

Uso de Microalgas para Produção de Biodiesel

Use of Microalgae for Biodiesel Production

Gillianne Assis Carneiro

Universidade Federal de Itajubá - *Campus* de Itabira, Brasil

E-mail: gillianneassis@gmail.com

Josiano Josiel Rodrigues Silva

Universidade Federal de Itajubá - *Campus* de Itabira, Brasil

E-mail: josianojosiel@hotmail.com

Gisely de Assis Oliveira

Universidade Federal de Itajubá - *Campus* de Itabira, Brasil

E-mail: giselyassis25@gmail.com

Fernanda Paula Bicalho Pio

E-mail: fppbicalho@gmail.com

Universidade Federal de Itajubá - *Campus* de Itabira, Brasil

Recebido: 18/12/2017 – Aceito: 22/12/2017

Resumo

A maioria das demandas energéticas da sociedade ainda são atendidas pelos combustíveis de origem fóssil. Porém, essa fonte vem sendo substituída por outras renováveis, menos agressivas ao meio ambiente e com melhor custo/benefício. Como exemplo, podemos mencionar os biocombustíveis produzidos a partir de plantas oleaginosas e microrganismos, que são capazes de substituir os derivados do petróleo com eficiência equivalente. Graças a sua elevada produção de lipídios, as microalgas, cujo diâmetro não ultrapassa 2 mm, são objeto de estudos e estão sendo aplicadas na produção de biocombustíveis, em especial, do biodiesel, sendo que, cerca de 150 espécies de microalgas são usadas comercialmente. O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão de literatura sobre a produção de biodiesel a partir de microalgas. Este estudo é do tipo teórico-conceitual, visto que foi elaborado a partir da realização de pesquisas na literatura nacional e internacional sobre a produção de biocombustíveis a partir de microalgas, além da consulta a órgãos governamentais e legislações pertinentes. Ademais, pretende-se apresentar as principais técnicas de cultivo e de produção, bem como as principais vantagens e desvantagens da utilização das microalgas para produção de biodiesel. A partir da problemática ambiental e da redução das reservas fósseis faz-se necessário o investimento em fontes alternativas, sendo o biodiesel produzido a partir

de microalgas uma opção a ser considerada e aperfeiçoada para produção e utilização em escala comercial.

Palavras-chave: Biocombustíveis; Biodiesel; Microalgas; Técnicas de produção.

Abstract

Most of society's energy demands are still met by fossil fuels. However, this source has been replaced by other renewable, less aggressive to the environment and with better cost / benefit. As an example, we can mention biofuels produced from oil plants and microorganisms, which are capable of replacing petroleum derivatives with equivalent efficiency. Thanks to its high production of lipids, microalgae, whose diameter does not exceed 2 mm, are studied and are being applied in the production of biofuels, especially biodiesel, and about 150 microalgae species are used commercially. The objective of this paper was to carry out a literature review on the production of biodiesel from microalgae. This study is of the theoretical-conceptual type, since it was elaborated from the researches in the national and international literature on the production of biofuels from microalgae, besides the consultation to governmental organs and pertinent legislations. In addition, it intends to present the main techniques of cultivation and production, as well as the main advantages and disadvantages of the use of microalgae for biodiesel production. From environmental problems and the reduction of fossil reserves, it is necessary to invest in alternative sources, and biodiesel produced from microalgae is an option to be considered and improved for production and use on a commercial scale.

Keywords: Biofuels; Biodiesel; Microalgae; Production techniques.

1. Introdução

Os combustíveis são de fundamental importância para atendimento das demandas energéticas da sociedade, porém, os de origem fósseis (sua fonte mais comum), devem ser de uso moderado por se tratar de um recurso não renovável e ter elevado potencial poluidor. Desta forma, faz-se necessário o aumento da utilização de energias sustentáveis na matriz energética mundial. Em vários países, programas de combustíveis verdes estão sendo desenvolvidos, inclusive no Brasil.

No ano de 2015, representantes de diversos ministérios do Governo Federal brasileiro assinaram a resolução do Conselho Interministerial do Açúcar e do Alcool (Cima) que ampliou o percentual obrigatório de adição de etanol anidro de 25% para 27% na gasolina comum (BRASIL, 2015). E de acordo com a Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e

Biocombustíveis (ANP), a Lei nº 13.263/2016 alterou a Lei nº 13.033/2014, estabelecendo um cronograma de aumento do teor do biodiesel, a partir de 2017, sendo que o incremento até março de 2017 seria de 8%, até março de 2018, 9% e até março de 2019, 10% (BRASIL, 2016).

Sendo sua origem vegetal, o biodiesel é produzido a partir de espécies oleaginosas, como soja, mamona, dendê, girassol, entre outras. Ele é uma fonte de energia renovável, apresentando baixa emissão de poluentes atmosféricos durante a queima e possibilita a diminuição da dependência dos países em relação aos combustíveis fósseis. Entretanto, são necessárias extensas áreas agrícolas para cultivo das espécies, fato que pode provocar o aumento do desmatamento em regiões com cobertura vegetal nativa. Também, a utilização destas fontes para a produção de combustíveis pode impactar a cadeia de insumos alimentícios, diminuindo a oferta de grãos e interferindo nos valores destes, por exemplo (KOGA et al, 2017).

A utilização de algas para a produção de biocombustíveis já era proposta em 1960, todavia, foi na década de 1970, com a crise do petróleo, que foram impulsionadas pesquisas na área de fontes alternativas de combustíveis e iniciaram-se os estudos e projetos voltados para a produção de microalgas para fins energéticos. Estes programas possibilitaram a identificação de espécies e a seleção de microalgas com alto potencial de extração de lipídeos (GAZZONI, 2016c).

O biodiesel de algas vem se tornando uma grande alternativa para a produção de energia, pois, além de serem renováveis, seus efluentes são menos agressivos se comparados aos dos combustíveis fósseis.

Apontadas como uma das mais promissoras fontes de matérias-primas para a produção de biocombustíveis, as microalgas possuem grande potencial de produção de óleos em áreas reduzidas e não são utilizadas como insumos alimentícios. Elas utilizam a energia solar para converter o CO₂ e água em biomassa, pois são organismos fotossintéticos que se desenvolvem em ambientes aquáticos, diferentemente do biodiesel tradicional, que é produzido através de plantas cultivadas na terra, como a cana-de-açúcar, a soja e o milho, que precisam de grandes áreas cultiváveis e podem comprometer a disponibilidade de alimento.

A produtividade das microalgas em relação a outras espécies oleaginosas produtoras de biodiesel é muito superior, pois, conforme Galadima e Muraza (2014) *apud* Oliveira *et al.* (2014), utilizando-se oleaginosas é possível produzir, em áreas de mesma proporção, aproximadamente 1000 litros de óleo vegetal por hectare, porém, quando se utiliza as algas como matéria-prima, pode-se obter em média 5000 litros.

Segundo Brennan & Owende (2010), Harun *et al.* (2010), Chen *et al.* (2011), Singh *et al.* (2011) *apud* Cardoso, Marques e Vieira (2011) atualmente as técnicas de cultivo de microalgas mais utilizadas são: lagoas aeradas abertas e os fotobiorreatores fechados. Elas podem variar de acordo com as condições ambientais (luminosidade, temperatura, entre outras) e tipo de espécie.

Atualmente existem mais de 150 espécies de algas que são usadas comercialmente, mas ainda é pouco conhecido o fato de que as algas e os plânctons podem ser usados como biomassa para a produção de biocombustíveis. As microalgas são organismos fotossintéticos que podem atingir até 2mm de diâmetro e são consideradas mais promissoras quando comparados às macroalgas para a produção de óleo, pois, possuem uma estrutura menos complexa, maior taxa de crescimento e algumas espécies dispõem de alto teor oleaginoso (BIODIESEL, 2006).

Com isso, existem no mundo diversas pesquisas com o intuito de viabilizar o uso de microalgas como matéria-prima para a produção de biocombustíveis, sendo que a maioria delas são conduzidas por empresas privadas.

O objetivo deste trabalho foi realizar uma revisão de literatura sobre a produção de biodiesel a partir de microalgas. Este estudo é do tipo teórico-conceitual, visto que foi elaborado a partir da realização de pesquisas na literatura nacional e internacional sobre a produção de biocombustíveis a partir de microalgas, além da consulta a órgãos governamentais e legislações pertinentes.

2. Uso de microalgas para produção de biodiesel

O desenvolvimento de estudos relacionados à produção de biodiesel a partir de algas tem aumentado consideravelmente. Nesse contexto, diversos aspectos devem ser analisados como o potencial de produção da espécie, manejo e cultivo da matéria-prima e extração do óleo, possibilitando levantar a viabilidade da produção.

2.1 Potencial para produção de biodiesel

As características físico-químicas dos óleos encontrados nas microalgas são similares às dos óleos de origem vegetal. Assim sendo, as microalgas são consideradas como matéria-prima com grande potencial para a produção de biodiesel (TEIXEIRA e MORALES, 2016c).

A facilidade de cultivo das microalgas em diversos locais faz com que sua utilização seja mais viável quando comparada a outros tipos de vegetais que requerem terras cultiváveis que poderiam ser destinadas ao plantio de espécies alimentícias. Além disso, Galadima e Muraza (2014) *apud* Oliveira *et al.* (2014) relatam que estes microrganismos apresentam um potencial produtivo até 100 vezes maior quando comparado a outras culturas destinadas a este fim.

As microalgas produzem quantidade razoável de lipídios em condições normais, porém

[...] quando expostas a condições de estresse (por exemplo, a privação de nutrientes ou alta intensidade de luz), acumulam lipídios na forma de triacilgliceróis nos chamados corpos de óleo (*oil bodies*) [...]. Este acúmulo ocorre à custa de energia utilizada para o crescimento, levando a uma diminuição na taxa de crescimento e consequente redução da produtividade. De outra parte, no cultivo de algas sem aplicação de estresses, os lipídios se encontram na forma de fosfolipídios nas membranas celulares, o que facilita enormemente o processo de extração do óleo (GAZZONI, 2016c).

De acordo com Sani, Daud e Aziz (2013) “as microalgas possuem um potencial para a redução dos gases responsáveis pelo efeito estufa devido ao sequestro de CO₂”. Desta forma, Gazzoni (2016c) sugere que o cultivo de algas para a produção de biodiesel seja realizado próximo a empreendimentos que emitam elevadas concentrações de gás carbônico, como termelétricas ou grandes indústrias.

Kliphuis *et al.* (2010) *apud* Gazzoni (2016c) relatam que para produzir biomassa em grande escala é necessária uma elevada quantidade de CO₂, sendo consumido aproximadamente 1,8 toneladas do gás para a produção de 1 tonelada de biomassa de algas.

2.2 Tipos, manejo e cultivo de microalgas

Diversas microalgas eucarióticas apresentam a capacidade de estocar elevadas quantidades de compostos energéticos como o amido e o triacilglicerol, que podem ser processados para a produção de inúmeros biocombustíveis, incluindo biodiesel e bioetanol (TABATABAEI *et al.*, 2011 *apud* TEIXEIRA e MORALES, 2016c).

Os estudos e pesquisas sobre a utilização de microalgas para a produção de combustíveis foram intensificados na década de 1970, principalmente devido à crise mundial do petróleo. Durante o período, o Programa de Espécies Aquáticas, coordenado pelo Laboratório Nacional de Energia Renovável dos Estados Unidos, realizou experimentos com mais de 3 mil variedades de microalgas, analisando sua produtividade de óleo, atestando o

grande potencial para a produção de biodiesel apresentado por diversas espécies (DEFANTI *et al.*, 2010).

A concentração de óleo vegetal produzido pelas algas varia de acordo com cada espécie conforme apresentado na Tabela 1.

Tabela 1: Espécies de microalgas e seus respectivos teores de produção de óleo

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: Adaptado de Chisti (2007)

A microalga *Schizochytrium* apresenta um significativo potencial de produção de biomassa de conteúdo lipídico. Pereira *et al.* (2012) mencionam que Johnson e Wen (2009) elaboraram uma técnica que possibilitou gerar biodiesel da biomassa seca ou úmida desta espécie, obtendo-se “rendimentos de 57% do biocombustível com um teor de 66,37% de ésteres de ácidos graxos, valores estes excelentes quando comparados a outras técnicas” (CARRIJO *et al.*, 2015).

As microalgas podem ser cultivadas por meio de processos autotróficos, heterotróficos, mixotrófico e fotoheterotrófico. Quando autotrófico, elas utilizam luz e carbono inorgânico para obtenção de energia química através da fotossíntese. As heterotróficas obtêm energia e carbono através de carbono orgânico. As mixotróficas utilizam compostos orgânicos e dióxido de carbono e as fotoheterotróficas necessitam de luz quando sua fonte de carbono é um composto orgânico (BRENNAN e OWENDE, 2010 e CHEN *et al.*, 2011 *apud* CARDOSO; VIEIRA; MARQUES, 2011).

Em conformidade com Dasgupta *et al.* (2010) *apud* Cardoso, Vieira e Marques (2011) os fotobiorreatores podem ser planejados como sistemas abertos (tanques aerados), elípticos (como *raceway ponds* e lagos por exemplo), ou sistemas fechados (que podem ser tubulares, helicoidais, em placas), ou reator tipo fermentador, onde a luz é obtida internamente.

O cultivo de microalgas em lagoas abertas ou tanques abertos é mais simples e viável economicamente, pois, os microrganismos crescem em superfícies rasas, com disponibilidade de energia solar e oxigênio livre. Eles podem ser construídos de plástico ou concreto e apresentam uma pá de agitação que evita a sedimentação das células. O CO₂ necessário pode ser obtido diretamente da atmosfera por meio da superfície ou de aeradores submersos conforme apresentado por Brennan e Owende (2010), Dasgupta *et al.* (2010) *apud* Cardoso, Vieira e Marques (2011).

Os fotobioreatores fechados são mais indicados para o cultivo de algas sensíveis a contaminação. Os tanques abertos são apropriados para microalgas que sobrevivem em condições extremas (elevado pH e salinidade) ou que crescem rapidamente (BRENNAN e OWENDE, 2010).

Chinnasamy *et al.* (2010), Cho *et al.* (2011), Christenson e Sims (2011), Jiang *et al.* (2011), Li *et al.* (2011) *apud* Cardoso, Vieira e Marques (2011, p. 544) afirmam que

[...] águas residuárias podem ser utilizadas para o cultivo de microalgas em sistemas abertos ou fechados por conter nutrientes abundantes (fontes de nitrogênio, fósforo, carbono, entre outros), os quais são necessários para o crescimento das microalgas. A água residuária, após prévio tratamento (físico e/ou químico) pode ser utilizada unicamente ou como aditivo no cultivo de microalgas.

O aproveitamento de efluentes residuais (industrial ou doméstico) como fonte de nutrientes e a própria infraestrutura da Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) com um sistema de lagoa de estabilização pode proporcionar obtenção de biomassa de microalgas (MULBRY *et al.*, 2008 *apud* CARDOSO; VIEIRA; MARQUES, 2011).

2.3 Método de colheita e extração dos lipídios contidos nas microalgas

O processamento da biomassa após o final do ciclo de cultivo baseia-se na colheita e extração de lipídios. Rawat *et al.* (2011) *apud* Oliveira *et al.* (2014, p. 209) afirmam que “[...] há inúmeros métodos de colheita para a biomassa de microalgas, entre elas podemos citar a centrifugação, floculação, sedimentação, microfiltração e qualquer combinação destes”.

Quando se usa a técnica de sedimentação combinada com a de floculação, há um consumo mínimo de energia devido ao uso de decantação da biomassa por gravidade, sendo assim mais rentável. Essa biomassa resultante quando processada irá envolver a extração de lipídios e a transesterificação (reação química entre um éster e um álcool, gerando um novo éster e um álcool) do óleo em biodiesel, tendo o glicerol como um subproduto (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Para extração dos lipídios é realizada a secagem da biomassa de algas que pode ser efetuada por diferentes técnicas como citado por Grima *et al.* (2003), Brennan e Owende (2010), Mata *et al.* (2010) *apud* Cardoso, Vieira e Marques (2011, p. 544).

[...] a secagem com spray (*spry-drying*) (pulverização da amostra em uma câmara submetida a uma corrente de ar quente), tambor de secagem (*drum-drying*) (transferência de calor para a amostra através das paredes internas do cilindro do tambor), liofilização (congelamento da amostra e remoção da umidade por sublimação) e secagem ao sol.

Dentre as técnicas citadas a secagem ao sol apresenta maior viabilidade econômica para produção em grande escala. Após a desidratação a biomassa é conservada e a matéria prima já está preparada para a retirada do material de interesse (GRIMA *et al.*, 2003; BRENNAN e OWENDE, 2010; MATA *et al.*, 2010 *apud* CARDOSO, VIEIRA e MARQUES, 2011).

O método de extração da biomassa das microalgas é escolhido a partir das características das algas em questão, no tipo de cultivo utilizado e na finalidade da biomassa. Gazzoni (2016c) explica que

[...] as células precisam ser rompidas para que o óleo possa ser extraído com solventes orgânicos. O processo pode usar metodologia mais branda, porém mais cara, como é o caso do CO₂ supercrítico. A maioria das cepas de microalgas apresenta tamanho relativamente pequeno e tem uma parede celular relativamente espessa. Por esta razão, há necessidade de processos vigorosos para romper as células e permitir a extração dos produtos, o que pode afetar a funcionalidade de outros compostos celulares, como proteínas, e prejudicar o aproveitamento integral da biomassa com alto valor de mercado.

Segundo Martinez-Guerra *et al.* (2014) *apud* Oliveira *et al.* (2014), os lipídios estão ligados às membranas celulares havendo a necessidade de se romper a parede celular das algas a fim de potencializar a extração do material graxo.

As “prensas mecânicas e solventes apolares são os métodos mais utilizados para a extração de lipídios das microalgas” (GRIMA *et al.*, 2003, MATA *et al.*, 2010 *apud* CARDOSO, VIEIRA e MARQUES, 2011), técnica que também é utilizada com as demais oleaginosas.

Segundo Galadima e Muraza (2014) *apud* Oliveira *et al.* (2014) a extração do óleo das algas é o fator de maior importância para a produção do biodiesel. Entretanto, o plantio e a colheita podem influenciar na extração, sendo que o bom desempenho nesses procedimentos irá garantir a redução dos custos e um maior rendimento de volume de óleo extraído. Dessa forma, as rotas mecânicas e químicas são os métodos disponíveis e fundamentais para a extração do óleo das algas.

2.4 Vantagens e desvantagens da produção de biodiesel de algas

Como vantagens, salienta-se que tanto o biodiesel quanto o diesel fóssil apresentam propriedades semelhantes, não sendo necessárias alterações nos motores existentes (PEREIRA *et al.*, 2012); a grande capacidade de geração e armazenamento de óleo que determinadas espécies de microalgas apresentam é um fator que reforça sua utilização na produção de biocombustíveis e graças a sua morfologia (estrutura celular simples), com poucos nutrientes esses organismos crescem e desenvolvem-se rapidamente (MATA *et al.*, 2010).

Em relação ao cultivo, as microalgas necessitam de áreas muito menores quando comparadas às demais culturas agrícolas e menor quantidade de água (fotobiorreatores), sendo possível utilizar águas de origem marinha e residuais no processo. Além disso, é importante salientar a alta capacidade de biofixação de CO₂ atmosférico (MOHAN *et al.*, 2011 *apud* CARRIJO, 2015).

Ademais, as microalgas contribuem para a diminuição do dióxido de carbono presente na atmosfera por meio da fotossíntese, são capazes de remover nutrientes presentes na água e, os padrões desse tipo de biodiesel atendem às exigências das normas americanas e europeias, provando ser um produto de boa qualidade (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Outra vantagem está relacionada ao rápido crescimento das microalgas, completando um ciclo em poucos dias e duplicando a biomassa várias vezes ao dia. A utilização dessa fonte de matéria-prima pode favorecer a produção de biodiesel em larga escala, pois, não exercem impacto sobre a produção de insumos alimentícios (BIODIESEL, 2006).

Entre as desvantagens, os autores apresentam a possibilidade de contaminação em sistemas de tanques abertos; baixo valor na venda do combustível e alto valor nos processos de extração; elevada demanda de energia quando para remoção da água das algas; as algas com elevada produtividade lipídica são difíceis de serem encontradas; se o sistema de cultivo for exposto a uma grande quantidade de luz, o crescimento das algas será reduzido e, os óleos que elas dispõem são polinsaturados, característica que aumenta a possibilidade de oxidação em seu armazenamento (OLIVEIRA *et al.*, 2014).

Biodiesel (2006) acrescenta que nos tanques de cultura podem surgir espécies invasivas e as algas geneticamente modificadas podem apresentar mais estabilidade, porém, proporcionar riscos ambientais.

3. Considerações Finais

O cenário mundial atual apresenta redução das reservas fósseis, elevado valor monetário do petróleo e impactos ambientais negativos provenientes de sua extração, beneficiamento e consumo, exigindo que alternativas menos agressivas ao ambiente sejam desenvolvidas e aplicadas.

O investimento em fontes alternativas para produção de combustíveis é de fundamental importância para atendimento da demanda atual. Das várias fontes de óleo vegetal existente, é comprovado que as microalgas dispõem de alto potencial de lipídios para produção de biocombustíveis. Porém, apesar das vantagens, a produção em larga escala ainda não é viável economicamente, sendo necessária a realização de diversos estudos e pesquisas que abordem desde a escolha das espécies, cultivo até o beneficiamento do biodiesel.

Todavia, as pesquisas, tecnologias, investimentos e aplicações existentes ainda são incipientes se comparado com seu potencial e benefícios. Há necessidade de divulgação nos diversos meios e mídias apresentando as vantagens e limitações do processo, incentivos governamentais nos projetos que busquem pesquisas direcionadas aos diversos tipos de microrganismos, melhoramento genético, aprimoramento das tecnologias existentes e desenvolvimento de novas técnicas.

Sugere-se que sejam realizados estudos que possibilitem a integração da atividade com outras linhas de produção, como áreas industriais, piscicultura, tratamento de efluentes líquidos (águas residuais), entre outros.

Referências

BRASIL. Governo estabelece adição de 27% de etanol na gasolina. 2015. Disponível em: <<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/03/adicao-de-27-de-etanol-na-gasolina-e-estabelecida-pelo-governo>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

BRASIL. Biodiesel. 2016. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/wwwanp/biocombustiveis/biodiesel>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

BIODIESEL DE ALGAS. 2006. Disponível em: <<http://www.biodieselbr.com/destaques/2006/biodiesel-algas.htm>>. Acesso em: 14 maio 2016.

CARRIJO, Rodolfo dos Santos *et al.* Uso de Microalgas para a Produção de Biodiesel: Vantagens e Limitações. Revista Eletrônica de Energia, Salvador, v. 5, n. 1, p.23-31, jan. 2015. Semestral. Disponível em: <<http://www.revistas.unifacs.br/index.php/ree/article/viewFile/3565/2605>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

CHISTI, Yusuf. Biodiesel from microalgae. *Biotechnology Advances*, [s.l.], v. 25, n. 3, p.294-306, maio 2007. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.biotechadv.2007.02.001>.

Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0734975007000262?via=ihub>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

CARDOSO, Aderlânio da Silva; VIEIRA, Gláucia Eliza Gama; MARQUES, Anelise Kappes. O uso de microalgas para a obtenção de biocombustíveis. *Revista Brasileira de Biociências*, Porto Alegre, v. 9, n. 1, p.542-549, 1 out. 2011. Timestral. Disponível em:

<<http://www.ufrgs.br/seerbio/ojs/index.php/rbb/article/view/1797>>. Acesso em: 29 maio 2016.

DEFANTI, Leonardo S.; SIQUEIRA, Nathalia S.; LINHARES, Paolla C.. Produção de biocombustíveis a partir de algas fotossintetizantes. *Bolsista de Valor*, Campos dos Goytacazes, v. 1, p.11-21, 2010. Disponível em:

<<http://essentiaeditora.iff.edu.br/index.php/BolsistaDeValor/article/view/1786/963>>. Acesso em: 14 maio 2016.

GAZZONI, Décio Luiz. Os desafios do biodiesel de algas. 2016c. Disponível em:

<<http://www.gazzoni.eng.br/pagina40.htm>>. Acesso em: 14 maio 2016.

JOHNSON, M. B.; WEN, Z.; *Energy Fuels* 2009, 23, 5179.

MATA, Teresa M.; MARTINS, António A.; CAETANO, Nidia. S.. Microalgae for biodiesel production and other applications: A review. *Renewable And Sustainable Energy Reviews*, [s.l.], v. 14, n. 1, p.217-232, jan. 2010. Elsevier BV.

<http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.020>. Disponível em:

<<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032109001646?via=ihub>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

MAGRO, Francisco Gerhardt et al. Produção de Bioetanol Utilizando Microalgas: Uma Revisão. *Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas*, [s.l.], v. 37, n. 1, p.159-174, 16 mar. 2016. Universidade Estadual de Londrina. <http://dx.doi.org/10.5433/1679-0375.2016v37n1p159>.

Disponível em:

<<http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/viewFile/19189/18102>>. Acesso em: 04 ago. 2017.

OLIVEIRA, Carlos de Jesus de et al. PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DAS ALGAS: UMA REVISÃO. *Journal Of Agronomic Sciences*, Umuarama, v. 3, p.202-221, 2014. Anual. Disponível em: <<http://www.dca.uem.br/V3NE/16.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2016.

PEREIRA, Claudio M. P. et al. Biodiesel renovável derivado de microalgas: avanços e perspectivas tecnológicas. *Química Nova*, [s.l.], v. 35, n. 10, p.2013-2018, 2012.

FapUNIFESP (SciELO). <http://dx.doi.org/10.1590/s0100-40422012001000022>. Disponível em:

<http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422012001000022&lng=pt&nrm=iso&tlng=en>. Acesso em: 04 ago. 2017.

SANI, Yahaya Muhammad; DAUD, Wan Mohd Ashri Wan; AZIZ, A.r. Abdul. Solid acid-catalyzed biodiesel production from microalgal oil: The dual advantage. Journal Of Environmental Chemical Engineering, Zaria, v. 1, n. 1, p.113-119, 15 abr. 2013. Disponível em: <file:///C:/Users/fppbi/Desktop/UNIFEI/MICROBIOLOGIA/Trabalho Microrganismos/sani.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2016.

SUAREZ, Paulo A. Z.; PINTO, Angelo C. Biodiesel de algas: promessa ou futuro? 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?pid=S0103-50532011001100001&script=sci_arttext&tIng=pt>. Acesso em: 14 maio 2016.

TEIXEIRA, Cláudia Maria; MORALES, Maria Elizabeth. Microalga como matéria-prima para a produção de biodiesel.2016c. Disponível em: <https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/agroenergia+_PDeI_Biodiesel_Algas_000g6f3kcwr02wx5ok0o71pxt430fm5w.pdf>. Acesso em: 03 jun. 2016.