

## PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DAS ALGAS: UMA REVISÃO

Carlos de Jesus de Oliveira<sup>1</sup>, Rodolfo de Andrade Schaffner<sup>1</sup>, Paulo André Cremonez<sup>2</sup>,  
Michael Feroldi<sup>2</sup> e Joel Gustavo Teleken<sup>3</sup>.

<sup>1</sup> Universidade Federal do Paraná – UFPR, Setor Palotina, Curso de Tecnologia em Biocombustíveis, Rua Pioneiro, n. 2153, CEP: 85950-000, Bairro Jardim Dallas, Palotina, PR. E-mail: [carlosdo96@gmail.com](mailto:carlosdo96@gmail.com)

<sup>2</sup> Universidade Estadual do Oeste do Paraná – UNIOESTE, Campus de Cascavel, Mestrado em Engenharia de Energia na Agricultura, Rua Universitária, n. 2069, CEP: 85819-110, Bairro Jardim Universitário, Cascavel, PR.

<sup>3</sup> Universidade Federal do Paraná – Setor Palotina, Departamento de Engenharias e Exatas

*RESUMO: Tradicionalmente o biodiesel é produzido em larga escala industrial pelo processo de transesterificação de óleos vegetais, principalmente o óleo de soja, competindo assim com a demanda de óleo destinada ao setor alimentício. Dessa maneira, o uso de matérias primas alternativas para a síntese de biodiesel contribui para estabilização do mercado de óleos comestíveis, por não depender somente de uma fonte de produção. Nesse contexto a produção de algas com alto teor de óleo surge como uma alternativa para a produção de biodiesel, devido ao fato de ser uma tecnologia limpa e contribuir para redução nas emissões de gases de efeito estufa, além de possibilitar o cultivo em áreas não agricultáveis, o que reduz a competição com outras produções quando comparada com as fontes exploradas atualmente. Este trabalho apresenta uma revisão da literatura sobre as tecnologias de produção de algas aplicadas a produção de biodiesel, bem como as vantagens de cada método e os principais problemas enfrentados.*

*PALAVRAS-CHAVE:* Biodiesel, Algas, Energias renováveis.

## LITERATURE REVIEW ON PRODUCTION OF BIODIESEL FROM ALGAE

*ABSTRACT: Traditionally biodiesel is produced in large scale industrial by process of Transesterification vegetable oils, mainly soybean oil, competing so demand for oil for the food industry. In this way, the use of alternative raw materials for the synthesis of biodiesel contributes to stabilization edible oils market, why not rely on only one source of production. In this context the production of algae with high oil content emerges as an alternative to the production of biodiesel, due to the fact that it is a clean technology and contribute to reducing emissions of greenhouse gases, besides enabling the cultivation in areas not arable, which reduces the competition with other productions when compared with the sources currently exploited. This paper presents a review of the literature about the technologies algae production applied to the production of biodiesel, as well as the advantages of each method and the main problems faced.*

*KEY WORDS:* Biodiesel, Algae, Renewable energy, Biofuels.

## INTRODUÇÃO

Com uma possível escassez dos recursos fósseis, diversas fontes alternativas de energia vêm sendo estudada visando seu potencial como fontes de biocombustíveis de terceira geração, entre elas, as microalgas são consideradas como uma alternativa promissora devido a sua elevada eficiência fotossintética, além de serem matérias-primas renováveis para a transesterificação (Cheng et al., 2014). Nesse contexto, o biodiesel vem sendo estudado com intuito de viabilizar a utilização deste como complemento ao diesel de petróleo. Quimicamente, o biodiesel é definido como um éster monoalquílico de ácidos graxos obtidos através da reação entre uma molécula de triacilglicerol (ou triglicerídeo) e três moléculas de um álcool de cadeia curta (etanol ou metanol) na presença ou não de um catalisador ácido ou básico (Ramos et al., 2003), gerando também uma molécula de glicerol.

Entretanto, um dos entraves da síntese de biodiesel é o elevado custo da matéria-prima, pois a mesma representa entre 70% e 85% do custo global da produção (Kansedo et al., 2009). Correlacionando a este fato, a síntese de biodiesel a partir de algumas culturas oleaginosas ainda é considerada inviável pela possibilidade de aumento nos preços dos alimentos, expansão de uma monocultura e esgotamento do solo. Assim, a síntese de biodiesel, tem como confronto a redução de custos e ao mesmo tempo restrições ecológicas (Woinaroschy, 2014).

Com intuito de solucionar os inúmeros problemas identificados na produção de biodiesel, diversas indústrias estão utilizando como matéria-prima, óleos vegetais, resíduos de graxa e gorduras animais (Maceiras et al., 2011). Nesse contexto o mesmo autor cita que, diversos pesquisadores estão desenvolvendo culturas com maiores teores de óleo, visando obter novas matérias-primas para produção de biodiesel com a finalidade de explorar as melhores opções de matérias-primas, com o intuito de obter um sistema catalítico menos agressivo ao meio ambiente além de produzir um subproduto (glicerol) mais puro e consequentemente mais útil para o uso industrial.

Por conseguinte, diversos estudiosos pesquisam a utilização de algas como matéria-prima para a produção de biodiesel, além de inúmeros materiais heterogêneos como por exemplos catalisadores verdes (Galadima e Muraza, 2014).

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

devido aos esforços em minimizar os possíveis efeitos nas mudanças climáticas globais (Zhu et al., 2014).

Conforme o mesmo autor, grande parte desses estudos, tem como foco estudar os sistemas de cultivo de microalgas, extração, fotobiorreatores fermentadores, coleta, triagem e classificação de tais microrganismos, biologia molecular e engenharia genética, e a análise do sistema.

Baseado neste contexto, o presente trabalho tem por objetivo estudar o potencial de algumas microalgas bem como as vantagens e desvantagens de utilização do óleo extraído de tais microrganismos como matéria-prima na síntese de biodiesel.

### **POTENCIAL PARA A PRODUÇÃO DE BIODIESEL**

De acordo com Demirbas, (2010) as algas são em sua maioria microrganismos simples e aquáticos que se dividem em micro e macroalgas. As algas são promissoras para a síntese de biodiesel devido ao fato de estarem amplamente disponíveis ao cultivo em diversos locais agricultáveis ou não agricultáveis, dessa forma limitando a competição por terras com óleos vegetais comestíveis, proporcionando uma maior biomassa para a geração de biodiesel, pois tais microrganismos têm um potencial produtivo de até 100 vezes mais se considerado o teor de óleo de algumas culturas energéticas (Galadima e Muraza, 2014).

As microalgas são os melhores microrganismos autotróficos do mundo, sendo os mesmos classificados em dois grandes grupos, os procariontes e os eucariontes. As espécies procariotas são as cianobactérias (*Chloroxybacteria*). Por outro lado, as microalgas eucarióticas são classificadas em algas verdes (*Chlorophyta*), algas vermelhas (*Rhodophyta*) e diatomáceas (*Bacillariophyta*) (LI et al., 2008).

Nesse contexto, as microalgas vêm recebendo mais atenção no cenário global de matérias-primas para a produção e biocombustíveis pela característica de proporcionar alta taxa de crescimento, podendo assim sintetizar e acumular rapidamente quantidades elevadas de lipídios em comparação às plantas terrestres (Bhowmicka et al., 2014). Devido ao seu crescimento, tais microrganismos produzem e armazenam energia por átomo, duas vezes maior comparada ao átomo de carbono presente nos hidrocarbonetos, proporcionando assim um aumento de duas vezes na energia gerada pelo combustível (Rawat et al., 2013; Jin et al., 2014).

Segundo Parka et al., (2011), para uma fotossíntese completa as algas necessitam de oito fótons onde a energia da radiação absorvida por tal microrganismo primeiramente é

armazenada como redutores de bioquímicos intermediários (NADPH<sub>2</sub> e ATP), para posteriormente serem utilizados pelas células na síntese da biomassa (CH<sub>2</sub>O). Por conseguinte, o conteúdo energético contido em cada mol de CH<sub>2</sub>O é de aproximadamente 468 kJ.

Além desse potencial energético, as microalgas possuem um potencial para a redução dos gases responsáveis pelo efeito estufa devido ao sequestro de CO<sub>2</sub>. A partir de tais matérias-primas existe o potencial de se obter rendimentos mais elevados na síntese de biodiesel comparado as outras diversas matérias-primas, proporcionando redução de cerca de 25% dos custos de produção (Saniet al., 2013).

Em consequência muitos pesquisadores estudam a possibilidade de anexar as microalgas como matéria-prima para a produção de biodiesel. Em 2014, uma porcentagem inferior a 3% da produção mundial de combustíveis tradicionais será substituída por biocombustíveis de origem tradicional. Esta porcentagem representa um mercado de mais de 120 bilhões de dólares. Consequentemente os biocombustíveis produzidos a partir das algas tem um potencial de substituir uma maior porcentagem de combustíveis fósseis utilizados como combustíveis de automóveis em comparação com as outras fontes existentes. O tamanho de mercado estimado para as algas é 425 bilhões de dólares, valor esse representando mais de duas vezes o mercado esperado para os biocombustíveis de fontes tradicionais no ano de 2014 (Galadima e Muraza, 2014).

## TIPOS DE MICROALGAS

Muitas microalgas eucarióticas têm a capacidade de armazenar grandes quantidades de compostos ricos em energia, tais como triacilglicerol e o amido, que podem ser utilizados para a produção de vários biocombustíveis, incluindo biodiesel e bioetanol (Tabatabaei et al., 2011). As microalgas possuem um elevado teor de óleo, porém uma variação em tal volume ocorre de espécie para espécie (Tabela 1).

Na Tabela 1, evidenciam-se algumas espécies de microalgas e seus respectivos teores de óleo, dessa maneira justificando a importância das algas na obtenção de óleo não comestível como matéria para a síntese de biodiesel.

**Tabela 1-** Teor de óleo de diferentes microalgas

Espécie de Microalga	Teor de óleo (% peso seco)
<i>Botryococcus braunii</i>	25-75
<i>Chlorella sp.</i>	28-32
<i>Cohnii Crypthecodinium</i>	20
<i>Cylindrotheca sp.</i>	16-37
<i>Dunaliella primolecta</i>	23
<i>Isochrysis sp.</i>	25-33
<i>Monallanthus salina</i>	> 20
<i>Nannochloris sp.</i>	20-35
<i>Nannochloropsis sp.</i>	31-68
<i>Neochloris oleoabundans</i>	35-54
<i>Nitzschia sp.</i>	45-47
<i>Phaeodactylum tricornutum</i>	20-30
<i>Schizochytrium sp.</i>	50-77
<i>Tetraselmis sueica</i>	15-23

Fonte: Chisti (2007).

## MANEJO E CULTIVO DEMICROALGAS

As técnicas de dimensionamento para o cultivo e crescimento de microalgas são relatadas para diferentes utilizações e fins variando de acordo com a espécie cultivada. À vista disso há três principais técnicas de cultivo de microalgas amplamente divulgadas, são lagoas de crescimento, *raceway ponds* e fotobiorreatores.

As lagoas *raceway* também conhecidas como lagoas de rolamento aberto, são bastante utilizadas devido à sua facilidade de operação e construção. Geralmente recomenda-se o cultivo de microalgas em tanques abertos de rolamento onde a luz solar disponível naturalmente pode ser utilizada como fonte de energia a fim de atingir uma produção de biodiesel à base de biomassa de microalgas de baixo custo (Bhowmicka et al., 2014).

Quando as reações de intersecção são especialmente de larga escala, o crescimento e a reprodução de microalgas devem, preferencialmente, ser aplicadas em fotobiorreatores, embora todos os métodos sejam de amplo uso, tal técnica se destaca (Soares et al., 2011). Porém a escolha da técnica de cultivo depende de diversos fatores tais como pode ser observada na Tabela 2.

Com relação ao potencial produtivo, as microalgas possuem uma produtividade anual e conseqüentemente um teor de óleo dependente de vários fatores chave, entre eles a tensão

induzida nas algas, radiação solar, temperatura, disponibilidade de nutrientes e sistema de crescimento (Azadi et al., 2014).

**Tabela 2** - Comparação de diferentes técnicas para produção de microalgas

Tipos de Cultivos e Processo	Conc. de CO <sub>2</sub> e O <sub>2</sub>	Temp.	Escoam.	Ilumin.	Controle	Produtiv.
Lagoas/ Batelada	Depende do ambiente	Depende do ambiente, presença de gradientes e profund.	Sob influência de ventos	Precária para zonas de grande profund.	Operação simples, não requer controle.	Sazonal e distribuída Geograficamente
Raceway Ponds/ Contínuo	Depende do ambiente	Depende do ambiente, distribuição, homogênea por convecção	Laminar ou Turbulento	Precária para zonas de grande profund.	Velocidade, vazões e conc. de insumos	Sazonal e distribuída geograficamente
Fotobiorreatores / Contínuo	Controle na entrada do sistema e expurgada por equip. de exaustão	Ajuste por serpentinas em aparelhagem de purga de gás ou no coletor solar	Laminar ou Turbulento	Abrange maior parte do reator	Velocidade, vazão, iluminação, conc. e temperatura	Independente de condições climáticas

Fonte: Soares et al. (2011).

Segundo o mesmo autor, em consequência de tais fatores, existem várias maneiras de cultivo de microalgas. O método de cultivo mais utilizado em escala laboratorial é a partir de fotobiorreator, visando assegurar o controle do processo, com foco em obter um produto diferenciado, porém quando o cultivo é realizado em tanques abertos, necessita-se de investimento inicial para a construção e adequações. O controle, manutenção e custo de operação destes sistemas são relativamente baixos se comparados a outros processos.

De acordo com Chisti (2007) e Richardson et al., (2014), estima-se que o custo da produção por litro de será de US\$ 2,95 e US\$ 3,80 para os fotobiorreatores e tanques de rolamento aberto (estimativas supõem que o dióxido de carbono está disponível sem nenhum custo).

No mesmo foco Richardson, Johnson e Outlaw (2012), citaram que a viabilidade financeira do fotobiorreatores é substancialmente menor do que para tanques abertos, devido

ao fato de seu custo médio total de produção lipídica (já com os custos financeiros), foram 12,73 dólares / galão para as lagoas e 31,61 dólares / galão para os fotobiorreatores respectivamente. Dessa maneira segundo o mesmo com esse elevado custo não há viabilidade econômica para cultivo de microalgas em lagoas abertas e em fotobiorreatores.

Nesse mesmo contexto, Zhu et al. (2014) relata que o cultivo de microalgas em lagoas abertas ou tanques abertos são os sistemas mais antigos e simples em comparação ao cultivo de microalgas em outros meios, fato justificado, pois tais microrganismos crescem em lagoas rasas, com paredes ao ar livre.

Em vista disso, segundo Rawat et al. (2011), as microalgas cultivadas em tanques abertos de rolamento são mais acessíveis, além de possibilitar o uso dos nutrientes presentes nos resíduos domésticos de águas.

Porém de acordo com o mesmo pesquisador, as microalgas cultivadas em fotobiorreatores são associadas com uma elevada produtividade volumétrica, porém o uso do mesmo tem algumas desvantagens como, por exemplo, para a biorremediação em grande escala não é praticável, devido aos problemas inerentes de economia de escala.

Nesse mesmo contexto segundo Chisti, (2007), são evidenciadas desvantagens no cultivo de microalgas em tanque aberto visando extração dos lipídios presentes em suas células, pois tal prática necessita de grandes áreas juntamente com uma elevada quantidade de água Tabela 3.

Na Tabela 3, podem-se constatar os resultados comparativos relacionados ao cultivo de microalgas em fotobiorreatores e em lagoas *Raceway*, onde visualiza-se o cultivo de algas com diferentes metodologias e técnicas. De acordo com Sánchez et al. (2012), a maior parte do dimensionamento dos reservatórios mundial de cultivo de microalgas para produção de biocombustíveis, de química fina e outras indústrias leva em consideração fatores econômicos bem como a exigência de mercado.

**Tabela 3-** Comparação entre o cultivo de microalgas nos fotobiorreatores e nas lagoas de rolagem (*Raceway*)

Variável	Fotobiorreator	Lagoas <i>Raceway</i>
Produção de biomassa anual (kg)	100.000	100.000
A produtividade volumétrica (kg.m <sup>3</sup> d <sup>-1</sup> )	1,535	0,117
Produtividade por área (kg.m <sup>2</sup> d <sup>-1</sup> )	0,048	0,035
Concentração de biomassa em caldo (kg.m <sup>3</sup> )	4,00	0,14
A taxa de diluição (d <sup>-1</sup> )	0,384	0.250
Área necessária (m <sup>2</sup> )	5681	7828
Rendimento de óleo (m <sup>3</sup> ha <sup>-1</sup> )	136,9	99,4
Consumo anual de CO <sub>2</sub> (kg)	183333	183333
Número de unidades	6	8
Geometria do sistema	132 tubos paralelos unidade; 80 m de tubos de comprimento; 0,06 m de diâmetro do tubo.	978 m <sup>2</sup> / lagoa; 12 m de largura, 82 m de comprimento, 0,30 m de profundidade.

Fonte: Chisti (2007)

Portanto os custos de produção do biodiesel a partir de microalgas podem ser reduzidos substancialmente usando uma estratégia de produção de biorrefinaria com base na melhoria dos fatores desejados dessa matéria-prima através da engenharia genética assim como avanços na engenharia dos fotobiorreatores (Chisti, 2007).

### MÉTODO DE COLHEITA E EXTRAÇÃO DOS LIPÍDIOS CONTIDOS NAS MICROALGAS

Segundo Rawat et al., (2011), há inúmeros métodos de colheita para a biomassa de microalgas, entre elas podemos citar a centrifugação, floculação, sedimentação, microfiltração e qualquer combinação destes. O uso da técnica de sedimentação em combinação com a floculação é relatado para ser rentável, devido ao consumo mínimo de energia e uso da decantação da biomassa por gravidade. O processamento à jusante da biomassa resultante envolve extração de lipídeos e transesterificação do óleo em biodiesel, e glicerol como subproduto.



Consequentemente quando se trata de extração lipídios a partir de algas, nota-se que tal técnica é de elevada complexidade, pois os lipídios intracelulares estão ligados as membranas celulares, dessa forma, é necessário realizar o rompimento da parede celular das algas para maximizar a extração do material lipídico (Martinez-Guerra et al., 2014). Segundo o mesmo autor, os métodos convencionais de extração de petróleo, tais como esforço físico, prensagem mecânica e extração de solvente não são adequados para a extração de óleo de algas.

Segundo Galadima e Muraza, (2014), a extração do óleo das algas é um fator de extrema importância na produção de biodiesel. Porém, a extração sofre influência do plantio e posteriormente colheita, onde tais procedimentos bem desempenhados garantem além da redução do custo de extração, um alto rendimento no volume de óleo extraído. Assim, os dois métodos disponíveis e fundamentais de extração do óleo das algas atualmente são as rotas mecânicas e químicas (Galadima e Muraza, 2014). Porém existem outros métodos de extração tais como: extração fluída supercrítica, extração enzimática e extração por choque osmótico (Kowalski, 2010).

Segundo Lira et al. (2012), a extração mecânica da biomassa de microalgas minimiza a contaminação externas, além de manter a integridade química do óleo extraído. A biomassa de microalgas é submetida à alta pressão, visando o rompimento da parede celular e consequente liberação do óleo intracelular. A exemplo disso, Halim et al. (2013), estudou a eficácia do ultrassom no rompimento das células de *Tetraselmis suecica* e *Chlorococcum* sp. utilizando uma extração mecânica.

Nesse mesmo contexto, Carrero et al., (2011), em seu estudo testou a extração lipídios em amostras de biomassa secas da alga *N. Gaditana* com três diferentes de solventes (clorofórmio:metanol - 2:1 v/v, metanol e n-hexano) em diferentes procedimentos (ultrassons, micro-ondas e de agitação magnética) todos empregando refluxo. Estas metodologias são descritas pelo autor como as principais rotas para remoção dos lipídios contidos nas microalgas. Em consequência, os resultados de tais pesquisas evidenciaram que os maiores volumes de óleo extraído foram obtidos utilizando-se metanol como solvente (39, 30 e 47% em peso). De acordo com o mesmo pesquisador, a quantidade de óleo diminuiu quando se utilizou a união de clorofórmio e metanol como solventes. Por outro lado, as mais baixas extrações (inferior a 15% em peso de todos os métodos), ocorreram quando utilizou o n-hexano como solvente. Com relação à extração de lipídios polares (fosfolipídios, esfingolipídios e sacarolipídios) usando um agitador magnético, sob refluxo, tendo o metanol como solvente extraiu 56% em massa, seguido pela mistura de clorofórmio: metanol (~ 31%

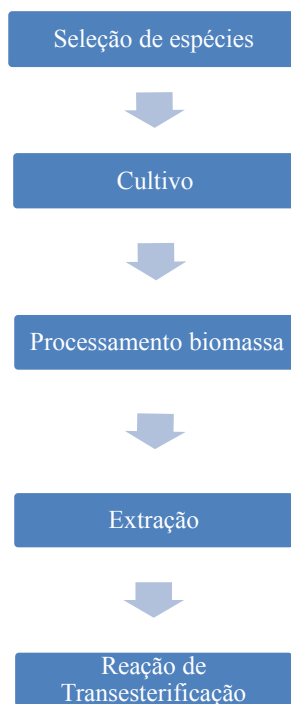
em peso) e hexano (~ 9% em peso). É importante salientar que em seus estudos o autor utilizou três espécies diferentes de algas (*Chlorella*, *Spirulina* e algas da lagoa de água), com um sistema de extração utilizando-se diferentes solventes e transesterificação simultânea (processo de fase única).

Com o intuito de avaliar o seu potencial para a produção de biodiesel a partir de algas Nautiyal et al., (2014), citam que obteve o melhor rendimento na síntese de biodiesel utilizando a extração e transesterificação simultânea, tendo o hexano como um solvente. Nesse mesmo contexto Cheng et al., (2014), analisaram a extração de lipídios com hexano de microalgas úmidas pré-tratadas em forno de micro-ondas, além de um novo processo de transesterificação direta (extração de lipídios simultâneos e transesterificação) de microalgas secas com clorofórmio avaliando os efeitos de vários parâmetros, tais como temperatura de reação, volume de metanol, tempo reacional e massa de catalisador, sobre o rendimento. O mesmo obteve como resultado um aumento de 6 vezes após a transesterificação dos lipídios na extração com hexano a partir de microalgas úmidas. Por conseguinte, comparando com a transesterificação direta de microalgas secas com clorofórmio, o biodiesel bruto obtido passou de 75,93% para 86,74%.

## **ROTAS PARA A SÍNTESE DE BIODIESEL**

Após extração, os óleos de microalgas podem ser convertidos em biodiesel utilizando um dos quatro métodos principais: para utilização direta ou a misturando com óleos brutos, microemulsões, craqueamento térmico (pirólise) e a transesterificação (Ahmad et al., 2011).

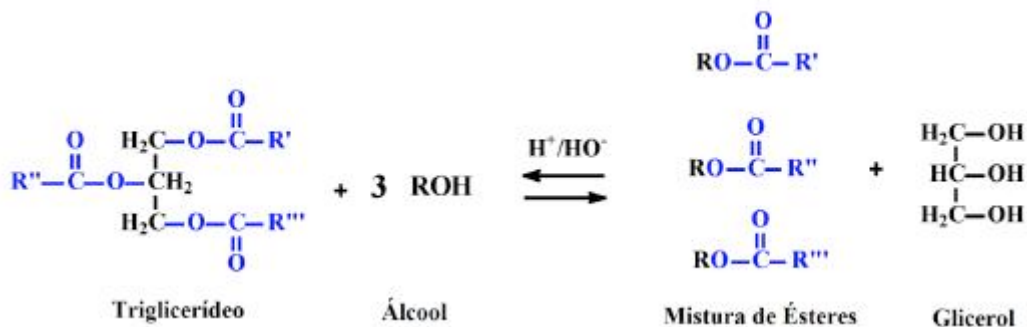
De acordo com Mata, Martins e Caetano (2010), a produção do biodiesel a partir das algas, tem início na seleção de espécies de microalgas, considerando condições específicas dos locais bem como a elaboração e implementação do sistema de cultivo para crescimento de microalgas. Posteriormente, segue-se a extração de colheita de biomassa, processamento e óleo para abastecer a unidade de produção de biodiesel Figura 1.



**Figura 1:** Fluxograma do processo de produção de biodiesel a partir das algas. Fonte: Adaptado de (Mata; Martins; Caetano, 2010).

De acordo com Martinez-Guerra et al., (2014), a combinação da etapa de extração de óleo seguida da transesterificação (conhecido como *in situ* de transesterificação) ajuda na redução dos custos da produção global de biodiesel. Pois o esse método simplifica a síntese de conversão dos triglicerídeos em ésteres, consequentemente reduzindo o número de operações unitárias, dessa forma, reduzindo os custos do processo gerando uma economia global do produto final. A transesterificação é um processo de equilíbrio, onde os triglicerídeos reagem com um álcool em excesso, proporção de 1:3, produzindo quantidade equivalente de ésteres mono-alquílicos (biodiesel) e um mol de glicerol (glicerina) como subproduto (Galadima e Muraza, 2014).

A reação de transesterificação utilizando metanol ou etanol como álcool, resulta em ésteres metílicos ou etílicos, sendo o metanol o mais utilizado (Agarwal, 2007) Figura 2.



**Figura 2:** Reação de transesterificação. Fonte: Adaptado de Galadima e Muraza, (2014).

Na transesterificação alcalina o hidróxido de sódio é o catalisador mais amplamente utilizado. De acordo com Knothe et al., (2006), sua utilização é justificada devido ao seu baixo custo por ser proveniente de matéria-prima renovável, o biodiesel apresenta um perfil de baixas emissões de poluentes atmosféricos devido a sua queima mais completa comparado aos combustíveis fósseis. Essa característica pode ser justificada pelo elevado percentual de oxigênio em suas moléculas, sendo assim ambientalmente benéfico quando comparado ao diesel petroquímico.

A partir da Tabela 4 compara-se as composições de diferentes espécies de algas com seus respectivos biodieseis dando ênfase ao percentual de carbono no biodiesel, pois tal percentual está diretamente ligado ao índice de cetano, bem como o teor de oxigênio. Esse último em excesso, elevada a possibilidade de oxidação do biodiesel (Knothe et al., 2006).

Com relação ao álcool utilizado, o etanol é um reagente/solvente mais sustentável quando comparado ao metanol. Porém, até o momento a extração e transesterificação dos triglicerídeos de microalgas utilizando o etanol não são bem exploradas (Martinez-Guerra et al., 2014). De acordo com Knothe et al. (2006), o etanol não é muito utilizado na síntese de biodiesel devido a seu elevado valor quando comparado com o metanol.

Na Tabela 4 há evidência a comparação da composição dos elementos presentes, antes e após a produção de seu biodiesel.

**Tabela 4** - Comparação entre a composição elementar das algas e seus respectivos biodieseis

Espécies de Algas	Composição da Biomassa (% peso)					Composição do Biodiesel (% peso)				
	C	H	N	S	O (Por diferença)	C	H	N	S	O (Por diferença)
Algas de lagoas	46,09	6,22	9,70	0,64	37,35	71,49	11,00	0,31	0,19	17,01
<i>Spirulina</i>	48,10	6,97	10,14	0,66	34,13	78,44	12,04	0,20	0,08	9,23
<i>Chlorella</i>	51,33	7,90	9,80	0,59	30,38	78,10	11,39	0,07	0,06	10,39

Fonte: Adaptada (Nautiyal et al., 2014).

#### VANTAGENS E DESVANTAGENS DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL DE ALGAS

Na Tabela 5 são evidenciadas as vantagens e desvantagens, segundo diversos autores, da utilização das microalgas como fontes lipídicas para a síntese de biodiesel.

Conforme Moser (2014), as propriedades do combustível são influenciadas pela composição dos ácidos graxos do qual o biodiesel é derivado, logo o biodiesel preparado a partir de diferentes matérias-primas tem diferentes perfis de ácidos graxos resultando em distintas características no combustível final. Dessa maneira, os cinco ácidos graxos geralmente encontrados em óleos vegetais (Tabela 6) são o palmítico (hexadecanóico), esteárico (octodecanóico), oléico (*Z*-octadecenoico), linoléico (*Z*-octadecadienoico) e linolênico (octadecatrienoico). Na Tabela 6 é destacado um comparativo entre o maior percentual de ácido graxo em diferentes matérias primas bem como suas respectivas misturas de ésteres.

**Tabela 5 - Vantagens e desvantagens do óleo de microalgas em comparação ao diesel**

Vantagens	Desvantagens
Biodiesel de microalgas tem propriedades semelhantes às de petrodiesel.	Cultivos em sistemas de lagoas abertas são propensos à contaminação de protozoários e zooplâncton.
Nenhuma das outras fontes tem tamanho potencial real de biodiesel em termos de substituição diesel dos hidrocarbonetos.	Procedimentos de extração em grande escala complexos e ainda na fase de desenvolvimento.
Ácidos graxos assemelham-se aos óleos vegetais comuns.	Valor comercial do combustível de alga é inferior ao combustível diesel.
Sob condições ótimas, a extração dos óleos pode ser elevada chegando até 85% do peso seco.	O custo de cultivo é maior quando comparado com os óleos comuns de cultivado atualmente.
A composição é único parente em microalgas.	A gama de pH ótimo para as algas varia com a espécie.
Microalgas exigem menos água doce para o cultivo de plantas terrestres.	Grandes quantidades de glicerol serão produzidas podendo inundar o mercado, baixando os preços do mesmo.
Seus subprodutos podem ser usando como adubo ou para a produção de outros produtos de alta energia	Produção de microalgas envolve o consumo de uma grande quantidade de energia para remoção de água de algas.
Não usa produtos químicos, como herbicidas ou pesticidas, reduzindo assim os custos e os impactos ambientais.	O cultivo de algas em tanques abertos necessita de um investimento de capital inicial para a construção e adequações
O custo associado com a colheita e o transporte são relativamente baixo quando comparada com a de culturas de oleaginosas.	Dificuldade na disponibilidade de encontrar espécies de microalgas natural ou geneticamente modificada, que tem altas produtividades lipídicas.
Seu plantio exige menos terra, cerca de 2% da terra necessária para produzir a mesma quantidade de biodiesel das oleaginosas.	Uma elevada intensidade de luz podem reduzir a taxa de crescimento da biomassa (foto inibição).
Sequestro de CO <sub>2</sub> para sua fotossíntese, pois as microalgas utilizam ativamente 1,83 kg de CO <sub>2</sub> para cada 1 kg de biomassa seca produzida.	Sob alta radiação, a fotossíntese gera oxigênio, caso os níveis de oxigênio dissolvido forem muito maiores que os valores de saturação de ar, ocorre a inibição da fotossíntese.
Seu cultivo pode ocorrer em terras não aráveis, em água salobra reduzindo assim pressão sobre os recursos.	Óleos de microalgas são ricos em ácidos gordos polinsaturados com quatro ou mais ligações duplas esses ácidos são suscetíveis à oxidação durante o armazenamento, o que reduz a sua aceitabilidade para uso em biodiesel.
Pode ser utilizada na biorremediação por remover o excesso de nutrientes na água residual.	Devido a composição de muitos óleos de microalgas, a maioria deles não é susceptível de cumprir com as normas europeias de biodiesel, mas esta necessidade não seja uma limitação significativa.

Fonte: Adaptada de (Huang et al., 2010; Rawat et al., 2013; Rawat et al., 2011; Ahmad et al., 2011; Sánchez et al. (2011); Ho et al. (2014); Chisti (2007).

Devido ao enorme potencial das microalgas na produção de biodiesel, inúmeros pesquisadores estudam a viabilidade desse fator positivo comparado as fontes de matérias-primas já existentes e em desenvolvimento. Nesse mesmo sentido Xu et al., (2006), equipara as características físico-química do biodiesel produzido a partir do óleo extraído das microalgas com o biodiesel e o diesel petroquímico segundo o órgão norte-americano de normalização (American Society for Testing and Materials - ASTM), tais normas podem ser visualizadas na Tabela 7.

**Tabela 6** - Composição dos ésteres metílicos de ácidos graxos transesterificados de diferentes matérias-primas.

Ácido graxo	Fórmula	Ácidos graxos presentes no biodiesel (%)				
		Algas cultivadas em lagoas	Algas <i>Spirulina</i>	Sebo	Karanja	Palmeiras
Caprílico	C <sub>8</sub> H <sub>16</sub> O <sub>2</sub>	3,76	3,90	-	-	-
Láurico	C <sub>12</sub> H <sub>24</sub> O <sub>2</sub>	2,23	1,14	-	-	-
Mirístico	C <sub>14</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	3,33	2,52	5,40	-	-
Cis-10-pentadecanóico	C <sub>15</sub> H <sub>28</sub> O <sub>2</sub>	2,26	3,07	-	-	-
Palmítico	C <sub>16</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	38,39	41,21	32,8	10,60	40,30
Palmitoleico	C <sub>16</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	13,17	3,39	4,30	-	-
Esteárico	C <sub>18</sub> H <sub>36</sub> O <sub>2</sub>	3,12	1,00	4,10	6,80	3,10
Oleico	C <sub>18</sub> H <sub>34</sub> O <sub>2</sub>	11,73	4,11	35,10	49,40	43,40
Linoleico	C <sub>18</sub> H <sub>32</sub> O <sub>2</sub>	5,53	12,64	15,70	19,00	13,20
Linolênico	C <sub>18</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	3,25	17,79	1,60	-	-
Eicosapentaenoico	C <sub>20</sub> H <sub>30</sub> O <sub>2</sub>	1,12	-	-	-	-

Fonte: Adaptado de Nautiyal et al. (2014).

**Tabela 7** - Comparação das propriedades do biodiesel de óleo de microalgas e óleo diesel e biodiesel norma ASTM

Propriedades	Biodiesel a partir de óleo de microalgas	Combustível diesel	Norma ASTM biodiesel
Densidade (kg/ L)	0,864	0,838	0,840-0,900
Viscosidade (mm <sup>2</sup> /s ou cSt a 40 °C).	5,2	1,9-4,1	3,5-5,0
Ponto de inflamação (°C)	115	75	Mín.100
Ponto solidificando (°C)	-12	-50 A 10	-
Filtro a frio ponto de entupimento (°C)	-11,0	-3,0 (Máx.-6,7)	Verão máx.0
Acidez (mg KOH/g)	0,374	Máx.0,500	Máx.0,500
Calorífico (MJ/kg)	41	40-45	-
Relação H/C	1,81	1,81	-

Fonte: Xu et al. (2006).

Na Tabela 7, podem-se visualizar os resultados dos parâmetros de qualidade do biodiesel produzido a partir do óleo extraído das microalgas comparando o diesel petroquímico e o biodiesel. Nesse comparativo também evidencia-se o potencial do biodiesel a partir das microalgas em se adequar ao padrão estabelecido pela ASTM. Além dessa similaridade química, o biodiesel de algas é promissor quando se analisa o volume final de biodiesel produzido, pois de acordo com Galadima e Muraza, (2014), dependendo da espécie, o volume de óleos vegetais das oleaginosas comuns pode ser inferior a 1000 litros por hectare, porém o mesmo processo tendo as algas como matéria-prima atinge 5000 litros de óleos por hectare, demonstrando assim a viabilidade do cultivo de algas para a síntese de biodiesel.

Nesse mesmo contexto, Náutica et al., (2014), compara as características físico-químicas do biodiesel das algas da espécie *Spirulina*, Algas de lagoas e diesel correlacionado com os padrões estabelecido pela ASTM e as normas Europeias (EN) Tabela 8.



**Tabela 8** -Propriedades do combustível de biodiesel de algas e diesel

Parâmetro	Biodiesel de algas <i>Spirulina</i>	Biodiesel dealgas de lagoas	Diesel	Normas ASTM D6751	Normas EN 14214
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	860	872	831	-	860-900
Viscosidade (mm <sup>2</sup> /s) a 40 °C	5,66	5,82	3,21	1,90- 6,00	3,5-5,0
Peso específico	0,865	0,878	-	0,880	-
O índice de acidez (mgKOH/g)	0,45	0,40	0,20	0,50 Máx	0,50 Máx.
Poder calorífico (MJ/kg)	41,36	40,80	42,23	-	-
Ponto de fluidez (°C)	- 18	- 16	- 17	-	-
Ponto de inflamação (°C)	130	-	76	100-170 Mín.	120 Mín.
Tira de cobre corrosão	1 (ligeira mancha)	1	-	Nº. 3 máx.	Nº. 1 Mín.

Fonte: Adaptado de Nautiyal et al. (2014).

No comparativo visualizado na Tabela 8, nota-se que as propriedades físico-químicas do biodiesel a partir dos óleos extraídos das algas *Spirulina* e algas de lagoas satisfazem os padrões estabelecidos nas normas americanas e europeias, demonstrando assim que o biodiesel de tais algas pode formar misturas de ésteres de excelente qualidade a padrões de exigências internacionais.

## CONCLUSÃO

Os inúmeros estudos apontam o plantio e cultivo de microalgas como a solução mais viável na síntese de biocombustíveis visando a minimização do uso de terras agricultáveis e posteriormente substituição do diesel petroquímico da matriz energética mundial, fato esse comprovado devido a suas elevadas vantagens em comparação as fontes pesquisadas. No entanto, nota-se que existe um enorme caminho na busca de superar os diversos desafios, desobstruindo-os por meio de pesquisas tecnológicas visando o alinhamento das técnicas de crescimento de microalgas, técnicas extração, separação do óleo, de modo que a produção seja contínua, visando a implantação de processos mais avançados com o intuito de minimizar os custos de produção os métodos de plantio, cultivo e extração.

**REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

AGARWAL, A.K. Biofuels (alcohols and biodiesel) applications as fuels for internal combustion engines. **Progress In Energy And Combustion Science**, v.33, p.233-271, 2007.

AHMAD, A.L. et al. Microalgae as a sustainable energy source for biodiesel production: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v.15, p.584-593, 2011.

AZADI, P.; BROWNBRIDGE, G.; MOSBACH, S.; SMALLBONE, A.; BHAVE, A.; INDERWILDI, O.; KRAFT, M. The carbon footprint and non-renewable energy demand of algae-derived biodiesel. **Applied Energy**, v.113, p.1632-1644, 2014.

BHOWMICKA, G.; SUBRAMANIAN, G.; MISHRA, S.; SEM, R. Raceway pond cultivation of a marine microalga of Indian origin for biomass and lipid production: A case study. **Algal Research**, 2014.

CARRERO, A.; VICENT, G.; R.; LINARES, M.; DEL PESO, G. L. Hierarchical zeolites as catalysts for biodiesel production from *Nannochloropsis* microalga oil. **Catalysis Today**, v.167, p.148-153, 2011.

CHENG, J.; HUANG, R.; LI, T.; ZHOU, J.; CEN, K. Biodiesel from wet microalgae: Extraction with hexane after the microwave-assisted transesterification of lipids. **Bioresource Technology**, 2014.

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

DEMIRBAS, A. Use of algae as biofuel sources. **Energy Conversion And Management**. v.51, p.2738-2749, 2010.

GALADIMA, A.; MURAZA, O. Biodiesel production from algae by using heterogeneous catalysts: A critical review. **Energy**, 2014.

HALIM, Ronald et al. Mechanical cell disruption for lipid extraction from microalgal biomass. **Bioresource Technology**, v. 140, p.53-63, jul. 2013.

HO, S. X.; et al. Achieving high lipid productivity of a thermotolerant microalga *Desmodesmus* sp. F2 by optimizing environmental factors and nutrient conditions. **Bioresource Technology**, v. 156, p.108-116, mar. 2014.

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

JIN, B.; DUAN, P.; XU, Y.; WANG, B.; WANG, F.; ZHANG, L. Lewis acid-catalyzed in situ transesterification/esterification of microalgae in supercritical ethanol. **Bioresource Technology**, v.162, p.341-349, 2014.

LIRA, R. A. et al. As microalgas como alternativa à produção de biocombustíveis. **Revista Engenharia na Agricultura (REVENG)**, Viçosa - Mg, v. 20, n. 5, p.389-403, set. 2012.

KANSEDO, J.; LEE, K.T.; BHATIA, S. *Cerbera odollam* (sea mango) oil as a promising non-edible feedstock for biodiesel production. **Fuel**, Malásia, v.88, n.6, p.1148-1150, 2009.

KNOHE, G.; et al. **Manual de Biodiesel**. São Paulo: Edgard Blucher, 2006. 340 p.

KOWALSKI, S. C. **Análise da viabilidade técnica econômica do cultivo de microalgas para produção de biodiesel estudo de caso Paranaguá – estado do Paraná**. 2010. 93 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto de Tecnologia Para O Desenvolvimento – Lactec, Curitiba, 2010.

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

MACEIRAS, R.; RODRIGUEZ, M.; ANGELES, C.; URREJOLA, S.; SANCHEZ, A. Macroalgae: Raw material for biodiesel production. **Applied Energy**, v.88, p.3318-3323, 2011.

MARTINEZ-GUERRA, E.; GUDE, V.G.; MONDALA, A. HOLMES, W.; HERNANDEZ, R. Extractive-transesterification of algal lipids under microwave irradiation with hexane as solvent. **Bioresource Technology**, v.156, p.240-247, 2014.

MARTINEZ-GUERRAA, E.; GUDE, V.G.; MONDALA, A.; HOLMES, W. HERNANDEZ, R. Microwave and ultrasound enhanced extractive-transesterification of algal lipids. **Applied Energy**, v.129, p.354-363, 2014.

MATA, Teresa M.; MARTINS, António A.; CAETANO, Nidia. S.. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v. 14, p.217-232, jan. 2010.

MOSER, B. R. Impact of fatty ester composition on low temperature properties of biodiesel–petroleum diesel blends. **Fuel**, v. 115, p.500-506, jan. 2014.

NAUTIYAL, P.; SUBRAMANIAN, K.A.; DASTIDAR, M.G. Production and characterization of biodiesel from algae. **Fuel Processing Technology**, v.120, p.79-88, 2014.

PARKA, J.B.K.; CRAGGSA, R.J.; SHILTONB, A.N. Wastewater treatment high rate algal ponds for biofuel production: Special Issue: Biofuels - II: Algal Biofuels and Microbial Fuel Cells. **Bioresource Technology**, v.102, p.35-42, 2011.

RAMOS, L.P.; KUCEKK.T.; DOMINGOS, A.K.; WILHELM, H. M. Biodiesel: Um projeto de sustentabilidade econômica e sócio ambiental para o Brasil. **Biociência & Desenvolvimento**, Brasília, v.31, n.6, p.28-37, 2003.

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.

RAWAT, I.; KUMAR, R.R.; MUTANDA, T.; BUX, F. Dual role of microalgae: Phycoremediation of domestic wastewater and biomass production for sustainable biofuels production. **Applied Energy**, v.88, p.3411-3424, 2011.

RICHARDSON, J. W.; et al. A financial assessment of two alternative cultivation systems and their contributions to algae biofuel economic viability. **Algal Research**, v. 4, p.96-104, abr. 2014.

RICHARDSON, J. W.; JOHNSON, M. D.; OUTLAW, J. L. Economic comparison of open pond raceways to photo bio-reactors for profitable production of algae for transportation fuels in the Southwest. **Algal Research**, v. 1, p.93-100, maio 2012.

SÁNCHEZ, E.; et al. Biodiesel from microalgae oil production in two sequential esterification/transesterification reactors: Pinch analysis of heat integration: XIX 4 Conferência Internacional sobre Reatores Químicos (CHEMREACTOR-19). **Chemical Engineering Journal**, v. 176-177, p.211-216, jan. 2011.

SÁNCHEZ, E; OJEDA, K.; EL-HALWAGI, M.; KAFAROV, V. Biodiesel from microalgae oil production in two sequential esterification/transesterification reactors: Pinch analysis of heat integration. **Chemical Engineering Journal**, v.176-177, p.211-216, 2011.

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

SOARES, A.H.; TORBEY, B.I.; PASSOS, F.B.; MONTEIRO, L.P.C. 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, p.102-110, 2011.

TABATABAEI, M.; TOHIDFAR, M. JOUZANI, G.S.; SAFARNEJAD, M.; PAZOUKI, M. Biodiesel production from genetically engineered microalgae: Future of bioenergy in Iran. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v.15, p.1918-1927, 2011.

WOINAROSCHY, A. Multiobjective optimal design for biodiesel sustainable production. **Fuel**, v.135, p.393-405, 2014.

XU, H.; MIAO, X.; WU, Q. High quality biodiesel production from a microalga *Chlorella protothecoides* by heterotrophic growth in fermenters. **Journal Of Biotechnology**, v.126, p.499-507, 2006.

XUEA, F.; ZHANG, X.; LUO, H.; TAN, T. A new method for preparing raw material for biodiesel production. **Process Biochemistry**. Beijing, v.41, p.1699-1702, 2006.

ZHU, L.; HILTUNEN, E.; ANTILA, E.; ZHONG, J.J.; YUAN, Z.H.; WANG, Z.M. Microalgal biofuels: Flexible bioenergies for sustainable development. **Renewable And Sustainable Energy Reviews**, v.30, p.1035-1046, 2014.