

Produção de biodiesel a partir de microalgas *Scenedesmus subspicatus*

Taufemback, W. F.
Geremias, R.
Angioletto, E.
Serafim, A. S.
Cardoso, W. A.
Batti, J. C. B.

Resumo

A produção de combustíveis a partir de fontes renováveis tem sido uma importante demanda na atualidade. O presente estudo teve por objetivo utilizar microalga *Scenedesmus subspicatus* como fonte alternativa para a produção de biodiesel. Para tanto, foram executados testes preliminares em pequena escala e experimentos em média escala de crescimento de microalga *S. subspicatus*, extração da fração lipídica (óleo) da biomassa e sua conversão em biodiesel. Ao final dos experimentos em média escala, foram realizados os cálculos de rendimento do biocombustível. Os resultados em pequena escala revelaram o aumento de quantidades de células ($1,49 \times 10^5$ para $2,66 \times 10^7$ células mL⁻¹) e da biomassa (0,469 para 6,066 g L⁻¹) em função do tempo de cultivo. Nos experimentos em média escala, foi observado o crescimento celular na fase inicial, seguida de um regime estacionário. Também se constatou o crescimento de biomassa durante todo o tempo de cultivo. Os rendimentos obtidos de biomassa seca total, óleo e biodiesel corresponderam a 25 g, 0,13 mL e 0,020 mL, respectivamente. Concluiu-se que é necessário ajustes nas condições de cultivo, bem como na extração e conversão do óleo em biodiesel para que a microalga em estudo se torne promissora na produção de biocombustíveis.

Palavras-chave: Biodiesel; Microalga *Scenedesmus subspicatus*; Energia renovável.

Abstract

Currently, the production of fuels from renewable sources has been an important demand. The present study aimed to use microalgae *Scenedesmus subspicatus* as an alternative source for the production of biodiesel. Small-scale preliminary tests and medium-scale experiments of growth of *S. subspicatus* microalgae, extraction of the lipid fraction (oil) of the biomass and its conversion into biodiesel were carried. At the end of medium-scale experiments, were performed the biofuel yield calculations. The results on a small-scale revealed an increase cell numbers (1.49×10^5 to 2.66×10^7 cells mL⁻¹) and biomass as a function of culture time. In the experiments on medium-scale, was observed the growth of the microalgae in the initial phase followed by a steady state. Biomass growth was also observed throughout the culture time. The results of total dry biomass, oil and biodiesel were 25 g, 0.13 mL and 0.020 mL, respectively. It was concluded that it is necessary to adjust the conditions of culture, extraction and conversion of the oil into biodiesel so that the microalgae in study becomes promising in the production of biofuels.

Keywords: Biodiesel; Microalgae *Scenedesmus subspicatus*; Renewable energy sources.

Resumen

La producción de combustibles a partir de fuentes renovables ha sido una demanda importante en la actualidad. El presente estudio tuvo como objetivo utilizar las microalgas *Scenedesmus subspicatus* como fuente alternativa para la producción de biodiesel. Para esto, se realizaron pruebas preliminares a pequeña escala y experimentos a mediana escala del crecimiento de microalgas *S. subspicatus*, extracción de la fracción lipídica (aceite) de la biomasa y su conversión a biodiesel. Luego de los experimentos a mediana escala, se realizaron cálculos de rendimiento de biocombustibles. Los resultados a pequeña escala

revelaron un aumento en las cantidades de células ($1,49 \times 10^5$ a $2,66 \times 10^7$ células mL⁻¹) y biomasa (0,469 a 6,066 g L⁻¹) en función del tiempo de cultivo. En experimentos a mediana escala, se observó crecimiento celular en la fase inicial, seguido de un estado estacionario. El crecimiento de biomasa también fue observado a lo largo del tiempo de cultivo. Los rendimientos obtenidos de la biomasa seca total, el aceite y el biodiesel correspondieron a 25 g, 0,13 mL y 0,020 mL, respectivamente. Se concluyó que es necesario ajustar las condiciones de cultivo, así como la extracción y conversión del aceite en biodiesel para que las microalgas en estudio se vuelvan promisorias en la producción de biocombustibles.

Palabras clave: Biodiesel; Microalga *Scenedesmus subspicatus*; Energía renovable.

INTRODUÇÃO

O aproveitamento da biomassa vem sendo apontado como uma alternativa para suprir a crescente demanda por fontes de energia. A biomassa é definida como qualquer material biológico, vivo ou morto, que pode ser usado como fonte de energia. Basicamente, a mesma é um conversor natural de energia luminosa para uma forma em que pode ser armazenada, transportada e utilizada (AYDIN, 2019; FRANCO et al., 2013; MORAIS et al., 2018; NATOWITZ; NGÔ, 2016; PINTO et al., 2005; REIS, 2011; TESTER et al., 2005).

A biomassa pode ser utilizada como fonte de energia por meio da sua queima direta. Além disso, a mesma pode ser convertida em biocombustíveis gasosos ou líquidos, através de processos químicos, tais como, a produção de biodiesel a partir de óleos vegetais ou gorduras de origem animal. Estes óleos e gorduras são compostos, basicamente, por triglicerídeos, os quais são constituídos de ésteres de ácidos graxos e de glicerina e podem ser convertidos para biodiesel a partir da transesterificação com álcoois de cadeia curta, produzindo ésteres monoalquílicos de ácidos graxos de cadeia longa. O biodiesel apresenta a vantagem de ser biodegradável, renovável e não tóxico, podendo ser adicionado ao diesel fóssil em qualquer proporção, de acordo com os parâmetros físico-químicos desejados (CAHEN; GINLEY, 2012; DRAPCHO; NHUAN; WALKER, 2008; FRANCO et al., 2013; LOBO; FERREIRA, 2009; GOH et al., 2019; MACEDO; MACEDO, 2014; MOTA; MONTEIRO, 2013; PEREIRA et al., 2012; RAMOS et al., 2011; SUAREZ; MENEGHETTI, 2007; SURESH; JAWAHAR; RICHARD, 2018).

Estudos recentes vêm sugerindo a viabilidade da produção de biodiesel a partir de microalgas, dada sua qualidade lipídica, viabilidade de manipulação genética, rápido crescimento, independência de sazonalidades, boa produtividade em relação a culturas terrestres, pouca ocupação de espaço, dentre outras características. Entretanto, para que se obtenha uma produção satisfatória de biomassa de microalgas, há a necessidade da realização de testes sob diferentes condições de cultivo, com o controle de diversas variáveis e a otimização das etapas envolvidas no processo (DEMIRBAS; DEMIRBAS, 2010; DRAPCHO; NHUAN; WALKER, 2008; GOH et al., 2019; LUQUE; MELERO, 2012; MENEZES et al., 2013; ORTENZIO et al., 2015; PEREIRA et al., 2012; SUAREZ; PINTO, 2011; TAVARES et al., 2017).

As microalgas do gênero *Scenedesmus* são consideradas as mais comuns e cosmopolitas das algas verdes. Elas apresentam elevado teor lipídico, além de perfil adequado de ácidos graxos e rendimento aceitável de biomassa (SHUBA; KIFLE, 2018). Srinuanpan e colaboradores (2018)

descreveram uma concentração de lipídeos de $34,15 \pm 0,02\%$, sendo 94% constituída por ácidos graxos C16 e C18, e com produtividade de $0,98 \pm 0,03 \text{ g L}^{-1}$.

Dentre as suas espécies, encontra-se a *Scenedesmus subspicatus*, que é uma alga planctônica, representante dos produtores primários nos ecossistemas de água doce. Na natureza, é encontrada em colônias de até seis células, enquanto que no cultivo em laboratório, normalmente, é unicelular (BICUDO; MENEZES, 2006; KNIE; LOPEZ, 2004).

Muito embora, a microalga *S. subspicatus* exiba características potencialmente adequadas para a produção de biodiesel, ainda são poucos os trabalhos descritos na literatura para este fim. Neste contexto, faz-se necessária a realização de pesquisas voltadas ao cultivo e produção de biocombustíveis a partir desta microalga.

Partindo destes pressupostos, o presente trabalho teve como objetivo efetuar testes preliminares com microalga *S. subspicatus*, com vistas à produção de biomassa, extração da fração lipídica e sua conversão em biodiesel, além de cálculos de rendimento do biocombustível.

MATERIAIS E MÉTODOS

Obtenção de microalgas e preparação do meio de cultivo

Amostra em meio líquido da microalga *Scenedesmus subspicatus* foi obtida no banco de cultura do Laboratório de Ecotoxicologia, do Parque Científico e Tecnológico (I-Parque) da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC). A microalga foi então cultivada em meio de cultura CHU (Tabela 1), seguindo-se o protocolo descrito por Knie e Lopes (2004) e com a utilização material previamente esterilizado.

Tabela 1 - Solução estoque para meio de cultivo CHU (1 Litro).

Reagente	Massa
NaNO ₃	25 g
CaCl ₂ . 2H ₂ O	2,5 g
MgSO ₄ . 7H ₂ O	7,5 g
K ₂ HPO ₄	7,5 g
KH ₂ PO ₄	17,5 g
NaCl	2,5 g
C ₁₀ H ₁₄ N ₂ Na ₂ O ₈ . 2H ₂ O	50 g
KOH	31 g
FeSO ₄ . 7H ₂ O	4,98 g
H ₃ BO ₃	11,42 g

ZnSO ₄ . 7H ₂ O	8,82 mg
MnCl ₂ . 4H ₂ O	1,44 mg
MoO ₃	0,71 mg
CuSO ₄ . 5 H ₂ O	1,57 mg
Co(NO ₃) ₂ . 6H ₂ O	0,49 mg

Fonte: Adaptado de Knie e Lopes (2004).

Testes preliminares em pequena escala

Os testes preliminares em pequena escala foram realizados com o intuito de estabelecer as melhores condições de pH, temperatura, taxa de crescimento, luminosidade e o tempo de cultivo que poderiam ser, posteriormente, aplicadas nos experimentos em média escala. Para tanto, foram utilizados quatro erlenmeyers de vidro vedados como biorreatores, sendo adicionados 450 mL de água mili-Q, 250 mL de meio de cultivo *CHU* e 27,7 mL de alga ($1,49 \times 10^5$ células mL⁻¹) em cada frasco. O cultivo se deu em um sistema fechado, por 15 dias, à temperatura ambiente (23 ± 2 °C), pH ajustado em 7,1, aeração ($0,2$ L min⁻¹) e iluminação artificial (1500 lúmens) constantes. Alíquotas de 1,5 mL da microalga foram coletadas em cabine de fluxo laminar (Trox[®] Technik, Classe II, Tipo B2), em ambiente axênico, no início e após 6 e 15 dias de cultivo, para a determinação fotométrica da absorvância luminosa no comprimento de onda de 685 nm, como indicado por Knie e Lopes (2004). Os 3 períodos de coletas foram definidos de forma que representassem o perfil nas fases inicial, intermediária e final dos testes.

Para o cálculo da concentração celular, utilizou-se os resultados dos estudos realizados por Almeida (2012), o qual estabeleceu uma regressão linear que relaciona absorvância no comprimento de onda de 685 nm com a concentração de células obtidas, por meio da contagem em câmara de Neubauer, obtendo-se a Equação de calibração 1, onde X_{Cel} é a concentração de células (cél mL⁻¹), A é a absorvância em 685 nm e o coeficiente de regressão linear é $R^2=0,992$.

$$X_{Cel} [cél mL^{-1}] = \frac{A - 1,730 \times 10^{-2}}{9,336 \times 10^{-8}} \quad (1)$$

Para o cálculo de biomassa seca, também foram utilizados os resultados de Almeida (2012), que realizou uma regressão linear da concentração da biomassa seca em função da concentração de células contadas em câmara de Neubauer, obtendo assim a Equação de calibração 2, onde X_{Bms} é a concentração da biomassa seca (mg mL⁻¹), X_{Cel} é a concentração de células (cél mL⁻¹) obtida na equação 1 e o coeficiente de regressão linear é $R^2=0,998$.

$$X_{Bms} [mg mL^{-1}] = 2,116 \times 10^{-7} \cdot X_{Cél} + 4,369 \times 10^{-1} \quad (2)$$

Experimentos em média escala

Os experimentos em média escala foram realizados com o objetivo de se obter biomassa em quantidade suficiente para produção de biodiesel. Esta etapa foi realizada com base nas condições descritas nos testes preliminares em pequena escala, uma vez que as mesmas se mostraram adequadas, conforme descrito na seção de Resultados e Discussão.

Para tanto, foram utilizados três aquários, sendo adicionados 27,8 L de água mili-Q, 2,2 L de meio de cultivo *CHU* e 140 mL de alga em cada um deles, totalizando um volume de 30,14 L por aquário. O cultivo se deu em sistema aberto por 20 dias em temperatura ambiente (23 ± 2 °C), pH ajustado em 7,1, aeração (0,2 L/min.) e iluminação artificial (1500 lúmens) constantes. Alíquotas 1,5 mL de microalga foram retiradas no início e a cada dois dias para a determinação do crescimento celular e da biomassa seca pela medida fotométrica da absorbância luminosa em 685 nm, utilizando-se as equações 1 e 2.

Ao final do cultivo, as culturas provenientes dos três aquários foram misturadas em uma única amostra, para a obtenção de biomassa suficiente para as etapas de extração da fração lipídica (óleo) e sua conversão em biodiesel. Esta amostra passou por processo de autodecantação, sem uso de floculante, e posterior secagem em estufa (Quimis[®], 631M-53) à temperatura de 60 ± 2 °C, até a obtenção de peso constante (72 h), sendo calculado o rendimento do processo em termos de biomassa seca total.

A amostra seca total foi macerada de forma manual usando um almofariz e, posteriormente, teve sua fração lipídica (óleo) extraída em equipamento Soxhlet, utilizando hexano como solvente extrator, com fluxo aproximado de 180 gotas por segundo, à temperatura constante de 60°C, perfazendo um tempo total de extração de 6 horas, com 8 sifonagens por hora. A fração lipídica foi filtrada para retirada de biomassa residual e colocada em evaporador rotativo para a evaporação de todo o solvente. O recipiente contendo óleo extraído foi mantido em estufa a 100 °C por 24 horas para remoção do solvente residual. Em seguida, fez-se a medida da massa de óleo obtida para cálculo do rendimento $R_{\text{Óleo}}$ (%) através da Equação 3, onde M_{Bms} corresponde à biomassa seca (g) e $M_{\text{Óleo}}$ (g) à massa de óleo obtida.

$$R_{\text{Óleo}} [\%] = \left(1 - \frac{M_{Bms} - M_{\text{Óleo}}}{M_{Bms}} \right) \times 100 \quad (3)$$

Para a produção do biodiesel, o óleo obtido foi aquecido à, aproximadamente, 55 °C e misturado em solução de NaOH/metanol para promover a reação de transesterificação, sendo essa solução mantida em repouso por 24 horas para a separação do biodiesel e glicerol. Após a separação, o biodiesel foi submetido a lavagens com água destilada, com adição de sulfato de sódio para remoção da água remanescente. Posteriormente, foi determinado a sua massa e seu volume.

Os resultados obtidos de crescimento de microalga e acumulação de biomassa seca nesta etapa foram tabulados com auxílio do software OriginPro 9.0, que também foi utilizado para representação gráfica e ajuste polinomial.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Testes preliminares em pequena escala

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos de crescimento celular e de biomassa seca da microalga *Scenedesmus subspicatus* nos testes em pequena escala. É possível observar o aumento de quantidades de células e dos valores biomassa em função do tempo. Constata-se também a correlação entre crescimento celular e a produção de biomassa. Semelhante perfil também foi observado nos testes realizados por Almeida (2012). Os resultados permitiram indicar que as condições de cultivo se mostraram adequadas, podendo ser reproduzidas nos experimentos em média escala.

Tabela 2 - Concentração celular e de biomassa seca de microalga *Scenedesmus subspicatus* em função do tempo de cultivo nos testes em pequena escala. Resultados expressos em Média \pm Desvio Padrão.

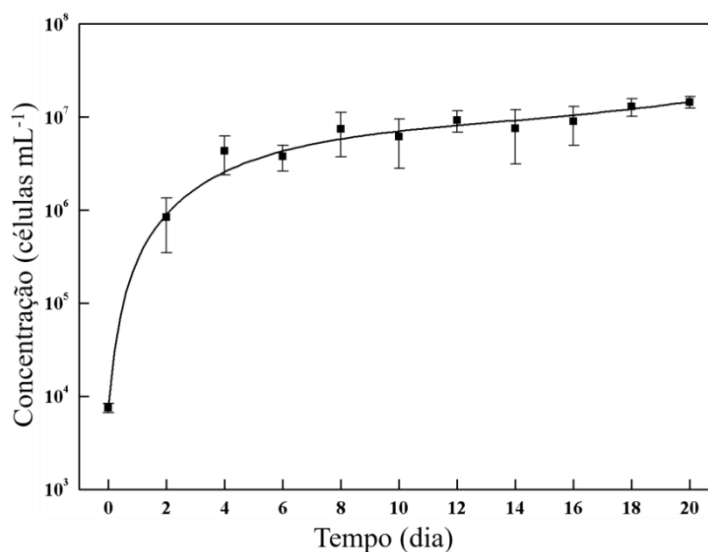
Tempo (dias)	Concentração de células (células mL ⁻¹)	Biomassa seca (g L ⁻¹)
0	$1,49 \times 10^5 \pm 1,50 \times 10^5$	$0,469 \pm 0,032$
6	$3,69 \times 10^6 \pm 2,34 \times 10^6$	$1,218 \pm 0,496$
15	$2,66 \times 10^7 \pm 0,12 \times 10^7$	$6,066 \pm 0,261$

Experimentos em média escala

A Figura 1 apresenta os resultados obtidos de crescimento logarítmico da microalga nos experimentos em média escala, bem como um ajuste polinomial de $R^2=0,9882$. Nele é visível uma taxa de crescimento maior até o 4º dia, apresentando um regime estacionário após tal período.

Este perfil se mostrou semelhante ao obtido por Feltrin e colaboradores (2013), os quais utilizaram microalga *Scenedesmus subspicatus* também cultivadas em meio de cultura *CHU* com diferentes valores de pH e temperatura, sendo observado que a melhor condição de trabalho obtida foi na temperatura de 23 °C, pH=7,0 e iluminação constante, no qual apresentou taxa de crescimento elevada nos dias iniciais, vindo posteriormente a adquirir um estágio estacionário.

Figura 1 - Concentração celular de microalga *Scenedesmus subspicatus* em função do tempo de cultivo nos experimentos em média escala. Resultados expressos em Média \pm Desvio Padrão.



Em estudo descrito por Filho e colaboradores (2010), utilizando a microalga *Scenedesmus subspicatus* em cultivo mais longo (40 dias) foi constatado um crescimento acelerado até o 16º dia, sendo esse período definido como ótimo para a coleta. A concentração máxima obtida neste último estudo foi de $6,53 \times 10^6$ cél mL⁻¹ no 24º dia, quando o número de células passou a se manter constante.

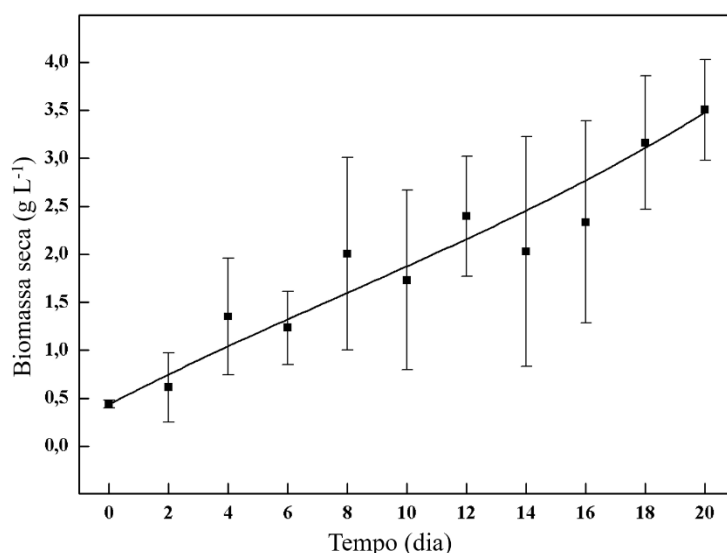
Dean e colaboradores (2010), em testes de cultivo com a microalga *Scenedesmus subspicatus* em meio de cultura Jaworski, observaram um crescimento exponencial até o 22º dia, passando então a apresentar uma concentração aproximadamente constante de $18,8 \times 10^6$ cél mL⁻¹.

Em outro estudo de cultivo da mesma espécie, Junior (2008) utilizou efluentes humanos e suínos em diferentes diluições com a água. Com uso de efluentes humanos, o melhor resultado se deu com uma proporção de 10% de efluente diluído em água, onde o crescimento máximo ocorreu até o 4º dia. Para efluentes suínos, a melhor resposta foi com uma proporção de 1% de efluente em água, com o crescimento máximo tendo ocorrido até o 3º dia. Nestes experimentos, não se observou o desenvolvimento de todas as fases, mas sim crescimentos exponenciais em determinadas situações.

A Figura 2 apresenta os resultados obtidos de biomassa nos testes em média escala, bem como um ajuste polinomial de $R^2=0,9179$. Pode-se constatar um contínuo crescimento de biomassa durante todo o tempo de cultivo, conforme também constatado por Feltrin e colaboradores (2013) em testes semelhantes usando microalgas *Scenedesmus subspicatus* durante 16 dias de cultivo.

De acordo com Lourenço (2006), o crescimento celular pode ser caracterizado como exponencial e é proporcional ao da biomassa seca, tal como observado no presente estudo. Conforme Becker (1994), nos primeiros dois dias de cultivo, o crescimento celular, assim como o de biomassa seca, pode ser considerado pouco significativo devido à uma adaptação inicial das células ao novo ambiente, numa fase de indução ao crescimento.

Figura 2 - Biomassa seca de microalga *Scenedesmus subspicatus* em função do tempo de cultivo nos experimentos em média escala. Resultados expressos em Média \pm Desvio Padrão.



Os resultados obtidos nos parâmetros de rendimento dos experimentos em média escala estão descritos na Tabela 3. Com base nestes resultados, foi possível observar que os valores de biomassa seca, óleo e biodiesel não foram tão satisfatórios. Este perfil também foi observado por Almeida (2012) em experimentos com condições semelhantes de cultivo e extração do óleo, nos quais obteve um rendimento de 2,09%. Já Cardoso e Colaboradores (2014), também em condições semelhantes de cultivo, porém utilizando extração do óleo por ultrassom, obtiveram um rendimento de 32%, sugerindo a superioridade de tal método em relação ao realizado em Soxhlet, o que também é confirmado por Ranjan e Colaboradores (2010).

Tabela 3 - Rendimento de biomassa seca total de microalga *Scenedesmus subspicatus*, da extração de fração lipídica (óleo) e de sua conversão em biodiesel nos experimentos em média escala após o tempo final de cultivo.

Parâmetro	Resultados
Biomassa seca total	25,0 g
Volume de óleo	0,13 mL
Volume do biodiesel	0,020 mL

Portanto, estes resultados sugerem a necessidade de alterações na metodologia, de forma a se obter uma maior produção de biomassa, com conseqüente aumento no rendimento do óleo e do biodiesel. Dentre às alterações, pode-se propor o cultivo em maior escala e/ou em diferentes condições de pH, temperatura e luminosidade, uso de maiores concentrações de inóculos, cultivo em fotoperíodo claro/escuro para evitar fotoinibição do crescimento das algas, uso de agentes floclantes para diminuir as perdas de extração da biomassa em solução, além de processos mais eficientes na extração e conversão do óleo em biodiesel.

CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos, pode-se concluir que as condições utilizadas nos testes preliminares em pequena escala e nos experimentos em média escala foram capazes de promover o crescimento celular e produção de biomassa de microalga *Scenedesmus subspicatus* em função do tempo de cultivo. Entretanto, se faz necessário ajuste nos procedimentos metodológicos para que se obtenha valores mais significativos no rendimento de biomassa, da fração lipídica (óleo) e de sua conversão em biodiesel, de forma a tornar promissora a utilização deste organismo na produção de biocombustíveis.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, W. B. *Estudo da obtenção de biomassa e extração de óleo da microalga Scenedesmus subspicatus*. Trabalho de Conclusão de Curso (obtenção do grau de Engenheiro Químico) - Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2012.

AYDIN, M. The effect of biomass energy consumption on economic growth in BRICS countries: A country-specific panel data analysis. *Renewable Energy*, v. 138, p. 620-627, 2019.

Bioenergia em revista: diálogos, ano 9, n. 2, julh./dez. 2019. P. 9-22.

Taufemback, W. F.; Geremias, R.; Angioletto, E.; Serafim, A. S.; Cardoso, W. A.; Batti, J. C. B.
Produção de biodiesel a partir de microalgas Scenedesmus subspicatus

BECKER, E. W. *Microalgae: biotechnology and microbiology*. Nova York, EUA: Cambridge University Press, 1994.

BICUDO, C. E. M.; MENEZES, M. *Gêneros de algas de águas continentais do Brasil: chave para identificação e descrições*. 2 ed. São Carlos, SP: RiMa, 2006.

CAHEN, D.; GINLEY, D. S. (org.). *Fundamentals of materials for energy and environmental sustainability*. Nova York, EUA: Cambridge University Press, 2012.

CARDOSO, W. A. et al. Comparação entre métodos de extração de óleo de microalgas. *Revista iniciação científica*, v. 12, p. 1678-7706, 2014.

DEAN, A. P. et al. Using FTIR spectroscopy for rapid determination of lipid accumulation in response to nitrogen limitation in freshwater microalgae. *Bioresource Technology*, v. 101, p. 4499-4507, 2010.

DEMIRBAS, A.; DEMIRBAS, F. M. *Algae energy: Algae as a new source of biodiesel*. Reino Unido, Londres: Springer, 2010.

DRAPCHO, C. M.; NHUAN, N. P.; WALKER, T. H. *Biofuels engineering process technology*. EUA: McGraw-Hill, 2008.

FELTRIN, A. C. et al. *Estudo cinético do crescimento de biomassa da microalga Scenedesmus subspicatus, utilizando o modelo de Gompertz*. In: 4ª Semana de Ciência & Tecnologia da UNESC, 2013.

FILHO, S. M. P. et al. Matéria-prima do biodiesel com curto tempo de coleta: microalga (*Scenedesmus subspicatus*). In: II Seminário Biodiesel Fonte de Energias das Oleaginosas em Pernambuco: Evolução do cenário e novas perspectivas no Brasil. *Anais eletrônicos...* Recife, 2010.

FRANCO, et al. Biodiesel de microalgas: avanços e desafios. *Química Nova*, v. 36, n. 3, p. 437-448, 2013.

GOH, B. H. H. et al. Sustainability of direct biodiesel synthesis from microalgae biomass: A critical review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 107, p. 59-74, 2019.

JUNIOR, S. O. N. *Potencial de aproveitamento de microalgas Chlorella vulgaris e Scenedesmus subspicatus como matéria prima para a obtenção de biodiesel*. Dissertação (Mestrado em Bioenergia) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2013.

KNIE, J. L. W.; LOPES, E. W. B. *Testes ecotoxicológicos: métodos, técnicas e aplicações*. Florianópolis: FATMA, 2004.

LOBO, I. P.; FERREIRA, S. L. C.; CRUZ, R. S. Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Química Nova*, v. 32, n. 6, p. 1596-1608, 2009.

LOURENÇO, S. O. *Cultivo de Microalgas Marinhas: Princípios e Aplicações*. São Carlos, SP: RiMa. 2006.

LUQUE, R.; MELERO, J. A. (org.). *Advances in biodiesel production: Process and technologies*. Sawston, Reino Unido: Woodhead, 2012.

MACEDO, G. A.; MACEDO, J. A. Produção de biodiesel por transesterificação de óleos vegetais. *Biotecnologia, ciência e desenvolvimento*, v. 7, n. 32, p. 38-46, 2004.

MENEZES, R. S. et al. Avaliação da potencialidade de microalgas dulcícolas como fonte de matéria-prima graxa para a produção de biodiesel. *Química Nova*, São Paulo, v. 36, n. 1, p. 10-16, 2013.

MORAIS, K. D.; et al. Estabilidade à oxidação do biodiesel de soja com adição do antioxidante do resíduo da indústria cervejeira. *Bioenergia em revista: diálogos*, v. 8, n. 2, p. 39 - 63, 2018.

MOTA, C. J. A. M.; MONTEIRO, R. Química e sustentabilidade: novas fronteiras em biocombustíveis. *Química Nova*, v. 36, n. 10, p. 1483-1490, 2013.

NATOWITZ, J. B.; NGÔ, C. *Our Energy Future: resources, alternatives and the enviroment*. 2. ed. Nova Jersey, EUA: Wiley & Sons, 2016.

ORTENZIO, Y. T.; et al. Cultivo de microalgas utilizando resíduos agroindustriais para a produção de biocombustíveis: perspectivas e desafios. *Bioenergia em revista: diálogos*, v. 5, n. 1, p. 58-65, 2015.

PEREIRA, C. M. P. et al. Biodiesel renovável derivado de microalgas: avanços e perspectivas tecnológicas. *Química Nova*, São Paulo, v. 35, n.10, p. 2013-2018, 2012.

PINTO, A.C. et al. Biodiesel: an overview. *Journal of the Brazilian Chemical Society*, São Paulo, v. 16, p. 1313-1330, 2005.

RAMOS, L. P. et al. Tecnologias de produção de biodiesel. *Revista Virtual de Química*, v. 3, n. 5, p. 385-405, nov. 2011.

RANJAN, A.; PATIL, C.; MOHOLKAR, S. V. Mechanistic Assessment of Microalgal Lipid Extraction. *Industrial & Engineering Chemistry Research*, v. 49, p. 2979-2985, 2010.

REIS, L. B. *Matrizes energéticas: conceitos e usos em gestão e planejamento*. Barueri-SP: Manole, 2011.

SHUBA, E. S.; KIFLE, D. Microalgae to biofuels: 'Promising' alternative and renewable energy, review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 81, p. 743-755, 2018.

SRINUANPAN, S.; CHEIRSILP, B.; PRASERTSAN, P. Effective biogas upgrading and production of biodiesel feedstocks by strategic cultivation of oleaginous microalgae. *Energy*, v. 148, p. 766-774, 2018.

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

SUAREZ, P. A. Z.; PINTO, A. C. Biodiesel de algas: promessa ou futuro? *Química Nova*, v. 22, n. 11, p. 2023-2026, 2011.

Bioenergia em revista: diálogos, ano 9, n. 2, julh./dez. 2019. P. 9-22.

Taufemback, W. F.; Geremias, R.; Angioletto, E.; Serafim, A. S.; Cardoso, W. A.; Batti, J. C. B.

Produção de biodiesel a partir de microalgas Scenedesmus subspicatus

SURESH, M.; JAWAHAR, C. P.; RICHARD; A. A review on biodiesel production, combustion, performance, and emission characteristics of non-edible oils in variable compression ratio diesel engine using biodiesel and its blends. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 92, p. 38-49, 2018.

TAVARES, E. A.; et al. Isolamento, identificação e caracterização de microalgas de água doce como fonte potencial para a extração de óleo. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v. 6, n. 1. p. 74-81, 2017.

TESTER, J. W.; et al. *Sustainable Energy: Choosing Among Options*. 2. ed. Londres, Inglaterra: The MIT Press, 2012.

1 William Francisconi TAUFEMBACK. É graduando em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Santa Catarina. william.taufemback@grad.ufsc.br

2 Reginaldo GEREMIAS. Possui graduação em Filosofia pela Universidade do Sul de Santa Catarina (1986), graduação em Direito pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (2004), graduação em Farmácia pela Universidade Federal de Santa Catarina (1998), mestrado em Farmácia pela Universidade Federal de Santa Catarina (2002) e doutorado em Química pela Universidade Federal de Santa Catarina (2008). Atualmente é professor na Universidade Federal de Santa Catarina. Realiza pesquisas na área de Energia e Sustentabilidade. regicrici@gmail.com

3 Elídio ANGIOLETTO. Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Maria (1995), mestrado (1998) e doutorado (2003) em Ciência e Engenharia de Materiais pela Universidade Federal de Santa Catarina. Atualmente é professor titular da Universidade do Extremo Sul Catarinense atuando no Programa de Pós Graduação em Ciências e Engenharia dos Materiais e em diversos cursos de graduação. Como função administrativa é Diretor da Empresa Biorosam Biotecnologia LTDA. Tem experiência na área de Engenharia de Materiais e Metalúrgica, e desenvolve pesquisas nos seguintes temas: zeólitas, caldeiras, troca iônica, nitretação gasosa, nitretos, atividade antimicrobiana, recuperação ambiental e purificação de gases. ean@unesoc.net

4 Amanda da Silva SERAFIM. É graduanda em Engenharia Química pela Universidade do Extremo Sul Catarinense. amandasserafim@hotmail.com

5 Willian Acordi CARDOSO. Possui graduação em Engenharia Química pela Universidade do Extremo Sul Catarinense (2017). Atualmente é mestrando em Engenharia Química pela Universidade Federal de Santa Catarina. wyllyan_ac@hotmail.com

6 Julia Cesino Bez BATTI. Possui graduação em Engenharia de Energia pela Universidade Federal de Santa Catarina (2018). juliabezatti@gmail.com