

**Estudo das tecnologias para produção de biodiesel a partir de microalgas do gênero
*nannochloropsis***

**Study of the technologies for biodiesel production from microalgae of the genus
*nannochloropsis***

Daiana Galina

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Brasil

E-mail: daiana_galina@hotmail.com

Paulo Sérgio da Silva Porto

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: paulo.porto@ufes.br

Rodrigo Randow de Freitas

Universidade Federal do Espírito Santo – UFES, Brasil

E-mail: rodrigo.r.freitas@ufes.br

Recebido: 19/06/2018 – Aceito: 11/07/2018

Resumo

O biodiesel apresenta dificuldades para ser implementado devido ao seu elevado custo associado às muitas etapas do processo de produção. Deste modo, se fazem necessários estudos a fim de tornar o processo economicamente viável. O presente artigo tem como objetivo identificar os principais resultados dos trabalhos científicos de alta relevância que apontam técnicas de produção de biodiesel a partir de microalgas do gênero *nannochloropsis*. Para tanto, foi realizada uma revisão sistemática da base de dados da *Web of Science* com auxílio dos softwares *CiteSpace* e *Google Earth*, no qual observou-se que um método promissor consiste na transesterificação direta das microalgas, que elimina a etapa de extração do óleo. Outro destaque vai para utilização de biomassa úmida. Esses métodos simplificam o processo de produção do biodiesel e reduzem as unidades de processamento e, conseqüentemente, o custo do processo global, contribuindo para tornar a produção de biodiesel de microalgas economicamente viável.

Palavras-chave: Biodiesel; *Nannochloropsis*; Revisão Sistemática.

Abstract

The biodiesel difficulties to be implemented due to its high cost associated with the many stages of the production process. In this way, studies are necessary to make the process economically viable. The

present article aims to identify the main results of high relevance scientific papers that point out techniques of biodiesel production from microalgae of the genus *nannochloropsis*. To do so, a systematic review of the Web of Science database with the help of CiteSpace and Google Earth software was carried out, in which it was observed that a promising method consists of direct transesterification of the microalgae, which eliminates the oil extraction step. Another highlight is the use of humid biomass. These methods simplify the biodiesel production process and reduce the processing units and consequently the overall process cost, helping to make biodiesel production of microalgae economically viable.

Keywords: Biodiesel; *Nannochloropsis*; Systematic Review.

1. Introdução

O uso massivo de combustíveis fósseis tem ocasionado diversos problemas ambientais e energéticos ao longo dos anos, justificando assim as diversas pesquisas na área de combustíveis alternativos. Com isso, vários fatores são responsáveis por aumentar os níveis de produção dos biocombustíveis, como a busca pela redução da dependência do petróleo e dos preços elevados do mesmo e a diminuição dos problemas climáticos e ambientais (Benevides, 2011; Mendes, 2008; Oliveira et al., 2017).

Os biocombustíveis são produzidos a partir de biomassa renovável, podendo ser empregados diretamente ou mediante alterações em motores a combustão interna ou para outro tipo de geração de energia. Desta forma, os biocombustíveis podem substituir parcial ou totalmente combustíveis de origem fóssil. Exemplos de biocombustíveis são o biodiesel, o etanol e outras substâncias estabelecidas em regulamento pela *Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP)* (ANP, 2016).

Quando comparado aos combustíveis fósseis, os biocombustíveis emitem menos poluentes durante o processo de combustão e sua síntese consiste em um processo mais limpo. Assim, configura-se o biodiesel como um biocombustível bastante promissor, pois se trata de uma alternativa para substituição do óleo diesel, sendo que sua queima pode emitir em média 48% menos monóxido de carbono, 47% menos material particulado e 67% menos hidrocarbonetos quando comparada a queima do diesel de petróleo (ANP, 2015).

Considerando as fontes de matérias-primas utilizadas, o biodiesel pode ser classificado em primeira, segunda e terceira geração. Quando de primeira geração, utiliza-se uma fonte comestível como, por exemplo, o óleo de soja. Já os de segunda e terceira geração são obtidos a partir de plantas não comestíveis e resíduos (Silva, 2014).

A fim de eliminar possíveis conflitos entre produção de biomassa e o setor alimentício, pesquisas estão em desenvolvimento e incluem modelos que evitam o uso massivo de terras para o cultivo da matéria-prima. Um exemplo que se enquadra neste contexto é o aproveitamento da biomassa proveniente das microalgas (Maroubo, 2013).

As microalgas apresentam um enorme potencial para suprir a crescente demanda de energia prevista para as próximas décadas, pois possuem várias vantagens quando comparadas com as culturas terrestres tradicionais na produção de biocombustíveis. O cultivo de microalgas não demanda de terras e água de qualidade e apresenta consumo de água menor do que o das plantas terrestres, podendo também reutilizar água residual em seu crescimento. Além disso, as microalgas fotossintetizantes apresentam uma alta eficiência na conversão da luz solar em biomassa, fazendo com que a produtividade seja muito maior do que as obtidas pelas principais culturas terrestres (Azeredo, 2012; Ortenzio *et al.*, 2015).

A maioria das espécies de microalgas apresenta crescimento mais rápido que as plantas terrestres, possibilitando maior rendimento de biomassa. A capacidade de remoção do CO₂ do meio ambiente pelas microalgas durante a fotossíntese consiste em um processo bastante eficaz de remoção deste gás da atmosfera. As microalgas do gênero *Nannochloropsis* atraem cada vez mais o interesse de pesquisadores devido sua alta taxa de acumulação de biomassa e alto teor de lipídios (Mal *et al.*, 2014; Procópio, 2014).

2. Referencial Teórico

2.1. Microalgas

As microalgas são definidas como organismos unicelulares microscópicos que habitam diversos ambientes, em sua maioria, marinhos. Possuem enorme capacidade de produzir biomassa por unidade de área e tempo. Outra característica é que algumas espécies são capazes de armazenar grandes quantidades de óleo (Azeredo, 2012).

Quanto ao metabolismo, as microalgas podem ser autotróficas, heterotróficas e mixotróficas. No metabolismo autotrófico, utilizam a fotossíntese como fonte energética, logo o meio de cultivo demanda nutrientes e luz para sobrevivência das microalgas. No heterotrófico é necessário fornecer nutrientes para que o metabolismo ocorra na ausência de luz. No regime mixotrófico, atuam o metabolismo heterotrófico e autotrófico simultaneamente (Morais, 2011).

A biossíntese de lipídios das microalgas é afetada por fatores químicos e físicos. Como fatores químicos, pode-se citar a disponibilidade de nutrientes, a salinidade e o pH do meio de

cultura. Já em relação aos físicos, tem-se a intensidade luminosa e a temperatura (Azeredo, 2012).

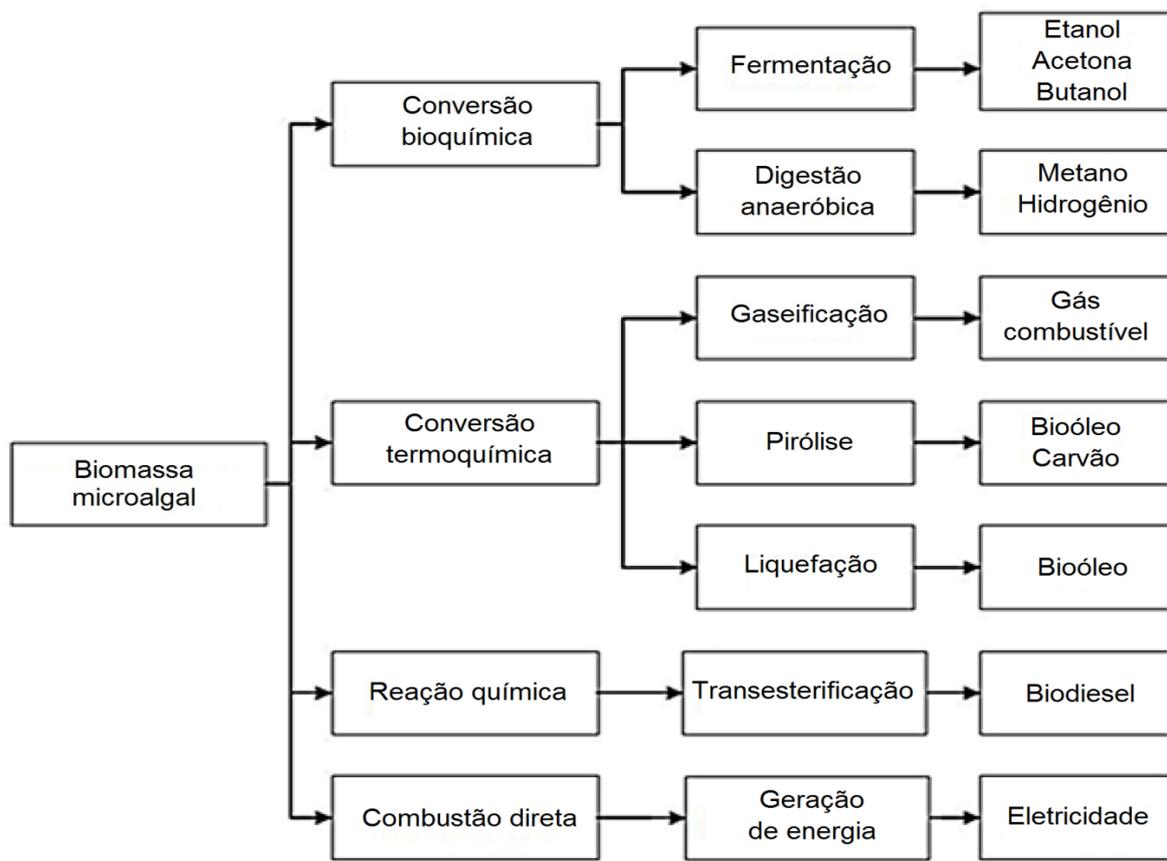
Para produzir biomassa a partir das microalgas, é necessário passar por várias etapas até o produto final. A primeira etapa consiste no cultivo, que demanda energia solar, água, CO₂ e outros nutrientes como nitrogênio e fósforo. Em seguida, é feita a coleta da biomassa e secagem da mesma para a redução da umidade do material, tornando-o mais adequado para o processamento industrial, seja para produção de biocombustíveis ou outros produtos (Azeredo, 2012).

A separação da biomassa do meio de cultivo consiste em uma etapa complexa e custosa (em geral, este custo representa mais de 1/3 do total da produção de óleo). Isso ocorre devido ao pequeno tamanho das células, que podem variar de 0,2-30 µm, e aos meios muito diluídos (Uduman *et al.*, 2010).

A floculação, processo integral de aglomeração das partículas, é um método de separação eficaz e de baixo custo. O agente floculante Tanfloc SG (Tanac) é um polímero orgânico catiônico obtido por meio de um processo de lixiviação da casca da Acácia negra (*Acácia mearnsii de wild*), constituído basicamente por tanato quaternário de amônio. Uma grande vantagem deste floculante é o fato dele ser biodegradável (Castro-Silva *et al.*, 2004; Vaz *et al.*, 2010).

Existem várias possibilidades de aproveitamento para as microalgas, como no tratamento de efluentes, na queima de biomassa para geração de energia, na alimentação e na produção de biocombustíveis (Sacchi, 2015). Na Figura 1 é possível observar as várias finalidades energéticas para a biomassa microalgal, bem como os principais métodos de produção.

Figura 1 - Diferentes tipos de uso energético para a biomassa microalgal.



Fonte: adaptado de Zardo (2011).

Além dessas inúmeras aplicações, o cultivo de microalgas minimiza possíveis conflitos de terra, pois utiliza pequenas áreas durante sua produção. Por não demandar terras aráveis, sua produção pode ser realizada em regiões desérticas e/ou em solo degradado. Além disso, sua produção pode ser realizada durante todo o ano e não demanda aplicação de herbicidas ou pesticidas, diferenciando-se do regime de safras agrícolas (Ortenzio, 2015).

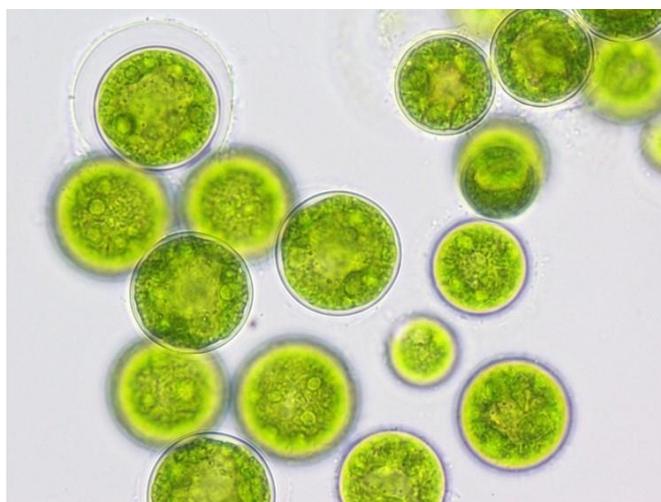
Desta forma, observa-se que as microalgas têm características bem atrativas do ponto de vista produtivo, socioeconômico e ambiental. Entretanto, o êxito biotecnológico destas depende da escolha de espécies com propriedades relevantes e com fácil cultivo, para alcançar uma alta produção de bio-óleo com um custo competitivo (Mcgininis; Dempster; Sommerfeld, 1997).

2.2. *Nannochloropsis oculata*

As microalgas do gênero *Nannochloropsis* tem atraído cada vez mais o interesse de pesquisadores devido sua alta taxa de acumulação de biomassa e alto teor de lipídios (Mal *et al.*, 2014; Ribeiro *et al.*, 2016).

A *Nannochloropsis oculata* (Figura 2) é uma espécie de microalga marinha, unicelular, pertencente ao Filo *Heterokontophyta*, Classe *Eustigmatophyceae* e Família *Eustigmataceae*. São amplamente utilizadas na aquicultura em decorrência da facilidade de cultivo, do tamanho pequeno e da velocidade de crescimento acentuada (Lourenço, 2006).

Figura 2 - Microalga da espécie *Nannochloropsis oculata*.



Fonte: Daniells (2015)

ARAÚJO *et al.* (2011) avaliaram a produção de biomassa e óleo de 10 espécies. O resultado da pesquisa apontou a *Nannochloropsis oculata* como uma das espécies mais resistentes e de maior produção de biomassa e óleo. Outros autores, como LIM *et al.* (2012), também identificaram a *Nannochloropsis oculata* como melhores produtoras de lipídios tanto em ambientes fechados como abertos. Isto pode ser evidenciado na Tabela 1.

Tabela 1 - Teor de lipídicos de alguns gêneros de microalgas.

Gênero de microalgas	Conteúdo total de lipídios (%)
<i>Nannochloropsis</i>	37 – 60
<i>Isochrysis</i>	25 – 33
<i>Dunaliella</i>	23

<i>Haematococcus</i>	16-35
<i>Neochloris</i>	2 – 47
<i>Phaeodactylum</i>	20–30
<i>Cryptocodinium</i>	20
<i>Spirulina</i>	7,6 – 8,2
<i>Tetraselmis</i>	8
<i>Scenedesmus</i>	12 – 14

Fonte: adaptado de MA *et al.* (2016).

Os ácidos graxos de maior composição da *Nannochloropsis oculata* apresentam cadeia de 16, 18 e 20 carbonos (Tabela 2).

Tabela 2 - Composição dos principais ácidos graxos encontrados na microalga da espécie *Nannochloropsis oculata*.

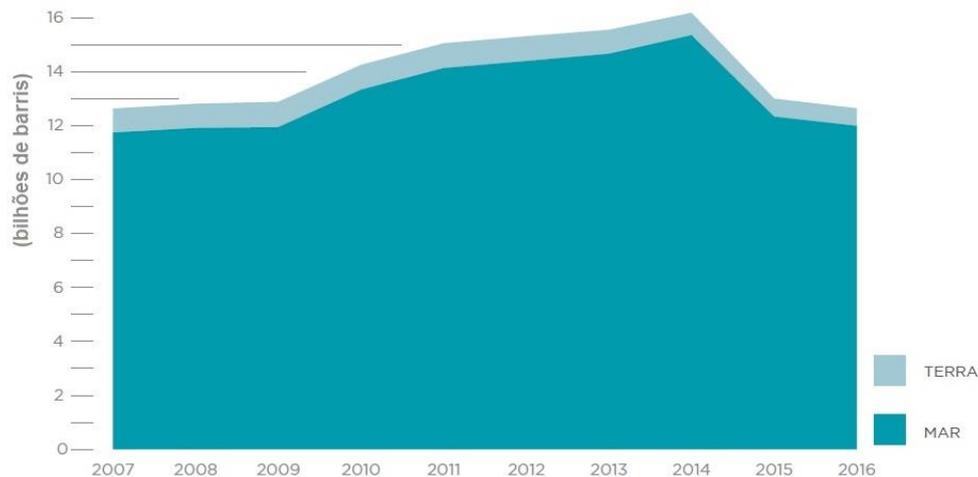
Cadeia carbônica	Composição
C8	0,19
C12	0,38
C14	5,30
C15	2,56
C16	44,99
C17	0,67
C18	17,66
C20	21,06
C21	0,18
C22	6,22
C23	0,52
C24	0,27

Fonte: adaptado de RIBEIRO *et al.* (2016).

2.3. Biodiesel

Como pode ser observado na Figura 3, apesar do planeta ainda conter grandes reservas de petróleo, o número de barris tem diminuído nos últimos anos.

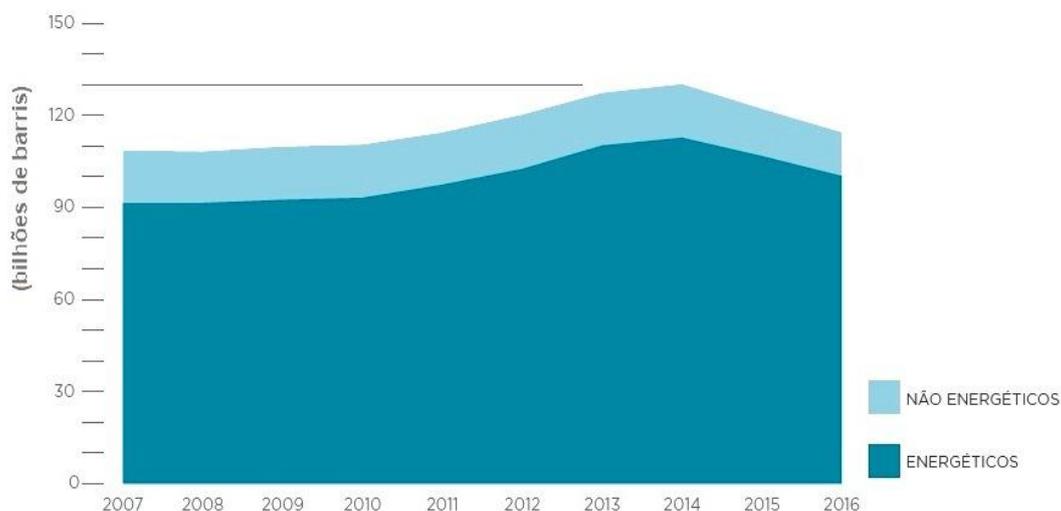
Figura 3 - Evolução das reservas de petróleo na terra e no mar de 2007 a 2016.



Fonte: adaptado de ANP (2017).

Este fato implica na diminuição da produção de derivados de petróleo que tem ocorrido nos últimos anos (Figura 4), o que reforça a importância da busca por combustíveis alternativos para substituir os derivados de petróleo como, por exemplo, o biodiesel.

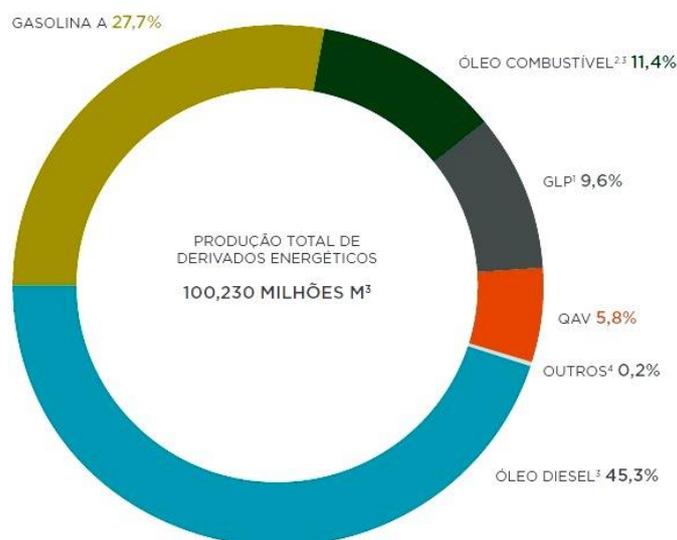
Figura 4 - Evolução da produção de derivados de petróleo.



Fonte: adaptado de ANP (2017).

Na Figura 5 é possível observar o percentual de produção dos diferentes derivados de petróleo. A maior produção está associada ao óleo diesel. Parte do diesel comercial já contém um percentual de biodiesel obrigatório por lei.

Figura 5 - Distribuição percentual da produção de derivados energéticos de petróleo – 2016.



Fonte: adaptado de ANP (2017).

O biodiesel consiste em um combustível composto de ésteres derivados de ácidos carboxílicos de cadeia longa, produzido a partir da transesterificação e que atenda à especificação contida no Regulamento Técnico da Resolução ANP nº 45, de 25/8/2014 (ANP, 2017) (Tabela 3).

Tabela 3 - Especificação do biodiesel.

Característica	Unidade	Limite
Massa específica a 20°C	kg m ⁻³	850-900
Viscosidade cinemática a 40°C	mm ² s ⁻¹	3,0-6,0
Teor de água (máx.)	mg kg ⁻¹	200
Índice de acidez (máx.)	mg KOH g ⁻¹	0,50

Fonte: Adaptado de ANP (2014).

A produção do biodiesel é realizada por meio de diferentes processos que utilizam fontes renováveis (óleos vegetais ou residuais). Seu uso ocorre através da sua forma pura ou em misturas com o combustível de origem fóssil, em diferentes proporções. O percentual de

biodiesel adicionado ao diesel irá determinar sua denominação. Para a mistura de 2% de biodiesel e 98% de diesel a denominação é B2, para a mistura de 5% de biodiesel e 95% de diesel a denominação é B5, e assim por diante. O biodiesel puro é denominado de B100 (Castro, 2009).

Por meio do Programa Nacional da Produção e Uso de Biodiesel (PNPB), a Lei nº 11.097, de 13 de janeiro de 2005, fixou um percentual mínimo obrigatório de 2%, em volume, de adição de biodiesel ao óleo diesel, que entrou em vigor em janeiro de 2008 (ANP, 2017) (Tabela 4).

Tabela 4 - Período e percentual obrigatório de adição de biodiesel ao diesel de 2008 até os dias atuais.

Período	Percentual obrigatório (%)
De janeiro de 2008 até junho de 2008	2
De julho de 2008 até junho de 2009	3
De julho até dezembro de 2009	4
De janeiro de 2010 até julho de 2014	5
De agosto até outubro de 2014	6
De novembro de 2014 até fevereiro de 2017	7
De março de 2017 até fevereiro de 2018	8
A partir de março de 2018	10

Fonte: adaptado de ANP (2017; 2018).

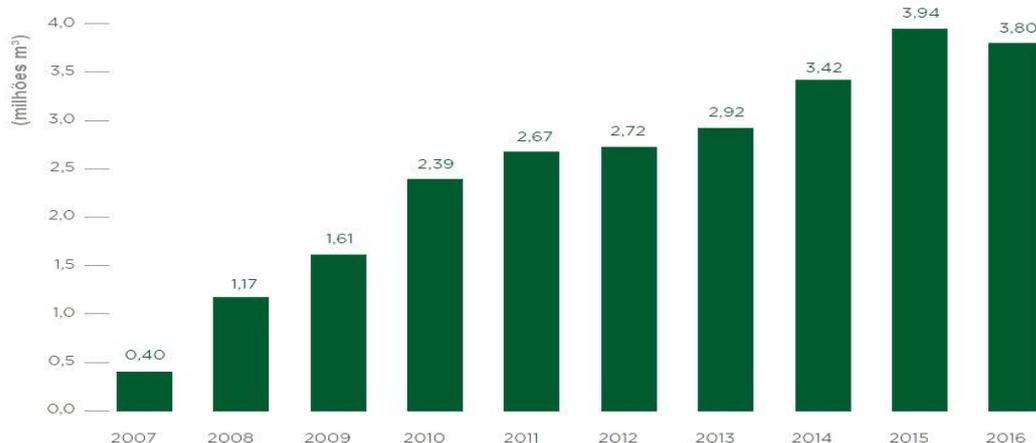
Em 2013, a produção anual de biodiesel no país era de 2,9 bilhões de litros e uma capacidade instalada, no mesmo ano, de cerca de 7,9 bilhões de litros, colocando o país entre os maiores produtores e consumidores de biodiesel do mundo (ANP, 2014).

Em 2014, a capacidade nominal para produção de biodiesel (B100) no Brasil era de cerca de 7,7 milhões de m³. Entretanto, a produção nacional foi de 3,4 milhões de m³, o que correspondeu a 44,3% da capacidade total (ANP, 2015)

Já em 2015, a produção de biodiesel (B100) no Brasil foi de 3,9 milhões de m³, 15,1% maior do que em 2014. Porém, essa produção correspondeu apenas 53,3% da capacidade total, pois a capacidade nominal para produção em 2015 era de cerca de 7,4 milhões de m³ (ANP, 2016).

Em 2016, a capacidade nominal de produção de biodiesel (B100) no Brasil era de cerca de 7,4 milhões de m³. Contudo, a produção nacional foi de 3,8 milhões de m³, correspondendo a 51,3% da capacidade total (ANP, 2017) (Figura 6).

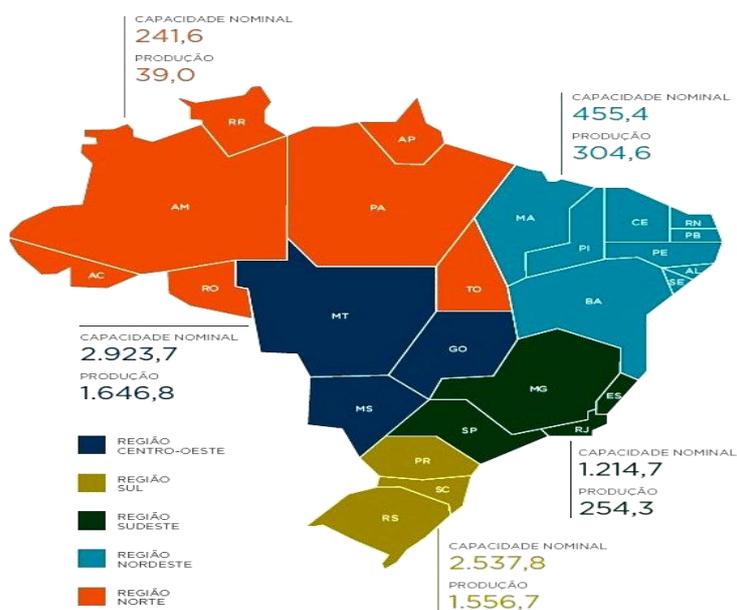
Figura 6 - Evolução da produção de biodiesel no Brasil de 2007 a 2016.



Fonte: ANP (2017).

Na Figura 7 é possível observar a capacidade nominal e produção real nas regiões centro-oeste, sul, sudeste, nordeste e norte do Brasil.

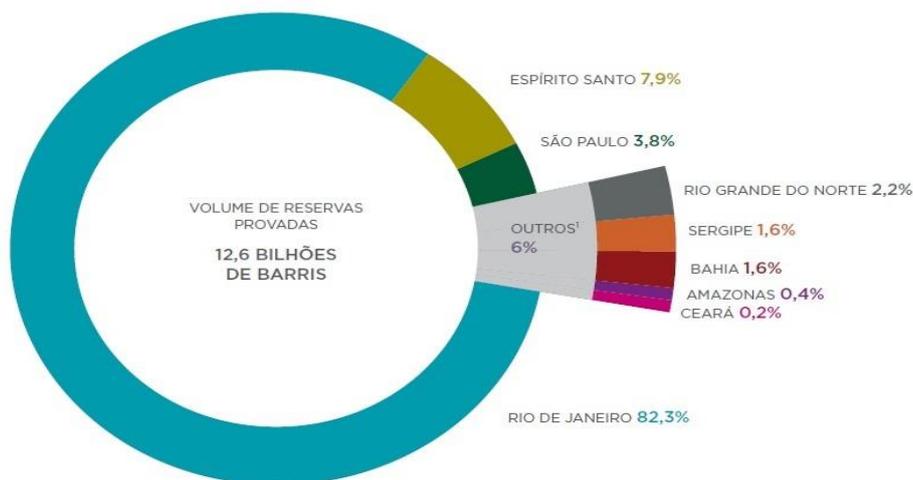
Figura 7 - Capacidade nominal e produção de biodiesel B100, segundo grandes regiões (mil m³ / ano) em 2016.



Fonte: ANP (2017).

As regiões centro-oeste e sul são as maiores produtoras de biodiesel e as que possuem maiores capacidades. Observa-se que a região sudeste produz pouco biodiesel comparando com sua capacidade nominal. Isso pode ser justificado pelo fato dessa região conter os estados (Rio de Janeiro, Espírito Santo e São Paulo) que detém a maior parte das reservas de petróleo do país (Figura 8), tendo seu foco na produção de combustíveis derivados de petróleo.

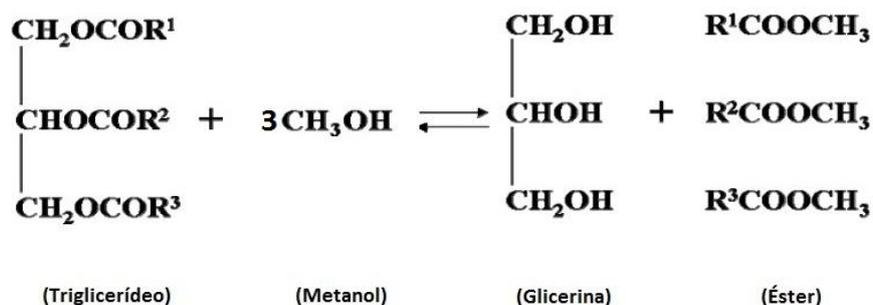
Figura 8 - Distribuição percentual das reservas de petróleo.



Fonte: adaptado de ANP (2017)

O biodiesel pode ser obtido por meio de diferentes meios de produção, sendo a reação de transesterificação o mais comum. Na síntese do biodiesel feita através desta reação, um triglicerídeo reage com um álcool formando ésteres e glicerol. Para acelerar essa reação utilizam-se catalisadores ou álcool supercrítico. Devido a estequiometria da reação a partir de um mol de triglicerídeo são obtidos três mols de ésteres (Silva Filho, 2010; Silva, 2010) (Figura 9).

Figura 9 - Representação da transesterificação metílica do triglicerídeo.

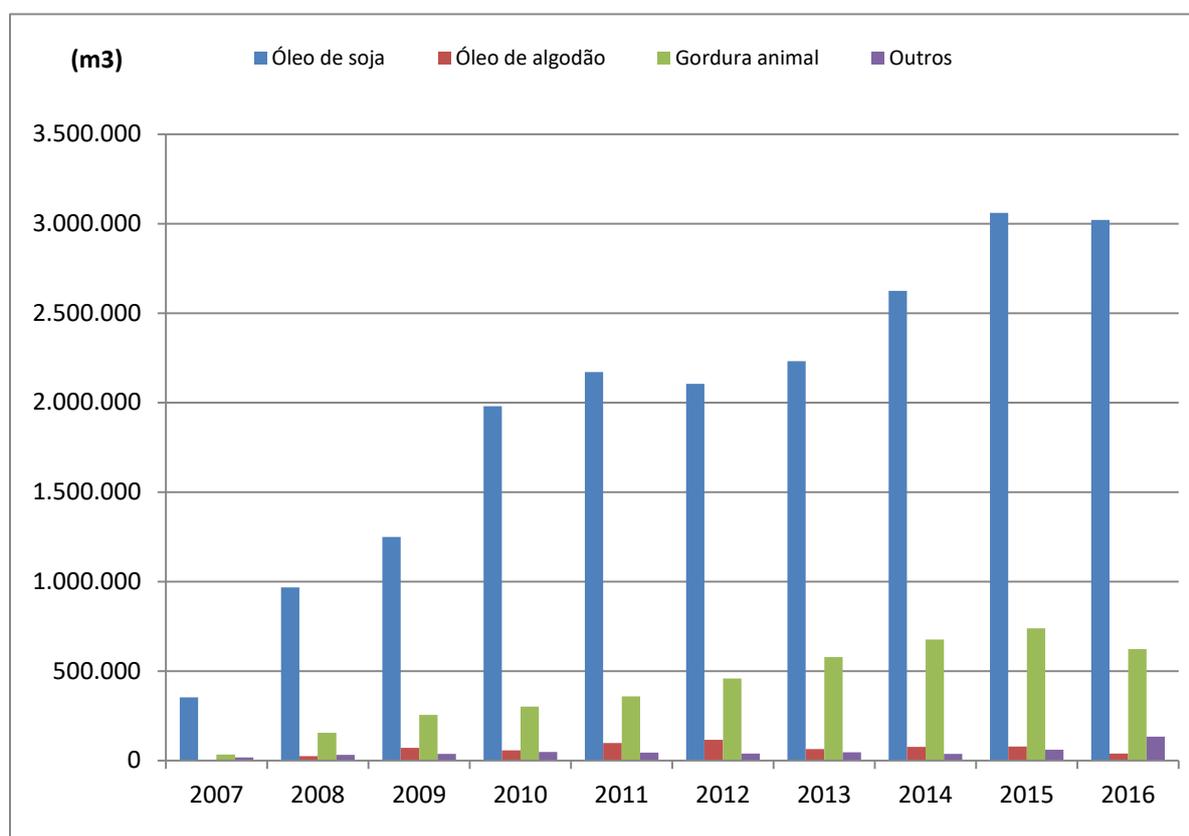


Fonte: adaptado de Souza (2006).

Ao final da reação de transesterificação observam-se duas fases distintas que podem ser separadas por decantação ou centrifugação. A glicerina consiste na fase mais densa (fase inferior) e a mistura de ésteres consiste na fase menos densa (fase superior). Essa reação é influenciada por diversos fatores, como por exemplo, a temperatura e o tempo reacional, o tipo de matéria-prima (óleo, álcool e catalisador) utilizada e a proporção entre os reagentes (Castro, 2009; Silva Filho, 2010; Maroubo, 2013).

A matéria prima mais utilizada na produção de biodiesel (B100) no Brasil é o óleo de soja, equivalente a 79,1% do total. A segunda no ranking de produção das usinas é a gordura animal (16,3% do total), seguida pelo óleo de algodão (1% do total) e outros materiais graxos com 3,5% de participação (ANP, 2017) (Figura 10).

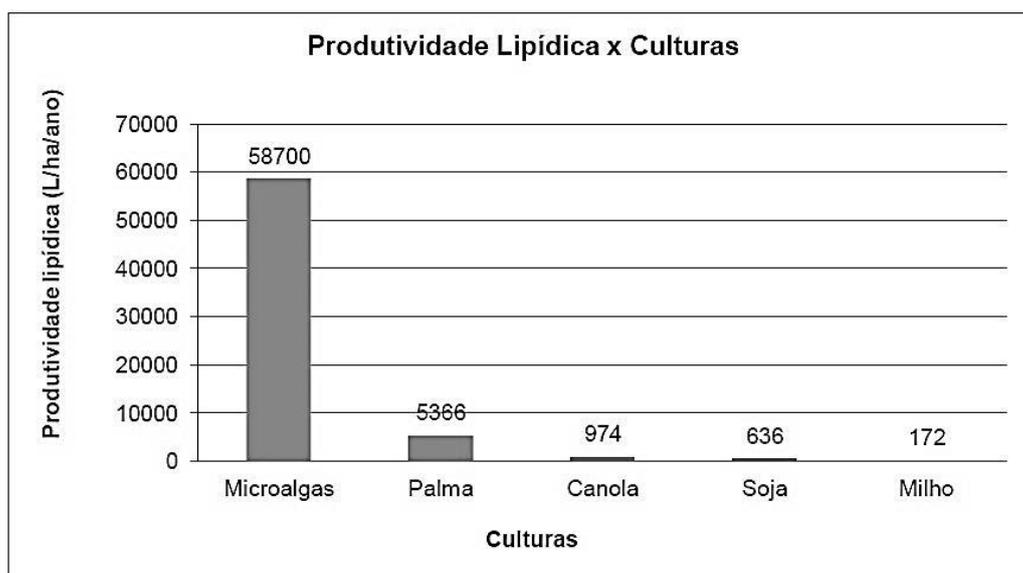
Figura 10 - Matérias primas utilizadas na produção do biodiesel (B100) de 2007 até 2016.



Fonte: adaptado de ANP (2017).

Apesar da soja ser a principal matéria prima utilizada na produção de biodiesel, as microalgas apresentam destaque quanto a produção lipídica, como pode ser observado na Figura 11.

Figura 11 - Produtividade lipídica de diferentes matérias primas.



Fonte: Chisti (2007).

A produção de biodiesel a partir de microalgas tem o potencial de superar outros tipos de matéria-prima. De acordo com os especialistas, seriam necessários 140 milhões de galões de biodiesel para substituir produtos a base de petróleo a cada ano. Fazendo-se o uso de microalgas, para atingir esta meta as companhias precisariam de uma área de cerca de 95 milhões de acres, este valor é pequeno quando comparado aos bilhões de acres de outras matérias primas demandariam (Vidal Junior, 2014).

2.4. Bibliometria

A expansão da ciência e da tecnologia que tem ocorrido nas últimas décadas, tem demandado a avaliação de tais avanços e a determinação dos desenvolvimentos alcançados pelas diversas disciplinas do conhecimento. Neste contexto surge a importância da medição das taxas de produtividade dos investigadores e dos núcleos de pesquisa, a fim de detectar as instituições e áreas com maiores potencialidades. Para este tipo de medição, torna-se fundamental o uso de técnicas específicas de avaliação que podem ser quantitativas ou qualitativas, ou mesmo uma combinação entre ambas. Este método pode auxiliar na determinação das prioridades no momento da alocação de recursos públicos (Vanti, 2002).

A bibliometria pode ser definida como uma análise quantitativa da informação, ela é baseada na aplicação de técnicas estatísticas e matemáticas para descrever aspectos da literatura e de outros meios de comunicação (Araújo, 2006).

A Web of Science consiste em uma base de dados que possui artigos de periódicos e documentos científicos nas áreas de ciências, ciências sociais, artes e humanidades e pode ser acessada via Portal da Capes. Por meio da ferramenta “relatório de citações” disponível nesta plataforma, é possível obter informações sobre o número de referências citadas, o número de vezes que um autor foi citado e o *h-index* (Neves & Jankoski, 2009).

O *h-index* consiste em uma ferramenta para determinar a qualidade relativa de trabalhos (Hirsch, 2005). De acordo com Thomaz, Assad & Moreira (2011), o *h-index* pode ser definido como o número de artigos publicados, os quais obtenham citações maiores ou iguais a esse número. Por exemplo, um pesquisador ou uma base de dados com *h-index* de dez possui, pelo menos, dez artigos publicados, cada um deles com, pelo menos, dez citações.

3. Metodologia

A fim de estudar o andamento de trabalhos científicos de alta relevância que apontam técnicas de produção de biodiesel a partir de microalgas do gênero *Nannochloropsis*, foi realizada uma revisão bibliométrica da base de dados obtida na plataforma Web of Science®. A metodologia consistiu em uma busca por trabalhos que tivessem em seu título as palavras “biodiesel” e “*Nannochloropsis*” entre os anos 2000 e 2017. Para refinar os dados, selecionaram-se apenas os trabalhos na língua inglesa e em formato de artigo.

Para adquirir informações sobre a base, gerou-se o relatório de citações que forneceu o valor do *h-index*, número total de citações, o número de citações de artigos por ano e contribuição das diferentes áreas de pesquisa. Com base nesses dados foi possível gerar o gráfico de número de publicações por ano e do percentual de contribuição das diferentes áreas de pesquisa.

Visando uma melhor visualização dos resultados, os arquivos obtidos na plataforma Web of Science® foram salvos em extensão de arquivo “.txt”, sem formatação e inseridos no software CiteSpace® versão 5.0. Através da ferramenta *geographical*, foi possível gerar um mapa no Google Earth® contendo a localização geográfica dos respectivos autores encontrados.

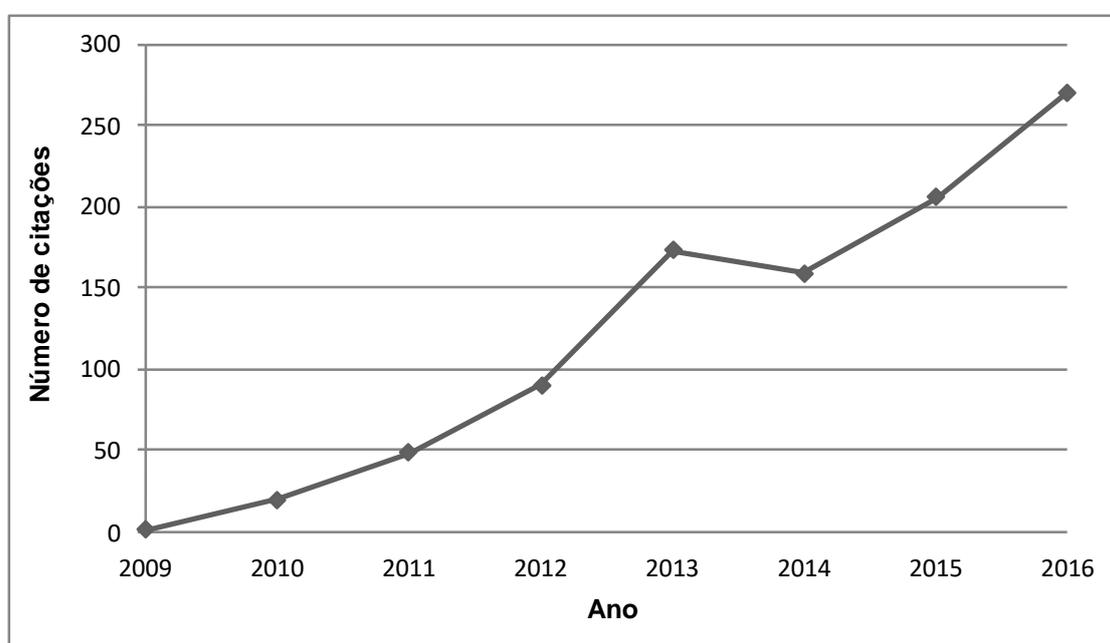
Os artigos foram ordenados do mais citado para o menos citado por ano e, em seguida, foi feita a leitura de um número de artigos igual ao valor *h-index* desta base, com isso foi possível analisar os artigos de maior relevância indexados na Web of Science®, onde extraíram-se os principais resultados obtidos nas pesquisas sobre produção de biodiesel a partir de microalgas do gênero *Nannochloropsis*.

4. Resultados e Discussão

Após o refino da base de dados, seguindo a metodologia proposta, foi possível obter um número de 40 manuscritos. Com os dados obtidos pelo relatório de citações verificou-se que o número total de citações dessa base foi de 1088 e com *h-index* de 13. A primeira publicação ocorreu em 2009, na Turquia, na revista *Bioresource Technology*, pelos autores Umdü, E. S.; Tuncer, M. E. Seker, E.. Esse resultado aponta a Turquia como um país pioneiro nas publicações desta temática.

Foi gerado um gráfico em que é possível analisar a evolução do número de citações por ano até 2016 (Figura 12).

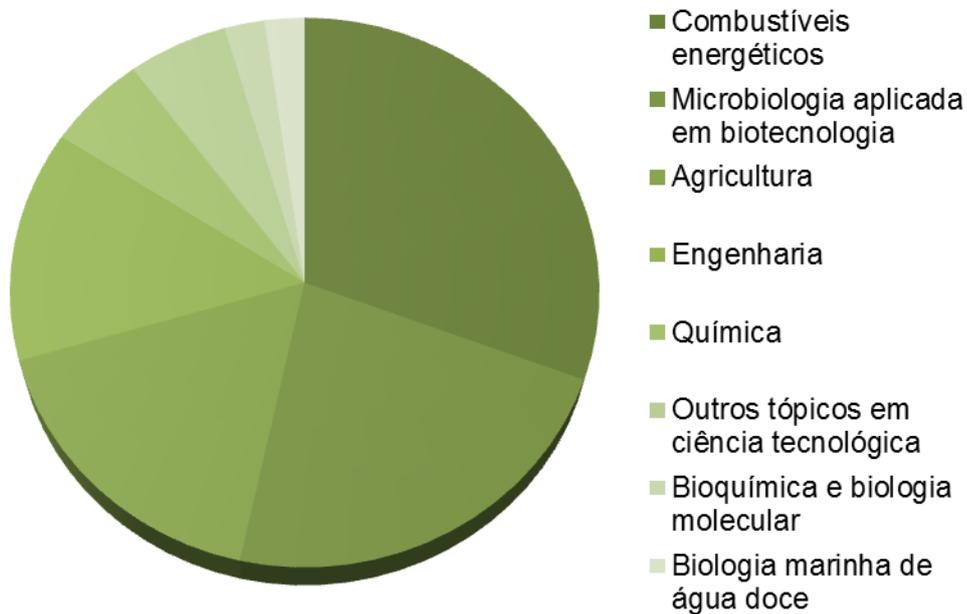
Figura 12 - Gráfico do número de citações por ano.



Fonte: autor.

Pela análise do gráfico é possível observar que as citações nessa área surgiram em 2009 e foram, de modo geral, crescendo ao longo dos anos. Outra informação interessante pode ser observada na Figura 13, que mostra o gráfico do percentual da contribuição das diferentes áreas de pesquisa nos artigos obtidos no presente estudo.

Figura 13 - Percentual da contribuição das diferentes áreas de pesquisa.

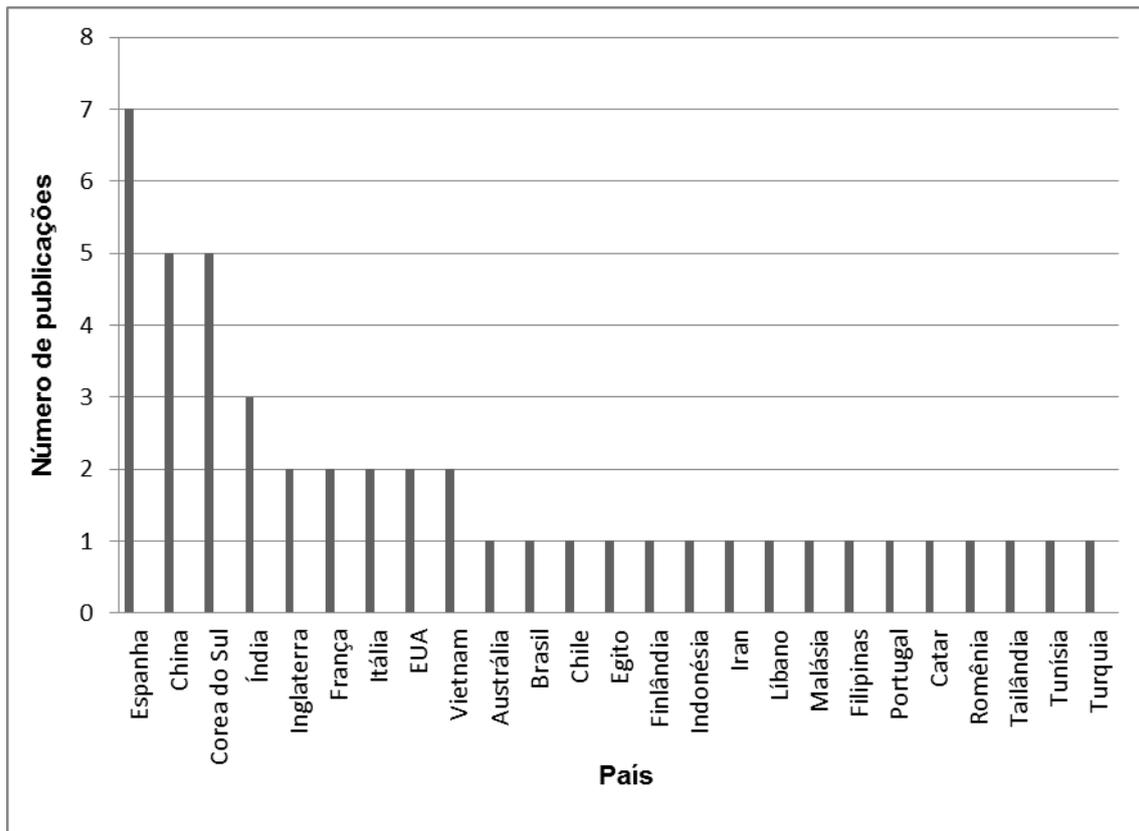


Fonte: autor.

Observa-se que a área de pesquisa que mais contribui para este estudo é a de “combustíveis energéticos”, seguida da “microbiologia aplicada em biotecnologia” e da “agricultura”, configurando-se essas áreas como as de maior campo de atuação.

Foi encontrado um total de 25 países onde ocorreram as publicações desta base. A quantidade de publicações correspondente a cada país pode ser observado na Figura 14.

Figura 14 - Gráfico da quantidade de publicações por país.

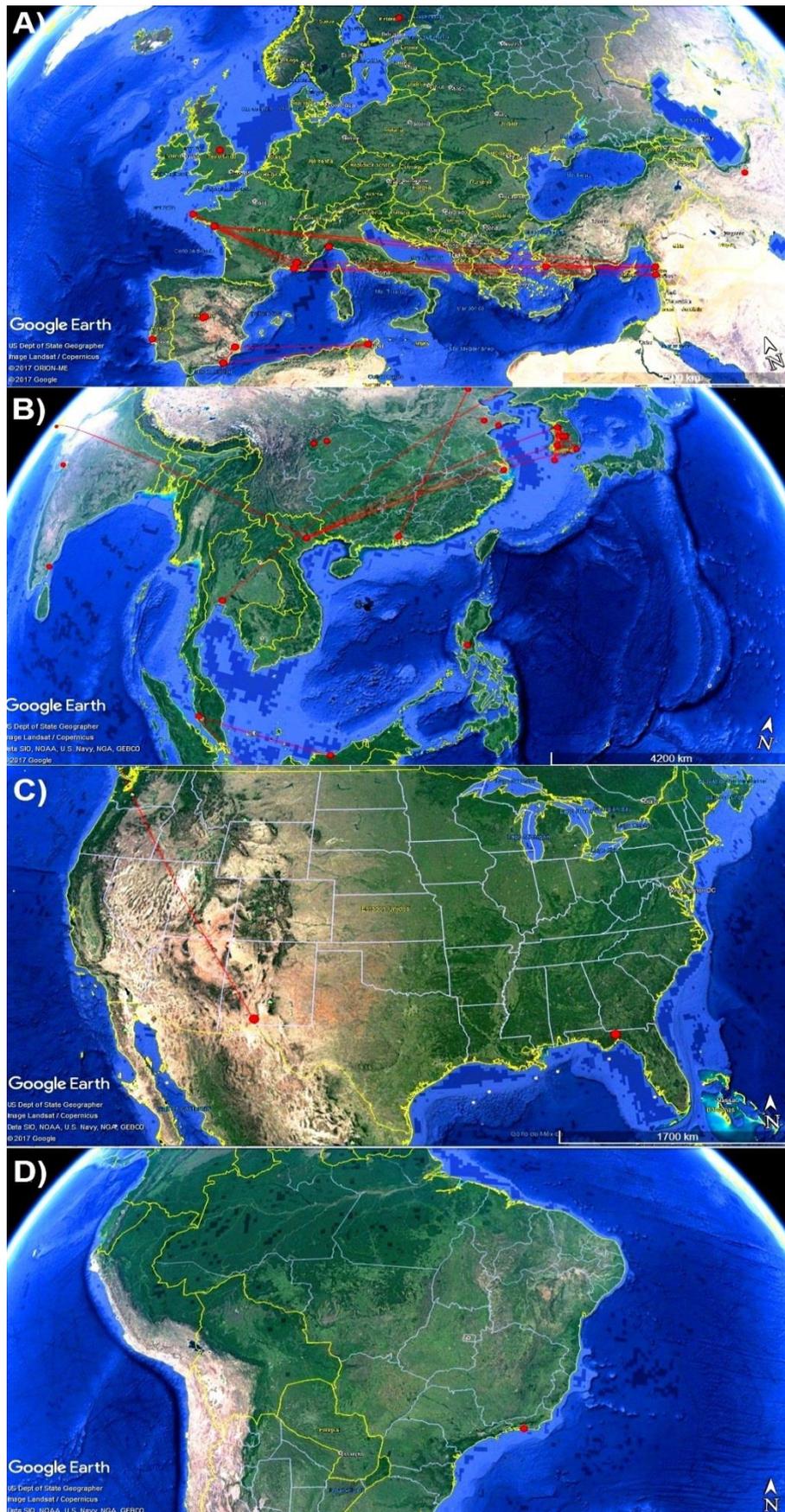


Fonte: autor.

Pela análise da Figura 14, observa-se que o país com maior número de publicações é a Espanha. Em segundo lugar temos a China e a Coreia do Sul e, em terceiro, a Índia.

Para melhor visualização das regiões que contém os autores desta base, bem como suas conexões, os arquivos obtidos na plataforma Web of Science® foram inseridos no software CiteSpace® e através da ferramenta *geographical*, gerou-se um mapa no Google Earth®, contendo a localização geográfica dos autores. Assim, por meio da Figura 15 podem ser observadas quatro regiões principais, em que “A” representa Europa, “B” Ásia, “C” Estados Unidos e “D” Brasil. Os círculos vermelhos representam a localização do autor e as linhas vermelhas os trabalhos realizados em co-autoria.

Figura 15 - Mapas da localização dos autores.



Fonte: autor (extraído do Google Earth).

Observa-se que as regiões onde estão os autores que mais contribuem para a presente pesquisa são a Europa e a Ásia. Nos Estados Unidos, por exemplo, existem dois autores que publicaram nesta área, sendo que o Brasil possui apenas um autor com artigo indexado na Web of Science® com título do trabalho envolvendo produção de biodiesel a partir da microalga do gênero *Nannochloropsis*. Sugere-se assim que sejam feitas mais pesquisas nesta área, já que o país apresenta grande território e clima propício para o cultivo de microalgas.

Em relação aos principais resultados extraídos dessa base de dados, Umdu, Tuncer & Seker (2009) realizaram estudos com catalisadores heterogêneos $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ e $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ na transesterificação do óleo de microalgas para produzir biodiesel. Foi utilizada a combinação pura e a sintetizada em 50 e 80% em peso pelo método sol-gel, no qual se observou que os catalisadores puros não são ativados. Os sintetizados com 80% são 4-5 vezes mais ativos que os com 50%. O catalisador de maior atividade foi o CaO/Al_2 , que pode ser reutilizado pelo menos duas vezes, sendo que para o carregamento de 80% em peso, o rendimento de biodiesel é de 23% enquanto o do $\text{MgO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ é 16%. Usando catalisador $\text{CaO}/\text{Al}_2\text{O}_3$ a 80% em peso, foi observado que o aumento da relação metanol-lipídeo de 6:1 para 30:1, implicou em um aumento no rendimento de biodiesel de 23% para 97,5%, indicando um aumento da taxa de reação de transesterificação com o aumento da quantidade de metanol.

Jazzar *et al.*, (2015) estudaram o efeito da proporção de metanol para secar algas, do tempo de reação e da temperatura na produção de biodiesel utilizando microalgas úmidas e secas. O biodiesel foi sintetizado via transesterificação direta sem catalisadores adicionados usando metanol supercrítico. Os rendimentos máximos de biodiesel de 0,46 e 0,48 g/g de lipídios foram atingidos a partir da biomassa úmida e seca, respectivamente, a 255 e 265 °C, com tempo de reação de 50 min e usando uma relação de metanol para secar algas de 10:1.

Carrero *et al.*, (2011) concluíram que o catalisador de zeólito h-Beta hierárquico apresentou uma boa atividade na reação de produção de éster metílico e observou um aumento na produção com o aumento da temperatura de 85 a 115 °C.

Teo *et al.*, (2014) produziram biodiesel microalgal a partir da transesterificação com metanol na presença de dois catalisadores sólidos ($\text{Ca}(\text{OCH}_3)_2$ e CaO) e um catalisador homogêneo (NaOH), no qual foi estudado o efeito de diferentes parâmetros de reação incluindo tempo de reação, razão molar metanol/óleo e dose de catalisador sobre o rendimento de éster. Foi observado que o aumento da razão molar metanol-lipídeo de 10:1 para 60:1 implicou em um significativo aumento de rendimento de éster de 6,9 para 85,4%. O rendimento de éster atingiu um máximo de 92,0% quando 12% em peso de catalisador foi utilizado, no entanto, quando o carregamento aumentou para 15% em peso, o rendimento

diminuiu para 61,6%. Foi observado que catalisador de NaOH reage significativamente mais rápido em comparação com os catalisadores heterogêneos e que a produção de éster é diretamente proporcional ao tempo de reação. O catalisador de Ca (OCH₃)₂ pode ser reutilizado até cinco vezes, sendo que a reciclagem do catalisador é um passo importante, pois minimiza o custo do processo.

Li *et al.*, (2011) investigaram os efeitos de vários parâmetros de reação na transesterificação usando catalisador de base sólida de Mg-Zr. No método de um estágio, em que foi realizada a transesterificação direta das microalgas secas, foram encontrados bons resultados para o uso de 10% em peso de catalisador. Quando a quantidade de catalisador era baixa, a concentração de espécies ativas não era suficiente para obter um alto rendimento de éster metílico, enquanto que a adição do catalisador em excesso implicou na formação de um material multifásico que aumentou a resistência à agitação e diminuiu a dispersão do catalisador, o que levou a um baixo rendimento. Também foi observado que o rendimento de éster metílico aumentou com o volume crescente de solvente misto e atingiu valor máximo em 45 mL, sendo que uma maior quantidade de solvente provoca diminuição deste rendimento. Em relação à dependência do rendimento do éster metílico com polaridade do solvente misto, observou-se que o rendimento aumentou de 12,1% para um máximo de 28,0% quando a relação volumétrica de metanol para dicloreto de metileno variou de 1:2 para 3:1. Entretanto, quando a relação aumentou para 4:1, o rendimento diminuiu para 25,6%.

No método de dois estágios, no qual foi realizada a extração do óleo para posterior transesterificação, Li *et al.*, (2011) observou que o rendimento de éster metílico aumentou com o aumento da proporção em peso de metanol para o lipídeo e atingiu um máximo de 22,2% na proporção 10:1. No aumento da proporção para 20:1, foi observada uma diminuição no rendimento. O autor conclui que o método de dois estágios apresentou várias desvantagens, incluindo a complexidade da operação, um alto consumo de energia e um custo relativamente alto. Comparando com a reação de dois estágios, o método de um estágio (transesterificação direta) simplificou o processo de conversão e reduziu as unidades de processamento e, conseqüentemente, o custo do processo global. Além disso, o método de transesterificação direta apresentou maior rendimento de éster metílico do que o método de dois estágios. O autor também conclui que o catalisador de base sólida de Mg-Zr apresenta fácil remoção após o uso quando comparado aos convencionais.

Razon & Tan (2011) realizaram estudos para determinar se o biodiesel microalgal pode fornecer mais energia do que é necessário para produzi-lo. O resultado dos cálculos mostra que a demanda de energia para produzir 1 kg de ésteres metílicos é 86 MJ, enquanto a

produção de energia líquida que pode ser esperada na sua queima é de 37 MJ. O elevado gasto energético está associado à energia necessária para cultivar e secar a microalga ou para extrair o óleo. Desta forma, é recomendado o aprimoramento das tecnologias de produção de biodiesel de microalgas para torná-lo viável do ponto de vista energético.

Com base nas informações adquiridas pela revisão bibliométrica foi possível gerar a matriz SWOT (Quadro 1), identificando os pontos positivos e negativos.

Quadro 1 - Matriz SWOT elaborada de acordo com a base de dados coletada.

Positivo	Negativo
Forças	Fraquezas
- Fonte renovável; - Não compete com a produção de alimentos.	- Custo de produção do biodiesel a partir de microalgas ainda não é viável.
Oportunidades	Ameaças
- Eliminação de algumas etapas da produção a fim de viabilizar o processo; - Reutilização de água no cultivo; - Aumentar a quantidade de metanol ou de solvente para o aumento da taxa de reação; - Aumentar a temperatura para o aumento da taxa de reação; - Reutilização dos catalisadores.	- Quantidade muito baixa de catalisador pode implicar em baixo rendimento de éster metílico; - Catalisador em excesso pode aumentar a resistência à agitação e, conseqüentemente, diminuir o rendimento; - Grande quantidade de solvente pode provocar a diminuição do rendimento.

Fonte: o autor.

A matriz SWOT aponta forças, fraquezas, oportunidades e ameaças com base nas informações extraídas da base de dados. Isto auxilia os pesquisadores na hora de planejar os experimentos dessa temática de pesquisa.

5. Conclusão

O aumento do percentual obrigatório de adição biodiesel ao diesel de petróleo que tem ocorrido ao longo dos anos auxilia no incentivo de pesquisas nessa área, já que a demanda de biodiesel vem se tornando cada vez maior.

Por meio da revisão bibliométrica realizada no presente estudo, observou-se que citações envolvendo biodiesel e *Nannochloropsis* surgiram em 2009 e foram, de modo geral, crescendo ao longo dos anos.

O Brasil possui apenas um autor com artigo indexado na Web of Science[®] com título envolvendo produção de biodiesel a partir da microalga do gênero *Nannochloropsis*. Sugere-se que sejam feitas mais pesquisas nesta área, já que o país apresenta grande território e clima propício para o cultivo de microalgas.

Por meio das informações obtidas da base de dados, foi possível identificar as forças, fraquezas, oportunidades e ameaças dessa temática de pesquisa.

Para trabalhos futuros, sugere-se que seja feita uma investigação mais detalhada da causa dos baixos níveis de produção de artigos dessa temática no Brasil, a fim de enriquecer ainda mais a pesquisa.

Referências

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. 2014.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. 2015.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. 2016.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis**. 2017.

ANP - Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. **Percentual obrigatório de biodiesel passa para 10%**. 2018. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/noticias/4333-percentual-obrigatorio-de-biodiesel-passa-para-10>> Acesso: 13 de junho de 2018.

ARAÚJO, C. A. **Bibliometria: evolução histórica e questões atuais**. 2006. Em *Questão*. Porto Alegre, v. 12, n. 1, p. 11-32, jan./jun.

ARAÚJO, G. S.; MATOS, L. J. B. L.; GONCALVES, L. B.; FERNANDES, F. A. N.; FARIAS, W. R. L. **Bioprospecting for oil producing microalgal strains: evaluation of oil and biomass production for ten microalgal strains.** 2011. *Bioresource technology*, v. 102, n. 8, p. 5248-5250.

AZEREDO, V. B. S. de. **Produção de biodiesel a partir do cultivo de microalgas: estimativa preliminar de custos e perspectivas para o Brasil.** 2012. Rio de Janeiro. 188 p. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

BENEVIDES, M. S. L. **Estudo sobre a produção de biodiesel a partir de oleaginosas e análise de modelos cinéticos do processo de transesterificação via catálise homogênea.** 2011. Rio Grande do Norte. 75p. Universidade Federal Rural do Semi-Árido.

CARRERO, A., VICENTE, G., RODRIGUEZ, R., LINARES, M., &del PESO, G. L. **Hierarchical zeolites as catalysts for biodiesel production from *Nannochloropsis* microalga oil.** 2011. *Catalysis Today*, 167 (2011), 148–153.

CASTRO, B. C. S. **Otimização das Condições da Reação de Transesterificação e Caracterização dos Rejeitos dos Óleos de Fritura e de Peixe para Obtenção de Biodiesel.** 2009. Rio de Janeiro. 119p. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

CASTRO-SILVA, M. A. RORIG, L. R.; LAMB, L. H; HECK, C. A.; DECUSATI, O. G. **Microorganismos associados ao tratamento de águas de abastecimento com coagulante orgânico vegetal (tanato quaternário de amônio) – I. Microorganismos filamentosos.** 2004. *Estudos de Biologia*, v.26, n. 54, p. 21- 27.

CHISTI, Y. **Biodiesel from microalgae.** 2007. *Biotechnology Advances*. Palmerston North, v. 25, n. 3, p. 294-306.

DANIELLS, S. **Texas storms disrupt Qualitas algal production: ‘It’s a setback but we’re still in a unique position,’ says CEO.** 2015. *Nutra Ingredients USA*.

JAZZAR, S., OLIVARES-CARRILLO, P., de los RÍOS, A. P., MARZOUKI, M. N., ACIÉN-FERNÁNDEZ, F. G., FERNÁNDEZ-SEVILLA, J. M., MOLINA-GRIMA, E., SMAALI, I.,

& QUESADA-MEDINA, J. **Direct supercritical methanolysis of wet and dry unwashed marine microalgae (*Nannochloropsis gaditana*) to biodiesel.** 2015. Applied Energy, 148 (2015), 210–219.

JOHNSON, M. B.; WEN, Z. **Production of Biodiesel Fuel from the Microalga *Schizochytrium limacinum* by Direct Transesterification of Algal Biomass.** 2009. Energy Fuels.

VIDAL JUNIOR, E. de A. **Obtenção de óleo extraído da Microalga *Chlorella sp.*** 2014. São Paulo. 65 p. Escola de engenharia de Lorena EEL USP.

LIM, D. K. Y.; GARG, S.; TIMMINS, M; ZHANG, E. S. B.; THOMAS-HALL, S. R; SCHUHMANN, H.; LI, Y.; SCHENK, P. M. **Isolation and evaluation of oil producing microalgae from subtropical coastal and brackish waters.** 2012. Plos One, v. 7, n. 7, p. 40751.

LOURENÇO, S. O. **Cultivo de microalgas marinhas: Princípios e aplicações.** 2006. São Carlos. Rima.

MA, X.-N.; CHEN, T.-P.; YANG, B.; LIU, J.; CHEN, F. **Lipid Production from *Nannochloropsis*.** 2016. Marine Drugs. 14(4), 61.

MAL, Y.; WANG, Z.; YU, C.; YIN, Y.; ZHOU, G. **Evaluation of the potential of 9 *Nannochloropsis* strains for biodiesel production.** 2014. Bioresource Technology 167 (2014) 503–509.

MAROUBO, L. A. **Estudo sobre a obtenção de biomassa microalgal como matéria-prima para a produção de biodiesel.** 2013. Paraná. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

MCGINNIS, K. M.; DEMPSTER, T. A.; SOMMERFELD, M. R. **Characterization of the growth and lipid content of the diatom *Chaetoceros muelleri*.** 1997. Journal of Applied Phycology, v. 9, n. 1, p. 19-24.

MENDES, C. d'U. de S. **Mapeamento tecnológico do biodiesel e tecnologias correlatas sob o enfoque dos pedidos de patentes.** 2008. 78 p. Instituto Nacional da Propriedade Industrial.

MORAIS, K. C. C. **Análise e desenvolvimento de aquicultura da microalga *Phaeodactylumtricornutum* em crescimento autotrófico e mixotrófico em fotobiorreatores compactos.** 2011. Curitiba. 106 p. Universidade Federal do Paraná.

NEVES, L. M. B., JANKOSKI, D. A. **Tutorial da base Web of Science.** 2009. Biblioteca de ciências da saúde/sd. 15 p.

OLIVEIRA, T. et al. Um estudo de matérias primas para a fabricação de biodiesel. Revista Educação, Gestão e Sociedade: revista da Faculdade Eça de Queirós, ISSN 2179-9636, v. 7, n. 27, agosto de 2017. Disponível em: <http://uniesp.edu.br/sites/_biblioteca/revistas/20170919090714.pdf>. Acesso em: 06 jul. 2018.

ORTENZIO, Y. T.; AMARAL, G. G; ALMEIDA, S. S.; OLIVEIRA, E. C. A. M. **Cultivo de microalgas utilizando resíduos agroindustriais para a produção de bicompostíveis: perspectivas e desafios.** 2015. Bioenergia em Revista: Diálogos, v. 5, n. 1, p.20-25.

PROCÓPIO, Z. S. D. **Avaliação da produção de biodiesel de microalga *Isochrysisgalbana* via transesterificação *in situ*.** 2014. Natal. 93 p. Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

RAZON, L. F., & TAN, R. R. **Net energy analysis of the production of biodiesel and biogas from the microalgae: *Haematococcuspluvialis* and *Nannochloropsis*.** 2011. Applied Energy, 88 (2011), 3507–3514.

RIBEIRO, D. M.; S. JUNIOR, P. L. D.; TELES, V. C.; SOARES, I. P.; GARCIA, L. C.; ABREU, P. C. V.; BRASIL, B. dos S. A. F. **Caracterização da composição química da biomassa da microalga *Nannochloropsis oculata* cultivada em tanque aberto tipo raceway.** 2016. Embrapa Agroenergia.

SACCHI, G. D. **Flotação por ar dissolvido aplicado à separação de microalgas cultivadas em fotobiorreator, alimentado com vinhaça pré-tratada físico-quimicamente, com vistas à exploração de seu potencial bioenergético.** 2015. São Carlos. 305 p. Universidade de São Paulo.

SILVA, D. A. da. **Produção de biomassa de microalgas cultivadas em esgoto sanitário biodigerido visando a produção de biodiesel.** 2014. Curitiba. 106 p. Universidade Federal do Paraná.

SILVA FILHO, J. B da. **Produção de Biodiesel Etílico de Óleos e Gorduras Residuais (OGR) em Reator Químico de Baixo Custo.** 2010. Paraná. 73p. Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

SILVA, N. L. da. **Produção de biodiesel: processo e caracterização.** 2010. São Paulo. 192 p. Universidade Estadual de Campinas.

SOUZA, C. A. **Sistemas catalíticos na produção de biodiesel por meio de óleo residual.** 2006. 5º Encontro de Energia no Meio Rural e Geração Distribuída, Campinas. Anais, UNICAMP. p.1-10.

TEO, S. H., ISLAM, A., YUSAF, T., & TAUFIQ-YAP, Y. H. **Transesterification of *Nannochloropsis oculata* microalga's oil to biodiesel using calcium methoxide catalyst.** 2014. Energy, 78 (2014), 63-71.

THOMAZ, P. G, ASSAD, R. S., MOREIRA, L. F. P. **Uso do fator de impacto e do índice h para avaliar pesquisadores e publicações.** 2011. Arquivo Brasileiro de Cardiologia, p. 90-93.

UDUMAN, N.; QI, Y.; DANQUAH, M. K.; FORDE, G. M.; HOADLEY, A. **Dewatering of microalgal cultures: A major bottleneck to algae-based fuels.** 2010. Journal of Renewable and Sustainable Energy, v. 2, n. 1, p. 12701.

UMDU, E. S., TUNCER, M., & SEKER, E. **Transesterification of *Nannochloropsis oculata* microalga's lipid to biodiesel on Al₂O₃ supported CaO and MgO catalysts.** 2009. *Bioresource Technology*, 100 (2009), 2828–2831.

VANTI, N. A. P. **Da bibliometria à webometria: uma exploração conceitual dos mecanismos utilizados para medir o registro da informação e a difusão do conhecimento.** 2002. *Ciência da Informação*, Brasília, v. 31, n. 2, p. 152-162, maio/ago.

VAZ, L. G. L.; KLENI, M. R. F.; VEITI, M. T.; SILVA, E. A.; BARBIEROI, T. A. BERGAMASCO, R. **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia.** 2010. *Eclética Química*, v. 35, n. 4, p. 45-54.

ZARDO, I. **Análise de viabilidade econômica da produção de biodiesel a partir de microalgas.** 2011. 34 f. Porto Alegre. Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

Agradecimento

FAPES No 006/2014 - Universal - Projeto Individual de Pesquisa. Chamada No 18/2013
MCTI/CNPq/SPM-PR/Petrobras - Meninas e Jovens. Chamada CNPq/Vale S.A. 05/2012 –
Forma Engenharia.