

Estudo da Viabilidade de Microalgas para Produção de Biodiesel

Francisca Pereira de Araujo¹, Gilvan Moreira da Paz², Yáscara Lopes de Oliveira³, Cris Hellany da Paixão Leite⁴

¹Especialista em Biocombustíveis e Novas Tecnologias Renováveis – IFPI. e-mail: araujofp15@gmail.com

²Professor de Química – IFPI. e-mail: gilvan@ifpi.edu.br

³Especialista em Biocombustíveis e Novas Tecnologias Renováveis – IFPI. e-mail: yascaralopes@gmail.com

⁴Especialista em Biocombustíveis e Novas Tecnologias Renováveis – IFPI. e-mail: escnitish@yahoo.com.br

Resumo: Com a crise do petróleo e a necessidade de fontes alternativas de energia, os biocombustíveis surgem como uma opção que se ajusta ao desenvolvimento sustentável. O biodiesel é um exemplo de biocombustível oriundo de fontes renováveis e seu uso está associado à diminuição da emissão de particulados tóxicos. Para a sua obtenção, frequentemente são empregados óleos como de soja, dendê e mamona, ou ainda oriundo de frituras, no entanto, pesquisas já evidenciaram as potencialidades de microalgas na produção de biocombustível. Este trabalho objetiva uma análise do uso de microalgas para produção de biodiesel bem como a viabilidade do processo. De forma técnica, a produção de biodiesel é viável, no entanto, a viabilidade financeira ainda é discutida, assim o estímulo à produção por meio do financiamento e comercialização do subproduto advindo da biomassa são práticas necessárias para que o biodiesel de microalgas seja atrativo economicamente.

Palavras-chave: biodiesel, energias renováveis, microalgas

1. INTRODUÇÃO

No cenário mundial, o meio ambiente configura-se como uma das preocupações da atualidade. Segundo Mata et al (2009), a necessidade de fontes alternativas de energia e de práticas ecologicamente corretas, por exemplo, são consequências da crise do petróleo e do agravamento dos desastres ambientais, assim os biocombustíveis surgem como uma opção que se ajusta ao desenvolvimento sustentável.

Produzidos a partir de fontes de energia renováveis de forma a contribuir para a redução da emissão de gases nocivos ao ambiente, os biocombustíveis mais comumente utilizados são o biodiesel e bioetanol. Lôbo e Ferreira (2009) e Lourenço et al (2010), definem o biodiesel como uma mistura de alquilésteres de cadeia linear, obtido por meio da reação de transesterificação dos triglicerídeos de óleos e gorduras com alcoóis de cadeia curta e pode ser utilizado puro ou em misturas com o diesel de petróleo em diferentes proporções, além de apresentar uma combustão mais eficiente.

Para a obtenção de biodiesel, são empregados vegetais como soja, dendê e mamona, além de outras possibilidades de oleaginosas como milho, girassol, algodão, amendoim e ainda resíduos gordurosos como, por exemplo, óleo usado em frituras. No entanto, Mata et al (2009) e Pequeno et al (2012) abordam as potencialidades de microalgas para a produção de biodiesel por se tratar de uma prática socioeconômica muito promissora.

Conforme Mata et al (2009), microalgas são organismos fotossintéticos procariontes (cianobactérias) ou eucariontes (algas verdes) que crescem rapidamente e vivem em condições adversas do meio ambiente devido sua estrutura, estando presentes não apenas em ambientes aquáticos, mas também terrestres, representando uma grande variedade de espécies. Assim, D’oca (2008) et al e Galvão et al (2011) expõem que esses microorganismos produzem corantes, ácidos graxos, polissacarídeos e vitaminas que são de grande interesse para indústrias farmacêuticas, alimentícia, têxtil, entre outras, além da possibilidade de serem utilizados para a produção de biodiesel.

Em suma, as microalgas afiguram-se como uma excelente alternativa para a produção de energia dada a elevada taxa de duplicação de biomassa e produção de óleo. Assim, o presente trabalho objetiva uma revisão do uso de microalgas para produção de biodiesel bem como da viabilidade do processo.

2. MICROALGAS PARA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

2.1 Informações Gerais

De acordo com Chist (2007), as algas compreendem vários grupos de seres vivos aquáticos e autotróficos, ou seja, produzem a energia necessária ao seu metabolismo por meio da fotossíntese, e abrangem dois grandes grupos: macroalgas (maiores e visíveis ao olho nu) e microalgas

(microrganismos unicelulares desprovidos de raiz, caule e folhas). Na verdade, o termo microalgas não tem valor taxonômico, assim, Brown e Zeiler (1993) e Derner et al (2006) sugerem que sejam seres clorofilados que para o cultivo faz-se necessário apenas a presença de luz solar, água e dióxido de carbono (CO₂), além de nutrientes e condições ambientais adequadas para cada espécie.

Variadas espécies de microalgas podem ser utilizadas para produção em grande escala de biodiesel, todavia, Cunha et al (2009) e Lourenço et al (2010) explicam que fatores como a velocidade de crescimento e da sua composição química devem ser levados em consideração na escolha de cepas mais adequadas, uma vez que são influenciados pelo meio de cultura utilizado, a idade do cultivo, a intensidade luminosa, a temperatura, a salinidade e o fotoperíodo.

Apesar de não existir uma espécie que satisfaça todas as condições exigidas para a obtenção de um óleo de excelente qualidade para produção de biodiesel, Brown e Zeiler (1993) sugerem aplicações de engenharia genética para estimular, por exemplo, o acúmulo de certos lipídeos. Ainda assim, Dantas et al (2010) indica a microalga *Scenedesmus subspicatus* como uma das espécies em potencial para a produção em larga escala visando a extração de óleo, embora a *Chlorella* também pareça ser uma boa opção. De acordo com Matos et al (2009), as microalgas também podem assimilar quantidades significativas de CO₂ da atmosfera contribuindo para um balanço favorável do ciclo biogeoquímico do carbono, além da possibilidade de serem cultivadas em águas residuais como, por exemplo, efluentes de esgoto doméstico e industrial.

Uma das características principais das microalgas visando o biodiesel, além do considerável teor de óleo extraído, é a capacidade de duplicação da biomassa e o menor espaço ocupado para seu cultivo. Pequeno et al (2012) expõem que em comparativo com a oleaginosa mais comumente utilizada para a produção de biodiesel – a soja – o cultivo desses seres vivos não compromete áreas de plantios para alimentação humana e não seguem um regime de safra. Sob condições favoráveis ao crescimento, Cardoso (2012) cita que a produção estimada de biodiesel a partir do óleo da alga poderia se situar entre 7,7 mil e 23 mil litros por hectare. Assim, De Holanda et al (2009) menciona a *Nannochloropsis oculata* e *Chlorella vulgaris*, como exemplos de algas com alta produção, cujo período de duplicação da biomassa varia de 4 a 24 horas.

2.2 Produtividade e Teor de lipídeos

As microalgas apresentam-se como uma excelente fonte para a obtenção de biodiesel. Deste modo, Pequeno et al (2012) explica que elas conseguem produzir uma maior quantidade de matéria graxa comparado à vegetais como canola, soja, palma, girassol. A Tabela 1 mostra o rendimento da extração de óleo de diversas oleaginosas e de microalgas.

Tabela 1 – Rendimento da extração de óleo

Rendimento de óleo t/ha x ano	
Mamona	0,5-1,0
Soja	0,2-0,6
Girassol	0,5-1,5
Canola	0,5-0,9
Pinhão manso	2,-3,0
Óleo de palma (dendê)	3,0-6,0
Microalgas	50-100

Fonte: Pequeno et al, 2012

Cardoso et al (2011) e Gama et al (2010) informam que o teor lipídico da biomassa pode variar entre 1 e 70%, ainda assim, muitas espécies podem ser induzidas ao acúmulo de lipídeos por meio de condições otimizadas, como o controle do nível de nitrogênio, intensidade luminosa, temperatura, salinidade, concentração de CO₂ e procedimento de colheita. Segundo Mata et al (2009), em alguns casos, o conteúdo de óleo em microalgas pode atingir 75% em peso em relação à biomassa seca, mas associado com baixa produtividade, como em *Botryococcus braunii*, por exemplo, enquanto que algas mais comuns (*Chlorella*, *Cryptocodinium*, *Cylindrotheca*, *Dunaliella*, *Isochrysis*, *Nannochloris*, *Nannochloropsis*, *Neochloris*, *Nitzschia*, *Phaeodactylum*, *Porphyridium*, *Schizochytrium*, *Tetraselmis*) têm níveis de óleo entre 20% e 50%.

O conteúdo de ácido graxos presentes nas microalgas pode variar de acordo com as condições de cultura. Balat (2011) e Hu et al (2008) informam que em boa parte das espécies, os ácidos são saturados, monoinsaturados, e em certos casos, poliinsaturados, observando-se a seguinte proporção: ácido oléico (36%), ácido palmítico (15%), ácido esteárico (11%) e ácido linoléico (7,4%).

3. BIODIESEL DE MICROALGAS

Na obtenção do biodiesel de microalgas, após a seleção de espécies e cultivo, tem-se o processamento, que inclui separação e secagem a fim de que se possam extrair os lipídeos presentes na biomassa, conforme esquematizado na Figura 1.

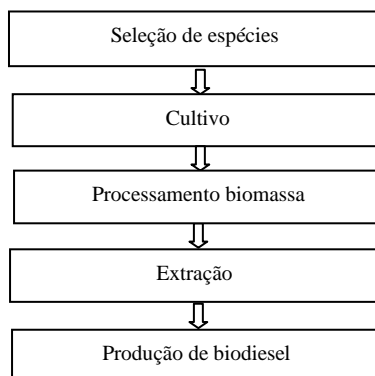


Figura 1 – Cadeia de produção do biodiesel de microalgas

Fonte: adaptado de Mata et al, 2009

3.1 Seleção, cultivo e processamento da biomassa

A seleção de cepas é um importante passo para o êxito global da produção de biodiesel a partir das microalgas. Assim, Mata et al (2009) explica que a estirpe ideal deverá apresentar (1) uma boa taxa de crescimento, (2) resistência a mudanças de condições ambientais, (3) produtividade elevada de lipídios, (4) facilidade de separação de biomassa e processamento, (5) possibilidade de obtenção de subprodutos de interesse industrial.

As espécies podem ser levadas ao acúmulo de ácidos graxos, e nessa perspectiva, Kowalski (2010) informa que muitos pesquisadores e produtores comerciais vêm desenvolvendo diversas tecnologias de cultivo utilizadas para produção de biomassa de microalgas. Esses sistemas de produção podem ser divididos em dois grupos: os de lagoa a céu aberto e o cultivo em fotobiorreatores fechados.

Conforme Macías-Sánchez et al (2009), os sistemas de cultura a céu aberto, também denominado raceway ponds, consistem em tanques abertos ao ar livre que utilizam a luz do sol e nos quais a cultura é mantida em circulação por pás mecânicas até atingir a densidade pretendida. Pequeno et al (2012) cita que esse tipo de produção tem sido usado desde a década de 1950. De Holanda et al (2011) também informa, que atualmente esse é o tipo de sistema mais utilizado devido aos menores custos de construção e operacionais uma vez que os materiais utilizados para construir as paredes e o fundo de um tanque aberto podem variar de areia simples ou barro, a tijolos ou cimento, cloreto de polivinilo, fibra de vidro ou poliuretano, o que os tornam relativamente econômicos e de fácil limpeza após o cultivo. Apesar da facilidade de construção e operação quando comparado aos sistemas fechados, Derner et al (2006) informa que as limitações em tanques incluem, principalmente, as perdas por evaporação, difusão de CO₂ para a atmosfera, contaminação e exigência de grandes áreas de terra.

Chist (2007) define um fotobiorreator fechado como uma série de tubos transparentes geralmente feitos de plásticos ou vidros, em formato de espiral ou alinhados, atuando como coletores solares e que permitem que o fornecimento de luz, nutrientes, dióxido de carbono do ar e temperatura possam ser regulados, impedindo ou pelo menos minimizando a contaminação (de outras espécies de algas e insetos), facilitando assim o cultivo de uma cepa de algas. Pequeno et al (2012) ainda informa que apesar do cultivo de algas em fotobiorreatores se sobrepõe quanto a produtividade volumétrica (8 vezes mais alto) e a concentração celular (aproximadamente 16 vezes mais alto), as principais

limitações de um fotobiorreator incluem o superaquecimento, entupimento, a acumulação de oxigênio, o alto preço de instalação, funcionamento e manutenção do cultivo da biomassa algácea, além da baixa produtividade por área.

Segundo Cardoso et al (2011) e Kowalski (2010), a remoção de água e obtenção de biomassa é feita por um processo de separação sólido-líquido que incluem a sedimentação, centrifugação, filtração, ultra-filtração, às vezes com uma etapa adicional de floculação ou uma combinação de flotação com floculação, na secagem por sua vez, destacam-se a secagem por spray (pulverização da amostra em uma câmara submetida a uma corrente de ar quente), tambor de secagem (transferência de calor para a amostra através das paredes internas do cilindro do tambor), liofilização (congelamento da amostra e remoção da umidade por sublimação) e secagem ao sol, sendo essa última a mais utilizada uma vez que a secagem por spray e a liofilização não são economicamente aplicáveis.

3.2 Extração de óleo e obtenção do biodiesel

A extração do óleo de microalgas é um dos processos que pode determinar a sustentabilidade do biodiesel de microalgas em virtude do elevado custo financeiro. Em geral, os métodos de extração abrangem duas classificações: os métodos mecânicos (prensagem e extração por ultrassom) e os métodos químicos (extração por hexano e métodos dos fluidos críticos).

A prensagem, método simples e popular, extrai até 75% do óleo de algas. Na extração por solventes, Kowalski (2010) expõe que podem ser empregados o benzeno, éter etílico e hexano, sendo que a utilização deste último combinado com o método mecânico citado acima extrai até 95% do óleo das algas. Silva et al (2007) informa que o método de fluidos supercríticos remove acima de 90% do óleo das algas. No processo em questão, o dióxido de carbono age como um fluido supercrítico quando a substância é prensada e aquecida para mudar sua composição tanto para líquido quanto para gás; o dióxido de carbono é misturado às algas e quando combinados, o CO₂ transforma totalmente a alga em óleo.

Segundo Mata et al (2009), a aplicação de técnicas de ultrassom e dos fluidos críticos constituem métodos de extração que reduzem o volume de solvente e o tempo de extração. Esse também é um fator importante na escolha do método de extração, pois o maior rendimento em menor tempo minimiza possíveis impactos ambientais. Conforme Dantas (2010), estudos realizados comprovam a eficiência do processo de extração por ultrassom; testes com a microalga *Scenedesmus subspicatus* e com a *Chlorella pyrenoidosa* evidenciam que na utilização do método é possível a extração de óleo utilizando diferentes solventes, (metanol, etanol e hexano).

O biodiesel é obtido numa reação de transesterificação de triglicerídeos, como mostrado na Figura 4. A qualidade do biodiesel bem como suas propriedades dependem das características dos ácidos graxos que compõem a cadeia do triglicerídeo e que deu origem à mistura de alquilésteres. De acordo com Miao e Wu (2006), a catálise alcalina não é a mais adequada para o processo de transesterificação do óleo de microalgas devido a acidez elevada do óleo, sendo, portanto, a catálise ácida (ácido sulfúrico) a mais relevante para o processo.

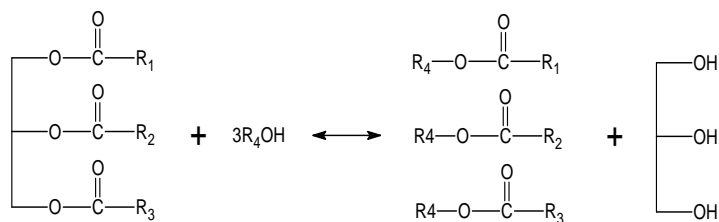


Figura 4 – Reação de Transesterificação

O preço da matéria prima para produção de biodiesel tem influência direta no custo final do combustível, assim Jr. Carvalho (2009) informa que cerca de 70-80% do custo do combustível estão relacionados com os gastos envolvidos no processamento da biomassa. A redução dos custos de produção obtidos por meio da simplificação da obtenção do óleo como a transesterificação *in situ* que segundo Gama (2010), consiste na transesterificação direta de sementes como fonte de triacilgliceróis, ao invés do uso de óleos refinados pelos processos convencionais, eliminando as etapas de extração e refino do óleo, tornando o processo economicamente mais vantajoso.

4. VIABILIDADE DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL DE MICROALGAS

A viabilidade econômica da produção de biodiesel de microalgas depende da diminuição dos custos de produção. Do ponto de vista de Balat (2011), de forma técnica, a produção de biodiesel é viável, no entanto, em termos financeiros, encontra certos entraves, uma vez que seu custo pode ser mais elevado que a produção de diesel de petróleo.

O investimento no desenvolvimento de tecnologias em culturas de algas para a produção de biodiesel é necessário para que o processo em si torne-se economicamente atrativo. Khan (2009) e Miao e Wu (2006) sugerem como principais estratégias a identificação de espécies de algas com um teor de óleo elevado, o desenvolvimento de fotobioreatores que permitem a cultura em larga escala ou até mesmo a utilização de uma biorefinaria, que semelhantemente a uma refinaria de petróleo, fará uso de todos os componentes da biomassa, como por exemplo, o aproveitamento da biomassa residual da produção de biodiesel para a alimentação de animais e após a digestão anaeróbica, a obtenção de fertilizantes.

Kowalski (2010) em seu estudo da viabilidade econômica realizado em Paranaguá, Paraná, por meio de simulações a cerca da produção do biodiesel de *Dunaliella Salina*, a partir do cultivo familiar e levando em consideração um modelo que vem sendo desenvolvido por pesquisadores no Brasil, denominado BBA - Bombeamento por Borbulhamento de Ar - mostrou que a produção de biodiesel é viável em situações com e sem subsídio financeiro, quando, em uma cooperativa, se comercializa farelo de microalgas e a glicerina. O sistema BBA é composto por um aquário de acrílico, um projeto de iluminação, posicionado acima do aquário, outro de controle de temperatura do meio e bomba de injeção de ar, onde o meio de cultura é vigorosamente agitado de modo rotacional garantindo uma melhor distribuição da luz e aumento da produtividade da biomassa além de ser observado um aumento de até 2,7 vezes da produção de biomassa de microalgas.

5. CONCLUSÃO

As microalgas exibem-se como fontes promissoras para a produção de biodiesel uma vez que apresentam um rápido crescimento e produção de grande quantidade de óleo e necessitam de menores áreas de cultivos, além de não competirem com a agricultura e consumir grandes quantidades de gás carbônico.

A seleção de espécies adequadas associada às tecnologias de cultivo contribuem para uma boa produtividade de biomassa. A extração de óleo por sua vez, é um dos processos que pode contribuir para a elevação do custo final do biodiesel, assim é determinante a escolha de um método no qual se possa extrair uma considerável quantidade de óleo.

Apesar de tecnicamente viável, os elevados custos associados ao processamento da biomassa para produção do biodiesel conformam-se como o ponto mais discutível do processo. Assim, o estímulo à produção por meio de financiamentos e a comercialização dos subprodutos são práticas necessárias para que o biodiesel de microalgas torne-se economicamente atrativo. Em suma, ao considerar a necessidade de diminuição da dependência de petróleo e de práticas salutares ao meio ambiente, a produção de biodiesel a partir de óleo de microalgas apresenta-se como uma solução viável na busca por fontes alternativas de energia.

6. REFERÊNCIAS

BALAT, M. Potential alternatives to edible oils for biodiesel production – A review of current work. **Energy Conversion and Management**. Turquia, v. 52, p. 1479–1492, Feb. 2011.

BROWN L. M.; ZEILER, K. G. Aquatic biomass and carbon dioxide trapping. **Energy Conversion and Management**, Grã-Bretanha, v. 34, 1005-13, Nov. 1993.

CARDOSO, A. S.; VIEIRA, G. E. G.; MARQUES, A. K. O uso de microalgas para a obtenção de biocombustíveis. **Revista brasileira de Biociências**, Porto Alegre, v. 9, n. 4, p. 542-549, Dez. 2011

CARDOSO, A. S. **Avaliação do potencial das microalgas residuais como uma alternativa à cadeia produtiva do biodiesel**. Tocantins, 2012. Acessado em: Março de 2012. Disponível na internet: http://www.cnpq.br/premios/2010/pjc/docs/3lugar_superior.pdf

CHIST, Y. Biodiesel from microalgae. **Biotechnology Advances**, Nova Zelândia, v. 25, p. 294-306, Feb. 2007.

CUNHA, D. C.; CREXI, V. T.; PINTO, L. A. A. **Winterização de óleo de pescado via solvente**. Ciência e Tecnologia de Alimentos, Campinas, v.29, n. 1, pp. 207-213, Jan. 2009.

DANTAS, D. M.; DRUMMOND, A. R. F.; SANTOS, L. B. G.; SANTOS, F. K.; BEZERRA, R. S.; GALVÁREZ, A. O. Extração de óleo de microalga utilizando ultrassom com diferentes solventes visando a produção de biodiesel. In: IV Congresso Brasileiro de Mamona e I Simpósio Internacional de Oleaginosas Energéticas, 2010. p. 1900-1904. **Anais...** Campina Grande, 2010.

DE HOLANDA, L. R.; RAMOS, F. S.; MEDEIROS, E. R. C.; SANTOS, J. D. **O cultivo de microalgas para a geração de eletricidade**. VII Congresso Nacional de Excelência em Gestão, São Domingos, Brasil, Agos. 2011.

DERNER, R. B.; OHSE, S.; VILLELA, M.; CARVALHO, S. M.; FETT, R. Microalgas, produtos e aplicações. **Ciência Rural**, Florianópolis, v.36, n.6, p.1959-1967, Dez. 2006.

D'OCA, M. G. M.; FARIAS, S. P.; LEMÕES, J. S.; ALVES SOBRINHO, R. C. M. Extração de óleo da microalga *Chlorella pyrenoidosa* visando à produção de biodiesel. In: XVI Encontro de Química da Região Sul, **Anais...**Rio Grande, Jan. 2008.

GALVÃO, R. M.; SANTANA, T. S.; FONTES, C. H. O.; SALES, E. A. Estudo da Taxa de Crescimento de Microorganismos e Proposta de Modelo para Produção de Biomassa de *Haematococcus pluvialis*. In: III International Workshop Advances in Cleaner Production, São Paulo, Brasil, Maio. 2011. Disponível em: http://www.advancesincleanerproduction.net/third/files/sessoes/5A/3/Galvao_RM%20-%20Paper%20-%205A3.pdf. Acesso em Março de 2012.

GAMA, P. E.; GIL, R. A. S.; LACHTER, E. R. Produção de biodiesel através de transesterificação in situ de sementes de girassol via catálise homogênea e heterogênea. **Química Nova**. Rio de Janeiro, V.33, n. 9, p. 1859-1862, Set., 2010.

HUANG, G.; CHEN, F.; WEI, D.; ZHANG, X.; CHEN, G. Biodiesel production by microalgal biotechnology. **Applied Energy**, China, v.87, pp.38-46, Jan. 2010.

HU, Q.; SOMMERFELD, M.; JARVIS, E.; GUIRARDI, M.; POSEWITZ, M.; SEIBERT, M.; DARZINS, A. Microalgal triacylglycerols as feedstocks for biofuel production: perspectives and advances. **The Plant Journal**, USA, v.54, pp.621-639, Jan. 2008.

JR. CARVALHO, R.M. **Desenvolvimento e análise energética do processo de obtenção do biodiesel de microalga por metanólise in situ**. Dissertação (Mestrado em Engenharia). Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2010.

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

KOWALSKI, S. C. **Análise da viabilidade técnica econômica do cultivo de microalgas para produção de biodiesel estudo de caso Paranaguá**. Dissertação (Mestrado em Tecnologia). Universidade Federal do Paraná, Instituto de Engenharia do Paraná, Curitiba, 2010.

LÔBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. **Química Nova**, Salvador, v. 32, v. 6, p.1596-1608, Jul. 2009.

LOURENÇO, S. O.; CAMPOS, V. B.; BARABARINO, E. Crescimento e composição química de dez espécies de microalgas marinhas em cultivos estanques. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 40, n. 2, p. 339-347, Fev, 2010.

MACÍAS-SÁNCHEZ, C. MANTELL, M. R, E.; DE LA OSSAA, M.; LUBIÁN, L.M.; MONTERO, B. O. Comparison of supercritical fluid and ultrasound-assisted extraction of carotenoids and chlorophyll a from *Dunaliella salina* **Talanta**, Espanha, v.77, p.948-952, Jul. 2009.

MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; CAETANO, N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, Portugal, v. 14, pp. 217-232, May. 2009.

MATOS, L. J. B. L; CAVALCANTE JÚNIOR, C. J.; FERNANDES, F. A. N. Utilização de vários métodos de extração de óleo da microalga *Chlorella vulgaris* assistida por ultrassom. In: VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química. **Anais...** Uberlândia, Brasil, Jul. 2009.

MIAO, X.; WU, Q. Production of biodiesel from heterotrophic microalgal oil. **Bioresource Technology**, China, v.97, pp. 841–846, Jun. 2006

PEQUENO, M. A. G.; SOARES, A. T.; SASSI, K. K. B.; SILVA, D. D.; SOUZA, A. G. Avaliação do potencial do óleo da microalga cultivada *chlorella sp.* por cromatografia gasosa. **Revista Analytica**, Paraíba v.57, Fev. 2012.

SILVA, P. R. F.; FREITAS, T. F. S. Biodiesel: o ônus e o bônus de produzir combustível. **Ciência Rural**, Porto Alegre, v.38, n.3, p.843-851, Jun. 2008.

SILVA, E. P.R.; PETRIS, G.C.;PEREIRA, L.F.C.A. **Tutorial sobre Energias Alternativas**. Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2007. Acessado em Março 2012. Disponível em: <http://www.telecom.uff.br/pet/petws/downloads/tutoriais/energias/TutPetTeleFontesAlts.pdf>