

ANÁLISE DE ASPECTOS GERAIS, ECOLÓGICOS E SÓCIO-ECONÔMICOS DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE MICROALGAS A PARTIR DE LEVANTAMENTO BIBLIOGRÁFICO

ANALYSIS OF GENERAL, ECOLOGICAL AND SOCIO-ECONOMIC PRODUCTION OF BIODIESEL FROM MICROALGAE BIBLIOGRAPHIC

STELLA REGINA R. MEDEIROS

Mestrando do Programa de Eng. Petróleo e Gas. Universidade Potiguar.
E-mail: stella.medeiros@ifrn.edu.br

ALANDERSON RAFAEL S. MEDEIROS

Mestrando do Programa de Eng. Petróleo e Gas. Universidade Potiguar.
E-mail: rafael.medeiros@ifrn.edu.br

RAIMUNDO NONATO MEDEIROS JÚNIOR

Mestrando do Programa de Eng. Petróleo e Gas. Universidade Potiguar.
E-mail: nonato.junior@ifrn.edu.br

ELTHON JOHN R. MEDEIROS

Doutorado em Ciência e Engenharia de Petróleo.
Docente do Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia do Rio Grande do Norte, Brasil.
E-mail: elthon.medeiros@ifrn.edu.br

Envio em: Agosto de 2013
Aceite em: Agosto de 2013

RESUMO

A possibilidade de produzir energia renovável é um importante tópico, abordado com frequência na atualidade, devido aos impactos ambientais causados, ao longo dos anos, pelos combustíveis fósseis e as implicações determinadas por estes. Há grandes expectativas direcionadas à obtenção de energia renovável a partir de matrizes vegetais com grande potencial energético, no intuito de reduzir os impactos ecológicos e promover a prática de sustentabilidade. O presente artigo conduz uma análise de aspectos gerais, físico-químicos e ambientais, bem como a discussão da viabilidade de produção de biocombustível a partir de biomassa de microalgas. A pesquisa foi fundamentada em um levantamento bibliográfico de títulos publicados nos últimos cinco anos. Os dados obtidos esclarecem os benefícios e limitações da aplicação de microalgas como matéria-prima para síntese de biodiesel. Remontam, ainda, à importância da Engenharia Genética como um dos principais agentes facilitadores da produção, além da necessidade de empregar técnicas desenvolvidas em diferentes áreas de pesquisa, de modo conjunto, para fomentar o desempenho e a produtividade dos biocombustíveis.

Palavras-chave: Biocombustíveis. Microalgas. Impactos Ambientais. Viabilidade.

ABSTRACT

The possibility of producing renewable energy is an important topic frequently discussed nowadays because of the environmental impacts caused over the years by burning fossil fuels and its particular implications. There are great expectations directed to obtain renewable energy from vegetable matrices with huge potential energy, in order to minimize the ecological impacts and promote the practice of sustainability. The present article conducts an analysis of the general aspects, physicochemical and environmental, as well as a discussion of the viability for the production of biofuels from microalgae biomass. The research was based on a bibliographical survey of published titles in the last five years, and the data obtained clarify the benefits and limitations of the application of microalgae as raw material for the synthesis of biodiesel. Back further, the importance of genetic engineering as a major facilitator agents of production, and the need to employ developed techniques in different research areas to foster the performance and productivity of biofuels.

Keywords: Biofuel. Microalgae. Environmental Impacts. Viability.

INTRODUÇÃO

Grandes expectativas vêm sendo direcionadas ao desenvolvimento e aplicação de formas energéticas renováveis, nas suas mais diversas modalidades, com o objetivo de fortalecer a consciência e a prática da sustentabilidade. Os combustíveis fósseis, essenciais para a dinâmica atual da sociedade, apresentam limitações já evidenciadas, relacionadas ao balanço negativo, decorrente do consumo crescente e superior à capacidade de geração muito lenta e característica do petróleo; além da preocupação com as emissões nocivas e o impacto ambiental resultante.

A possibilidade de utilização de reservas com renovação cíclica surgiu como alternativa, apontando culturas vegetais para processos de conversão da biomassa em biocombustíveis. Não obstante, a viabilidade dessas iniciativas tem sido questionada, devido à baixa competitividade financeira – frente aos combustíveis fósseis – e à ótica basal do cultivo desses recursos para consumo alimentício.

Uma proposta posteriormente apresentada evidencia-se gradualmente, com potencial para equiparar-se à economicidade dos derivados de petróleo. O cultivo de microalgas para a produção de biodiesel mostra-se vantajoso em várias perspectivas, tais como, o rápido crescimento desses microrganismos que, devido à característica de microscopia, não implica em grandes extensões para sua cultura; o intenso consumo de dióxido de carbono; e a composição celular ricamente oleaginosa. Além disso, vale salientar que este modelo de cultivo não gera efeitos sobre a indústria alimentícia, pois não suscita concorrência pelos terrenos cultiváveis.

Trata-se de uma opção atraente, porém, ainda com pouca fundamentação no campo teórico e prático, sobretudo em projetos de larga escala, imprescindíveis para a determinação da funcionalidade e efetividade comercial desses combustíveis como futura substituição das escolhas tradicionais (derivados fósseis).

O plano de utilização prioritária de biocombustíveis, em detrimento dos combustíveis fósseis obtém fortalecimento progressivo em razão dos estudos e aplicações já desenvolvidos, que integram áreas distintas e inovadoras com um objetivo em comum, a otimização na obtenção do produto, com redução nos custos de investimento e manutenção, de modo que o balanço final desses biocombustíveis torne-se mais atraente e ecologicamente viável em relação àqueles adotados no presente.

Em comparação às demais opções de biocombustíveis, o biodiesel proveniente de microalgas apresenta destaque, uma vez que, além das variadas vantagens em termos ambientais, possui alta compatibilidade com as características observadas no diesel derivado do petróleo (número de cetanos, viscosidade cinemática, etc.),

com possibilidade de utilização nos motores destinados a este último, sem a necessidade de adaptações adicionais.

Neste artigo, serão apontados e discutidos projetos e iniciativas em algumas das principais áreas recentes de estudo ligadas à obtenção de biodiesel através do cultivo de microalgas, retratando o panorama e as expectativas futuras dessa importante fonte energética de cunho renovável. Foram selecionados estudos realizados nos últimos cinco anos, identificados em duas vertentes gerais: análises de viabilidade econômica e socioambiental do biodiesel proveniente de microalgas; e tecnologias inovadoras para potencializar o cultivo de microalgas. Os trabalhos encontrados foram distribuídos em cinco categorias menores para facilitar o direcionamento e a discussão dos processos e resultados: Viabilidade Ambiental; Propriedades Bioquímicas e Relações Ecológicas das Microalgas; Propriedades Físico-Químicas; Viabilidade Econômica e Operacional; e Engenharia Genética.

BIODIESEL PROVENIENTE DE MICROALGAS

O uso de biocombustíveis de primeira geração tem gerado controvérsias, principalmente, devido ao seu impacto sobre os mercados globais de alimentos, especialmente nas regiões vulneráveis da economia mundial. Isso tem motivado questionamentos pertinentes sobre o potencial desses recursos como substituição dos combustíveis fósseis, e em relação à sustentabilidade da sua produção (MOORE, 2008).

Uma nova geração de biocombustíveis ganha espaço e interesse de pesquisas. Trata-se dos fluidos combustíveis obtidos por meio do cultivo de algas, dentre eles, o biodiesel. Johnson e Wen (2009) avaliaram parâmetros no biodiesel obtido a partir do óleo da microalga *Schizochytrium limanicum*, tais como glicerol livre, conteúdo saponificável, viscosidade e material particulado. A partir dessa avaliação, os autores enfatizaram que a biomassa de algas não só é uma fonte sustentável para a produção de biodiesel, do ponto de vista socioeconômico, como, também, o produto obtido apresentou características físico-químicas semelhantes às do diesel, de acordo com as normas estabelecidas pela American Society for Testing and Materials (ASTM).

O biodiesel pode ser obtido através de processos distintos, ao exemplo do craqueamento, a esterificação ou pela transesterificação. Esta última é a mais utilizada e seus reagentes podem ser óleos vegetais, gorduras animais ou residuais com álcool. Uma catálise, que pode ser homogênea ou heterogênea, é realizada a partir de catalisadores ácidos, básicos ou neutros. Os mais comuns são os catalisadores básicos, como o hidróxido de sódio (DÂMASO, 2006).

Em comparação a outras matérias-primas oleaginosas, Carvalho Jr (2010) especifica que as principais

vantagens do uso de microalgas estão ligadas à fase de cultivo, uma vez que não são necessários fatores diretamente relacionados à alimentação humana, com possibilidade de estabelecer o cultivo – feito de modo contínuo – em terras improdutivas, como regiões desérticas, e com produtividade de óleo superior às demais formas de cultura.

Segundo Costa e Morais (2010), os ácidos graxos produzidos pelas microalgas podem ser extraídos e convertidos em biodiesel, uma alternativa energética renovável, biodegradável, não tóxica e ecologicamente aceitável. Como organismos fotossintetizantes, as algas convertem água, dióxido de carbono (CO₂) e luz em biomassa e oxigênio. Pereira et al (2011) descreve que esse cultivo fotossintético pode ser realizado em sistemas abertos, nos quais, as culturas estão expostas, favorecendo o contato direto com a atmosfera; e sistemas fechados, em que esse contato é, significativamente, limitado ou inexistente. Os principais arranjos dos reatores abertos são tanques retangulares, circulares e do tipo raceway (BOROWITZKA, 1999) e, para os fechados, os mais comuns são do tipo coluna de bolhas, air-lift e arranjos tubulares espirais (JACOB-LOPES et al, 2009).

VIABILIDADE AMBIENTAL

Em virtude da similaridade do biodiesel com as características do diesel convencional, muitos dos estudos efetuados buscam testar a viabilidade de utilização desse combustível com minimização dos danos ambientais, já bastante enfatizados para a modalidade dos originários fósseis.

Monteiro (2009) desenvolveu um estudo de caso baseado na aplicação de biodiesel em automóveis urbanos da cidade de Braga em Portugal. Os resultados mostraram que, embora o consumo energético total do biocombustível tenha atingido valores 9,5% superiores (em comparação ao abastecimento convencional), com a utilização do biodiesel, reduções relevantes ocorreram na maioria dos gases poluentes considerados. Nas emissões de CO₂ e óxidos de enxofre, as reduções foram, respectivamente, de 15% e 52%. Para CO e óxidos de nitrogênio, foram constatadas restrições de até 17% e, em relação às partículas e CH₄, as reduções correspondem a 22%. Andrade (2012), em sua análise de emissões atribuídas ao biodiesel, também aponta consideráveis diminuições, de cerca de 30% para o CO₂ e 18% para os demais gases, ainda que a energia requerida tenha sido 30% maior.

Em relação aos processos produtivos implicados na produção do biodiesel, aquele ligado à utilização de algas vem sendo confrontado a outras modalidades, objetivando medir os impactos ambientais suscitados, tal como descrito em Figueiredo (2011), que conduziu uma comparação entre os processos envolvidos na extração do biodiesel a

partir de duas culturas distintas, microalgas e girassol. Foram considerados os impactos de ciclo de vida para os dois tipos de biodiesel, utilizando métodos de avaliação de impactos ambientais. Os resultados mostram que o biodiesel de microalgas apresenta menores impactos para todas as categorias apreciadas, dentre elas, “efeito estufa”, “toxicidade humana”, “eutrofização”, “acidificação” e “ecotoxicidade de recursos freáticos e marinhos”.

Trabalhos recentes, relacionando o cultivo de microalgas e impactos ambientais, têm dedicado preocupação particular aos problemas com os extensivos recursos hídricos necessários para manutenção das algas, matéria-prima para o biodiesel. Uma solução recorrente na pesquisa acadêmica, e que se mostra bem sucedida sob diversas análises, é a reutilização de águas residuais. Park, Craggs e Shilton (2011) e Wang, Yabar e Higano (2013) discutem as vantagens e desvantagens de basear a cultura de microalgas em fontes de águas residuais, provenientes de atividades urbanas, agrícolas e industriais, com potencial para fornecer meios eficientes (com custo reduzido) e sustentáveis de crescimento de algas para biocombustíveis, além de combinar tratamento dessas águas pelos microrganismos, com a o aproveitamento dos nutrientes úteis para a produção do biodiesel.

Galindro (2012) apontou o uso do efluente do cultivo superintensivo de camarões marinhos como matéria-prima para impulsionar o crescimento de microalgas destinadas à produção de biodiesel. O estudo mostrou que a produtividade de biomassa obtida com o uso do efluente foi 17,5% superior à utilização de fertilizantes químicos.

Pittman, Dean e Osundeko (2011), em seu estudo baseado em vários relatos científicos, concluem que tecnologias atuais de cultivo de algas, isoladamente, não constituem alternativa viável para o fornecimento de energia, mas reforçam que a dupla utilização, de cultivo de microalgas e tratamento de águas residuais, é, por conseguinte, uma opção atraente, em termos de redução dos custos, emissões, e uso de insumos (fertilizantes e água doce), além do incremento na produtividade.

Estudos vêm analisando também a possibilidade de associar o cultivo de microalgas a áreas de intensa produção e emissão de dióxido de carbono (CO₂), uma vez que esse tipo de emissão pode gerar diversos inconvenientes, do ponto de vista ambiental e social. Por outro lado, este gás constitui fonte primária para os processos fotossintéticos e pesquisas na área revelam que o crescimento de biomassa, nessas condições, é superior (FIGUEIREDO, 2011).

PROPRIEDADES BIOQUÍMICAS E RELAÇÕES ECOLÓGICAS DAS MICROALGAS

Um dos fatores limitantes em relação à capacidade produtiva do biodiesel por microalgas é a taxa de crescimento

deses microrganismos, influenciada por muitas variáveis, tais como as interações com outros organismos no ambiente de cultivo. Alguns destes seres podem competir por nutrientes e prejudicar o desenvolvimento das algas de interesse, e outras variedades, por sua vez, possuem a capacidade de fomentar a distribuição das microalgas.

Chevanton et al (2013) testaram a possibilidade de incrementar o crescimento das microalgas a partir de bactérias com características capazes de influenciar positivamente a reprodução daqueles organismos. 48 espécies cultiváveis de bactérias foram isoladas de amostras de ambiente marinho com a presença de microalgas. Estudos de associação entre essas bactérias e uma espécie específica de microalga (*Dunaliella* sp.) foram conduzidos. Efeitos de inibição ou promoção do desenvolvimento foram observados em função da espécie bacteriana estudada. A remineralização orgânica de nitrogênio por *Alteromonas* sp. e *Muricauda* sp. foi apontada para explicar o aumento na incorporação de biomassa e de amônia pela *Dunaliella* sp. Estas bactérias foram consideradas facilitadoras para a absorção de nitrogênio pela *Dunaliella* sp. em condições limitadas.

A taxa de respiração e o metabolismo das algas variam de espécie para espécie, em função das respectivas composições bioquímicas e, também, das condições de cultivo, assim como ocorre com a quantidade de óleo produzido. Partindo dessa premissa, Miao e Wu (2006) estudaram o potencial lipídico da *Chlorella protothecoides* e avaliaram o cultivo da microalga em condições autotróficas e heterotróficas. Os achados mostraram que as células heterotróficas alcançaram conteúdo lipídico em torno de 55%, cerca de quatro vezes maior, frente às células autotróficas, que revelaram conteúdo 15% lipídico.

Talebi et al (2013) relataram processos de isolamento e análise de perfis lipídicos de cepas de algas obtidas a partir do Golfo Pérsico. Os critérios analisados foram o conteúdo lipídico e a produtividade de biomassa, de modo a estimar o potencial de diferentes espécies de microalgas para a produção de biodiesel. O estudo, também, destacou a relação entre as propriedades do combustível e o nível de saturação do óleo extraído. A maior produtividade volumétrica de lipídios (79,08 mg/L.dia) foi encontrada para a espécie *Chlorella vulgaris*. Com base nesses resultados de bioprospecção, os autores consideraram como a melhor abordagem, para o fomento na qualidade de biodiesel de algas, a mistura entre óleos de culturas de células distintas, ou a seleção de cepas especificamente adequadas ao clima em questão. Song et al (2013) realizaram uma iniciativa semelhante, investigando dez espécies de algas comuns em sistemas aquáticos na China. Cinco espécies de algas apresentaram maior potencial para produção de biodiesel, *Selenastrum capricornutum*, *Chlorella vulgaris*, *Scenedesmus obliquus*, *Phaeodactylum*

tricornutum e *Isochrysis sphacrica*. A melhor cepa foi *P. tricornutum*, com um teor de lipídeos de $61,43 \pm 0,95\%$, produtividade de lipídeos de 26,75 mg/L.d, bem como maior índice de cetano (55,10), menor índice de iodo (99,2 gI₂/100 g), dentre outras propriedades.

Outras linhas recentes de pesquisa buscam identificar processos e substâncias catalíticas capazes de reduzir o consumo energético total dos processos envolvidos na produção do biodiesel, aumentando a efetividade e reduzindo o tempo necessário. O Instituto de Química de São Carlos desenvolveu, entre 2006 e 2009, um projeto de obtenção e aplicação de biocatalisadores, obtidos de organismos marinhos, como fungos e algas. Os substratos utilizados foram compostos orgânicos passíveis de transformações, envolvendo reações de óxido-redução, incluindo os processos de produção de biodiesel. Os resultados revelaram que a produção de biodiesel por catálise enzimática foi promissora e as enzimas isoladas possuem alta estabilidade, com potencial para manutenção da sua atividade em até cinco ciclos de produção (ROSSET et al, 2011).

PROPRIEDADES FÍSICO-QUÍMICAS

Uma das áreas de maior sensibilidade no processo de produção do biodiesel por meio de microalgas são as propriedades físico-químicas desses organismos e dos sistemas desenhados para favorecer o seu crescimento ideal, que influenciam, também, nos custos de operação e, por conseguinte, no custo final do produto.

Wileman, Ozkan e Berberoglu (2012) realizaram medições em relação às propriedades reológicas das suspensões de microalgas como uma função da concentração de biomassa. Iniciativas dessa linha podem utilizar conhecimentos na área da mecânica dos fluidos para embasar a indicação de espécies que favoreçam a facilitação e o controle de fluxo da suspensão, por exemplo, em fotobiorreatores. Os microrganismos analisados nesse estudo foram *Nannochloris* sp., *Chlorella vulgaris*, e *Phaeodactylum tricornutum*. Os autores mostraram que, em concentrações de biomassa inferiores a 20 kg/m³, todas as suspensões exibiram um comportamento de fluido newtoniano, com menos de 30% de aumento na viscosidade efetiva. No entanto, em concentrações de biomassa superior a 60 kg/m³, as suspensões das algas verdes, *Nannochloris* sp. e *C. vulgaris*, exibiram cisalhamento e comportamento não-newtoniano, diferentemente da diatomácea *P. tricornutum*, que se comportou como um fluido newtoniano até 80 kg/m³.

A absorção de luz pelos organismos fotossintetizantes é um dos temas essenciais na concepção e desenvolvimento de sistemas e estruturas viáveis para cultura de microalgas em larga escala. Os esforços nessa área se

dividem em duas buscas que coincidem em finalidade, a otimização da exposição à luz e o estudo dos mecanismos e espectros de absorção pelas algas.

Simionato *et al* (2013) discutem a radiação (luz) como uma das melhores oportunidades de otimizar a produtividade do biodiesel proveniente de microalgas e, por esta razão, conduziram uma pesquisa para revisão dos fatores que interferem na eficiência de aplicação da luz na produção de biomassa (microalgas), abordando temas como a influência da intensidade luminosa nos resultados, o aumento da eficiência de absorção por meio de engenharia genética ou turnos alternados de luz e escuridão. Várias teorias são sugeridas, entre elas, a possibilidade de uso eficiente de luzes muito intensas pelas células que crescem em um fotobiorreator, mesmo se a intensidade total for superior ao limite de saturação para determinada espécie. Turner e Scholes (2013), por sua vez, apresentaram um estudo em faixa bidimensional dos espectros de captação de luz por proteínas de algas. Os resultados desse estudo podem facilitar o mapeamento das dinâmicas de absorção e embasar o controle operacional de luz no cultivo desses organismos.

VIABILIDADE ECONÔMICA E OPERACIONAL

Os maiores entraves à adoção do biodiesel de microalgas residem na questão da economicidade do processo como um todo, analisado em função do custo final do produto oferecido, área a que muitos esforços têm sido direcionados, no intuito de minimizar os ônus e garantir a viabilidade de produção e consumo desse combustível, que se mostra como alternativa ecologicamente adequada. Segundo Demirbas, A e Demirbas, M (2011), os poucos estudos existentes nessa temática enfatizam as estimativas com base em três parâmetros: eficiência fotossintética, adoção em larga escala e cultivo em longo prazo. Eles ressaltam que o cultivo de microalgas em modalidades abertas costuma incorrer em baixa eficiência, por outro lado, a utilização de fotobiorreatores eleva os custos e, como resultado, ambas as configurações apresentam alto custo final do biodiesel (\$1.40 para o cultivo aberto e \$1.81 em fotobiorreatores), tornando-o pouco competitivo economicamente, em comparação ao diesel de origem fóssil (\$0.48).

Slade e Bauen (2013) analisaram três aspectos da produção de microalgas, que irão influenciar, intensamente, a aplicabilidade futura da produção de biocombustíveis dessa origem: o balanço energético e de carbono, impactos ambientais e custos de produção. Concluíram que, para se atingir um balanço positivo de energia, serão necessários avanços tecnológicos e otimização dos sistemas de produção e encaram a mitigação dos impactos ambientais, em particular, a gestão da água, como oportu-

nidade e desafio, simultaneamente. Por outro lado, assinalam que o custo pode ser, significativamente, reduzido (em até 50%) se CO₂, água e nutrientes forem obtidos a baixo custo, o que remonta à discussão anterior, relativa às vantagens do reuso de fontes residuais de água e da instalação das áreas de cultivo em associação a indústrias com altos índices de emissões de dióxido de carbono.

Uma discussão acerca dos benefícios e dificuldades na produção em larga escala do biodiesel de microalgas foi dirigida por Rawat *et al* (2013). Uma reflexão foi tecida, abordando diversos pontos ligados ao tema, como a seleção das microalgas, marinhas ou de água doce, a origem das culturas e a viabilidade das cepas; a determinação do uso ou não de linhagens submetidas a estressores para o aumento na produtividade de lipídios; além de considerar as interações sinérgicas que ocorrem naturalmente entre algas e outros microrganismos. Considerações relativas ao melhor modelo de cultivo (modalidades abertas e fechadas) também estão delineadas neste estudo, apontando que a maioria das empresas pesquisadas utilizam sistemas fechados (52%), e as demais, tanques abertos (26%) e configurações naturais (22%). Soares *et al* (2011), em seu estudo, analisa, em profundidade, as variáveis que podem influenciar cada configuração de cultivo de microalgas, apontando vantagens e desvantagens em cada uma.

Abordagens críticas e concernentes ao panorama presente da produção de biodiesel em grandes proporções foram realizadas, também, por Singh e Gu (2010); Alam *et al* (2012) e Mata, Martins e Caetano (2010), com apontamentos semelhantes, ou seja, a viabilidade econômica do processo depende da minimização do custo operacional e de manutenção, além da maximização da produção de microalgas. Carmo (2012) ressalta, ainda, que a aquisição da cultura e a extração somam mais de 90% do custo total de obtenção do biodiesel, e que o custo final é bastante superior ao valor de mercado, indicando, como formas de diminuir o custo de produção, a otimização dos níveis de solvente aplicado, bem como métodos mais eficientes de processamento. Gao *et al* (2012) apontam, ainda, como alternativa viável para redução dos altos custos referidos para a produção do biodiesel, o reaproveitamento dos resíduos da biomassa oriunda das microalgas, como fonte de nutrientes para fermentação em diferentes vias.

ENGENHARIA GENÉTICA

Assim como em várias outras áreas de conhecimento e pesquisa, a Engenharia Genética constitui uma excelente proposta e apresenta meios para aumentar a eficiência técnico-econômica do biodiesel, alterando propriedades diversas (biológicas, físico-químicas, etc.). Gazzoni (2013) refere-se a técnicas de engenharia

metabólica aplicadas em *C. reinhardtii*, em que vários genes foram superexpressados, silenciados ou tiveram reduzida a expressão da característica comandada pelo gene, frisando que o uso mais extensivo destas técnicas laboratoriais permitirá desenvolver e aprimorar processos de produção em massa de microalgas, com espécies melhoradas e maior produtividade.

Losi e Gärtner (2008) descrevem estudos sobre a fotomorfogênese e a detecção da “luz azul” pelas algas, apontando a importância dessa faixa do espectro luminoso no aumento da eficiência fotossintética e na determinação dos ritmos circadianos, dentre outros quesitos. Em associação, comentam propostas futuras de atuação por meio de ativação e desativação de genes com influência sobre as reações induzidas por luz azul.

Antunes e Silva (2010) conduziram uma revisão bibliográfica acerca de temas ligados à Engenharia Genética, com enfoque para microalgas e biocombustíveis, definindo conceitos e esclarecendo métodos e objetivos das técnicas atualmente aplicadas. Listaram, também, as espécies cujo genoma obteve mapeamento completo e aquelas

para as quais o processo permanece em andamento.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar do número limitado de estudos e iniciativas empenhados em desenvolver e alçar o uso de microalgas para a produção do biodiesel é possível divisar uma gradual evolução, com soluções práticas e tecnologias facilitadoras, que podem vir a consolidar a técnica em questão. Um dos grandes problemas apontados em relação ao tema reside no balanço energético e econômico. Por outro lado, pesquisas inovadoras vêm abrindo caminho, também, nesse importante quesito, com alternativas, ao mesmo tempo, economicamente positivas e ecologicamente sustentáveis. Uma das principais considerações destacadas pela reunião dos diversos títulos apresentados neste artigo é a importância de entrelaçar áreas distintas de conhecimento e pesquisa em favor de um mesmo objetivo, de modo a acelerar e aumentar a eficiência dos projetos, por meio de designações multidisciplinares e, porquanto, com embasamento ainda mais sólido.

REFERÊNCIAS

- ALAM, F. et al. Biofuel from algae- Is it a viable alternative?. **Procedia Engineering**, v. 49, p. 221 – 227, 2012.
- ANDRADE, T. M. S. **Comparação de Metodologias para Análise de Ciclo de Vida do Biodiesel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.
- ANTUNES, R; SILVA, I. C. **Utilização de algas para a produção de biocombustíveis**. Instituto Nacional da Propriedade Industrial – INPI, 2010.
- BOROWITZKA, M. A. Commercial production of microalgae: ponds, tanks, tubes and fermenters. **J. Biotechnol**, v. 70, p. 313–321, 1999.
- CARMO, M. P. S. **Biodiesel de microalgas: Balanço energético e econômico**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)- Universidade de Aveiro, Aveiro, 2012.
- CARVALHO JR, 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.
- COSTA, J. A. V; MORAIS, M. G. The role of biochemical engineering in the production of biofuels from microalgae. **Bioresource Technology**. V. 102, p. 2-9, 2011.
- DÂMASO, M. S. **Biodiesel e o ecossistema: educação ambiental no ensino médio**. Monografia (Graduação em Licenciatura em Química). Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2006.
- DEMIRBAS, A.; DEMIRBAS, M. F. Importance of algae oil as a source of biodiesel. **Energy Conversion and Management**, v. 52, p. 163–170, 2011.
- FIGUEIREDO, F. D. F. **Biodiesel de girassol ou microalgas em Portugal: Uma avaliação comparativa de ciclo de vida**. Dissertação (Mestrado em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Tecnologia e Gestão do Ambiente)- Faculdade de Ciências e Tecnologias. Universidade de Coimbra, Coimbra, 2011.
- GALINDRO, B. M. **Análise técnica e avaliação do ciclo de vida de culturas de produção de microalgas para biodiesel**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental)- Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.
- GAO, M.; SHIMAMURA, T.; ISHIDA, N., TAKAHASHI, H. Investigation of utilization of the algal biomass residue after oil extraction to lower the total production cost of biodiesel. **Journal of Bioscience and Bioengineering**, v. 114, n. 3, p.

330-333, set. 2012.

GAZZONI, D. L. **Os desafios do biodiesel de algas. Biocombustíveis para aviação.** 2013. Disponível em: <<http://www.gazzoni.eng.br/pagina40.htm>>. Acesso em: 14 ago. 2013.

JACOB-LOPES, E. et al Development of operational strategies to remove carbon dioxide in photobioreactors. **Chemical Engineering Journal**, v. 153, p. 120-126, 2009.

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.

LE CHEVANTON, M. et al. Screening and selection of growth-promoting bacteria for *Dunaliella* cultures. **Algal Research**, v. 2, p. 212-222, 2013.

LOSI, A.; GÄRTNER, W. Shedding (blue) light on algal gene expression. **PNAS**, v. 105, n. 1, p. 7-8, 2008.

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, p. 217-232, 2010.

MIAO, X; WU, Q. Biodiesel production from heterotrophic microalgal oil. **Bioresource Technology**, v. 97, n. 6, p. 841-6, 2006.

MONTEIRO, R. T. T. **Análise de Ciclo de Vida do Biodiesel** – Aplicação à Realidade Nacional. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica). Universidade de Aveiro, Aveiro, 2009.

MOORE, A. Biofuels are dead: long live biofuels(?)—part one. **New Biotechnology**, v. 25, n. 1, p. 6-12, 2008.

PARK, J. B. K.; CRAGGS, R. J.; SHILTON, A. N. Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 35-42, 2011.

PEREIRA, C. M. P. et al. Biodiesel Renovável Derivado de Microalgas: Avanços e Perspectivas Tecnológicas. **Quim. Nova**, v. 35, n. 10, p. 2013-2018, 2012.

PITTMAN, J. K.; DEAN, A. P.; OSUNDEKO, O. The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. **Bioresource Technology**, v. 102, p. 17-25, 2011.

RAWAT, I.; KUMAR, R. R.; MUTANDA, T.; BUX, F. Biodiesel from microalgae: A critical evaluation from laboratory to large scale production. **Applied Energy**, v. 103, p. 444-467, 2013.

ROSSET, I. G.; TAVARES, M. C. H.; ASSAF, E. M.; PORTO, A. L. M. Catalytic ethanolysis of soybean oil with immobilized lipase from *Candida antarctica* and ¹H NMR and GC quantification of the ethyl esters (biodiesel) produced. **Applied Catalysis A: General**, v. 392, p. 136-142, 2011.

SIMIONATO, D. et al. Optimization of light use efficiency for biofuel production in algae. **Biophysical Chemistry**, 2013.

SINGH, J.; GU, S. Commercialization potential of microalgae for biofuels production. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p. 2596-2610, 2010.

SLADE, R.; BAUEN, A. Micro-algae cultivation for biofuels: Cost, energy balance, environmental impacts and future prospects. **Biomass and Bioenergy**. v. 53, p. 29-38, 2013.

SOARES, A. V-H et al. Técnicas de crescimento da microalga *Dunaliella salina* para produção de biodiesel e separação de óleo e biomassa produzidos no processo. **ENGEVISTA**, v. 13, n. 2. p. 102-110, 2011.

SONG, M.; PEI, H.; HU, W.; MA, G. Evaluation of the potential of 10 microalgal strains for biodiesel production. **Bioresource Technology**, v. 141, p. 245-251, 2013.

TALEBI, A. F. et al. Fatty acids profiling: A selective criterion for screening microalgae strains for biodiesel production. **Algal Research**. v. 2, p. 258-267, 2013.

TURNER, D. B.; SCHOLE, G. D. Electronic and Vibrational Coherences in Algal Light-Harvesting Proteins. **EPJ Web of Conferences**, 41, 2013.

WANG, T.; YABAR, H.; HIGANO, Y. Perspective assessment of algae-based biofuel production using recycled nutrient sources: The case of Japan. **Bioresource Technology**, v. 128, p. 688-696, 2013.

WILEMAN, A.; OZKAN, A.; BERBEROGLU H. Rheological properties of algae slurries for minimizing harvesting energy requirements in biofuel production. **Bioresource Technology**, v. 104, p. 432-439, 2012.