



## PRODUÇÃO DE BIOENERGIA A PARTIR DE MICROALGAS – VIABILIDADE TÉCNICA E ECONÔMICA.

Glaucio Gualtieri Honorio, Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ  
glaucio.honorio@eng.uerj.br

### Resumo

A alta demanda energética mundial aliada aos problemas ambientais derivados da queima de combustíveis fósseis impulsionam a sociedade atual na busca por novas fontes de energia que sejam mais sustentáveis, com destaque para a biomassa. Dentre as matérias prima que fornecem a biomassa, merece destaque especial as microalgas, capazes de produzir material para a produção de diversos biocombustíveis, além de potencial uso em painéis fotovoltaicos para obtenção de energia solar. O presente trabalho busca esclarecer a inclusão dessas microalgas como matéria prima na matriz energética brasileira, através de uma revisão da literatura. Conforme apresentado, a produção de biocombustíveis a partir de diversas espécies de microalgas é promissora e tecnicamente viável, porém ainda apresenta barreiras econômicas, que podem ser contornadas com uma melhor otimização das técnicas de cultivo e extração da biomassa, bem como produzir os diversos tipos de biocombustíveis de forma integrada.

**Palavras-chave:** Biocombustíveis, microalgas, bioenergia, energia renovável.

### 1. Introdução

A crescente demanda mundial de energia tem se tornado um dos maiores desafios da sociedade atual. Dados da International Energy Agency (IEA) indicam que a demanda mundial de energia aumentará em 3,3% no ano de 2024 (IEA, 2023). Aliada a elevação dos preços do barril de petróleo, a queima de combustíveis fósseis e seus problemas ambientais imprimem à humanidade a necessidade da busca por fontes renováveis e sustentáveis de energia (Lôbo; Ferreira; da Cruz, 2009). O planeta Terra vem aquecendo cerca de 0,2°C a cada década, sendo impossível alcançar a antiga meta de frear o aumento em 1,5°C (em relação aos níveis pré-industriais) até 2100. O ano de 2023 quebrou recordes de temperatura média do planeta por duas vezes, além de apresentar o mês mais quente da história (setembro de 2023). As consequências das mudanças climáticas são extremamente graves, podendo se tornar irreversíveis, como o aumento do nível dos mares e eventos climáticos extremos. Assim, a busca por tecnologias de baixo impacto ambiental tem sido uma prioridade de pesquisadores em todo o mundo. Fontes alternativas de energia, tais como solar, eólica, hidrelétrica, maremotriz, biomassa, etc. surgem como a principal arma no combate a emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera devido a queima de combustíveis derivados do petróleo. Em seu último relatório, o IPCC apontou que existem desenvolvimentos bastante promissores em tecnologias de baixo

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento  
23/11 | 100% online  
24/11 | e gratuito

carbono. Apesar dos esforços, eles ainda não são suficientes para manter o aquecimento global em 1,5°C acima dos níveis pré-industriais, e com isso as mudanças podem se tornar irreversíveis em alguns ecossistemas ao redor do mundo (IPCC, 2023).

Há muita discussão em torno da produção de biocombustíveis de 1ª geração (1G, produzidos a partir de matérias primas de fonte alimentícia), pois seu processo de produção leva ao consumo de energia derivada de combustíveis fósseis para produzir fertilizantes, além de comprometer grandes áreas de plantio. Algumas matérias primas, como o milho, tornam-se pouco atrativas, pois a energia produzida é praticamente a mesma gasta durante o processo de produção. Já a cana de açúcar pode produzir até 8 vezes mais energia do que consome no processo de produção do etanol. Biocombustíveis de 3ª geração (3G, originados de biomassa como a de algas) tem despertado bastante interesse, principalmente por não demandar altos gastos de energia na produção e não competir com a produção de alimentos. Algas podem ser cultivadas sem impactar negativamente o meio ambiente, podendo inclusive ser aliadas na retirada de carbono da atmosfera. Desse modo, surgem como alternativa de matéria prima para a produção de energia mais sustentável (Mota e Monteiro, 2013).

Baseado no apresentado, este estudo busca, a partir de uma revisão sistemática da literatura, traçar um panorama dos últimos anos do uso de bioenergia no Brasil proveniente de microalgas, a fim de avaliar sua viabilidade técnica e econômica.

## 2. Fundamentação teórica

Apesar de estudos avançarem na busca por fontes renováveis de energia, dados da The British Petroleum Company mostram que o uso de energias não renováveis ainda representa mais de 80% do consumo mundial (The British Petroleum Company, 2023). No Brasil a energia renovável tem participação significativa. Segundo a Agência nacional de Petróleo (ANP) 43,5% de toda a matriz energética brasileira provém de fontes renováveis. Se considerar a energia hidrelétrica, esse percentual é ainda maior, atingindo mais de 81% (ANP, 2022).

Os biocombustíveis são vistos como alternativas viáveis para substituição de combustíveis fósseis, principalmente devido uma menor emissão de gases estufa, contribuindo assim no combate ao agravamento do aquecimento global, além de outras características, como boa biodegradabilidade e baixa concentração de enxofre (Dhar *et al*, 2020). De acordo com as fontes e o modo de produção, os biocombustíveis são divididos em 4 gerações (1G, 2G, 3G e 4G). Biocombustíveis 1G são derivados de matérias primas alimentícias, tal como soja e cana de açúcar, destacando o biodiesel e o etanol (da Silva *et al*, 2021). Biocombustíveis 2G utilizam a celulose que se origina de resíduos agrícolas e do processamento da madeira como matéria prima. Os biocombustíveis 3G são originados de biomassa obtida a partir do cultivo de algas e microalgas, e do aproveitamento de lixo urbano (Mota e Monteiro, 2013). Já os biocombustíveis 4G produzem biomassa através da captura, armazenamento e conversão do CO<sub>2</sub> em energia (da Silva *et al*, 2021).

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 | evento  
23/11 | 100% online  
24/11 | e gratuito

Apesar de apresentar vantagens frente aos combustíveis fósseis, os biocombustíveis 1G, 2 G e 4G são alvos de discussão, principalmente levando em consideração a competição com a produção de alimentos e a necessidade de áreas extensas para plantio. Os biocombustíveis 3G, ao contrário, não competem com a produção alimentícia e nem precisam de extensas áreas de cultivo. Além de produzir quantidades elevadas de lipídios, as microalgas são eficientes na retirada de CO<sub>2</sub> da atmosfera, através do processo de fotossíntese. Aliado a essas vantagens, o impacto ambiental é mínimo. Em vista disso, o uso de biocombustíveis 3G tem atraído cada vez mais o interesse de pesquisadores em todo o mundo (Nazary *et al*, 2021). Apesar do enorme potencial dos biocombustíveis 3G, sua produção ainda não é economicamente viável (Reis e Gouveia, 2013), sendo necessário o aperfeiçoamento das técnicas de cultivo. Uma alternativa tem sido o aproveitamento de efluentes domésticos e industriais como fonte de nutrientes para o cultivo de microalgas (Cardoso *et al*, 2011). Após o cultivo, a biomassa de microalgas é separada do meio de cultura através de processos que incluem sedimentação, centrifugação, filtração e, quando necessário, floculação (Wang *et al*, 2008). A biomassa separada e recuperada é processada através de processos que envolvem a secagem e extração de bioprodutos (como lipídios), constituindo na etapa de mais alto custo do processo (Cardoso *et al*, 2011).

Os biocombustíveis que podem ser obtidos a partir de biomassa de microalgas são o biodiesel (para biomassas que produzam alto teor de lipídios), o etanol (a partir de biomassa rica em carboidratos), o biogás (através de processos de digestão e co-digestão anaeróbia), o bio-óleo (obtido através da pirólise da biomassa) (Cardoso *et al*, 2011).

Além da produção de biocombustíveis, as microalgas tem sido objeto de estudo na produção de painéis biofotovoltaicos para a obtenção de energia solar. Apesar de ser uma eficiente fonte de energia, os painéis solares ainda apresentam um custo bastante elevado, incentivando estudos na busca de painéis alternativos a fim de diminuir os custos da obtenção dessa energia. Dentre as alternativas destacam-se os painéis solares biológicos ou painéis biofotovoltaicos (BPV), que produzem eletricidade através da luz solar retirada por organismos fotossintetizantes, como as algas, convertendo luz em corrente elétrica (Passos *et al*, 2020). Assim, além da produção de biocombustíveis 3G, microalgas constituem uma boa fonte de energia elétrica a partir da fabricação de painéis biofotovoltaicos.

### 3. Metodologia

O presente trabalho foi desenvolvido a partir de uma revisão sistemática da literatura, com base em uma pesquisa criteriosa onde foram obtidos dados nacionais com foco na produção de bioenergia a partir de microalgas. Para a execução do trabalho foram utilizados os seguintes banco de dados: Google Acadêmico, Scielo, Scopus e Web of Science, visando apenas trabalhos produzidos no Brasil (nos idiomas português e inglês) no período compreendido entre 2020 e 2023.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

Foram utilizados os seguintes descritores: “microalgas”, “bioenergia”, “biodiesel”, “biogás”, “etanol”, “bio óleo”, “energia solar”, “energia biofotovoltaica” e seus correspondentes em inglês (“microalgae”, “bioenergy”, “biodiesel”, “biogás”, “etanol”, “bio oil”, “solar energy”, “biophotovoltaic energy”). Para otimizar a busca pelos bancos de dados foi utilizada também a técnica de truncagem, que corresponde na combinação dos descritores através da palavra AND (por exemplo “microalgas” AND “biodiesel”). Os descritores foram combinados 2 a 2 e 3 a 3, de modo que a busca se tornasse mais precisa.

Do total de estudos encontrados, a seleção aconteceu segundo alguns critérios. Para exclusão, levou-se em conta o fato do trabalho não ser produzido no Brasil, e sendo aceito somente os idiomas português e inglês. Para saber se os trabalhos aprovados deveriam ou não ser incluídos, foi adotado o seguinte procedimento:

1. Conferiu-se se o resumo possui informações importantes referentes ao uso de microalgas para a produção de bioenergia.
2. Quando o resumo não forneceu informações suficientes, foram analisadas as conclusões.
3. Não sendo suficiente, foi lido o trabalho completo.
4. Por fim, os trabalhos selecionados foram estudados integralmente para a confecção deste trabalho.

## 4. Resultados

### 4.1 Seleção dos trabalhos

Mundialmente, podemos encontrar muitos artigos relacionados à produção de bioenergia a partir de microalgas na literatura, a maioria voltada à produção de etanol, biodiesel e biogás, além do bio-óleo. Apesar de ser menos comum, também encontra-se na literatura trabalhos relacionados à produção de painéis biofotovoltaicos para obtenção de energia solar a partir de microalgas. A tabela 1 apresenta dados referentes à produção dos biocombustíveis listados a partir de diferentes espécies de microalgas publicados em todo mundo no período compreendido entre 2020 e 2023.

Tabela 1. Trabalhos publicados relacionados à produção de bioenergia no mundo a partir de microalgas no período compreendido entre 2020-2023

	2020	2021	2022	2023
<b>Biodiesel</b>	7470	8560	9500	7300
<b>Biogás</b>	3830	4920	6010	4900
<b>Etanol</b>	9100	11200	13200	10600
<b>Bio óleo</b>	2080	2740	3450	2680
<b>Energia solar</b>	46	49	64	43

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento  
23/11 | 100% online  
24/11 | e gratuito

O Brasil está entre os países que mais desenvolve trabalhos no mundo relacionados à produção de bioenergia, sobretudo biodiesel e etanol. Na tabela 2 encontram-se dados nacionais relacionados à produção de bioenergia a qualquer momento e no período compreendido entre 2020-2023. Importante salientar que muitos trabalhos preveem a produção de mais de uma forma de energia, por exemplo, biodiesel e biogás a partir da mesma fonte. Essa combinação se dá principalmente pelo fato da glicerina (resíduo da produção do biodiesel) possuir elevado potencial de melhora de processos de co-digestão anaeróbia, a partir do qual é produzido o biogás. Muitos destes trabalhos publicados são relacionados à produção de biocombustíveis de primeira geração.

Tabela 2. Trabalhos publicados relacionados a produção de bioenergia no Brasil a qualquer momento e no período compreendido entre 2020-2023

	Qualquer momento	2020-2023
<b>Biodiesel</b>	7940	2280
<b>Biogás</b>	1910	787
<b>Etanol</b>	8030	1980
<b>Bio-óleo</b>	446	155
<b>Energia Solar</b>	6	4

Quanto aos biocombustíveis de terceira geração, a busca forneceu um total de 507 trabalhos com os descritores pesquisados (eliminando-se as duplicidades), dos quais 22 trabalhos foram selecionados após os critérios avaliados, correspondendo 4 artigos publicados em periódicos e revistas científicas, 3 trabalhos de conclusão de curso, 5 dissertações de mestrado e 10 teses de doutorado. Dos 22 trabalhos selecionados, 6 foram desenvolvidos no ano de 2020, 8 no ano de 2021, 6 no ano de 2022 e 2 no ano de 2023. A figura 1 apresenta um quadro resumido com informações dos 22 trabalhos selecionados.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

Figura 1. Quadro resumo dos trabalhos acadêmicos envolvendo a produção de bioenergia a partir de microalgas no período entre 2020 e 2023.

Autor	Natureza	Ano	Título	Resumo
Helga Cristina Fuhrmann Dinnebier	Dissertação	2020	Cultivo de <i>Chlorella sorokiniana</i> em digestato da suinocultura com simultânea remoção de nutrientes e incremento no potencial energético de biogás.	Investigou o uso de digestato da suinocultura como meio de cultivo para microalgas da espécie <i>Chlorella sorokiniana</i> avaliando o potencial para a produção de biogás.
Rosângela Rodrigues Dias	Tese	2020	Influência geoespacial no desempenho de fotobiorreatores	Avaliou a biomassa obtida da microalga <i>Scenedesmus obliquus</i> com resultados importantes para a produção de biodiesel.
Antônio Luiz Fautinel	Tese	2020	A biologia sintética na produção sustentável de biocombustíveis	Fornece uma visão geral do caminho da biologia sintética na produção de biocombustíveis, sobretudo a produção de etanol a partir da espécie <i>S. cerevisiae</i> .
Davi de Lima Cavalcante	Tese	2020	Sequestro de carbono e geração de energia alternativa por célula a combustível fotossintética de <i>Chlorella vulgaris</i> com produção secundária de biodiesel e carotenóides.	Utilizou a espécie <i>C. vulgaris</i> em uma célula a combustível para analisar a eficiência da produção de energia, além do cultivo da mesma para produção de biodiesel.
Aline Meireles dos Santos	Tese	2020	biorreatores heterotróficos microalgais aplicados ao tratamento de efluentes agroindustriais.	Avaliou a conversão de matéria orgânica em um biorreator e a cinética da produção de biomassa, com grande potencial para ser aplicado como biocombustível.

PUC-Campinas

EESC USP

Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO  
DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11

23/11

24/11

evento

100% online

e gratuito

Charlene Raquel de Almeida Vi-ana	Tese	2020	Sistemas sustentáveis de cultivo de <i>Chlorella vulgaris</i> a partir de efluentes de aquicultura.	O estudo monitorou parâmetros que influenciam no cultivo de microalgas para a produção de bioetanol, biogás e biodiesel.
Francisco Gerhardt Magro	Tese	2021	Valoração de efluentes de digestão de dejetos bovinos com cultivos mistos de microalgas	Estudou o cultivo das microalgas <i>Spirulina</i> e <i>Scenedemus</i> em efluentes de dejetos bovinos, apresentando alto potencial para produção de bioetanol.
Mirela Pessoa Diniz da Silva <i>et al</i>	Artigo	2021	Microalgas e a terceira geração de biocombustíveis: desafios atuais e perspectivas futuras	O estudo faz uma comparação dos biocombustíveis (biodiesel e etanol) de primeira geração com os obtidos por microalgas (terceira geração).
Maiara Priscila de Souza	Tese	2021	Evaluation of the bioproducts obtained from periphytic biomass harvested in na algal turf scrubber system	Avaliou a biomassa algal de tratamento de efluentes para a produção de bioprodutos, com destaque para biocombustíveis.
Nathaskia Siva Pereira Nunes	Tese	2021	Cultivo de <i>Chlorella sorokiniana</i> em vinhaça de cana de açúcar clarificada e suas aplicações biotecnológicas.	Avaliou o cultivo da microalga <i>Chlorella sorokiniana</i> em meio de vinhaça de cana de açúcar para a produção de biodiesel, obtendo ésteres que atendiam a todos os padrões de qualidade do biocombustível.

PUC-Campinas

EESC USP

Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO  
DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11

23/11

24/11

evento

100% online

e gratuito

Jorge Andres Segovia Ortega	Dissertação	2021	Avaliação do desempenho da microalga <i>Tetrademus obliquus</i> como fonte para a produção de biodiesel.	Avaliou o rendimento do óleo obtido da microalga estudada. O rendimento da biomassa foi de até 0,26 g/L, obtendo um ótimo perfil para a produção de biodiesel.
Ariane Paulutti Vaz	Trabalho de Conclusão de Curso	2021	Bioprocessos e bioprodutos de espécies do gênero <i>Ulva</i>	Apresentou uma revisão bibliográfica onde demonstra resultados promissores para a espécie estudada na produção de biocombustíveis.
Christine Carmargo Mendes	Trabalho de Conclusão de Curso	2021	Edifício Verde: projeto de uma planta vertical de cultivo e produção de energia a partir da microalga <i>Chlorella</i> sp.	O estudo apresentou um projeto de construção de um edifício de 5 andares com possibilidade de gerar energia a partir de biomassa algal para abastecer o próprio condomínio.
Gabriela Mylena Machado dos Santos <i>et al</i>	Artigo	2021	Uso de microorganismos no tratamento anaeróbio de efluentes ricos em nitrogênio e fósforo tendo em vista a economia circular.	O estudo compreendeu uma revisão da literatura ressaltando o potencial das microalgas na economia circular, sobretudo na produção de biogás.
Marcos Prauchner <i>et al</i>	Artigo	2022	Combustíveis hidrocarbônicos alternativos, com ênfase para os combustíveis sustentáveis para aviação.	Buscou através de uma revisão fornecer uma visão sobre os combustíveis alternativos ao petróleo, com especial atenção a utilização da biomassa.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

Eduarda Torres Amaral <i>et al</i>	Artigo	2022	Sanitary Wastewater Supplemented with Glycerol to Obtain Lipid-Rich microalgal biomass.	Avaliou o rendimento da biomassa de microalgas cultivadas em meio suplementado com glicerol.
Tamiris Vescovi Casotto	Dissertação	2022	Avaliação da eficiência de pré-tratamentos físicos e enzimáticos para processamento de biomassa de microalgas.	Estudo avaliou tratamentos para o rompimento da parede celular de microalgas da espécie <i>Chlorella vulgaris</i> , o que gerou maior eficiência na obtenção de biomassa.
Aline Antônia Castro	Tese	2022	Produção e purificação de biogás utilizando biotecnologia de microalgas como alternativa energética renovável.	O estudo avaliou o potencial de geração e purificação de biogás utilizando microalgas da espécie <i>Euglena sanguinea</i> , obtendo até 64% de metano no biogás bruto.
Larissa Almeida Nascimento	Dissertação	2022	Co-digestão de biomassa residual de microalga com água residuária de processamento de café.	Avaliou a codigestão da biomassa de <i>Scenedesmus obliquus</i> com efluentes do processamento de café, obtendo um bom rendimento de biometano.
Magno Régis de Souza Oliveira	Trabalho de Conclusão de Curso	2022	Transesterificação in situ de microalgas <i>Monoraphidium sp</i> em concordância com catalisador heterogêneo "La-SBA-15 (pH)".	O estudo obteve um rendimento de 82,8% de biodiesel a partir da microalga analisada.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

Agnes Adam Duarte Pinheiro	Dissertação	2023	Codigestão anaeróbia de biomassa de algas e vinhaça para a produção de metano.	Utilizou a vinhaça da cana de açúcar como substrato para obtenção de biomassa algal, visando um aumento na produção de biometano a partir das mesmas, obtendo um aumento de 120% no rendimento do gás obtido.
Aline de Cássia Campos Pena	Tese	2023	Biorrefinarias de microalgas para a produção de biocombustíveis e pontos de carbono.	O estudo propôs uma rota de biorrefinaria de microalgas partindo do tratamento de efluentes da indústria de couro.

#### 4.2 Desenvolvimento

Os estudos selecionados mostram que o cultivo de microalgas de diversas espécies apresenta uma elevada obtenção de biomassa, imprescindível para a produção de biocombustíveis de 3ª geração (3G). Porém os resultados tornam-se melhores em determinadas condições de cultivo. Da Silva *et al* (2021) apresentaram em um estudo uma comparação dos biocombustíveis de 1G com 3G, considerando esse como desejável para as demandas energéticas mundiais. O artigo busca na literatura técnicas de cultivo que viabilize a produção de biodiesel e etanol a partir das microalgas, avaliando também a produção de outros biocombustíveis a partir dos resíduos da produção dos citados (por exemplo, uso do glicerol residual da produção de biodiesel como co-substrato para a produção de biogás). Prauchner *et al* (2022) forneceram em um estudo de revisão uma visão generalista de matérias primas alternativas ao uso do petróleo na produção de energia com destaque para o uso da biomassa proveniente de microalgas, principalmente envolvendo o hidroprocessamento do óleo da espécie *Botryococcus Braunii*. Este é processado tal qual óleos vegetais, e posteriormente isolado por extração com solventes.

Em sua tese, Dias (2020) avaliou a produção de biomassa a partir da espécie *Scenedesmus obliquus* cultivadas sob algumas condições específicas, tais como intensidade de luz e temperatura, obtendo uma variação na produtividade da biomassa. A produtividade foi maior com uma intensidade de luz de  $2100,9 \mu\text{mol.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$  e uma temperatura de  $28,75^\circ\text{C}$ , obtendo até  $0,048\text{g/L}$  de lipídios por dia. Cavalcante (2020) avaliou o uso da microalga *Chlorella vulgaris* em uma célula a combustível a fim de analisar não somente a eficiência na produção de energia, mas também a sua capacidade de sequestrar  $\text{CO}_2$  da atmosfera, transformando-o em biomassa, auxiliando assim na redução de carbono e no combate ao

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

aquecimento global. Os resultados do trabalho mostraram um acúmulo de 40% em amido e 66% em lipídios a partir da biomassa obtida, o que corrobora que a microalga estudada é uma opção viável na produção de bioenergia. Ortega (2021) avaliou alguns meios de cultivo para a espécie *Tetrademus obliquus*, e concluiu que o meio NPK 20-10-20 (nitrogênio, fósforo e potássio, nas proporções descritas) forneceu os melhores resultados quanto à produção de biomassa. Os ácidos graxos obtidos foram caracterizados por cromatografia gasosa, mostrando um excelente perfil para a produção de biodiesel. Apesar de não produzirem diretamente biocombustíveis através da biomassa obtida, os trabalhos apresentam possibilidades da utilização das espécies na produção principalmente do biodiesel, pois todas apresentaram uma elevada produção de biomassa.

Fautinel (2020) em seu estudo “A biologia sintética na produção de biocombustíveis” avaliou algumas espécies de microalgas e verificou o potencial de dessas espécies em transformar CO<sub>2</sub> e calor em energia química para a produção de biocombustíveis, sobretudo bioetanol e biohidrogênio. A espécie *P. tricornutum* apresentou elevado potencial biotecnológico para a produção de bioetanol. Espécies do gênero *Scenedesmus* apresentaram alta produtividade lipídica, com potencial para a produção de biodiesel e também biohidrogênio. Nascimento (2022), em um estudo com a espécie *Scenedesmus obliquus*, avaliou a co-digestão da mesma com efluentes do processamento de café, para a obtenção de biogás. O estudo mostrou que à medida que a quantidade de microalgas aumentava, a produção de biogás diminuía, porém a quantidade de biometano aumentava, chegando a um rendimento de até 90%. Segundo o estudo, as condições de cultivo podem ter influenciado no resultado final, merecendo assim uma avaliação mais cuidadosa. Magro (2021) estudou os gêneros *Scenedesmus* e *Spirulina*, avaliando a eficiência da combinação na remoção de nitrogênio e fósforo de dejetos bovinos. O cultivo misto com a proporção 50% *Scenedesmus* 50% *Spirulina* apresentou os melhores resultados, fornecendo uma alta massa de carboidratos. A biomassa produzida foi caracterizada apresentando alto potencial para a produção de biocombustíveis, sobretudo bioetanol, além de grande potencial para produzir biodiesel e biogás.

As microalgas do gênero *Chlorella* são bastante estudadas. Esse gênero é muito utilizado no tratamento de efluentes devido à alta capacidade de remoção de nitrogênio e fósforo dos mesmos. Dinnebier (2020) investigou em seu estudo o uso de digestato da suinocultura como meio de cultivo para crescimento da espécie *Chlorella sorokiana*, avaliando o potencial para a produção de biogás. Através de um delineamento composto central do tipo 2<sup>2</sup> parâmetros importantes no cultivo da espécie analisada, como o pH e a concentração de nitrogênio amoniacal total (NAT), foram estudados. A cepa mostrou-se tolerante a altas concentrações de NAT (até 1300 mg/L) em pH neutro, obtendo uma alta produtividade de biomassa (198 mg/L por dia). O biogás obtido da co-digestão continha 65% de biometano, e o cenário do estudo apontou um incremento de até 31,2% na produção de biogás a partir do digestato de suinocultura aliado às microalgas. A autora sugere a integração desta matéria prima em instalações agroindustriais a fim de estabelecer nas mesmas o conceito de economia circular, aumentando a produção de biogás e tornando o sistema de

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

geração de energia no agronegócio mais viável economicamente. A mesma espécie foi avaliada por Nunes (2021), que avaliou o cultivo da microalga em meio de vinhaça de cana de açúcar para a produção de biodiesel, obtendo ésteres que atendiam a todos os padrões de qualidade do biocombustível. Além do biodiesel, o estudo demonstra um elevado potencial para a produção de biogás em um processo de co-digestão da microalga com a vinhaça, porém as condições para esta produção não foram avaliadas. Pena (2023) propôs uma rota de biorrefinaria dessa espécie de *Chlorella* partindo do tratamento de efluentes da indústria de couro. A rota proposta começou com o tratamento do efluente, seguida da recuperação da biomassa e pirólise. Os bioprodutos obtidos foram o bio-óleo, biochar (também chamado de biocarvão ou carvão vegetal) e gás. O rendimento foi de até 11,58 toneladas de biomassa para cada 1000m<sup>3</sup> de efluente, mostrando ser uma excelente alternativa para a produção de biocombustíveis citados. Além da *Chlorella sorokiana*, a espécie *Chlorella vulgaris* mostra-se bastante relevante no cenário de produção dos biocombustíveis. Viana (2020) avaliou meios de cultivo para a espécie a partir de águas residuárias de piscicultura de baixa e alta densidade, e de águas residuárias de ranicultura. O cultivo da microalga em águas residuárias de ranicultura mostrou-se eficiente para a produção de bioetanol e biogás, além de outros produtos de valor agregado. Já os maiores teores de lipídios foram obtidos a partir do cultivo das microalgas em águas residuárias de piscicultura de baixa densidade, constituindo em uma potencial fonte de material graxo para a produção de biodiesel. Amaral *et al* (2022) avaliaram a suplementação com glicerol no meio de cultivo para microalgas da espécie *Chlorella sp*, afim de aumentar a produção de biomassa. A suplementação com glicerol mostrou-se bastante viável, pois além de não apresentar efeito inibitório sobre o crescimento das microalgas, influenciou nos ácidos graxos produzidos, servindo de matéria-prima para a produção de biodiesel. Importante dizer que o glicerol é um dos subprodutos da produção de biodiesel e, neste caso, poderia ser aproveitado para produzir mais deste biocombustível. O estudo sugere pré-tratamentos no glicerol bruto que podem melhorar ainda mais o rendimento de lipídios não apenas a partir da espécie estudada, mas também de outras espécies que se adaptem bem a efluentes.

Castro (2022) em seu estudo avaliou a produção de biogás a partir da espécie *Euglena sanguínea*, apresentando uma elevada concentração de metano no biogás bruto (64%) e de até 76% após a purificação. A produtividade alcançada no estudo foi de 27,02 m<sup>3</sup> de biogás e 12,85 m<sup>3</sup> de biometano para cada tonelada de microalga utilizada. Pinheiro (2023), considerando as microalgas um substrato promissor na obtenção de biometano, utilizou a vinhaça de cana de açúcar como co-substrato para a digestão anaeróbia da biomassa algal (um misto de espécies) para obtenção de biogás, sobretudo o metano. O estudo apresentou um ganho de 120% na produção do biometano, comparado a monodigestão da massa algal, concluindo que o processo de co-digestão da biomassa proveniente das microalgas com a vinhaça da cana de açúcar foi bem sucedido.

Um estudo apresentado por Mendes (2021) apresentou resultados bastante promissores no campo da obtenção de energia solar a partir de painéis biofotovoltaicos. O estudo propôs a construção de um edifício de 5 andares que gerasse energia a partir de biomassa algal, energia

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

suficiente para suprir as necessidades do mesmo. Para isso foram utilizados 24 fotobiorreatores expostos a luz solar para o cultivo, extraindo a biomassa de 2 reatores por dia, durante 12 dias, obtendo desse modo geração de energia contínua. A energia gerada foi suficiente para manter o consumo de 3 fitas LED por 5 horas, 4 celulares por 2 horas, e 14 lâmpadas LED por 8 horas, segundo a autora.

Os estudos apresentados corroboram que a produção de bioenergia a partir de microalgas é um campo bastante promissor, apresentando excelentes resultados. Além de não comprometer grandes áreas cultiváveis (como o plantio de soja para produção de biodiesel e cana de açúcar para a produção de etanol), as microalgas podem ser fortes aliadas no processo de co-digestão de alguns efluentes produzindo o biogás, sobretudo o metano. A produção de hidrogênio carece de mais estudos de otimização, apesar de ser tecnicamente viável. A produção de energia solar a partir de painéis biofotovoltaicos também é uma área pouco explorada no Brasil, apesar do grande potencial do país para a produção deste tipo de energia. Países como Inglaterra e Malásia apresentam estudos mais avançados neste cenário. Apesar da viabilidade técnica da obtenção de bioenergia a partir de microalgas comprovada por diversos estudos, a mesma ainda apresenta um custo elevado. É preciso intensificar estudos para otimização das técnicas de cultivo de diversas espécies de modo a diminuir os custos da produção de biocombustíveis 3G. Além disso, intensificar estudos aliando o uso de espécies de microalgas a rejeitos e efluentes agropecuários e industriais, tratando os mesmos e obtendo energia a partir deste tratamento na forma de biogás. A integração dos sistemas para obtenção dos biocombustíveis pode levar a um melhor aproveitamento da biomassa e redução dos custos.

## 5. Conclusões

Conforme evidenciado pela literatura, a produção de combustíveis de 3ª geração apresenta-se como uma alternativa de energia renovável, além de sua capacidade de suprir a demanda energética da sociedade atual. Há uma gama de espécies com potencial para a produção de elevadas quantidades de biomassa, favorecendo assim a produção dos biocombustíveis. Apesar de tecnicamente viável, as técnicas de produção de biomassa a partir de microalgas apresentam custos elevados frente a biocombustíveis de 1ª geração, sendo necessários estudos de otimização que tornem essa produção viável economicamente.

## 6. Agradecimentos

Universidade do Estado do Rio de Janeiro – UERJ

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS 2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS

22/11 evento  
23/11 100% online  
24/11 e gratuito

## 7. Referências bibliográficas

- Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis (ANP), Brasília, 31 de out. de 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/pt-br/noticias/energia-minerais-e-combustiveis/2021/08/energia-renovavel-chega-a-quase-50-da-matriz-eletrica-brasilei->
- ra#:~:text=Um%20estudo%20do%20Instituto%20de,os%20demais%20pa%C3%ADses%20do%20bloco. Acessado em: 19 de out. de 2023.
- Amaral, E. T., Alves, G., Julich, J., Silva, M. B., Celente, G. S., Hoeltz, M., Schneider, R. C. S., Benitez, L. B. (2022) Sanitary Wastewater Supplemented with Glycerol to Obtain Lipid-Rich microalgal biomass. *Journal of Environmental Health and Sustainable Development*. V. 7, n. 4, p. 1816 – 1826.
- Cardoso, A. S.; Vieira, G. E. G.; Marques, A. K. (2011). O uso de microalgas para obtenção de biocombustíveis. *Revista Brasileira de Biociências*. v. 9, n. 4, p. 542-549.
- Casoto, T. V. (2022) Avaliação da eficiência de pré-tratamentos físicos e enzimáticos para processamento de biomassa de microalgas. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal do Espírito Santo, ES, Brasil.
- Castro, A. A. (2022) Produção e purificação de biogás utilizando biotecnologia de microalgas como alternativa energética renovável. (Tese de Doutorado). Universidade do Vale do Taquari, RS, Brasil.
- Cavalcante, D. L. (2020). Sequestro de carbono e geração de energia alternativa por célula a combustível fotossintética de *Chlorella vulgaris* com produção secundária de biodiesel e carotenóides. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Pernambuco, PE, Brasil.
- Da Silva, M. P. D.; Gloria, J. S.; Panta, D. A. S.; Vieira, G. E. G. (2021) Microalgas e a terceira geração de biocombustíveis: desafios atuais e perspectivas futuras. *Revista Desafios*, v.08, n.03, p. 1 – 19.
- Dhar, A.; Naeth, M. A.; Jennings, P. D.; Gamal El-Din, M. (2020) Perspectives on environmental impacts and a land reclamation strategy for solar and wind energy systems. *Science of The Total Environment*, v. 718, p. 134602.
- Dias, R. R. (2020) Influência geoespacial no desempenho de fotobiorreatores (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.
- Dinnebier, H. C. S. (2020). Cultivo de *Chlorella sorokiniana* em digestato da suinocultura com simultânea remoção de nutrientes e incremento no potencial energético de biogás. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal da Fronteira Sul, Erechim, Brasil.
- Fautine, A. L. (2020). A biologia sintética na produção sustentável de biocombustíveis (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil.
- Global Warming of 1,5°C An IPCC Special Report on the impacts of global warming of 1.5°C above pre-industrial levels and related global greenhouse gas emission pathways, in the context of strengthening the global response to the threat of climate change, sustainable development, and efforts to eradicate poverty. Intergovernmental Panel on Climate Change

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO  
DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento  
23/11 | 100% online  
24/11 | e gratuito

(IPCC) New York, 09 de out. de 2023. Disponível em: <http://www.ipcc.ch/sr15/>. Acessado em: 26/09/2023.

International Energy Agency (IEA). Paris, fev. de 2023 Disponível em: <https://www.iea.org/reports/demand-side-data-and-energy-efficiency-indicators>. Acesso em: 19 de out. de 2023.

Lôbo, I. P., Ferreira, S. L. C., Da Cruz, R. S. (2009). Biodiesel: parâmetros de qualidade e métodos analíticos. *Química Nova*, v. 32, n. 6, p. 1596-1608.

Magro, F. G. (2021). Valoração de efluentes de digestão de dejetos bovinos com cultivos mistos de microalgas. (Tese de Doutorado). Universidade de Passo Fundo, RS, Brasil.

Mendes, C. C. (2021) Edifício Verde: projeto de uma planta vertical de cultivo e produção de energia a partir da microalga *Chlorella sp.* (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de São Paulo, SP, Brasil.

Mota, C. J. A., Monteiro, R. S. (2013) Química e sustentabilidade: novas fronteiras em biocombustíveis. *Química Nova*, v. 36, n. 10, p. 1483 – 1490.

Nascimento, L. A. (2022) Co-digestão de biomassa residual de microalga com água residuária de processamento de café. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Viçosa, MG, Brasil.

Nazari, M. T.; Mazutti, J.; Basso, L. G.; Colla, L. M.; Brandli, L. (2020) Biofuels and their connections with the sustainable development goals: a bibliometric and systematic review. *Environment, Development and Sustainability*, v. 23, n. 8, p. 11139–11156.

Nunes, N. S. P. (2021). Cultivo de *Chlorella sorokiniana* em vinhaça de cana de açúcar clarificada e suas aplicações biotecnológicas. (Tese de Doutorado). Universidade Federal da Grande Dourados, MS, Brasil.

Ortega, J. A. S. (2021). Avaliação do desempenho da microalga *Tetrademus obliquus* como fonte para a produção de biodiesel. (Dissertação de Mestrado). Universidade Estadual Paulista, SP, Brasil.

Oliveira, M. R. S. (2022) Transesterificação in situ de microalgas *Monoraphidium sp* em concordância com catalisador heterogêneo "La-SBA-15 (pH)". (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal do Rio Grande do Norte, RN, Brasil.

Passos, C. T. S., Leite, L. A., Gomes, V. A. P., Freitas, R. R. (2020) Uso de microalgas como biofilme em painéis biofotovoltaicos: uma análise bibliométrica. *Brazilian Journal of Production Engineering*. v. 06, n. 03, p. 127 – 137.

Pena, A. C. C. (2023) Biorrefinarias de microalgas para a produção de biocombustíveis e pontos de carbono. (Tese de Doutorado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul, RS, Brasil.

Pinheiro, A. A. D (2023) Codigestão anaeróbia de biomassa de algas e vinhaça para a produção de metano. (Dissertação de Mestrado). Universidade Federal de Pernambuco, PE, Brasil.

Prauchner, M. J., Brandão, R. D., Freitas, A. M., Oliveira, S. C. (2022) Combustíveis hidrocarbônicos alternativos, com ênfase para os combustíveis sustentáveis para aviação. *Revista Virtual da Química*. V. 14, p. 1 – 21.

PUC-Campinas EESC USP Comitês PCJ

APRESENTAM:

# SUSTENTARE & WIPIS2023

WORKSHOP INTERNACIONAL

SUSTENTABILIDADE, INDICADORES E GESTÃO DE RECURSOS HÍDRICOS



22/11 | evento  
23/11 | 100% online  
24/11 | e gratuito

Reis, A., Gouveia, L. (2013). Biorrefinaria de Microalgas. Boletim de Biotecnologia (Portugal). V. 01, p. 1 – 2.

Santos, A. M. (2020) Biorreatores heterotróficos microalgais aplicados ao tratamento de efluentes agroindustriais. (Tese de Doutorado). Universidade Federal de Santa Maria, RS, Brasil.

Santos, G. M. M., Barbosa, M. S., Porto, M. M. M., Chong, N. S. R., Luz, M. V. S., Santos, R. S. S., Silva, A. S., Moreira, I. T. A. (2021) Uso de microorganismos no tratamento anaeróbio de efluentes ricos em nitrogênio e fósforo tendo em vista a economia circular. Research, Society and Development, v. 10, n. 11, p. 1 – 23.

Souza, M. P. (2021). Evaluation of the bioproducts obtained from periphytic biomass harvested in na algal turf scrubber system. (Tese de Doutorado). Universidade de Santa Cruz do Sul, RS, Brasil.

Statistical Review of World Energy. The British Petroleum Company. Londres, 2021. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. Acesso em: 19 de out. de 2023.

Vaz, A. P. (2021). Bioprocessos e bioprodutos de espécies do gênero *Ulva*. (Trabalho de Conclusão de Curso). Universidade Federal de Santa Catarina, SC, Brasil.

Viana, C. R. A. (2020). Sistemas sustentáveis de cultivo de *Chlorella vulgaris* a partir de efluentes de aquicultura. (Tese de Doutorado). Universidade Estadual Paulista, SP, Brasil.

Wang, B., Li, Y., Wu, N. & Lan, C. Q. (2008). CO<sub>2</sub> bio-mitigation using microalgae. Applied Microbiology and Biotechnology, v. 79, p. 707-718.