

Área: Sustentabilidade | Tema: Temas Emergentes em Sustentabilidade

**PROCESSOS BASEADOS EM MICROALGAS: UMA ESTRATÉGIA SUSTENTÁVEL PARA A
BIOECONOMIA**

MICROALGAE-BASED PROCESSES: A SUSTAINABLE STRATEGY FOR BIOECONOMY

Patricia Arrojo Da Silva, Ihana Aguiar Severo, Mariany Costa Deprá, Leila Queiroz Zepka e Eduardo Jacob

Lopes

RESUMO

A expansão das atividades industriais em todo o mundo resultou no aumento substancial do consumo de insumos fósseis, bem como na geração de resíduos, impactando negativamente no meio ambiente. Portanto, o desenvolvimento de processos alternativos e a produção de produtos de base biológica são considerados como rotas potenciais para o desenvolvimento sustentável. Contudo, existe a necessidade de explorar ferramentas que avaliem se o bioprocessos é ambientalmente e, sobretudo, economicamente viável. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é revisar os processos baseados em microalgas como uma estratégia sustentável no campo da bioeconomia.

Palavras-Chave: bioprocessos, bioeconomia circular, análise técnico-econômica, impacto ambiental

ABSTRACT

The expansion of industrial activities worldwide resulted in a substantial increase in the consumption of fossil fuels as well as in the generation of waste, negatively impacting the environment. Therefore, the development of alternative processes and the production of bio-based products are considered as potential routes for sustainable development. However, there is a need to explore tools that assess whether the bioprocess is environmentally and, above all, economically feasible. In this sense, the objective of the present work is to review the microalgae-based processes as a sustainable strategy in the field of bioeconomy.

Keywords: bioprocesses, circular bioeconomy, techno-economic analysis, environmental impact.

Eixo Temático: Temas emergentes em sustentabilidade

**PROCESSOS BASEADOS EM MICROALGAS: UMA ESTRATÉGIA
SUSTENTÁVEL PARA A BIOECONOMIA**

**MICROALGAE-BASED PROCESSES: A SUSTAINABLE STRATEGY FOR
BIOECONOMY**

Ihana Aguiar Severo, Patrícia Arrojo da Silva, Mariany Costa Deprá, Leila Queiroz Zepka e Eduardo
Jacob-Lopes

RESUMO

A expansão das atividades industriais em todo o mundo resultou no aumento substancial do consumo de insumos fósseis, bem como na geração de resíduos, impactando negativamente no meio ambiente. Portanto, o desenvolvimento de processos alternativos e a produção de produtos de base biológica são considerados como rotas potenciais para o desenvolvimento sustentável. Contudo, existe a necessidade de explorar ferramentas que avaliem se o bioprocessos é ambientalmente e, sobretudo, economicamente viável. Nesse sentido, o objetivo do presente trabalho é revisar os processos baseados em microalgas como uma estratégia sustentável no campo da bioeconomia.

Palavras-chave: bioprocessos, bioeconomia circular, análise técnico-econômica, impacto ambiental.

ABSTRACT

The expansion of industrial activities worldwide resulted in a substantial increase in the consumption of fossil fuels as well as in the generation of waste, negatively impacting the environment. Therefore, the development of alternative processes and the production of bio-based products are considered as potential routes for sustainable development. However, there is a need to explore tools that assess whether the bioprocess is environmentally and, above all, economically feasible. In this sense, the objective of the present work is to review the microalgae-based processes as a sustainable strategy in the field of bioeconomy.

Keywords: bioprocesses, circular bioeconomy, techno-economic analysis, environmental impact.

1 INTRODUÇÃO

As questões relacionadas a sustentabilidade são discutidas globalmente no século XXI. O rápido crescimento urbano resultou no aumento substancial do consumo de energia e materiais, bem como na geração de resíduos e emissões nocivas ao meio ambiente. Atualmente, a principal fonte para as necessidades humanas está baseada em insumos fósseis, os quais apresentam enorme impacto na relação energia-ambiente (MOHAN et al., 2016).

Em termos de emissões, milhares de toneladas de resíduos industriais são emitidos anualmente através de diversos setores da manufatura, seja através do setor de processos industriais, químico, energético, transporte, agricultura ou de alimentos (EPA, 2018). Estes setores, no entanto, enfrentam um caro problema: reduzir as emissões ou pagar multas. Mas e se estas indústrias pudessem promover a redução da pegada de carbono e ao mesmo tempo se beneficiar a partir da economia de resíduos industriais? Estes aspectos são discutidos por muitos pesquisadores, cientistas e especialistas ambientais.

Os bioprocessos industriais surgem como uma alternativa potencial em direção ao desenvolvimento sustentável, paralelamente à possibilidade de transformar a economia linear em bioeconomia circular (DAHIYA et al., 2018). Diversos microrganismos, como por exemplo as microalgas, são amplamente utilizados para muitas soluções biotecnológicas. Contudo, processos baseados em microalgas apresentam algumas limitações, dentre elas, a econômica é a mais proeminente. Assim, é crucial otimizar as etapas de processamento para alcançar a viabilidade ambiental e técnico-econômica em larga escala (MOLINA-GRIMA et al., 2003).

Recentemente, a bioeconomia tem sido estudada para transformar as cadeias produtivas em um sistema fechado, aumentando a eficiência dos processos e uso de recursos, a fim de equilibrar os aspectos econômicos, ambientais e sociais. Adicionalmente, ela aborda a conversão das reservas de carbono renovável para a produção de inúmeros produtos de base biológica (MAINA et al., 2017).

Portanto, o uso de ferramentas para avaliar o desempenho ambiental e técnico-econômico, fornecerá resultados adequados referentes a viabilidade do mercado de processos a nível industrial e ajudará a estabelecer todos os passos para reduzir custos (IEA, 2017). Nesse sentido, o objetivo desta revisão é descrever os processos baseados em microalgas como uma estratégia sustentável no campo da bioeconomia.

2 METODOLOGIA

Como procedimento técnico, uma ampla revisão de literatura foi realizada neste trabalho através do método de pesquisa bibliográfica proposto por Gil (2007). Esta pesquisa baseou-se na busca por tópicos emergentes em sustentabilidade relacionados aos bioprocessos industriais com foco em análise técnico-econômica.

2.1 PROCESSOS BASEADOS EM MICROALGAS

As microalgas são organismos de extraordinária capacidade adaptativa, capazes de sobreviver em ambientes extremos. A sua biodiversidade é enorme e representa uma importante fonte de recursos a serem explorados biotecnologicamente para diversos propósitos devido a sua importância econômica, nutricional e ecológica (JACOB-LOPES et al., 2018).

Além disso, podem crescer rapidamente, exigindo compostos orgânicos (resíduos industriais) e/ou inorgânicos (emissões de gases de combustão industrial) como fonte de energia e nutrientes, e possuem elevada produtividade, não competindo com terras aráveis. Por este motivo, as microalgas podem ser aplicadas em sistemas de engenharia ambiental, associando a

estabilização de poluentes, através da incorporação destes compostos na biomassa, com produção simultânea de diversos produtos de interesse comercial (CHEAH et al., 2016).

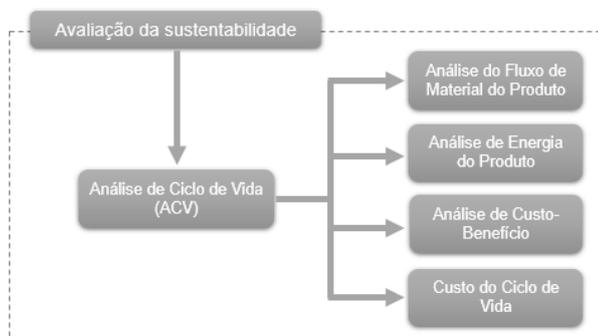
A biomassa de microalgas pode ser utilizada para a obtenção muitos bioprodutos: bioenergia e biocombustíveis (biodiesel, bioetanol, biometano, biohidrogênio e bio-óleo), e para produção de uma variedade de compotos de química fina, como por exemplo ácidos graxos poli-insaturados, pigmentos e compostos bioativos com alto valor agregado em cosméticos, fármacos e alimentos, possibilitando um novo nicho de mercado (PATEL et al., 2017).

Embora apresentem inúmeras vantagens, os processos baseados em microalgas possuem como principal barreira a falta de um sistema de cultivo eficiente. Os biorreatores possuem desvantagens associadas as técnicas operacionais, alta demanda de energia e alto custo com o equipamento. Atualmente, os sistemas de cultivo disponíveis comercialmente não atendem aos requisitos que um processo industrial maduro requer (JACOB-LOPES et al., 2018). Ao mesmo tempo, existem questões ambientais que também são cada vez mais debatidas, devido ao impacto que os processos, tecnologias e produtos podem desempenhar na natureza. Assim, é imprescindível abordar formas de avaliar a sustentabilidade dos bioprocessos.

2.2 DESEMPENHO AMBIENTAL: FERRAMENTAS DE SUSTENTABILIDADE

A avaliação do desempenho ambiental de diferentes processos é importante para facilitar a formulação de políticas baseadas em evidências. De acordo com Ness et al. (2007), metodologias e ferramentas para a categorização e avaliação da sustentabilidade podem ser utilizadas para fornecer melhores diretrizes de aplicação, dados e experiências de estudo de caso. Um resumo das principais ferramentas utilizadas em avaliações ambientais encontram-se resumidas na Figura 1.

Figura 1 –Ferramentas de avaliação da sustentabilidade.



A ferramenta atualmente mais estabelecida é a ACV, a qual avalia o impacto ambiental de um processo ou produto durante seu ciclo de vida. É uma abordagem que analisa a pressão real e potencial que um produto tem sobre o meio ambiente durante a aquisição de matéria-prima e processamento. A partir dela, foram desenvolvidas quatro subcategorias: análise do fluxo de material do produto, de energia do produto, do custo-benefício do produto ou processo e do custo do ciclo de vida, a qual abrange o produto, processo e atividades (NESS et al., 2007).

As situações de tomada de decisões abordadas pela ACV também devem levar em conta as consequências econômicas. Embora a análise de custo benefício e de custo do ciclo de vida estejam dentro do escopo da metodologia, os aspectos técnico-econômicos internos e externos não são tratados adequadamente. Nesse sentido, é essencial considerar a integração da ferramenta de análise técnico-econômica em bioprocessos para explorar se os dados obtidos da projeção em escala industrial serão economicamente viáveis (JACOB-LOPES et al., 2018).

2.3 BIOECONOMIA

Processos baseados em microalgas podem ser um caminho de pesquisa sustentável, alimentando o setor industrial e, sobretudo, formando uma sólida plataforma econômica. Entretanto, é importante aperfeiçoar as etapas de processamento para tornar rentável a bioeconomia de microalgas (MOHAN et al., 2016).

A maioria dos trabalhos encontrados na literatura baseiam-se em resultados obtidos de dados de escala laboratorial ou de pequenas plantas, sendo extrapolados a partir de parâmetros ainda não consolidados. A Tabela 1 mostra algumas análises técnico-econômicas em processos microalgais.

Esses dados geralmente não correspondem ao que deveria ocorrer na prática, sendo que um dos maiores obstáculos é o alto custo do biorreator, impactando no preço do produto, o qual poderia ser comercializado para obter retornos de investimento (TREDICI et al., 2016).

Tabela 1 - Análise técnico-econômica aplicada à diferentes processos baseados em microalgas e bioprodutos.

Produto	Capacidade de produção	Custo estimado do produto	Referência
Biomassa	503.967,70 ton/ano	USD 0.03/kg	Santos et al. (2017)
Lipídios	333.447,99 ton/ano	USD 70.4/ton	Roso et al. (2015)
Biodiesel	100.000 L/ano	USD 2.12/L	Brownbridge et al. (2014)
Bioetanol	80.000 ton/ano	USD 2,39-2,85/gal	Fasahati et al. (2015)
Astaxantina	0.90 ton/ano	USD 718/kg	Li et al. (2011)
Ácido eicosapentaenoico	0.44 ton/ano	USD 4.602/kg	Molina-Grima et al. (2003)

Existem outras limitações que impedem uma análise econômica completa desses bioprocessos: tipo de biorreator para estimar os custos de investimento e manutenção; escolha do local da planta, que influenciará nos custos com terreno, construção, mão-de-obra e produtividade do sistema; fonte de água e nutrientes para abastecimento do processo; capacidade da planta; e processos auxiliares. A negligência dessas informações pode afetar o preço de venda do produto, a lucratividade e rentabilidade do processo (IEA, 2017).

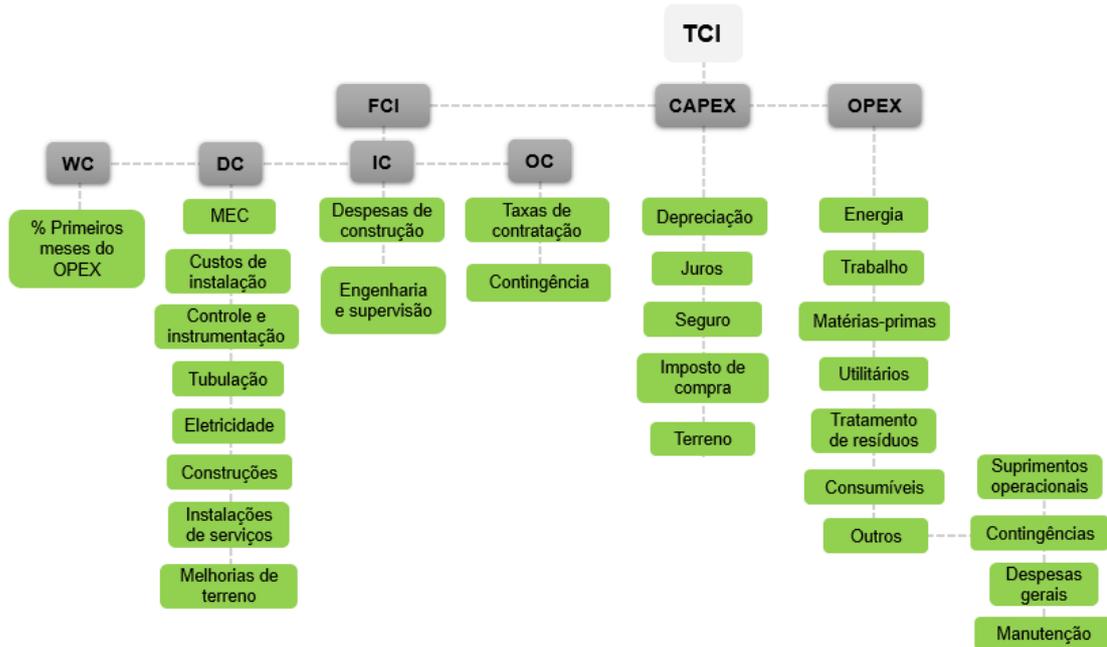
A fim de fornecer uma estrutura mais robusta da bioeconomia, é importante estabelecer todos os passos a serem seguidos para entender a viabilidade do mercado, minimizar os custos de produção ou neutralizá-los. A Figura 2 resume os procedimentos necessários para a análise técnico-econômica global de um bioprocessos.

As análises técnico-econômicas geralmente são associadas à modelagem de dados de processos. Ela compreende basicamente as despesas de capital (CAPEX) e as despesas operacionais (OPEX), somada ao investimento de capital fixo (FCI), fornecendo uma estimativa dos custos totais de investimento por ano (TCI) (PETER & TIMMERHAUS, 2003). O FCI é subdividido em quatro categorias:

- 1 – Capital de giro (WC);
- 2 – Custos diretos (CD);
- 3 – Custos indiretos (IC);
- 4 – Outros custos (OC).

De acordo com a quantidade e qualidade das informações técnicas disponíveis e o nível do projeto, a análise econômica pode ser classificada entre uma estimativa preliminar, definitiva ou detalhada (PETER & TIMMERHAUS, 2003).

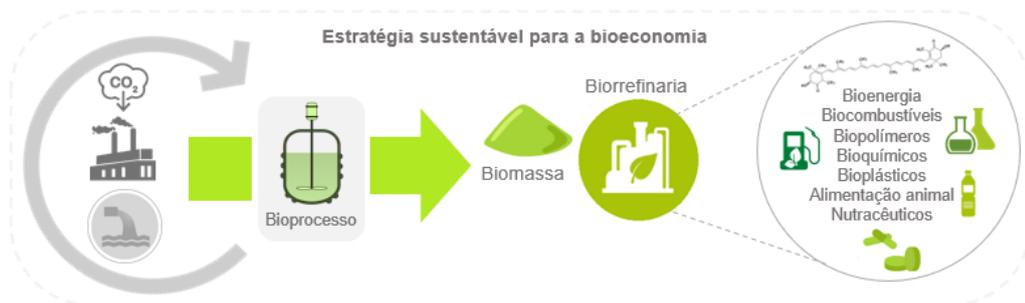
Figura 1 - Diagrama dos procedimentos da análise técnico-econômica.



Embora haja um considerável número de trabalhos abordando a análise técnico-econômica (Tabela 1) e mesmo que essa ferramenta seja útil na tomada de decisões, existem muitas questões a serem avaliadas. Entre as principais, os sistemas de cultivo devem ser melhorados, uma vez que esse campo está em constante progresso e outras reduções de custos podem ser obtidas (TREDICI et al, 2016).

Em suma, uma projeção futura de processos baseados em microalgas deverá ter uma visão ambiciosa para promover uma mudança do consumo de reservas fósseis para recursos renováveis, conforme mostra a Figura 2.

Figura 2 – Visão sustentável dos bioprocessos e da bioeconomia.



3 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A presente revisão explorou tópicos emergentes em sustentabilidade no que diz respeito aos bioprocessos microalgais no âmbito da bioeconomia. O uso de resíduos industriais e produção simultânea de múltiplos bioprodutos resultaria no aumento da competitividade comercial. Entretanto, é necessário explorar as ferramentas de desempenho ambiental e análise técnico-econômica para viabilidade destes processos. Diante do atual estágio de desenvolvimento tecnológico, estas abordagens ainda são consideradas imaturas e mais pesquisas devem ser realizadas para consolidação em larga escala.

REFERÊNCIAS

- BROWNBRIDGE, G.; AZADI, P.; SMALLBONE, A.; BHAVE, A.; TAYLOR, B.; KRAFT, M. The future viability of algae-derived biodiesel under economic and technical uncertainties. **Bioresource Technology**, v.151, p.166-173, 2014.
- CHEAH, W. Y.; LING, T. C.; SHOW, P. L.; JUAN, J. C.; CHANG, J-S.; LEE, D-J. Cultivation in wastewaters for energy: A microalgae platform. **Applied Energy**, v.179, p.609-625, 2016.
- DAHIYA, S.; KUMAR, A. N.; SRAVAN, J. S.; CHATTERJEE, S.; SARKAR, O.; MOHAN, S. V. Food waste biorefinery: Sustainable strategy for circular bioeconomy. **Bioresource Technology**, v.248, p.2-12, 2018.
- EPA. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY OF UNITED STATES. **Global Greenhouse Gas Emissions Data**, 2018. Disponível em: <https://www.epa.gov/>
- FASAHATI, P.; WOO, H. C.; LIU, J. J. Industrial-scale bioethanol production from brown algae: Effects of pretreatment processes on plant economics. **Applied Energy**, v.139, p.175-187, 2015.
- GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. Editora Atlas AS, 2007.
- IEA. INTERNATIONAL ENERGY AGENCY. **State of Technology Review – Algae Bioenergy**. An IEA Bioenergy Inter-Task Strategic Project, 2017.
- JACOB-LOPES, E.; ZEPKA, L. Q.; QUEIROZ, M. I. **Energy from microalgae**. 1st ed. Switzerland: Springer International Publishing, 2018, 306p.
- LI, J.; ZHU, D.; NIU, J.; SHEN, S.; WANG, G. An economic assessment of astaxanthin production by large scale cultivation of *Haematococcus pluvialis*. **Biotechnology Advances**, v.29, p.568-574, 2011.
- MAINA, S.; KACHRIMANIDOU, V.; KOUTINAS, A. A roadmap towards a circular and sustainable bioeconomy through waste valorization. **Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry**, v.8, p.18-23, 2017.
- MOHAN, S. V.; MODESTRA, J. A.; AMULYA, K.; BUTTI, S. K.; VELVIZHI, G. A Circular Bioeconomy with Biobased Products from CO₂ Sequestration. **Trends in Biotechnology**, v.34, p.506-519, 2016.
- MOLINA-GRIMA, E.; BELARBI, E. H.; FERNÁNDEZ, F. G. A.; MEDINA, A. R.; CHISTI, Y. Recovery of microalgal biomass and metabolites: process options and economics. **Biotechnology Advances**, v.20, p.491-515, 2003.
- NESS, B.; URBEL-PIRSALU, E.; ANDERBERG, S.; OLSSON, L. Categorising tools for sustainability assessment. **Ecological Economics**, v.60, p.498-508, 2007.
- PATEL, A.; GAMI, B.; PATEL, P.; PATEL, B. Microalgae: Antiquity to era of integrated technology. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v.71, p.535-547, 2017.
- PETERS, M. S.; TIMMERHAUS, K. D. **Plant design and economics for chemical engineers**. New York: McGraw-Hill, 2003.
- ROSO, G. R.; SANTOS, A. M.; QUEIROZ, M. I.; BARIN, J. S.; ZEPKA, L. Q.; JACOB-LOPES, E. The Econometrics of Production of Bulk Oil and Lipid Extracted Algae in an Agroindustrial Biorefinery. **Current Biotechnology**, v.4, 2015.
- SANTOS, A. M.; ROSO, G. R.; MENEZES, C. R.; QUEIROZ, M. I.; ZEPKA, L. Q.; JACOB-LOPES, E. The bioeconomy of microalgal heterotrophic bioreactors applied to agroindustrial wastewater treatment. **Desalination and Water Treatment**, p.1-9, 2017.
- TREDICI, M. R.; RODOLFI, L.; BIONDI, N.; BASSI, N.; SAMPIETRO, G. Techno-economic analysis of microalgal biomass production in a 1-ha Green Wall Panel (GWP®) plant. **Algal Research**, v.19, p.253-263, 2016.