminosa que será utilizada, deve-se levar em consideração o espectro de absorção do organismo produtor (BRENNAN; OWENDE, 2010).

Os métodos atualmente explorados para a produção em escala industrial se baseiam em sistemas abertos (tanques, piscinas circulares e *raceway ponds*) e fotobiorreatores fechados (LIAO et al., 2014). No que

abrange os sistemas abertos, os mesmos devem ser rasos, pois a produção de biomassa dar-se por unidade de área e não de volume, sendo normalmente construídos a partir de fibras de vidro ou concreto, com o fundo revestido de terra ou algum material plástico. Os *raceway ponds* são ainda compostos por canais de recirculação avulsos formando um circuito fechado, onde pás mecanizadas são as responsáveis pela agitação do meio (HERNANDÉZ-PÉREZ; LABBÉ, 2014; MONIAK; MORESCO, 2014).

Contudo, apesar dos baixos custos de construção e operação, e do fácil manejo dos reservatórios, os sistemas abertos apresentam como desvantagens a necessidade de grandes áreas para sua instalação, maior suscetibilidade a contaminações, perdas consideráveis de dióxido de carbono para a atmosfera e a difícil manutenção das condições ótimas de desenvolvimento dos organismos (MONTEIRO et al., 2010).

Em virtude dos problemas encontrados no emprego de tanques abertos, o uso de fotobiorreatores fechados tem se mostrado uma opção interessante, especialmente por permitir o alcance de elevada produtividade de biomassa (AMARO et al., 2011). Os fatores responsáveis pelos maiores rendimentos encontrados se resumem no melhor domínio das variáveis de processo (temperatura, agitação e iluminação), menores chances de contaminações e perdas de CO₂, e a não dependência das condições climáticas para a produção (SINGH; SHARMA, 2012).

Os modelos de fotobiorreatores em placas (planares) e tubulares são os mais utilizados para o desenvolvimento de microalgas. Os fotobiorreatores planares se diferenciam por permitirem pequeno acúmulo de oxigênio (O₂) dissolvido e possuem uma superfície de captação de luz mais extensa (DE AZEREDO, 2012). Somado a isso, a sua acomodação necessita de pouco espaço e por serem placas independentes facilitam o aumento de escala. Todavia, não são indicados para o cultivo de espécies que se aderem às paredes do reservatório, pelo fato de dificultarem a entrada de luz no meio (XU et al., 2009).

Já os reatores tubulares se baseiam em ductos transparentes que podem ser operados na posição horizontal, vertical ou inclinados (SINGH; SHARMA, 2012). A movimentação microalgal e dos gases pode ser realizada por bombeamento ou borbulhamento. A agitação mecânica deve ser evitada, pois a mesma proporciona maiores tensões de cisalhamento (SHIMIDELL et al., 2001).

Dentre os fotobiorreatores fechados o reator tubular de coluna de bolhas é o que exibiu melhores resultados em maior escala. Como o próprio nome indica o mesmo faz uso da técnica de borbulhamento para executar a mistura do cultivo e transferência de gases dentro do sistema. Esse tipo de biorreator apresenta taxas de transferência de O₂ e CO₂ mais eficientes se comparado aos outros reatores, além de prover uma cultura mais homogênea e um melhor controle das condições de trabalho (DE AZEREDO, 2012).

Para permitir à passagem de luz, os fotobiorreatores são geralmente construídos a partir de materiais como vidro ou plástico. No geral, as principais desvantagens estão ligadas ao alto investimento para a compra dos equipamentos e manutenção (MONIAK; MORESCO, 2014).

6 VANTAGENS DO USO DE MICROALGAS

O grande potencial que determinadas microalgas apresentam para a produção de biodiesel está especialmente ligada à elevada capacidade que essas possuem de produzir e armazenar óleo. Além disso,

devido a sua estrutura celular simples, esses fotossintetizantes crescem rapidamente exigindo poucos nutrientes para o seu ideal desenvolvimento (MATA et al., 2010).

No que tange ao cultivo, quando comparadas às culturas agrícolas as microalgas necessitam de menor espaço físico e quantidades de água, sobretudo quando se utiliza fotobiorreatores. A possibilidade do emprego de espécies marinhas e águas residuais também contribuem para a economia de água doce, tornando o processo mais sustentável. Outro ponto ambientalmente favorável se baseia na biofixação de CO₂ atmosférico, devido à alta eficiência fotossintética destas (MOHAN et al., 2011).

Pelo fato de normalmente não serem consumidas como alimento e se adaptarem bem a áreas não agricultáveis estas não interferem na produção alimentícia (MENEZES et al., 2013). Ademais, as propriedades do biodiesel provenientes de microalgas são similares ao do diesel fóssil, não requerendo deste modo alterações nos motores já existentes movidos a diesel (PEREIRA et al., 2012).

7 LIMITAÇÕES E DESAFIOS

Na atualidade, a maior limitação da produção de biodiesel a partir do óleo de microalgas está na viabilidade do processo. Apesar de a cadeia produtiva apresentar balanço energético positivo, o custo de produção e venda do biocombustível é de 10 a 30 vezes superior ao diesel de petróleo, em decorrência do alto dispêndio com a obtenção da matéria seca e extração do conteúdo lipídico (BALAT, 2011; ESPINOSA et al., 2014).

No que se refere aos óleos produzidos por microalgas, geralmente o mesmos são poli-insaturados, tais como os ácidos eicosapentaenóico e docosahexanóico, o que os tornam mais vulneráveis a oxidação. Logo, a manipulação e armazenamento destes demandam cuidados especiais no qual aumentam os gastos e diminuem a sua atratividade (CHISTI, 2007).

Outra problemática correlaciona-se a reprodutibilidade dos resultados obtidos em laboratório para a escala industrial, visto que a obtenção de rendimentos satisfatórios após o domínio e aprimoramento do processo em laboratório torna a ampliação da escala de produção atrativa (SHIMIDELL et al., 2001). O “scale-up” de um processo não se condensa apenas na construção de equipamentos geometricamente proporcionais e no emprego das mesmas condições utilizadas em bancada. Assim, há a necessidade prévia de novas análises preferencialmente em um sistema piloto que requer altos investimentos (GARCÍA-OCHOA; GÓMEZ, 2009).

8 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A viabilidade econômica e ambiental da produção de biodiesel a partir de microalgas constitui um dos principais desafios para a implementação do processo em grande escala. Atualmente, há diversas pesquisas em andamento em vários países, visando o desenvolvimento de sistemas de produção mais baratos, o que facultará a competição com o diesel fóssil.

Em virtude dos problemas encontrados na utilização de lagoas abertas, o uso de fotobiorreatores tem se mostrado a melhor opção. Desse modo, os avanços estruturais e tecnológicos destes poderão abaixar ainda

mais os custos de produção. Outro aspecto importante conecta-se a biorredução das emissões de CO₂ através do cultivo microalgal, o que torna o processo mais “limpo” por estas capturarem boa parte do dióxido de carbono liberado durante a cadeia produtiva do biodiesel e também após a sua queima.

Logo, o alto rendimento de óleo associado à maior sustentabilidade de produção torna a utilização de microalgas como matérias-primas do biodiesel uma alternativa promissora para os próximos anos, em especial no Brasil, por o país se mostrar apto ao cultivo destas principalmente na região Nordeste, em função do clima e da abundância de luz solar.

REFERÊNCIAS

- AMARO, H.M.; GUEDES, A.; MALCATA, F.X. Advances and perspectives in using microalgae to produce biodiesel. **Applied Energy**, v. 88, n.10, p. 3402-3410, 2011.
- BALAT, M. Potential alternatives to edible oils for biodiesel production—A review of current work. **Energy Conversion and Management**, v. 52, n. 2, p. 1479-1492, 2011.
- BRENNAN, L.; OWENDE, P. Biofuels from microalgae - a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 14, n. 2, p. 557-577, 2010.
- CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. **Biotechnology advances**, v. 25, n. 3, p. 294-306, 2007.
- DE AZEREDO, V. B. S. **Produção de biodiesel a partir do cultivo de microalgas**: estimativa de custos e perspectivas para o brasil. 2012. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2012.
- DEFANTI, L.S.; SIQUEIRA, N.S.; LINHARES, P.C. Produção de biocombustíveis a partir de algas fotossintetizantes. **Bolsista de Valor**, v. 1, n. 1, p. 11-22, 2010.
- ESPINOSA, L.; TAPANES, N. C. O.; GOMES, D. A.; CRUZ, Y. R. As microalgas como fonte de produção de biodiesel: discussão de sua viabilidade. **Acta Scientiae et Technicae**, v. 2, n. 1, 2014
- FAGERSTONE, K.D.; QUINN, J.C.; BRADLEY, T.H.; LONG, S.K.; MARCHESE, A.J. Quantitative measurement of direct nitrous oxide emissions from microalgae cultivation. **Environmental science & technology**, v. 45, n. 21, p. 9449-9456, 2011.
- FENG, P.; DENG, Z.; HU, Z.; WANG, Z.; FAN, L. Characterization of *Chlorococcum pabulum* as a potential biodiesel feedstock. **Bioresource Technology**, v. 162, p. 115–122, 2014.
- FRANCO, A. L.C.; LÔBO, I.P.; CRUZ, R.S.; Biodiesel de Microalgas: Avanços e Desafios. **Química Nova**, v. 36, n. 3, p. 437-448, 2013.
- GARCIA-OCHOA, F.; GOMEZ, E. Bioreactor scale-up and oxygen transfer rate in microbial processes: an overview. **Biotechnology advances**, v. 27, n. 2, p. 153-176, 2009.
- GOUVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: Impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. **Ciência saúde coletiva**, v. 17, n. 6, p. 1503-1510, 2012.
- HERNÁNDEZ-PÉREZ, A.; LABBÉ, J.I. Microalgas, cultivo y beneficios. **Revista de Biología Marina y Oceanografía**, v. 49, n. 2, p.157–173. 2014.
- HIDALGO, P.; TORO, C.; CIUDAD, G.; NAVIA, R. Advances in direct transesterification of microalgal biomass for biodiesel production. **Reviews in Environmental Science and Bio/Technology**, v. 12, n. 2, p. 179-199, 2013.

HOLBROOK, G.P.; DAVIDSON, Z.; TATARA, R.A.; ZIEMER, N.L.; ROSENTRATER, K.A. Use of the microalga *Monoraphidium* sp. grown in wastewater as a feedstock for biodiesel: Cultivation and fuel characteristics. **Applied Energy**, v. 131, p. 386–393, 2014.

JOHNSON, M.B.; WEN, Z. Production of biodiesel fuel from the microalga *Schizochytrium limacinum* by direct transesterification of algal biomass. **Energy & Fuels**, v. 23, n. 10, p. 5179-5183, 2009.

KHAN, S.A.; HUSSAIN, M.Z. PRASAD, S.; BANERJEE, U.C. Prospects of biodiesel production from microalgae in India. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 13, n. 9, p. 2361-2372, 2009.

LAM, M. K.; LEE, K.T. Microalgae biofuels: a critical review of issues, problems and the way forward. **Biotechnology Advances**, v. 30, n. 3, p. 673-690, 2012.

LIAO, Q.; LI, L.; CHEN, R.; ZHU, X. A novel photobioreactor generating the light/dark cycle to improve microalgae cultivation. **Bioresource technology**, v. 161, p. 186-191, 2014.

MANDAL, S.; MALLICK, N. Waste utilization and biodiesel production by the green microalga *Scenedesmus obliquus*. **Applied and environmental microbiology**, v. 77, n. 1, p. 374-377, 2011.

MATA, T.M.; MARTINS, A.A.; CAETANO, N.S. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, n. 1, p. 217-232, 2010.

MENEZES, R.S.; LELES, M.I.G.; SOARES, A.T.; BRANDÃO, P.I.; FRANCO, M.; FILHO, N.R.A. Avaliação da potencialidade de microalgas dulcícolas como fonte de matéria-prima graxa para a produção de biodiesel. **Química Nova**, v. 36, n. 1, p. 10-15, 2013.

MONIAK, J.A.; MORESCO, C. Produção de biodiesel utilizando microalgas. **Revista de Saúde e Biologia**, v. 9, n. 2, p. 65-74, 2014.

MUTANDA, T.; RAMESH, D.; KARTHIKEYAN, S.; KUMARI, S.; ANANDRAJ, A.; BUX, F.; Bioprospecting for hyper-lipid producing microalgal strains for sustainable biofuel production. **Bioresource technology**, v. 102, n. 1, p. 57-70, 2011.

NOBRE, B.P.; NOBRE, B.P.; VILLALOBOS, F.; BERRAGÁN, B.E.; OLIVEIRA, A.C.; BATISTA, A.P.; MARQUES, P.A.S.S.; MENDES, R.L.; SOROVÁ, H. PALAVRA, A.F.; GOUVEIA, L. A biorefinery from *Nannochloropsis* sp. microalga – Extraction of oils and pigments. Production of biohydrogen from the leftover biomass. **Bioresource technology**, v. 135, p. 128-136, 2013.

PEREIRA, C.M.P.; HOBUSS, C.B.; MACIEL, J.V.; FERREIRA, L.R. DEL PINO, F.B.; MESKO, M.F.; JACOB-LOPES, E.; NETO, P.C. Biodiesel Renovável Derivado de Microalgas: Avanços e Perspectivas Tecnológicas. **Química Nova**, v. 35, n. 10, p. 2013-2018, 2012.

RODOLFI, L.; ZITTELLI, G.C.; BASSI, N.; PADOVANI, G.; BIONDI, N.; BONINI, G.; TREDICI, M.R. Microalgae for oil: Strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. **Biotechnology and bioengineering**, v. 102, n. 1, p. 100-112, 2009.

SÁNCHEZ, Á.; MACEIRAS, R.; CANCELA, Á.; PÉREZ, A. Culture aspects of *Isochrysis galbana* for biodiesel production. **Applied Energy**, v. 101, p. 192-197, 2013.

SCOTT, S. A.; DAVERY, M.P.; DENNIS, J. S.; HORST, I.; HOWE, C.J.; LEA-SMITH, D.J.; SMITH, A.G. Biodiesel from algae: Challenges and prospects. **Current Opinion in Biotechnology**, v. 21, n. 3, p. 277-286, 2010.

SHIMIDELL, W. et al. **Biociencia Industrial**. São Paulo: Blucher, 2001. 541 p. (V. 2).

SINGH, R. N.; SHARMA, S. Development of suitable photobioreactor for algae production – A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 4, p. 2347-2353, 2012.

MONTEIRO, L.P.C.; PASSOS, F.B.; HELD, A.V.; TORBEY, B.Y. Técnicas de crescimento da microalga *dunaliella* salina para produção de biodiesel e separação de óleo e biomassa produzidos no processo. **Engvista**, v. 13, n. 2, 2010.

MOHAN, V.S.; DEVI, M.P.; MOHANAKRISHNA, G.; AMARNATH, N.; BABU, M.L.; SARMA, P.N. Potential of mixed microalgae to harness biodiesel from ecological water-bodies with simultaneous treatment. **Bioresource technology**, v. 102, n. 2, p. 1109-1117, 2011.

XU, L.; WEATHERS, P.J.; XIONG, X.R.; LIU, C.Z. Microalgal bioreactors: challenges and opportunities. **Engineering in Life Sciences**, v. 9, n. 3, p. 178-189, 2009.