

Métodos de extração de bio-óleo a partir da microalga *Nannochloropsis oculata*: uma análise bibliométrica

Bio-oil extracting methods from microalgae *Nannochloropsis oculata*: a bibliometric analysis

Kárita Fernanda Fontes Lima

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: karitafontes@hotmail.com

Paulo Sérgio da Silva Porto

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: pssporto@gmail.com

Rodrigo Randow de Freitas

Universidade Federal do Espírito Santo, Brasil

E-mail: digorandow@gmail.com

Recebido: 07/01/2018– Aceito: 08/02/2018

Resumo

As pesquisas atuais têm demonstrado um grande interesse em microalgas pela sua capacidade de captura do CO₂ da atmosfera, gás nocivo ao meio ambiente e também por armazenar bio-óleo com alto valor agregado. Esse óleo pode ser constituído de ácidos graxos poli-insaturados do tipo Omega 3 e Ômega 6. Dessa forma, o trabalho teve como objetivo central realizar uma revisão bibliométrica sobre os métodos de extração, a partir da espécie *Nannochloropsis oculata*, trazendo para o leitor, principalmente, um panorama geral dos avanços científicos e tecnológicos realizados até o presente. Além de ter como cenário a bibliometria, uma ferramenta estatística que permite mapear e gerar diferentes indicadores de tratamento e gestão da informação e do conhecimento. Realizou-se assim, uma análise quantitativa dos artigos encontrados na base *Web of Science* e posteriormente uma análise qualitativa, permitindo-se ressaltar, com os vários trabalhos analisados, a importância do estudo dessa técnica. Por exemplo, a França e Portugal como o país com o maior número de publicações, espalhando-se por diversos países em diferentes continentes. Averiguando-se assim uma ascensão frente ao número de artigos publicados nos últimos anos, mostrando o crescente interesse pelo bio-óleo de microalgas.

Palavras-chave: Bibliometria; Lipídeos; Extração.

Abstract

Current research has shown great interest in microalgae for their ability to capture CO₂ from the atmosphere, harmful gas to the environment and also to store bio-oil with high added value. This oil can be constituted of polyunsaturated fatty acids of Omega 3 and Omega 6. In addition to having as a scenario the bibliometric, a statistical tool that allows to map and generate different indicators of treatment and managements of information and knowledge. Thus, a quantitative analysis of the articles found in the Web of Science database was carried out and a qualitative analysis was carried out, allowing highlighting the importance of the study of this technique. For example, France and Portugal as the country with the largest number of publications, spreading to several countries in different continents. Finding a rise in the number of articles published in recent years, showing the growing interest in microalgae bio-oil.

Keywords: Bibliometrics, Lipids, Extraction.

1. Introdução

A sustentabilidade é um princípio fundamental na gestão de recursos naturais, e envolve eficiência operacional, minimização do impacto ambiental e considerações socioeconômicas, todos os quais são interdependentes (BRENNAN; OWENDE, 2010).

O uso contínuo de combustíveis obtidos por petróleo é agora amplamente reconhecido como insustentável devido a possibilidade de esgotamento e a contribuição desses combustíveis para a acumulação de dióxido de carbono (CO₂) no meio ambiente (CRISTI, 2007). A cada ano, uma enorme quantidade de carbono na forma de dióxido de carbono (CO₂) e de outros gases são liberados para a atmosfera através de processos das atividades humanas, o que tem provocado problemas como efeito estufa.

A inquietação crescente com as mudanças climáticas antropogênicas e a dependência excessiva de combustíveis fósseis estão direcionando cada vez mais os investimentos para alternativas energéticas mais sustentáveis (TAELMAN *et al.*, 2015; GEORGIANNA; MAYFIELD, 2012). Brasil *et al* (2017), por exemplo, relatam que serão necessárias, num futuro próximo, novas tecnologias que possam permitir conciliar crescimento econômico e sustentabilidade ambiental.

Assim, as microalgas vêm se despoitando como possível alternativa frente aos problemas ambientais, como efeito estufa, devido a capacidade de reduzir o CO₂ do ar atmosférico, como ocorre com as plantas terrestres (KUMAR *et al.*, 2010).

Contudo, microalgas são consideradas mais eficientes do que as plantas terrestres na conversão da luz solar em energia bioquímica (STEPHENSON *et al.*, 2011). Elas consomem menos águas que as plantas terrestres, podendo também reutilizar água residual com alta carga orgânica em seu crescimento, reduzindo assim seu consumo global (ORTENZIO, 2015).

Além disso, elas podem ser aplicadas na produção de uma infinidade de bioprodutos, citemos, por exemplo, produtos que atualmente tem sido alvo de pesquisa: combustíveis, cosméticos, alimentos para animais e suplementos alimentares (FOLEY, BEACH, ZIMMERMAN, 2011).

Inevitavelmente, o tema extração de bio-óleo a partir de microalga, especificamente da espécie *Nannochloropsis oculata*, área específica deste trabalho, tornou-se motivação para o desenvolvimento de uma análise bibliométrica sobre os métodos utilizados na extração dos lipídeos da espécie.

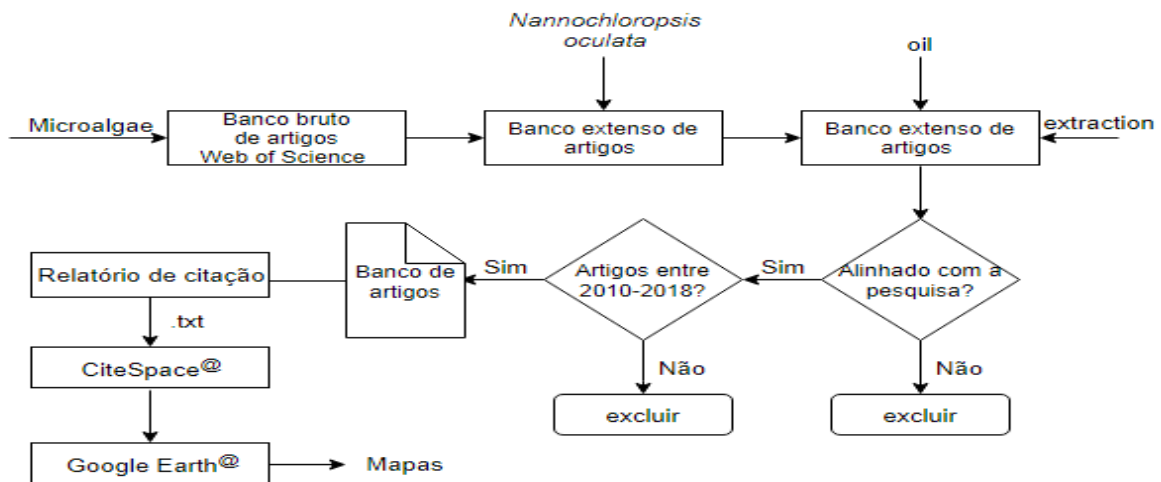
Dessa forma, o trabalho teve como objetivo central realizar uma devida revisão bibliométrica sobre os métodos de extração, a partir da espécie *Nannochloropsis oculata*, trazendo para o leitor, principalmente, um panorama geral dos avanços científicos e tecnológicos realizados até o presente. Além de ter como cenário a bibliometria, uma ferramenta estatística que permite mapear e gerar diferentes indicadores de tratamento e gestão da informação e do conhecimento.

Especialmente quando se trata de sistemas de informação e de comunicação científicos e tecnológicos, bem como de produtividade, tais estudos são necessários ao planejamento, avaliação e gestão da ciência e da tecnologia, para o desenvolvimento de uma determinada comunidade científica ou país (GUEDES; BORSCHIVER, 2009).

2. Metodologia

A fim de atingir o objetivo primordial delineado, realizou-se uma revisão bibliométrica da base de dados obtida na plataforma *Web of Science*[®]. Sendo que, primeiramente a metodologia de caráter exploratório consistiu em uma busca por trabalhos que tivessem em seu título as palavras “*microalgae*”, entre os anos 1945 e 2018 (Espaço temporal total, que compreende a base de dados disponível utilizada) (Figura 1).

Figura 1 – Fluxograma do processo de seleção dos artigos e mapeamento da rede de autores.



Posteriormente, visando um melhor refinamento dos artigos encontrados, adicionou-se mais três termos de pesquisa “*Nannochloropsis oculata*”, “*extraction*” e “*oil*”, e também se modificou o período de pesquisa para os anos 2010 a 2018, selecionando apenas os trabalhos na língua inglesa e em formato de artigo (YAOYANG; BOEING, 2013).

Ao adquirir informações sobre a base, gerou-se um 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 países (LACERDA; ENSSLIN; ENSSLIN, 2012).

O coeficiente de confiança foi determinado. Uma determinação estatística do tamanho da amostra é necessária para garantir a representatividade dos dados coletados e legitimidade da pesquisa. Desta forma, para estimar o coeficiente de confiança neste trabalho utilizou-se a Equação 1.

$$n = \frac{Z^2 \cdot \left(\frac{x}{n}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{x}{n}\right)\right] \cdot N}{(N-1) \cdot e^2 + Z^2 \cdot \left(\frac{x}{n}\right) \cdot \left[1 - \left(\frac{x}{n}\right)\right]} \quad \text{Equação 1}$$

Em que: n é o tamanho da amostra, N representa o tamanho da população, e é o erro amostral, $\frac{x}{n}$ é a proporção estimada do item pesquisado na amostra (%) e Z é o valor da abscissa da curva normal associada ao nível de confiança escolhido. Para uma melhor visualização dos resultados alcançados, 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 (CHEN *et al.*, 2012).

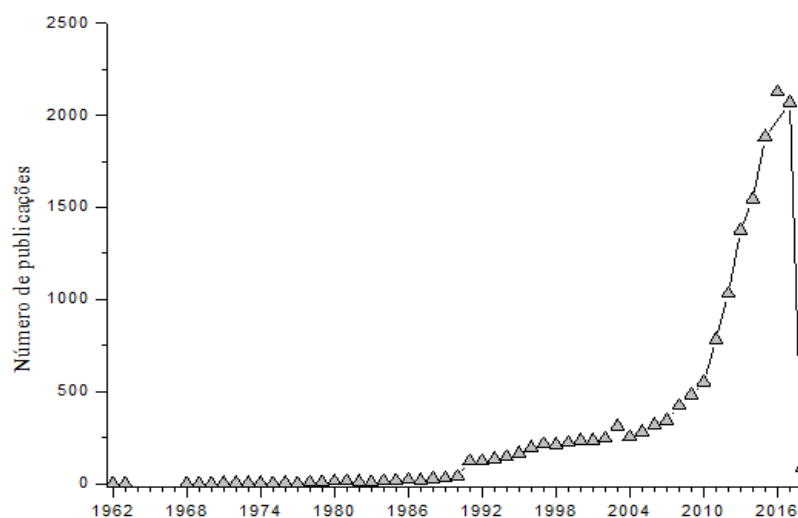
Os artigos foram ordenados do mais citado para o menos citado por ano e, em seguida, foi feita a leitura de um número de artigos, com isso foi possível analisar os artigos de maior relevância indexados na Web of Science[®], onde se extraíram os principais resultados obtidos nas pesquisas sobre extração de óleo de microalgas da espécie a partir de microalgas das *Nannochloropsis oculata*.

Por fim, realizou-se uma Matriz SWOT (*Strenghts, Weaknesses, Opportunities e Threats*), apresentando os pontos fortes, os pontos fracos, as fraquezas e oportunidades dessa técnica. A compreensão dos fatores externos (oportunidades e ameaças) e dos fatores internos (pontos fortes e pontos fracos) colaborando para um desenvolvimento de futuro almejado (TAPARIA *et al.*, 2016).

3. Resultados e Discussão

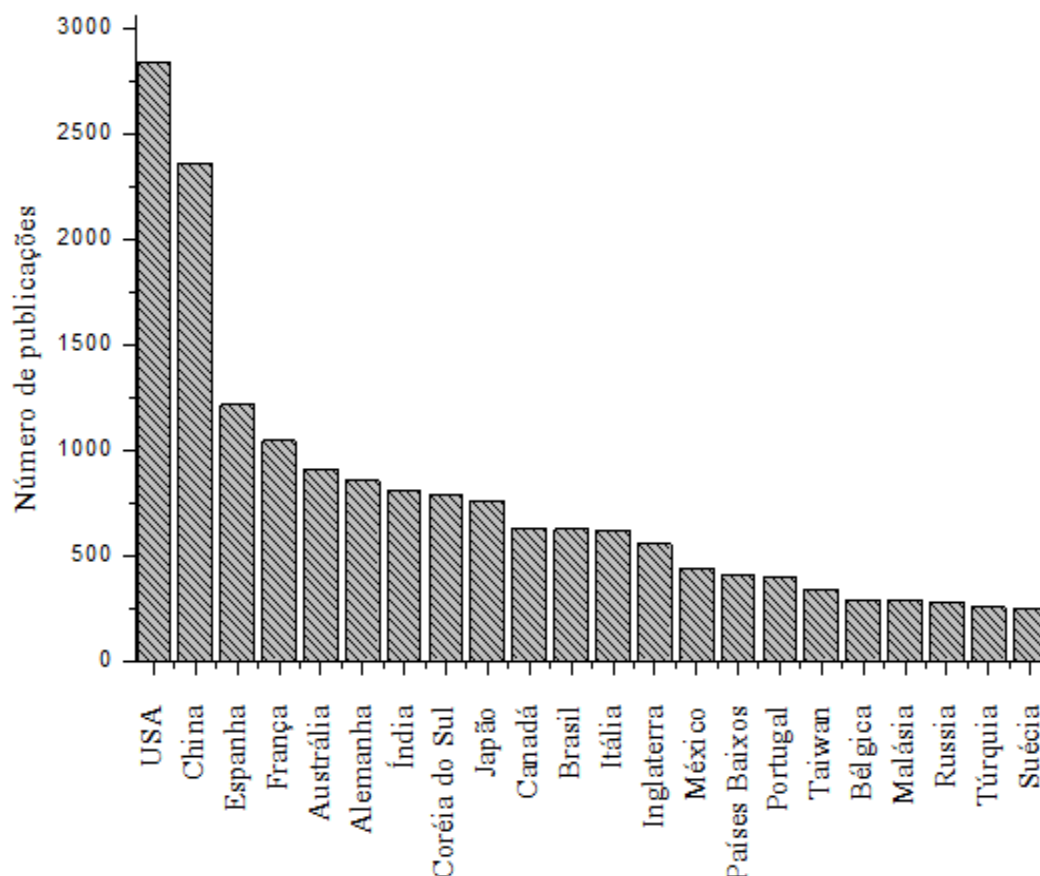
A partir da pesquisa realizada na base *Web of Science*, primeiramente utilizando como termo de pesquisa “*microalgae*” foram encontradas 16.337 publicações (Figura 2), sendo a primeira publicação em 1962 nos Estados Unidos da América (USA) na revista *Biotechnology and Bioengineering*, pelos autores RABE, A.E e BENOIT, R. J. Isso revela que os Estados Unidos podem ser considerados pioneiros quanto a pesquisa sobre microalgas, e que esta é recente.

Figura 2 – Projeção do número de publicações por ano com o tema microalgas.



Como pode-se observar na Figura 1, apesar de os estudos sobre microalgas tenha iniciado em 1962, ela estagnou-se com uma média de publicação entre 2 a 4 artigos até meados de 1992. A partir desta data os estudos começaram a crescer, sendo a maior quantidade de publicações em 2016. Diversos países têm pesquisado sobre as microalgas em inúmeros segmentos, sendo os 25 países de destaque pelo maior número de publicações (Figura 3).

Figura 3 – Projeção da quantidade de publicação por país com o tema microalgas.



Notadamente, os USA é o país com o maior número de publicações sobre o tema, seu destaque pode ser justificado pelo investimento em pesquisa dos mais diversos assuntos, e em segundo vem a China. Segundo Zhao e Yan (2012), a China está enfrentando uma série de desafios relacionados à energia, como a escassez de eletricidade e a poluição ambiental. Evidenciando que sua posição destaque é pela busca por soluções aos problemas energéticos e ambientais que sofre ocasionado pelos gases poluentes, entre eles, o CO₂.

Zhao e Yan (2012) também reforçam que, o Ministério da Ciência e Tecnologia chinês colocou o desenvolvimento de energia de biomassa em alta prioridade, onde uma grande quantidade de fundos está disponível.

Observa-se que o Brasil está 11º lugar, mesmo estando em lugar de destaque, sua posição pode ser melhorada com um maior interesse pelo tema, uma vez que possui condições favoráveis a produção (SATYANARAYANA; MARIANO; VARGAS, 2011)

Das 16337 publicações com o tópico *microalgae* selecionou os 10 artigos mais citados entre 2010 e 2018 (Tabela 1).

Tabela 1 – Artigos refinados pelo tópico *microalgae* na base *Web of Science*.

Título	Autores
Microalgae for biodiesel production and other applications: a review	Mata <i>et al.</i> (2010)
An outlook on microalgal biofuels	Wijffels <i>et al.</i> (2010)
Biofuels from microalgae — a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products	Brennan e Owende (2010)
Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: a critical review	Chen <i>et al.</i> (2011)
The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources	Pittman <i>et al.</i> (2011)
Environmental life cycle comparison of algae to other bioenergy feedstocks	Clarens (2010)
Microalgae as biodiesel & biomass feedstocks: review & analysis of the biochemistry, energetics & economics	Willians <i>et al.</i> (2010)
Genetic engineering of algae for enhanced biofuel production	Radakovits <i>et al.</i> (2010)
A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics	Atabani <i>et al.</i> (2012)
Biodiesel production by microalgal biotechnology	Huang <i>et al.</i> (2010)

Todos os 10 artigos são revisões de literatura, principalmente, revisões de aplicação das microalgas a produção de biodiesel. Mata *et al.* (2010) e Wijffels *et al.* (2010) fizeram uma revisão sobre as espécies microalgal mais utilizadas na produção de biodiesel, incluindo seu cultivo, colheita e processamento. Neste trabalho ele dá uma visão geral do estado atual do desenvolvimento de sistemas de cultivo de algas (fotobiorreatores e lagoas abertas).

Brennan e Owende (2010) analisaram o acoplamento sinérgico da propagação de microalgas com sequestro de carbono e potencial de tratamento de águas residuais para mitigação de impactos ambientais associados à conversão e utilização de energia.

Chen *et al.* (2011) apresentaram avanços recentes no cultivo de microalgas, design de fotobiorreatores e tecnologias de colheita com foco na produção de óleo de microalgal. Os efeitos de diferentes metabolismos de microalgas (crescimento Fototrófico, heterotrófico, mixotrófico e foto-heterotrófico), sistemas de cultivo (ênfatisando o efeito de fontes de luz) e métodos de colheita de biomassa (métodos químicos / físicos) sobre biomassa de microalgas e produção de óleo.

Pittman *et al.* (2011) pesquisaram a atual sobre as microalgas e discutiu os potenciais benefícios e limitações do uso de águas residuais como recursos para a produção econômica de biocombustíveis de microalgas.

Clarens (2010) comparou o cultivo com as culturas convencionais a partir do ciclo de vida. Neste trabalho, os impactos associados à produção de algas foram determinados utilizando um modelo estocástico de ciclo de vida e comparados com o cultivo de mudas, canola e milho. Os resultados indicam que essas culturas convencionais têm menores impactos ambientais do que algas no uso de energia, emissões de gases de efeito estufa e água, independentemente da localização do cultivo. Neste trabalho inclui três efluentes de águas residuais municipais diferentes como fontes de nitrogênio e fósforo, cada um proporcionou uma redução significativa nos encargos do cultivo de algas e o uso de urina separada por fonte foi descoberto que as algas são mais benéficas para o meio ambiente do que as culturas terrestres.

Willians *et al.* (2010) concluíram que a composição bioquímica da biomassa influencia a economia, em particular, o aumento do conteúdo lipídico, reduz outros compostos valiosos na biomassa, é improvável que a opção "apenas para biocombustíveis" seja economicamente viável, e entre os problemas mais difíceis na avaliação da economia são o custo do fornecimento de CO₂.

Radakovits *et al.* (2010) realizaram uma revisão está focada como a engenharia genética que podem ser realizadas para melhorar as microalgas como plataforma de biocombustíveis para a produção de biodrogênio, alcoóis derivados de amido, substitutos de combustível diesel e / ou alcanos. Atabani *et al.* (2012) executaram uma revisão sobre as matérias-primas utilizadas na produção de biodiesel, dentre elas, as microalgas e Huang *et al.* (2010) fez uma revisão geral da tecnologia de produção de biodiesel a partir de microalgas.

Como enunciado na metodologia, devido ao número de publicações muito extenso e que continha dos mais variados estudos sobre microalgas, adicionou-se o termo de pesquisa: “*Nannochloropsis oculata*”. Adicionando esse tópico, encontrou-se 427 artigos, considerando que o número de publicações continuou extenso, mesmo com o refinamento (Tabela 2).

Tabela 2 - Artigos refinados pelo tópico *microalgae* e *Nannochloropsis oculata* na base *Web of Science*.

Título	Autores
Microalgae biofuels: A critical review of issues, problems and the way forward	Lam <i>et al.</i> (2012)
The effect of light, salinity, and nitrogen availability on lipid production by <i>Nannochloropsis sp.</i>	Pal <i>et al.</i> (2011)
Evaluation of flocculation induced by pH increase for harvesting microalgae and reuse of flocculated medium	Wu <i>et al.</i> (2012)
Increased lipid production of the marine oleaginous microalgae <i>Isochrysis zhangjiangensis</i> (Chrysophyta) by nitrogen supplement	Feng <i>et al.</i> (2012)
<i>Nannochloropsis</i> production metrics in a scalable outdoor photobioreactor for commercial applications	Quinn <i>et al.</i> (2012)
Factors affecting lipid accumulation by <i>Nannochloropsis oculata</i> in a two-stage cultivation process	Su <i>et al.</i> (2011)
Production of algae-based biodiesel using the continuous catalytic Mcgyan (R) process	Krhon <i>et al.</i> (2011)
Harvesting of microalgae by flocculation with poly (gamma-glutamic acid)	Zheng <i>et al.</i> (2012)
"Solvent-free" ultrasound-assisted extraction of lipids from fresh microalgae cells: A green, clean and scalable process	Fanny <i>et al.</i> (2012)
Effects of temperature and nutrient regimes on biomass and lipid production by six oleaginous microalgae in batch culture employing a two-phase cultivation strategy	Roleda <i>et al.</i> (2013)

Objetivando discorrer de forma mais abrangente sobre o que foi exposto pelos principais autores/estudos sobre a temática aqui explorada, temos que Lam *et al.* (2012) realizaram uma revisão de problemas e questões relacionadas ao balanço energético no biocombustível de microalgas não é claramente abordada até agora. Base na maturidade da tecnologia atual, o verdadeiro potencial das microalgas, tendo como objetivo descrever os problemas práticos que enfrentam a indústria de biocombustíveis de microalgas, abrangendo atividades a montante para a jusante acessando os mais recentes relatórios de pesquisa e análise de dados críticos

Pal *et al.* (2011) examinaram as respostas das culturas em lotes de uma microalga marinha, *Nannochloropsis sp.* a alterações combinadas na salinidade (13, 27 e 40 g / l de NaCl) e intensidade da luz (170 e 700 moles de fótons / m (2) .s). Foram determinados em culturas com nitrogênio e de uma biomassa inicial de 0,8 e 1,4 g / l, respectivamente. No meio de nitrogênio, o aumento da intensidade da luz e da salinidade aumentou o conteúdo celular do peso seco e dos lipídios. Em condições estressantes, o conteúdo do principal LC-PUFA,

ácido eicosapentaenóico (EPA), foi significativamente reduzido, enquanto o TAG atingiu 25% da biomassa. Em contraste, menor salinidade tende a melhorar os principais parâmetros de crescimento, consistente com menor variação nos conteúdos da EPA.

Wu *et al.* (2012) indicaram a floculação induzida pelo aumento do pH para a colheita de microalgas e a reutilização do meio floculado. Concluíram que o aumento do pH induziu a maior eficiência de floculação de até 90% para microalgas de água doce com concentração média de *Nannochloropsis oculata*. Além disso, neutralizar o pH e, em seguida, suplementar nutrientes permitiu que o meio floculado para manter um crescimento aproximado do crescimento do meio fresco no cultivo de algas.

Feng *et al.* (2011) analisaram os efeitos da alimentação de nitratos no crescimento celular e acumulação lipídica de microalgas marinhas. Quando o nitrato foi fornecido no intervalo de 24 h, em vez de 72 h, obteve-se um alto teor de lipídios de 40,9% e uma densidade de biomassa de 3,1 g L⁻¹. Os resultados revelaram que esta estirpe de algas pode acumular lipídios sob condições de alta concentração de nitrogênio e acumular carboidratos em condições de baixa concentração de nitrogênio.

Quinn *et al.* (2012) avaliaram por 2 anos e meio a produtividade de um fotobiorreator externo em escala industrial em Fort Collins, Colorado (EUA). As taxas de crescimento volumétrico anual para *Nannochloropsis oculata* e *Nannochloropsis salina* foram 0,16 g L⁻¹ d⁻¹ e 0,15 g L⁻¹ d⁻¹, respectivamente.

Su *et al.* (2011), propôs uma estratégia de cultivo em duas etapas para aumentar a produção lipídica da microalga *Nannochloropsis oculata*. No cultivo de primeira fase, as microalgas foram cultivadas em condições ideais para o crescimento celular. Em seguida, as microalgas foram colhidas e transferidas para um ambiente limitado ao crescimento, aumentando assim a produção lipídica de microalgas. Aqui, foi realizada otimização do estágio de produção de lipídios (segundo estágio) em relação a diferentes níveis de concentração de inóculo, salinidade do meio de cultura e intensidade de irradiação. Os resultados mostram que a irradiação exibe uma influência significativa na produção de lipídios. A maior produtividade lipídica de 0,324 g L⁻¹ dia⁻¹ foi obtida com uma concentração de inoculação de 2,3 g L⁻¹, uma salinidade de 35 g L⁻¹ e uma irradiação de 500 μm de mol fôtons m⁻² s⁻¹. O rendimento final de lipídeos obtido no processo de dois estágios foi 2,82 vezes maior que o dos sistemas tradicionais de cultivo em lote de um único estágio.

Krohn *et al.* (2011) em seu estudo demonstraram a produção de biodiesel de algas de *Dunaliella tertiolecta*, *Nannochloropsis oculata*, microalgas de água doce selvagens e lipídios

de macroalgas, usando um processo catalítico contínuo altamente eficiente. Os triacilglicerídeos e os ácidos gordos livres foram convertidos em ésteres alquílicos com até 85% de eficiência, conforme medido por espectroscopia de RMN de ^1H a 300 MHz.

Zheng *et al.* (2012) realizaram um estudo sobre um método de colheita com floculante microbiano comercialmente disponível poli (ácido gama-glutâmico) (gama-PGA). Segundo ele, a eficiência foi superior a 90%. As micrografias das células de microalgas não apresentaram nenhum dano à integridade celular. Os resultados mostram que a floculação com gama-PGA é viável para a colheita de microalgas.

Também, Roleda *et al.* (2013) cultivaram as microalgas das espécies *Thalassiosira pseudonana*, *Odontella aurita*, *Nannochloropsis oculata*, *Isochrysis galbana*, *Chromulina ochromonoides* e *Dunaliella tertiolecta* em duas temperaturas (10 e 20 °C) e dois regimes de nutrientes (empobrecido e repleto). Para todas as espécies, observou-se uma forte correlação negativa entre a taxa de crescimento e o conteúdo lipídico. Estressores múltiplos não teve efeito aditivo sobre a acumulação de lipídios. O teor total de óleo foi aumentado mais pela limitação de nutrientes do que pelo estresse por temperatura. Em resposta ao estresse nutricional, *N. oculata* emergiram como as espécies mais robustas com um aumento da acumulação de lipídios de até três a quatro vezes em comparação com a acumulação em condições nutrientes suficientes.

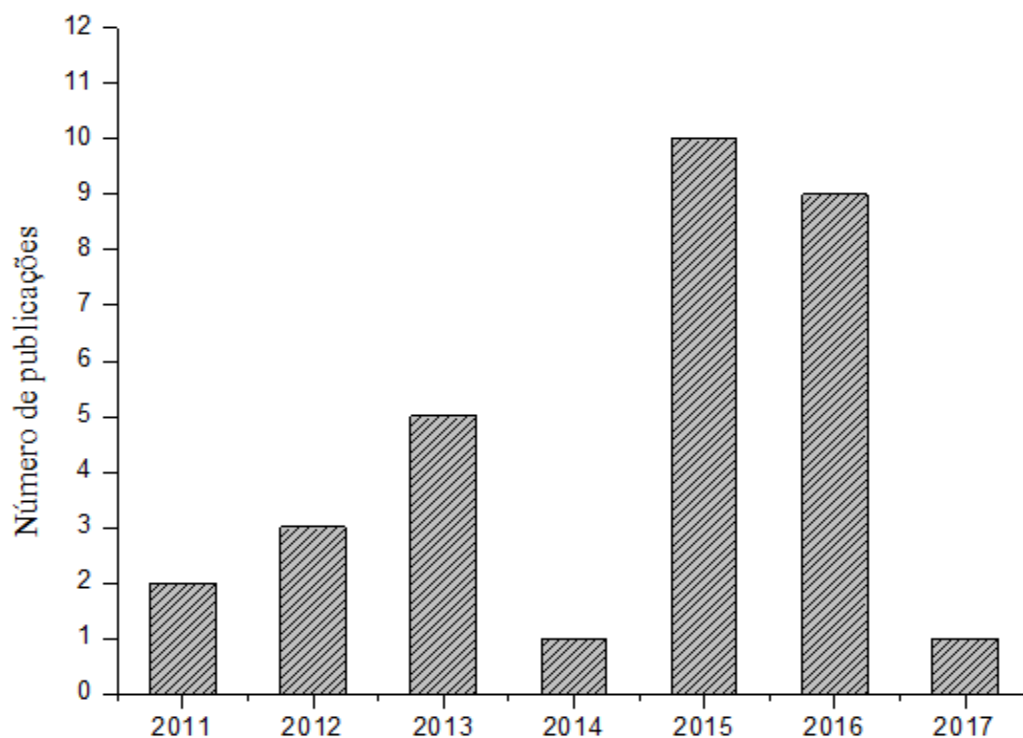
Assim, segundo os dados da *Web of Science* a primeira publicação com os tópicos “microalgae” e “*Nannochloropsis oculata*” foi realizada em 1991 no *Journal Of Experimental Marine Biology And Ecology* na Austrália, pelo autor Malcolm R. Brown.

Os Estados Unidos e China continuaram liderando as pesquisas com os novos termos pesquisados, com o Estados Unidos e China alcançando 68 e 62 artigos, respectivamente, e Brasil passando a ocupar a 4ª posição, com 35 artigos publicados, detendo aproximadamente 7,6% de toda publicação mundial sobre o assunto.

Como mencionado, concluindo-se que o número de publicações ainda era demasiado extenso, com os dois termos de pesquisa, logo adicionou mais dois: “oil” e “extraction”, encontrando assim um total de 34 artigos até o ano de 2018. Dentro dessas publicações o primeiro artigo publicado sobre a extração de óleo de microalgas *Nannochloropsis oculata* ocorreu no ano de 2002, na revista *Phytochemistry* na Inglaterra pelos autores [Tonon, T.](#), Harvey, D, Larson, T. R e Graham, I. A. Isso revela que a extração do óleo de microalgas, especificamente da espécie alvo desse estudo, apesar de recente, tem despertado o interesse de diversos pesquisadores em inúmeros países.

Considerando a importância em dar robustez ao estudo e ilustrar o estado da arte da pesquisa, sendo que os periódicos científicos e comunidade acadêmica exigem artigos mais recentes, refinou-se a busca entre os anos de 2010 e 2018 (Figura 4).

Figura 4 – Projeção do número de publicações com o tema extração de bio-óleo das *Nannochloropsis oculata* nos anos 2010-2018.



Observa-se que o comportamento dos dados apresentados na Figura 3 revela-se a não existência de um padrão específico quanto ao crescimento (avanço na aplicação), refletida pelo número de artigos publicados.

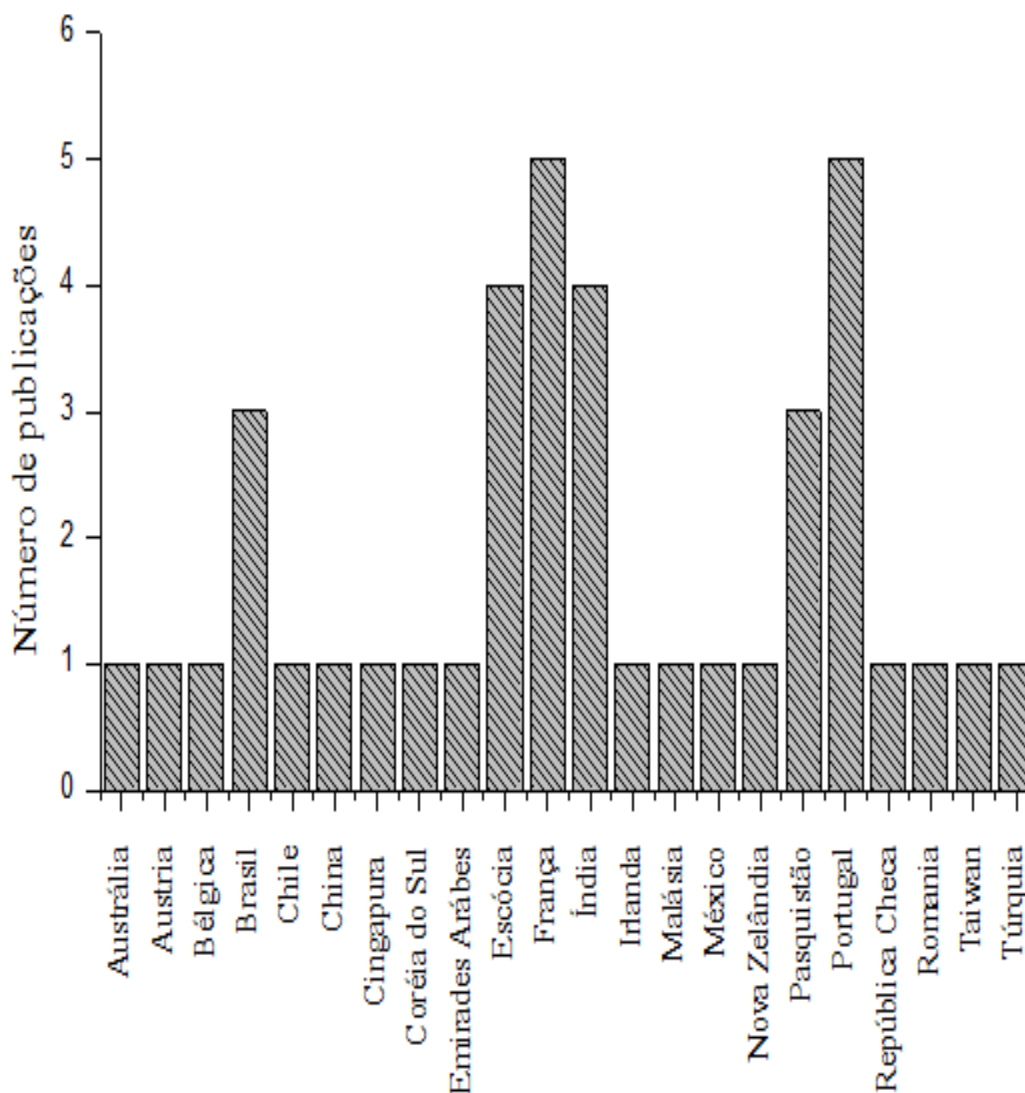
Em 2010 não houve nenhuma publicação sobre o tema. Porém, ao se analisar as décadas, ocorreu um crescimento da quantidade de publicações, sendo nos anos 2013, 2015 e 2016, o número de publicações foram 5, 10 e 9 artigos. Conclui-se que as publicações aumentaram pela necessidade e conscientização sobre a busca de produtos renováveis e a descoberta dos ácidos graxos poli-insaturados contidos nos óleos provenientes de microalgas, em especial as *Nannochloropsis oculata*.

Não obstante, outras fontes renováveis também têm sido bastante pesquisada, como energia solar (HE *et al.* (2012) e eólica (RIVIER *et al.*, 2010). Sendo que, pesquisas podem ter sido motivadas por acordos, como o Acordo de Copenhague, que foi apoiado por mais de 110 países, inclusive grandes emissores, como China, EUA, Rússia e Índia. O compromisso ocorre no sentido de manter o aumento da temperatura média global em bem menos de 2°C

acima dos níveis pré-industriais e de envidar esforços para limitar o aumento da temperatura a 1,5°C acima dos níveis pré-industriais.

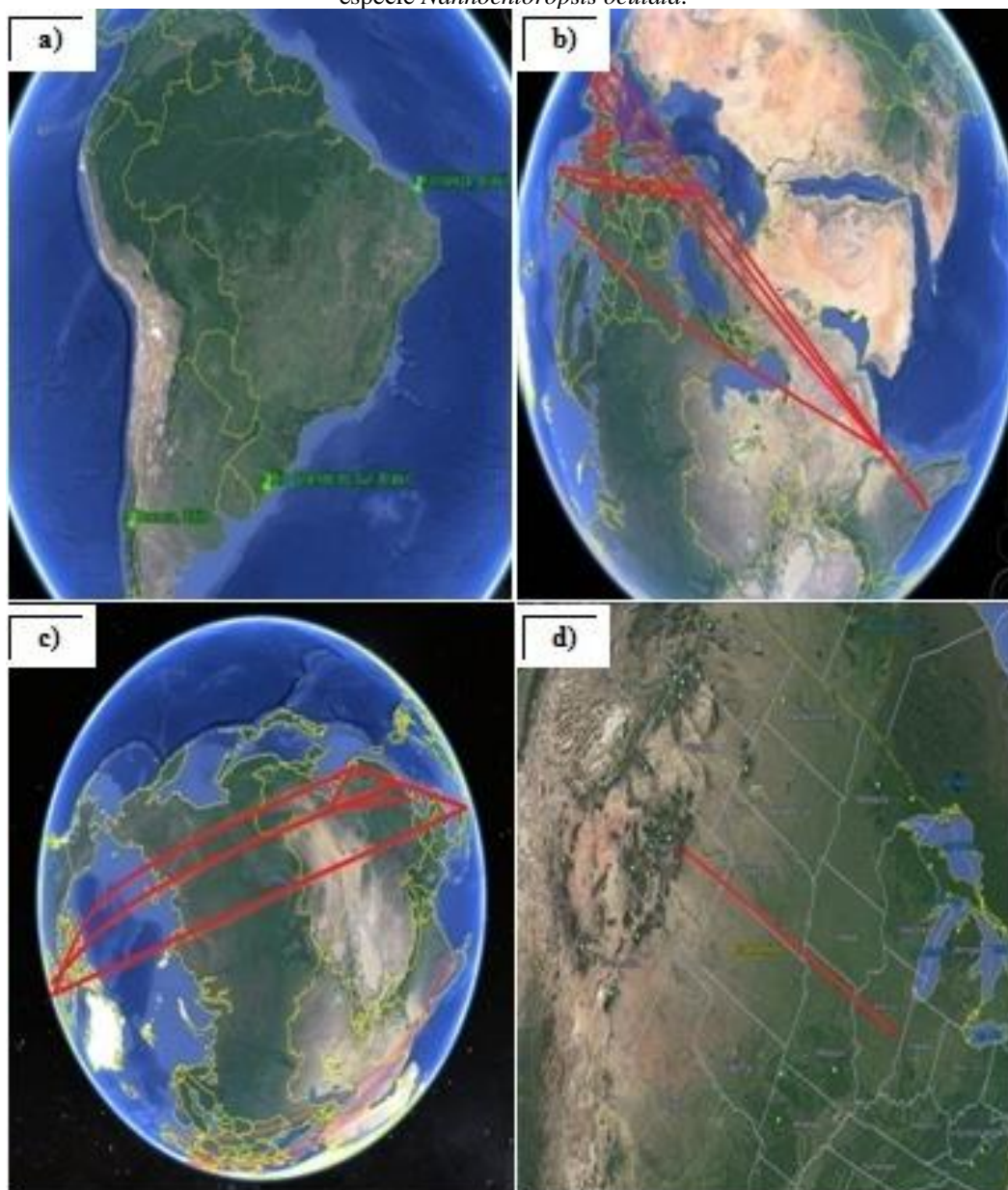
Em relação às nacionalidades das publicações, ocorreram registros em 31 países. Entretanto alguns países se destacam, como pode se observar na Figura 5.

Figura 5 – Projeção da quantidade de publicação por país sobre a extração de bio-óleo das *Nannochloropsis oculata*.



Os países que mais se destaca na extração de óleo a partir da *Nannochloropsis oculata* são França e Portugal com 5 publicações, Escócia e Índia com 4 publicações e o Brasil juntamente com Paquistão possuindo 3 publicações cada. Quando se considera a existência de um relacionamento entre autores e co-autores, em diferentes países e continentes no mundo (Figura 5), o fato da maioria dos artigos estarem em inglês facilita a cooperação entre autores. Visando um melhor entendimento, dividiu-se a Figura 6 em quatro partes.

Figura 6 – Mapas de localização dos autores de artigos de extração de bio-óleo a partir da microalga da espécie *Nannochloropsis oculata*.



A parte 6a apresenta os grupos pesquisadores da América do Sul, o Brasil com dois centros de pesquisa, um em Fortaleza e o outro no Rio Grande do Sul. Os grupos de pesquisa brasileiros não têm relação, nem entre si e nem com grupos internacionais. No Chile também há um grupo isolado de pesquisa.

A parte 6b apresenta a relação entre China e Índia com a França; a parte 6c representa a relação de autores dos Estados Unidos com a China e Índia; a parte 6d apresenta a relação entre si de autores americanos em diferentes estados.

Quanto aos artigos disponíveis para acesso e escritos em inglês (total de 31 artigos) foram analisados quanto ao seu objetivo, modelagem dos experimentos e condições

operacionais. Estimou-se assim, o coeficiente de confiança frente ao número de artigos analisados, totalizando 25. Para a escolha destes, levou-se em consideração os artigos mais citados (Tabela 3).

Tabela 3 – Tabela com dados dos 10 artigos mais citados em ordem decrescente de citação com os termos *microalgae*, *Nannochloropsis oculata*, *oil e extraction*

Título	Autores	Método
Solvent-free ultrasound-assisted extraction of lipids from fresh microalgae cells: a green, clean and scalable process	Fanny <i>et al.</i> (2012)	Bligh e Dyer Ultrassom
Bioprospecting for oil producing microalgal strains: evaluation of oil and biomass production for tem microalgal strains	Araújo <i>et al.</i> (2011)	Bligh e Dyer
Isolation and evaluation of oil-producing microalgae from subtropical coastal and brackish waters	Lim <i>et al.</i> (2012)	Hidrólise ácida
Evaluation and comparison of algal cell disruption methods: microwave, water bath, blender, ultrasonic and laser treatment	McMillan <i>et al.</i> (2013)	Microondas, liquidificador Ultra-som
Supercritical CO ₂ extraction of neutral lipids from microalgae: experiments and modelling	Mouahid <i>et al.</i> (2013)	CO ₂ supercrítico
New procedure for extraction of algal lipids from wet biomass: a green clean and scalable process	Tanzi <i>et al.</i> (2013)	Bligh e Dyer Soxhlet
Influence of pretreatment on supercritical CO ₂ extraction from <i>Nannochloropsis oculata</i>	Crampon <i>et al.</i> (2013)	CO ₂ supercrítico
Prediction of microalgae hydrothermal liquefaction products from feedstock biochemical composition	Leow <i>et al.</i> (2015)	HTL (Liquefação hidrotermal)
Microwave thermolysis and lipid recovery from dried microalgae powder for biodiesel production	Ali <i>et al.</i> (2016)	Microondas
Production of lipids from microalgae <i>Spirulina sp.</i> : influence of drying, cell disruption and extraction methods	Pohndorf <i>et al.</i> (2016)	Bligh e Dyer

Fanny *et al.* (2012) fez uma extração via base úmida por ultrassom sem solvente em baixas frequências (20 kHz) por 30 min e por Bligh e Dyer, obtendo 0,48% e 5,7 %, respectivamente. Concluindo que com pequenas quantidades de matéria fresca, a extração convencional usando Bligh e Dyer é cerca de doze vezes mais eficiente do que uma extração isenta de solvente. Também analisou o efeito térmico no valor do rendimento e notou que perfis sejam diferentes dependendo das temperaturas.

Araújo *et al.* (2011), estudaram a influencia da salinidade (25 e 35g.L⁻¹) no rendimento de bio-óleo das *Nannochloropsis oculata*, e percebeu a salinidade não influencia na produção de bio-óleo.

Lim *et al.* (2012) extraíram os ácidos graxos por hidrólise ácida, obtendo um bio-óleo com baixos níveis de PUFAs, ela alega em seu trabalho que a aplicação da hidrólise ácida como método de extração é recomendada para a produção de biodiesel, pois reduz a necessidade de tratamentos como a hidrogenação catalítica.

McMillan *et al.*(2013) investigaram vários métodos de escala de laboratório (cisalhamento sólido e líquido, termólise e tratamentos com micro-ondas e laser) para romper a células das *Nannochloropsis oculata* com o objetivo de monitorar a eficiência do tratamento e os traços de dano induzidos. A maior interrupção foi alcançada com o tratamento a laser, com um valor médio de 96,53 +/- 0,92; tratamento de micro-ondas 94,92 +/- 1,38%; O cisalhamento sólido mecânico produziu uma ruptura celular de 92,95 +/- 0,97%; termólise 87,72 +/- 1,82%; A ultrassonografia por cisalhamento líquido foi menos efetiva com uma destruição média de 67,66 +/- 1,97%. Mouahid *et al.*(2013) e Crampon *et al.*(2013) estudaram a extração com CO₂ supercrítico, alcançando rendimentos de lipídeos totais superiores aos outros métodos. Entretanto, os rendimentos de PUFAs inferiores aos outros métodos.

Tanzi *et al.* (2013) relataram um novo procedimento, denominado Processo de Destilação e Extração Simultânea (SDEP), para extração lipídica de microalgas úmidas (*Nannochloropsis oculata* e *Sauna dunaliella*), empregando solventes alternativos, como d-limoneno, alfa-pineno e p-cimeno. Este procedimento foi comparado com a extração Soxhlet e o método Bligh e Dyer. Para *N. oculata*, os resultados mostraram que o SDEP-cimeno proporcionou rendimentos lipídicos similares ao Bligh e Dyer (21,45% e 23,78%), enquanto que o SDEP-limoneno e o pineno proporcionaram menores rendimentos (18,73% e 18,75%, respectivamente). Para a *D. sauna*, o SDEP-pinene proporcionou o rendimento máximo de lipídico (3,29%) em comparação com os outros solventes, que é bastante próximo do resultado de Bligh e Dyer (4,03%). Não foram encontradas diferenças significativas em termos de distribuição de classes lipídicas e composição de ácidos graxos para diferentes técnicas.

Leow *et al.* (2015) utilizaram a liquefação hidrotermal (HTL) que usa água sob temperaturas elevadas e pressões (200-350 °C, 5-20 MPa) para converter biomassa em óleo, o método rendeu de 23-59%. Ali *et al.* (2015) utilizou duas configurações de energia de micro-ondas, correspondentes às potências de conexão de parede de 635 e 1021 W. Para limitar o aumento máximo de temperatura das amostras de algas úmidas, os tempos de exposição

foram limitados a intervalos de 15 s e seguidos de 15 min de resfriamento. As amostras foram tratadas no total de 1 a 5 min de tratamento de micro-ondas (ou seja, 1 min foi de 4 tratamentos de 15 s). A fração lisada aumentou com o tempo de exposição para ambos os níveis de potência e os lipídios extraídos seguiram de perto a fração lisada. O teor de lipídios extraído mais alto, após 5 min, foi de 0,036 g / g de peso de algas para 635 W (68,86% de lise celular), enquanto com 1021 W o rendimento foi de 0,052 g / g (92,81%). A amostra de controle, que não recebeu nenhum tratamento com micro-ondas, era apenas 0,016 g / g de peso de algas secas.

Por fim, Pohndorf *et al.*(2016) extraíram os lipídios com biomassa seca a frio. O teor médio de lipídios extraídos pelo método frio, utilizando solventes polares, foi de 5,8 +/- 0,6 g 100 g⁻¹. Assim, através dos dados coletados, foi possível realizar uma coletânea de informações pertinentes e identificar os pontos positivos e negativos que vem sendo discutidos para o avanço da técnica através da matriz SWOT (Tabela 4).

Tabela 4 – Matriz SWOT elaborada de acordo com as observações coletadas através dos inúmeros estudos desenvolvidos na temática aqui explorada.

Positivo	Negativo
Forças	Fraquezas
<ul style="list-style-type: none"> - Fonte renovável; - Alto valor agregado; - Possui ácidos graxos poli-insaturados do tipo Ômega 3 e 6. - Não compete com a alimentação humana; 	<ul style="list-style-type: none"> - Custo elevado de produção de bio-óleo; - Poucas indústrias no ramo; - Gasto energético na produção inviabiliza o processo de extração de óleo;
Oportunidades	Ameaças
<ul style="list-style-type: none"> - Possibilidade de reutilização de água no cultivo; - Viabilização do processo pela diminuição do gasto energético utilizando biomassa fresca; 	<ul style="list-style-type: none"> - Carência de estudos em escala industrial. - Pequenas modificações nos métodos de extração podem produzir perfil de ácidos graxos muito diferentes; - Secagem da biomassa pode deteriorar o bio-óleo.

É possível com isso inferir que a extração de bio-óleo da *Nannochloropsis oculata* via base úmida é altamente viável e seu o óleo pode ser aplicável a diversas indústrias. Na matriz

SWOT, as forças são fatores internos positivos, como vantagens, já as fraquezas são condições internas desfavoráveis, trazendo limitações e desvantagens. Os fatores externos são divididos em oportunidades e ameaças, com as oportunidades como tendências externas que podem contribuir para a melhoria e na concretização dos objetivos. Já as ameaças são condições ou situações externas, que não podem ser controladas, e que podem prejudicar a execução dos objetivos.

4. Conclusão

A revisão bibliométrica permitiu constatar nos registros científicos da base de dados da *Web of Science* a crescente produção científica no tema, possibilitando comparar os estudos realizados sobre as microalgas e extração de óleo de microalgas *Nannochloropsis oculata*. Pelo refinamento dos artigos pela bibliometria, pode-se perceber, o produto final depende da escolha do método de extração.

As microalgas e seus bioprodutos podem ser aplicadas em diversas áreas, desde a captura do CO₂ para melhora das condições ambientais, produção de biodiesel a cosméticos com altos preços, entretanto não deve ser pensar somente no rendimento dos óleos, mas também no método de extração.

Para produção de bio-óleo com ácidos graxos poli-insaturados não se pode submeter a biomassa ao calor excessivo. O bio-óleo com esse perfil de ácidos graxos instaurados é interessante nas indústrias farmacêutica e alimentícia.

Já os métodos que secam a biomassa, produzem bio-óleo com maior porcentagem ácida graxos saturada e monoinsaturada, sendo um perfil importante para produção de biodiesel. Pois cadeias poli-insaturada afeta a estabilidade do combustível, tornando-o menos resistente à oxidação.

Referências

ALI, M.; WATSON, I.A. Microwave treatment of wet algal paste for enhanced solvent extraction of lipids for biodiesel production. **Renewable Energy**, v. 76, p. 470-477, 2015.

ATABANI, A. E.; SILITONGA, A. S.; BADRUDDIN, A.; MAHLIA, M. I.; MASJUKI, H. H.; MEKHILEF, S. A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 16, n. 4, p. 2070-2093, 2012.

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 tem microalgal strains. **Bioresource technology**, v. 102, n. 8, p. 5248-5250, 2011.

BARRETO, L. M.; VILAÇA, M. T. M.. Controvérsias e consensos em educação ambiental e educação para o desenvolvimento sustentável. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 5, p. 10, 2018.

BRENNAN, L.; OWENDE, P. Biofuels from microalgae—a review of technologies for production, processing, and extractions of biofuels and co-products. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 14, n. 2, p. 557-577, 2010.

BRASIL, B. S. A. F.; SILVA, F. C. P.; SIQUEIRA, F. G. Microalgae biorefineries: The Brazilian scenario in perspective. **New biotechnology**, v.39, n.1, p.90-98, 2017.

CARRIJO, R. S.; SILVA, J. J. R.; OLIVEIRA, G. A.; PIO, F. P. B. Uso de microalgas para a produção de biodiesel. **Research, Society and Development**, v. 7, n. 5, 2018.

CHEN, C. Y.; YEH, K. L.; AISYAH, R.; LEE, D. L.; CHANG, J. S. Cultivation, photobioreactor design and harvesting of microalgae for biodiesel production: a critical review. **Bioresource technology**, v. 102, n. 1, p. 71-81, 2011.

CHEN, C.; HU, Z.; LIU, S.; TSENG, H. Emerging trends in regenerative medicine: a scientometric analysis in CiteSpace. **Expert opinion on biological therapy**, v. 12, n. 5, p. 593-608, 2012.

CLARENS, A. F.; ELEAZER P. RESURRECCION, E. P.; WHITE, M. A.; COLOSI, L. M. Environmental life cycle comparison of algae to other bioenergy feedstocks. **Environmental science & technology**, v. 44, n. 5, p. 1813-1819, 2010.

CRAMPON, C.; MOUAHID, A.; TOUDI, S. A.; LEPINE, O. BADENS, E. Influence of pré treatment on supercritical CO₂ extraction from *Nannochloropsis oculata*. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 79, p. 337-344, 2013.

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

FANNY, A.; ABERT-VIANA, M; PELTIER, G.; CHEMAT, F. “Solvent-free” ultrasound-assisted extraction of lipids from fresh microalgae cells: a green, clean and scalable process. **Bioresource technology**, v. 114, p. 457-465, 2012.

FENG, D.; CHEN, Z. C.; XUE, S.; ZHANG, W. Increased lipid production of the marine oleaginous microalgae *Isochrysis zhangjiangensis* (Chrysophyta) by nitrogen supplement. **Bioresource Technology**, v. 102, n. 12, p. 6710-6716, 2011.

FOLEY, P. M.; BEACH, E. S.; ZIMMERMAN, J. B. Algae as a source of renewable chemicals: opportunities and challenges. **Green Chemistry**, v. 13, n. 6, p. 1399-1405, 2011.

GEORGIANNA, D. R.; MAYFIELD, S.P. Exploiting diversity and synthetic biology for the production of algal biofuels. **Nature**, v. 488, n. 7411, p. 329-335, 2012.

HUANG, G. H.; CHEN, F. WEI, D.; ZHANG, X. W.; CHEN, G. Biodiesel production by microalgal biotechnology. **Applied energy**, v. 87, n. 1, p. 38-46, 2010.

HUERLIMANN, R.; DE NYS, R.; HEIMANN, K. Growth, lipid content, productivity, and fatty acid composition of tropical microalgae for scale-up production. **Biotechnology and bioengineering**, v. 107, n. 2, p. 245-257, 2010.

KROHN, B. J.; MCNEFF, C. V.; YAN, B.; NOWLAN, D. Production of algae-based biodiesel using the continuous catalytic Mcgyan® process. **Bioresource technology**, v. 102, n. 1, p. 94-100, 2011.

KUMAR, A.; ERGAS, S.; YUAN, X.; SAHU, A.; ZHANG, Q. O.; DEWULF, J.; MALCATA, F. X.; VAN LANGENHOVE, H. Enhanced CO₂ fixation and biofuel production via microalgae: recent developments and future directions. **Trends in biotechnology**, v. 28, n. 7, p. 371-380, 2010.

LACERDA, R. T. O.; ENSSLIN, L.; ENSSLIN, S. R. Uma análise bibliométrica da literatura sobre estratégia e avaliação de desempenho. **Gestão & Produção**, v. 19, n. 1, 2012.

LAM, M. K.; LEE, K. T. Microalgae biofuels: a critical review of issues, problems and the way forward. **Biotechnology advances**, v. 30, n. 3, p. 673-690, 2012.

LEOW, S.; WITTER, J. R.; VARDON, D. R.; SHARMA, B. K.; GUEST, J.S.; STRATHMANN, T. J. Prediction of microalgae hydrothermal liquefaction products from feedstock biochemical composition. **Green Chemistry**, v. 17, n. 6, p. 3584-3599, 2015.

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. *PlosOne*, v. 7, n. 7, p. 40751, 2012.

HON, S. E.; CHANG, L. P.; TINSHEN, C.; CHUNLI, Y.; WU, Y.P.; JONG, T. T.; SHIEH, C. J.; HSU, N. L.; CHANG, C. M. J. MATA, T. M.; MARTINS, A. A.; CAETANO, N. S. Microalgae for biodiesel production and other applications: a review. **Renewable and sustainable energy reviews**, v. 14, n. 1, p. 217-232, 2010.

MCMILLAN, J. R.; WATSON, I. A.; ALI, M.; JAAFAR, W. Evaluation and comparison of algal cell disruption methods: microwave, waterbath, blender, ultrasonic and laser treatment. **Applied energy**, v. 103, p. 128-134, 2013.

MOUAHID, A.; CRAMPON, C.; TOUDI, S. A.; BADENS, E. Supercritical CO₂ extraction of neutral lipids from microalgae: Experiments and modelling. **The Journal of Supercritical Fluids**, v. 77, p. 7-16, 2013.

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. **Bioenergia em Revista: Diálogos**, v. 5, n. 1, p. 20-25, 2015.

PAL, D.; GOLDBERG, I. K.; COHEN, Z.; BOUSSIBA, S.. The effect of light, salinity, and nitrogen availability on lipid production by *Nannochloropsis* sp. **Applied microbiology and biotechnology**, v. 90, n. 4, p. 1429-1441, 2011.

PITTMAN, J. K.; DEAN, A.P.; OSUNDEKO, O. The potential of sustainable algal biofuel production using wastewater resources. **Bioresource technology**, v. 102, n. 1, p. 17-25, 2011.

POHNDORF, R. S.; CAMARA, A. S.; LARROSA, A. P. Q.; PINHEIRO, P. C.; STRIEDER, M. M.; PINTO, L. A. A.; Production of lipids from microalgae *Spirulina* sp.: Influence of drying, cell disruption and extraction methods. **Biomass and Bioenergy**, v. 93, p. 25-32, 2016.

QUINN, J. C.; YATES, T.; DOUGLAS, N.; WEYWE, K.; BUTLER, J.; BRADLEY, T. H.; LAMMERS, P. J. Nannochloropsis production metrics in a scalable outdoor photobioreactor for commercial applications. **Bioresource Technology**, v. 117, p. 164-171, 2012.

RADAKOVITS, R.; JINKERSON, R. E.; DARZINS, A.; POSEWITZ, M. C. Genetic engineering of algae for enhanced biofuel production. **Eukaryotic cell**, v. 9, n. 4, p. 486-501, 2010.

RODOLFI, L.; ZITTELLI, G. C.; BASSI, N.; PADOVANI, G.; BIONDI, N. Microalgae for oil: Strain selection, induction of lipid synthesis and outdoor mass cultivation in a low-cost photobioreactor. **Biotechnology and bioengineering**, v. 102, n. 1, p. 100-112, 2009.

ROLEDA, M. Y.; SLOCOMBE, P.; LEAKEY, R. J. G.; DAY, J. G.; BELL, L. M; STANLEY, M. S et al. Effects of temperature and nutrient regimes on biomass and lipid production by six oleaginous microalgae in batch culture employing a two-phase cultivation strategy. **Bioresource technology**, v. 129, p. 439-449, 2013.

SANTOS, C. A. S.; SANTOS, G. D. S.; SANTOS, K. C.; SHI, D. M. Um modelo de sistema de informação gerencial: vantagem competitiva no processo da logística reversa do óleo de cozinha. **Research, Society and Development**, v. 4, n. 1, p. 62-88, 2017.

SATYANARAYANA, K. G.; MARIANO, A. B.; VARGAS, J. V. C. A review on microalgae, a versatile source for sustainable energy and materials. **International Journal of energy research**, v. 35, n. 4, p. 291-311, 2011.

STEPHENSON, P. G.; Moore, C. M.; Terry, M. J.; Zubkov, M. V.; Bibby, T. S. Improving photosynthesis for algal biofuels: toward a green revolution. **Trends in biotechnology**, v. 29, n. 12, p. 615-623, 2011.

SHWETHARANI, R.; BALAKRISHNA, R. G. Efficient algal lipid extraction via photocatalysis and its conversion to biofuel. **Applied Energy**, v. 168, p. 364-374, 2016.

SU, C.H.; CHIEN, L. J.; GOMES, J.; LIN, Y. S; YU, Y. K.; LIOU, J. S.; SYU, R. J. Factors affecting lipid accumulation by *Nannochloropsis oculata* in a two-stage cultivation process. **Journal of Applied Phycology**, v. 23, n. 5, p. 903-908, 2011.

TAELMAN, S. E.; CHAMPENOIS, J.; EDWARDS, M. D.; DE MEESTER, S.; DEWULF, J. Comparative environmental life cycle assessment of two seaweed cultivation systems in North West Europe with a focus on quantifying sea surface occupation. **Algal Research**, v. 11, p. 173-183, 2015.

TAPARIA, T.; MVSS, M.; MEHROTRA, R.; SHUKLA, P.; MEHROTRA, S. Developments and challenges in biodiesel production from microalgae: A review. **Biotechnology and applied biochemistry**, v. 63, n. 5, p. 715-726, 2016.

TANZI, C. D.; VIAN, M. A.; CHEMAT, F. New procedure for extraction of algal lipids from wet biomass: A green clean and scalable process. **Bioresource technology**, v. 134, p. 271-275, 2013.

WIJFFELS, R. H.; BARBOSA, M. J. An outlook on microalgal biofuels. **Science**, v. 329, n. 5993, p. 796-799, 2010.

WILLIAMS, P. J. B.; LAURENS, L. M. L. Microalgae as biodiesel & biomass feedstocks: review & analysis of the biochemistry, energetics & economics. **Energy & Environmental Science**, v. 3, n. 5, p. 554-590, 2010.

YAOYANG, X.; BOEING, W.J. Mapping biofuel field: a bibliometric evaluation of research output. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 28, p. 82-91, 2013.

ZHAO, Z.; YAN, H. Assessment of the biomass power generation industry in China. **Renewable Energy**, v. 37, n. 1, p. 53-60, 2012.

ZHENG, H.; GAO, Z.; YIN, J.; TANG, X.; JI, X.; HUANG, H. Harvesting of microalgae by flocculation with poly (γ -glutamic acid). **Bioresource Technology**, v. 112, p. 212-220, 2012.