



**PANORAMA ATUAL SOBRE O BIODIESEL NO BRASIL E O  
APROVEITAMENTO DE MICROALGAS COMO FONTE DE MATÉRIA-PRIMA**

**CURRENT PANORAMA ON BIODIESEL IN BRAZIL AND MICROALGAS  
ADVANTAGE AS A SOURCE OF RAW MATERIAL**

*Marcus Vinícius Cavalcanti Gandolfi<sup>1</sup>*

*Adonis Coelho<sup>2</sup>*

*Marcelo Mancini<sup>3</sup>*

*Wesley Pontes<sup>4</sup>*

**RESUMO:** A adição de biodiesel ao diesel de petróleo vem crescendo em vários países, no Brasil, essa adição já é de 10%, revelando a grande importância que esse biocombustível vem conquistando no mercado nacional, logo, se faz necessário o estudo de novas matérias-primas e tecnologias para a sua produção. O objetivo desse trabalho é fornecer um panorama sobre a produção e consumo de biodiesel atualmente, bem como abordar as microalgas como matéria-prima para produção desse biocombustível. Foi realizado um estudo baseado em revisão de literatura. A demanda crescente de consumo de biodiesel vem estimulando o desenvolvimento de novas tecnologias de obtenção, nesse cenário as microalgas se tornam alternativas bem promissoras, pois além de resultarem na produção renovável de matéria graxa, também podem ser aplicadas em sistemas de tratamento de águas residuais.

**Palavras-chave:** Biodiesel; Tecnologia; Microalgas; Produção.

**ABSTRACT:** The addition of biodiesel to petroleum diesel has been growing in several countries, in Brazil, this addition is already 10%, revealing the great importance that this biofuel has been conquering in the national market, therefore, it is necessary to study new

<sup>1</sup> Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - Fatec Araçatuba

<sup>2</sup> Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - Fatec Araçatuba

<sup>3</sup> Faculdade de Tecnologia do Estado de São Paulo - Fatec Araçatuba

<sup>4</sup> Centro Universitário Toledo – UniToledo Araçatuba

raw materials and technologies for its production. The objective of this work is to provide an overview of the production and consumption of biodiesel today, as well as to approach microalgae as raw material for the production of this biofuel. A study was carried out based on literature review. The growing demand for biodiesel consumption has been stimulating the development of new procurement technologies. In this scenario, microalgae become very promising alternatives, as well as resulting in the renewable production of grease, they can also be applied in wastewater treatment systems.

**Keywords:** Biodiesel; Technology; Microalgae; Production.

## 1. INTRODUÇÃO

Foi nas décadas de 70 e 80 com a crise mundial do petróleo, que o interesse por fontes alternativas de energia surgiu como possível solução para a crise que se vivia na época, período no qual óleos vegetais e gorduras animais passaram a ser mais estudados para produção de biodiesel (DOMINGOS, 2010).

Na década de 40 no Brasil, ocorreu uma das primeiras tentativas de aproveitamento energético dos óleos e gorduras em motores à combustão interna com estudo e uso de óleos *in natura* (SUAREZ; MENEGHETTI, 2007).

Posteriormente, em resposta ao desabastecimento de petróleo ocorrido nas décadas de 70 e 80, o governo federal criou além do amplamente conhecido PROÁLCOOL, o Plano de Produção de Óleos Vegetais para Fins Carburantes (PRÓ-ÓLEO). No entanto, com a queda do preço do petróleo, este foi abandonado em 1986, mas mesmo após o fim do PRÓ-ÓLEO, as pesquisas em biodiesel continuaram sendo realizadas por pesquisadores brasileiros (GOLDEMBERG et al., 2004).

Diante ao novo aumento do petróleo a Resolução nº 7 de 19 de março de 2008, da Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), delineou a definição de biodiesel contida na Lei nº 11.097/2005 como sendo um “Combustível composto de alquil ésteres de ácidos graxos de cadeia longa, derivados de óleos vegetais ou de gorduras animais” e introduziu o biodiesel na matriz energética brasileira.

No processo de produção do biodiesel estão envolvidas as seguintes etapas: Preparação da matéria-prima, reação de transesterificação, separação das fases,

recuperação e desidratação do álcool e por fim a separação da glicerina e purificação do biodiesel.

O biodiesel é produzido através da transesterificação de acilgliceróis com álcoois ou pela esterificação de ácidos graxos com álcoois. Na reação de transesterificação, um éster é transformado em outro pela troca do grupo alcoxila por meio da reação com um álcool. A estequiometria da reação é na proporção 1:3 de óleo: álcool, respectivamente (SCHUCHARDT et al., 1998). Devido à natureza reversível da reação, o álcool é utilizado em excesso para alcançar altas taxas de rendimento (SINGH; SINGH, 2010).

Diante aos benefícios da aplicação do biodiesel na matriz energética brasileira e para atender a demanda crescente por energia é necessário que novas fontes de matéria graxa sejam aplicadas na cadeia produtiva. Desta maneira o presente trabalho de revisão bibliográfica apresenta os principais aspectos desta agroindústria instalada e em expansão no Brasil bem como os principais aspectos envolvidos no cultivo e aproveitamento do óleo produzido por microalgas. O fomento a esta nova matéria-prima se deve a elevada produção de óleo pela fotossíntese com a possibilidade de integrar o cultivo com sistemas de tratamento de águas residuais e geradores de CO<sub>2</sub>.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

O biodiesel é considerado um combustível ambientalmente correto, pois quando comparado com o diesel de petróleo apresenta relevantes vantagens. Estudos do National Biodiesel Board (NBB), associação que representa a indústria de biodiesel nos Estados Unidos da América, demonstraram que a queima de biodiesel pode emitir em média 48% menos monóxido de carbono; 47% menos material particulado e 67% menos hidrocarbonetos.

As projeções mundiais previstas para 2020 pela International Energy Agency (IEA) assinalam crescente substituição das fontes de combustível de origem fóssil pelas fontes de energia renováveis originárias de biomassa, dentre elas a cana-de-açúcar e do milho para a produção de etanol e as derivadas dos óleos vegetais de canola, soja, mamona, entre outros, para a produção de biodiesel.

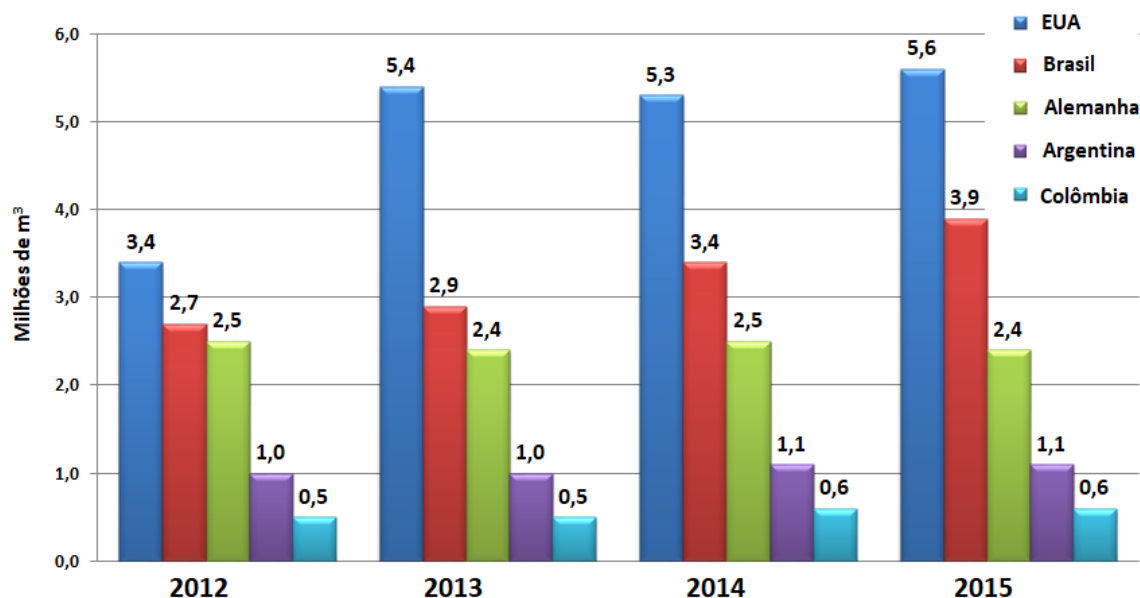
Países que integram a União Europeia (UE) e os Estados Unidos da América (EUA) e o Brasil são os maiores produtores e consumidores de biodiesel no mundo. Outros

países como Argentina, Austrália, Canadá, Filipinas, Japão, Malásia e Taiwan têm feito significativos esforços para o desenvolvimento de suas indústrias de biodiesel.

A UE, por exemplo, estabeleceu como meta até 2020, que 20% da energia consumida sejam provenientes de fontes renováveis, sendo que desse total, 10% sejam voltados especificamente para o setor de transportes, o que inclui a utilização de biocombustíveis (UNIÃO EUROPEIA, 2009a; 2009b; 1995).

De acordo com a NBB, nos EUA, Minnesota estabeleceu a adição de 2% de biodiesel ao diesel de petróleo. Porém a liderança é de Illinois, por ter políticas de incentivo mais bem definidas, enquanto que a Califórnia já possui 20% de sua matriz energética composta por biodiesel e etanol tendo como meta chegar a 40% até 2020 e 75% até 2050. A principal matéria-prima utilizada é a soja, complementada com óleos de fritura usados (DOMINGOS, 2010).

A importância crescente do biodiesel no cenário internacional pode ser ilustrado pelo Gráfico 1, que mostra a evolução do consumo de biodiesel, em milhões de metros cúbicos, comparativamente, entre os EUA, Brasil, Alemanha, Argentina e Colômbia entre os anos de 2012 a 2015.

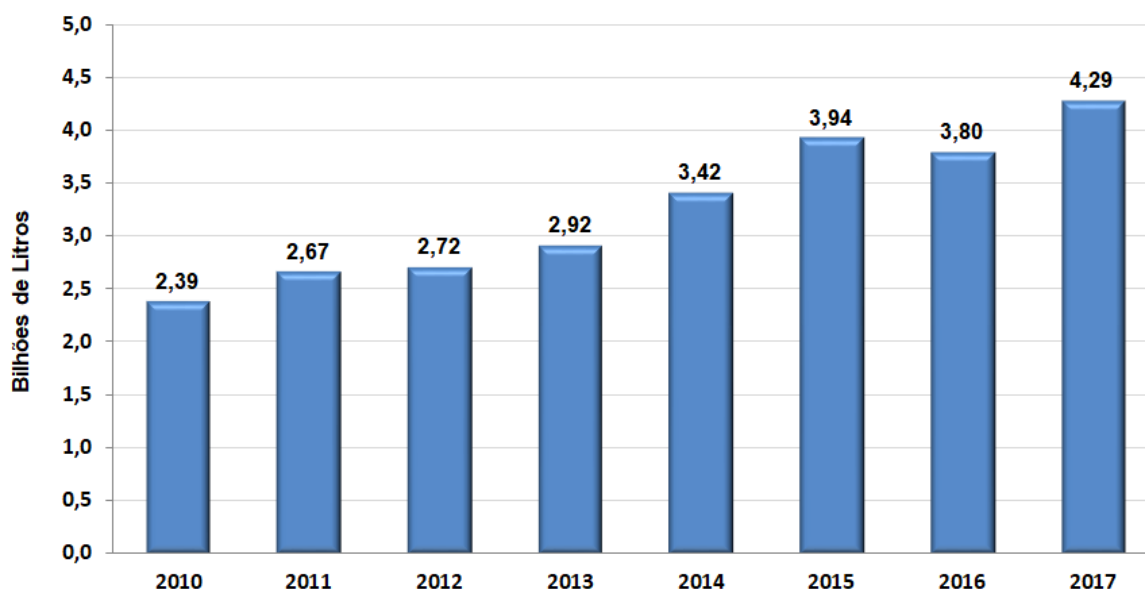


**Gráfico 1.** Evolução anual do consumo de biodiesel entre 2012 e 2015 dos EUA, Brasil, Alemanha, Argentina e Colômbia, em milhões de m<sup>3</sup>. (Adaptado de Brasil, 2016).

A contínua elevação do percentual de adição de biodiesel ao diesel demonstra o sucesso do Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel e da experiência

acumulada pelo Brasil na produção e no uso em larga escala de biocombustíveis (ANP, 2016).

A adição gradual de biodiesel adicionado como aditivo no diesel fóssil comercializado visa garantir a qualidade e reduzir os custos produtivos do biocombustível. Deste modo o aumento gradual da produção de biodiesel nas 48 unidades em operações que resultaram na produção de 4,29 bilhões de litros em 2017 conforme apresentado no Gráfico 2. Deste modo o Brasil é o segundo maior produtor mundial de biodiesel e desfruta dos benefícios sociais, econômicos e ambientais da grande contribuição de fontes renováveis em sua matriz energética.



**Gráfico 2.** Evolução da produção de biodiesel (B100) – 2010-2017 (Adaptado de ANP/SPD, 2018).

Todos os óleos vegetais enquadrados na categoria de óleos fixos (os que nunca se evaporam ou volatilizam completamente) ou triglicerídeos podem ser transformados em biodiesel. Dentre as fontes para extração de óleo vegetal que podem ser utilizadas, as principais são as plantas oleaginosas, como a soja, mamona, palma, pinhão manso, amêndoa do coco de babaçu, semente de girassol, caroço de algodão, grão de amendoim, semente de canola, semente de maracujá, polpa de abacate, caroço de oiticica e semente de linhaça.

As principais matérias-primas utilizadas no Brasil para produção de biodiesel encontram-se na Tabela 1. O óleo de soja e a gordura bovina correspondem a mais de 95% do total em relação à produção de 2016.

**Tabela 1.** Matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel (B100) no Brasil – 2009 a 2014.

Matérias-Primas	Produção de Biodiesel (B100) - (m <sup>3</sup> x 1000)					
	2011	2012	2013	2014	2015	2016
Óleo de Soja	2.171	2.105	2.231	2.626	3.061	3.021
Gordura Animal*	359	458	578	676	739	622
Óleo de Algodão	98	117	64	77	79	40
Outros Materiais Graxos**	45	40	47	37	60	134
<b>Total</b>	<b>2.673</b>	<b>2.720</b>	<b>2.921</b>	<b>3.415</b>	<b>3.939</b>	<b>3.817</b>

\*Inclui gordura bovina, gordura de frango e gordura de porco.

\*\*Inclui óleo de palma, óleo de amendoim, óleo de nabo-forrageiro, óleo de girassol, óleo de mamona, óleo de sésamo, óleo de canola, óleo de fritura usado e outros materiais graxos.

Fonte: Adaptado de ANP/SPD (2018), conforme Resolução ANP nº 17/2004.

A participação das quatro matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel em 2016 foi aproximadamente 79% para o óleo de soja, 16% para a gordura animal, 1% para o óleo de algodão e 3,5% para os outros materiais graxos. Nota-se ainda uma redução de produção total de aproximadamente -3,1% em comparação 2015/2016, sendo -1,3% em relação ao uso do óleo de soja, -15,8% de gordura animal, -49,7% de óleo de algodão e um aumento percentual de 123,5 do uso de outros materiais graxos. Esse aumento do uso de outras fontes de materiais graxos para a produção de biodiesel revela o esforço da indústria para o desenvolvimento de alternativas ao uso do óleo de soja e gordura animal, entre essas novas matérias-primas estão às microalgas.

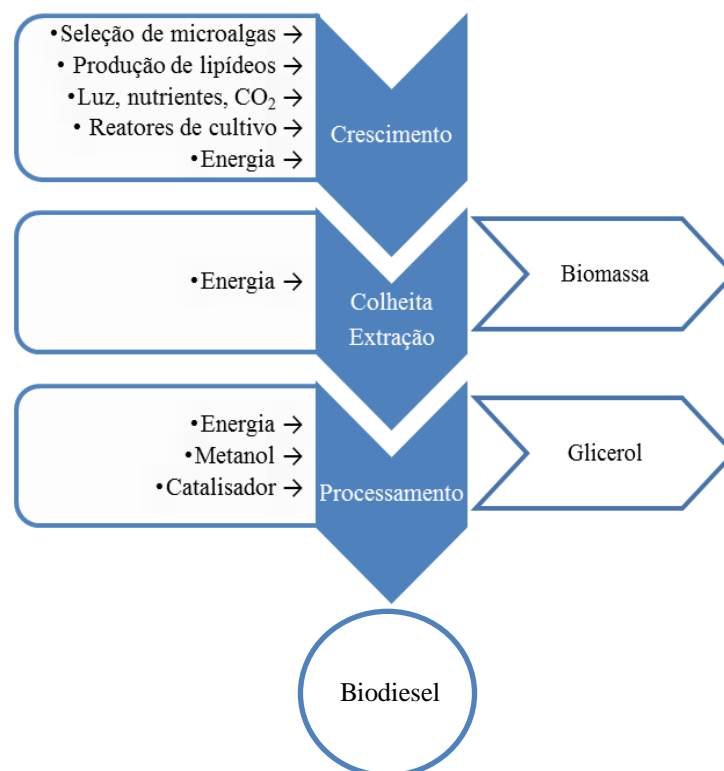
## 2.1 As microalgas como matéria-prima para produção de biodiesel

O aproveitamento de algas como fonte de energia renovável tem como maior desafio estabelecer um processo de cultivo e produção de biodiesel com menor demanda energética resultando em biocombustível de menor custo perante o diesel fóssil. (SCOTT et al., 2010).

Os esforços estão concentrados para identificar e propor soluções que aumentem a viabilidade deste processo em três áreas: crescimento, colheita/extração e processamento. (Figura 1). Deste modo a identificação das variedades de microalgas com maior produção da matéria graxa, definição das condições de cultivo (nutrientes, temperatura, luminosidade) e por fim o estabelecimento dos processos envolvendo a extração e a produção dos ésteres de ácidos graxos de origem algal é o grande desafio tecnológico envolvidos na implantação desta nova forma de obtenção de energia.

Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, v. 03, n. 01, p. 105-117, jan./jun. 2018.

O desenvolvimento da microalga envolve a seleção de uma variedade com maior produção de lipídios por meio de condições propícias do fornecimento de nutrientes, luz e CO<sub>2</sub>. De acordo com Scott e colaboradores (2010), essas variáveis do processo devem ser ajustadas ao tipo de sistema de cultivo empregado para reduzir a demanda energética e propiciar a maior eficiência de fotoconversão (PCE).



**Figura 1.** Etapas da produção de biodiesel a partir de microalgas (Adaptado de SCOTT et al., 2010).

O emprego de fotobiorreatores abertos implica em um aumento da área ocupada, visto que a luz penetra em apenas alguns centímetros da cultura. Porém, aplicando fotobiorreatores fechados é possível diminuir o custo do cultivo devido a redução de contaminações, consumo excessivo de água e melhoria do controle da temperatura, pH e demais variáveis de cultivo (SCOTT et al., 2010).

A eficiência de PCE é limitada pela eficiência fotossintética e anabolismo celular da microalga. Para aumentar a PCE o sistema deve ser construído de maneira a diminuir a energia refletida pela parede e proporcionar uma difusão propícia do CO<sub>2</sub>, O<sub>2</sub> e nutrientes (LEHR; POSTEN, 2009).

Com o intuito de diminuir a energia aplicada no sistema de cultivo, há a possibilidade de aplicar as microalgas como um sistema de tratamento terciário de águas

residuais. Assim, os compostos nitrogenados e fosfatos que aceleram a eutrofização de corpos hídricos são aplicados como nutrientes em reatores fechados.

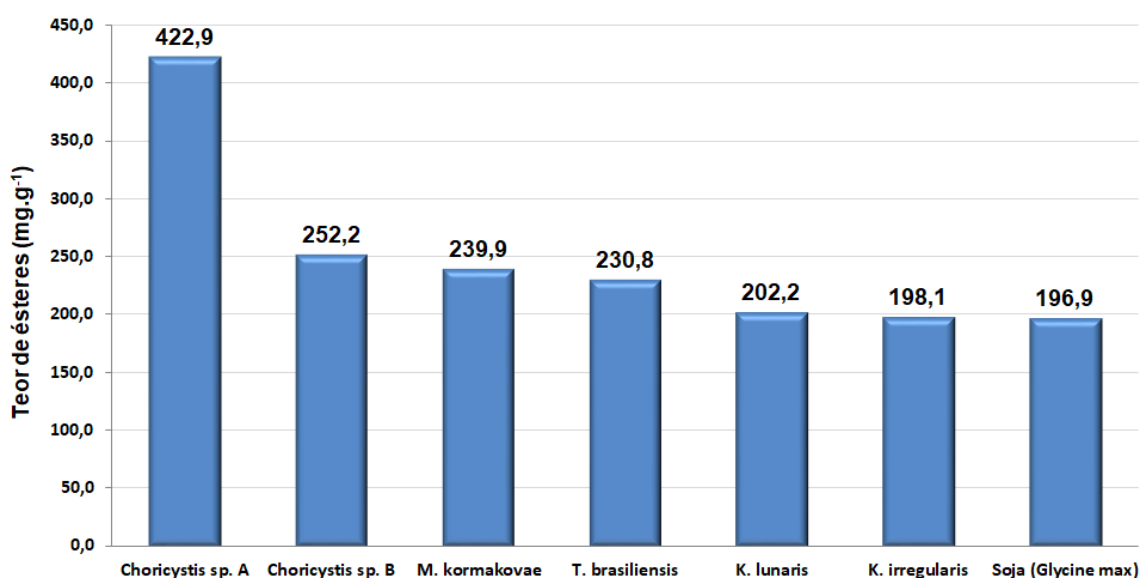
Segundo Whitton e colaboradores (2016), a *Chlorella vulgaris* e *Scenedesmus obliquus* apresentaram elevada produção de células, mesmo com a variação do fosfato presente no meio de cultivo. Deste modo, a sinergia é viável quando se aplica em efluentes com menor presença de metais pesados (cromo, cobalto, chumbo, arsênico e cádmio) e menor taxa de compostos com elevada demanda química de oxigênio, que restringem o desenvolvimento algal (RENUKA et al., 2014), indicando a possibilidade dessas espécies integrar a produção de bioenergia contribuindo com a conservação ambiental.

Além de nutrientes como fonte de nitrogênio, fósforo e enxofre, a adição do CO<sub>2</sub> é um fator com grande influência na produção de matéria graxa. Radmann e Costa (2008) verificaram que a adição de 12% de CO<sub>2</sub> com 60 µL.L<sup>-1</sup> de SO<sub>2</sub> e 100 µL.L<sup>-1</sup> de NO pode resultar em um aumento do conteúdo lipídico das microalgas, sendo que em um sistema de fotorreatores tubulares cilíndricos termostatizados a 30°C, com foto período controlado (12h claro/escuro), as microalgas *Scenedesmus obliquus* LEB-22, *Spirulina sp.* LEB-18, *Synechococcus nidulans* LEB-25 e *Chlorella vulgaris* LEB-106 obtiveram um teor lipídico respectivo de 6,18%, 5,97%, 5,00% e 5,21%. Assim, a integração com processos industriais que forneçam o CO<sub>2</sub> tende a diminuir o custo do fornecimento, purificação e tratamento deste insumo, diminuindo a energia empregada na produção do biodiesel (LEHR; POSTEN, 2009).

Ao investigar a produção de matéria graxa por outras microalgas, é possível obter aumento da produção de lipídeos com menor demanda energética. A microalga dulcícola *Choricystis sp.* A por exemplo, pode apresentar produção de ésteres metílicos por biomassa seca de material superior a da soja na avaliação realizada por Menezes et al., (2013) e apresentada na Figura 2. A redução dos insumos seria obtida devido à operação do cultivo ser feita com a adição de 4% de CO<sub>2</sub> em reator tubular à 23°C seguida da colheita, secagem e transesterificação alcalina direta da biomassa algal. Deste modo as espécies: *Choricystis sp.* B (Chlorellaceae, Chlorococcales), *Kirchneriella lunaris* (Selenastraceae, Chlorococcales), *Kirchneriella irregularis* (Selenastraceae, Chlorococcales), *Monoraphidium komarkovae* (Selenastraceae, Chlorococcales) e *Tetranephris brasiliensis* (Dictyosphaeriaceae, Chlorococcales) cultivadas no mesmo sistema também apresentaram produção ligeiramente superior de ésteres por massa seca frente à soja.



O avanço na seleção das microalgas já demonstra vantagem produtiva em relação à matéria-prima, atingindo interessante teor de ésteres (Figura 2) e alcançando maior participação na produção do biodiesel brasileiro. O avanço na seleção das microalgas acarreta vantagem produtiva em relação à matéria-prima, atingindo alto teor de ésteres e aumenta a possibilidade da participação deste novo suprimento de matéria graxa na produção do biodiesel brasileiro. Assim o emprego de modelos matemáticos podem aumentar a PCE relacionando a difusão e absorção dos insumos requeridos no processo com os parâmetros de crescimento da microalga e permitem um melhor dimensionamento do sistema de obtenção de matéria graxa a ser convertida em biodiesel (BEKIROGULLARI et al., 2017 e TIJANI et al., 2018).



**Figura 2.** Rendimento de ésteres a partir da biomassa proveniente das microalgas dulcícolas (Adaptado de MENEZES et al., 2013).

A coleta das microalgas pode ser acelerada empregando polímeros surfactantes combinada a um sistema de filtração. Isto permite uma floculação devido a interação entre a parede e o polímero que apresenta as propriedades eletrostáticas e interações hidrofóbicas que permitem uma diminuição da umidade dos aglomerados. Assim é possível recuperar as microalgas do sistema de cultivo e diminuir o gasto energético das etapas de secagem da biomassa a ser enviada para o sistema de extração de óleo (WU et al., 2018).

Seguindo o processo, a extração do óleo e a transesterificação podem ser realizadas em conjunto ou em etapas subsequentes. A extração dos lipídeos alocados no interior das

células deve ser eficiente e com a menor demanda energética possível. Etapas de secagem, centrifugação, emprego de enzimas ou modificações de componentes celulares para decompor seletivamente a parede celular podem ser feitas para liberar os lipídios complementares a extração. O emprego de solventes como, por exemplo, o hexano, deve remover o óleo reduzindo o arraste dos demais componentes celulares tais como a clorofila e o DNA (SCOTT et al., 2010).

A flotação com o emprego de microbolhas de ar pode ser uma alternativa para a recuperação do óleo liberado no meio de cultivo. Este seria um processo alternativo a centrifugação que pode aumentar o custo de extração, pois deverá operar com grande volume de material e alta rotação (NAGHDI et al., 2016).

O arranjo entre estas operações e o teor de água na biomassa ou no óleo extraído definirá as condições reacionais da transesterificação. Quando aplicados métodos de secagem ou emprego de solventes que resultam em matéria graxa com baixo teor de umidade o emprego de catalisadores alcalinos deve ser feito para resultar em elevada conversão da matéria prima em ésteres (LIU et al., 2015).

Liu e colaboradores (2015) verificaram que a catálise ácida direta da biomassa algal com ácido sulfúrico a 70°C não apresenta diferença significativa da conversão da matéria graxa em ésteres metílicos quando presente até 90% de água no meio.

Sani e colaboradores (2013) indicam que o emprego de catalisadores heterogêneos pode contribuir na produção de biodiesel oriundo de microalgas. Estes materiais são utilizados industrialmente na esterificação de ácidos graxos e apresentam elevada atividade dos sítios ativos que promovem a esterificação e esterificação em uma etapa e podem diminuir o custo do processo devido à facilidade de recuperação e possibilidade de reativação.

### **3. CONCLUSÃO**

O biodiesel é uma alternativa para mitigar os passivos ambientais envolvidos no consumo de óleo diesel fóssil. Com o aumento da demanda no Brasil provocada pelo aumento do teor no combustível distribuído, há necessidade de aumentar a escala de produção e com isso fomentar a aplicação de novas matérias-primas. Deste modo o emprego de microalgas apresenta uma possibilidade que embora apresente desafios

tecnológicos a serem superados pode contribuir diminuindo o custo do biocombustível. O desenvolvimento dessa fonte alternativa de matéria graxa envolve a seleção de variedades com maior produção de lipídios, bem como o estudo das melhores condições de fornecimento de nutrientes, luz, CO<sub>2</sub> e construção de fotobiorreatores. Uma vez vencidas essas barreiras, o biodiesel produzido a partir de algas, poderá ser introduzido na matriz energética do país, reduzindo ainda mais a dependência do Brasil em combustíveis fósseis. Com isso há possibilidade de produzir biodiesel renovável preservando recursos naturais e promovendo o desenvolvimento social e tecnológico.

## REFERÊNCIAS

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução nº 07 de 19 de março de 2008.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2017*. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/publicacoes/anuario-estatistico/3819-anuario-estatistico-2017>>. Acesso em: 27 mai. 2018.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução nº 30 de 06 de agosto de 2013.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Resolução nº 17 de 31 de agosto de 2004.

ANP. Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. Lei nº 11.097 de 13 de janeiro de 2005.

BEKIROGULLARI, M.; FRAGKOPOULOS, I. S.; PITTMAN, J. K.; THEODOROPOULOS, C., Production of lipid-based fuels and chemicals from microalgae: An integrated experimental and model-based optimization study. *Algal Research*. v. 23. p. 78-87, 2017.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. Secretaria de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. *Boletim mensal de combustíveis renováveis*. ed. 106. Brasília. 2016.

DOMINGOS, A. K. *Produção de biodiesel via catálise heterogênea*. 2010. 181 p. Tese (Doutorado em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos). Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro.

GOLDEMBERG, J.; COELHO, S. T.; NASTARI, P. M.; LUCON, O. Ethanol learning curve-the Brazilian experience. *Biomass and Bioenergy*. v. 26, n. 3, p. 301-304, 2004.

Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, v. 03, n. 01, p. 105-117, jan./jun. 2018.

IEA. International Energy Agency. *World Energy Outlook 2012*. Disponível em: <<https://webstore.iea.org/world-energy-outlook>>. Acesso em: 27 mai. 2018.

LEHR, F.; POSTEN, C. Closed photo-bioreactors as tools for biofuel production. *Current Opinion in Biotechnology*. v. 20, n. 3, p. 280–285, 2009.

LIU, J.; LIU, Y.; WANG, H.; XUE S. Direct transesterification of fresh microalgal cells. *Bioresource Technology*. v. 176, p. 284–287, 2015.

MENEZES, R. S.; LELES, M. I. G.; SOARES, A. T.; BRANDÃO, P. I.; ANTONISI FILHO, N. R.; SANT'ANAN, C. L.; VIEIRA, A. A. H. Avaliação da potencialidade de microalgas dulcícolas como fonte de matéria-prima graxa para a produção de biodiesel. *Química Nova*. v. 36, n. 1, p. 10-15, 2013.

NAGHDI F. G.; SCHENK P. M. Dissolved air flotation and centrifugation as methods for oil recovery from ruptured microalgal cells. *Bioresource Technology*. v. 218, p. 428-435, 2016.

NBB. *National Biodiesel Board*. Disponível em: <<http://www.nbb.org/>>. Acesso em: 27 mai. 2018.

RENUKA, N.; SOOD, A.; PRASANNA, R.; AHLUWALIA, A. S. Influence of seasonal variation in water quality on the microalgal diversity of sewage wastewater. *South African Journal of Botany*. v. 90, p. 137–145, 2014.

SCHUCHARDT, U.; SERCHELI, R.; VARGAS, R. M. Transesterification of vegetable oils: a review. *Journal Brazilian of Chemical Society*. v. 9, n. 3, p. 199-210. 1998.

SANI, Y. M.; DAUD, W. M. A. W.; AZIZ, A. R. A. Solid acid-catalyzed biodiesel production from microalgal oil—The dual advantage. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, v. 1, p. 113-121, 2013.

SCOTT, S. A.; DAVEY, 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.

SINGH, S. P.; SINGH, D. Biodiesel production through the use of different sources and characterization of oils and their esters as the substitute of diesel: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. v. 14, n. 1, p. 200–216, 2010.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P. 70º aniversário do biodiesel em 2007: evolução histórica e situação atual no Brasil. *Química Nova*. v. 30, n. 8. p. 2068-2071, 2007.

Revista Engenharia em Ação UniToledo, Araçatuba, SP, v. 03, n. 01, p. 105-117, jan./jun. 2018.

TIJANI, H.; YUZIR, A.; DAGANG, W. R. Z. W.; ZAMYADI, A.; ABDULLAH, N.; Multi-parametric modelling and kinetic sensitivity of microalgal cells. *Algal Research*. v. 32. p. 259–269, 2018.

UNIÃO EUROPEIA. *Directiva 28*, do Parlamento Europeu e do Conselho, de 23 de abril de 2009a.

UNIÃO EUROPEIA. *White paper*. Adapting to climate change: towards a European framework for action. Brussels: Commission of the European Communities, 2009b.

UNIÃO EUROPEIA. *White paper*. An energy policy for the European Union. Brussels: Commission of the European Communities. 1995.

WHITTON, R.; MÉVEL, A. L.; PIDOU, M.; OMMETTO, F.; VILLA, R.; JEFFERSON, B. Influence of microalgal N and P composition on wastewater nutrient remediation. *Water Research*. v. 91, p. 371-378, 2016.

WU, Y. H.; SHEN, L. C.; HU, H. Y.; HANKINS, N. P.; HUANG, W. E.; An efficient microalgal biomass harvesting method with a high concentration ratio using the polymer-surfactant aggregates process. *Algal Research*. v. 30, p. 86-93, 2018.