



MICROORGANISMOS PRODUTORES DE LIPASES PARA USO NA PRODUÇÃO DE BIODIESEL

LIPASE-PRODUCING MICROORGANISMS FOR USE IN BIODIESEL PRODUCTION

DOI: 10.5281/zenodo.8361746

Bárbara Nunes Batista¹

Carlos Emanuel Vieira Flores Soares²

RESUMO: O biodiesel é composto por ésteres alquílicos de ácidos graxos, sendo um potencial substituto para o combustível fóssil devido às características de renovabilidade, respeito ao meio ambiente e biodegradabilidade. Diante da escassez global de combustíveis fósseis, aumentos do preço do petróleo bruto e da preocupação ambiental, tornou-se mais evidente a busca por alternativas de obtenção do biodiesel. Na obtenção do biodiesel em escala industrial geralmente são utilizados catalisadores químicos, que são eficientes, mas requerem uso de reagentes muito puros e condições extremas de processamento, sendo então o uso de lipases microbianas uma alternativa mais vantajosa. Diante disso, esta revisão descreve a produção de biodiesel incluindo espécies microbianas já avaliadas na obtenção de biodiesel combinadas a matérias-primas oleaginosas, onde foi possível observar a possibilidade de encontrar excelentes fontes microbianas de lipase e combiná-las a matérias-primas oleaginosas alternativas tais como resíduos, contribuindo para a elaboração de processos mais rentáveis e benéficos ao meio ambiente.

Palavras-chaves: Microrganismos; Bioprocessos; Biodiesel; Enzimas; Catálise.

ABSTRACT: Biodiesel is composed of alkyl esters of fatty acids, being a potential substitute for fossil fuels due to its characteristics of sustainability, respect for the environment and biodegradability. In view of the global shortage of fossil fuels, increases in the price of crude oil and environmental concerns, the search for alternatives for obtaining biodiesel has become more evident. To obtain biodiesel on an industrial scale, generally chemical catalysts are used, which are efficient, but require the use of very pure reagents and extreme processing conditions, so the use of microbial lipases is a more advantageous alternative. In view of this, this review describes the production of biodiesel including microbial species already evaluated in obtaining biodiesel combined with oil raw materials, where it was possible to observe the possibility of finding excellent microbial sources of lipase and combining them with alternative oil raw materials such as waste, contributing to the development of more profitable and environmentally beneficial processes.

1 Dra. em Biotecnologia pela BIONORTE. Pesquisadora no Departamento de Microbiologia Agrícola e Bioprocessos na CES My Tech.

2 Biólogo. Dr. em Tecnologias Químicas e Biológicas pela Universidade de Brasília - UnB. Diretor de PD&I e coordenador do Departamento de Microbiologia Agrícola e Bioprocessos da CES My Tech.



Keywords: Microorganisms; Bioprocess; Biodiesel; Enzymes; Catalysis.

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, o uso de microrganismos com potencial biotecnológico apresentam impactos positivos no setor de produção de biocombustíveis como etanol 2G e o biodiesel, além de biorremediação para a recuperação de áreas que sofrem com acidentes ambientais envolvendo os derivados do petróleo (Soares, 2020; Tan et al., 2023).

O óleo diesel utilizado no Brasil é composto basicamente por cadeias de até 30 átomos de carbonos, sendo o biodiesel um produto semelhante obtido a partir da transformação por processos químicos e físico-químicos de óleos vegetais, óleos saturados ou sebos (De Brito et al., 2023).

Segundo Almeida (2011), o biodiesel é uma alternativa ao uso do óleo diesel derivado do petróleo como combustível, capaz de reduzir a emissão dos gases de efeito estufa, sendo um combustível obrigatório em diferentes países.

O biodiesel movimenta uma parcela significativa no mercado global. Só em 2021 o valor chegou a US\$32,09 bilhões, tendo a estimativa de crescer a uma taxa composta de crescimento anual (CAGR) de 10 % até 2030 (Grand view research, 2022).

Contudo, a perspectiva de crescimento da demanda pelo biodiesel a fim de substituir os combustíveis fósseis tradicionais acaba induzindo a necessidade de buscar melhores matérias-primas, uma vez que o custo de produção do biodiesel é diretamente relacionado às matérias-primas utilizadas (Adhikesavan, Ganesh; Augustin, 2022; De Brito et al., 2023).

Anteriormente, a produção de biodiesel exigia várias etapas, incluindo o pré-tratamento da matéria-prima para posterior obtenção do biodiesel. Com os avanços da tecnologia, as metodologias tradicionais foram sendo modificadas de forma a incluir microrganismos geneticamente modificados tais como *Zymomonas mobilis* a fim de reduzir a quantidade de etapas de processamento (Madijan et al., 2018).

Desta forma, outras alternativas estão sendo estudadas e novas metodologias estão sendo desenvolvidas e novos microrganismos estão sendo utilizados no desenvolvimento de



metodologias para aprimorar a produção de biodiesel a fim de tornar o processo ainda menos oneroso aos investidores.

Há a triagem de novas espécies microbianas que dispensem modificação genética capazes de produzir compostos de interesse como enzimas e metabólitos secundários como por exemplo o uso de leveduras do gênero *Saccharomyces*, espécies de fungos filamentosos, bactérias e leveduras não-convencionais para otimização dos processos fermentativos e resíduos agroindustriais que sirvam de fonte de carbono alternativos como metanol e glicerol (Karkal et al., 2023; Soares; Bergman; Almeida, 2021; Su, 2021; Soares, 2023).

Assim, a presente revisão tem por objetivo a levantar dados envolvendo estudos quanto ao uso de microrganismos produtores de enzimas usadas em metodologias de produção de biodiesel e apresentá-las de forma acessível, crítica e científica, apresentando uma atualização no que tange os estudos da obtenção do biodiesel nos últimos vinte anos.

2 METODOLOGIA

Para a revisão de literatura foram consultados artigos científicos publicados entre 2003 e 2023, obtidos por meio da base de dados ScienceDirect, Elsevier, Scopus, Google Acadêmico, CAPES Periódicos, livros e teses de doutorado disponíveis nos repositórios de universidades. Foram utilizados durante a busca os termos “microrganismos”, “enzimas” e “biodiesel” combinados entre si, sendo os critérios de inclusão no presente estudo a abordagem dos microrganismos (bactérias, fungos filamentosos e leveduras) na obtenção do biodiesel, matérias primas utilizadas na obtenção do biodiesel e alternativas. Foram excluídos artigos que não apresentavam fortes evidências científicas e/ou trabalhos que fugiam da temática de enzimas obtidas por rotas microbianas. As informações presentes aqui foram analisadas pelos autores e organizadas em tópicos correlacionados de forma a ser compreendida em todos os níveis de conhecimento acerca de microrganismos produtores de enzimas para obtenção de biodiesel (Guerra, 2023).

3 MERCADO BRASILEIRO DE BIODIESEL



O mercado global do biodiesel no ano de 2016 foi avaliado em cerca de US\$32 bilhões de dólares, sendo os Estados Unidos líder na produção de soja, produto utilizado após moagem como matéria prima na produção de biodiesel. Países em desenvolvimento (Índia, China e Brasil, por exemplo) tem como objetivo substituir 10 a 20 % do total de combustíveis fósseis por biodiesel, uma vez que esta troca contribui para redução da emissão dos gases de efeito estufa (Grand view research, 2022).

No Brasil, um dos maiores consumidores de biodiesel, estudos foram realizados envolvendo produção deste combustível, resultando na primeira patente do processo de produção de combustível em 1980, mas só em 2004 foi lançado o Programa Nacional de Uso e Produção de Biodiesel (PNPB), que contribuiu para estabelecer condições legais para uso do biodiesel na matriz energética nacional pela lei de nº 11.097 em 13 de janeiro de 2005, instituindo que o biodiesel fosse misturado ao diesel fóssil no teor de 5% (MME, 2022).

Segundo o Serviço Agrícola Estrangeiro do Departamento de Agricultura dos Estados Unidos (USDA), o consumo de biodiesel cresceu ao longo dos anos no Brasil (2,92 bilhões de litros para 6,92 bilhões de litros nos anos de 2013 a 2021) em paralelo ao desenvolvimento tecnológico da indústria automotiva num país que apresenta mundialmente a maior frota de carros e veículos pesados movidos a biocombustíveis que tende a crescer cada vez mais (Mordor intelligence, 2022).

3.1 PROCESSOS DE OBTENÇÃO DO BIODIESEL

Para obtenção do biodiesel são utilizados matéria-prima rica em óleo, metanol e catalisador, sendo este último de importância uma vez que auxilia na reação de transesterificação entre o óleo e o metanol, dividindo-se em 3 tipos: catalisadores homogêneos, heterogêneos e biocatalisadores (Karkal, 2023; Ulukardesler, 2023).

A indústria possui preferência para catalisadores homogêneos, que possuem a característica de estarem presentes na mesma fase que o meio reacional. O ácido sulfúrico e hidróxido de sódio são exemplos de catalisadores homogêneos, cujo tempo de reação é curto, otimizando assim o processo de obtenção do biodiesel na indústria (Karkal, 2023).



Na obtenção do biodiesel, o catalisador homogêneo precisa ser removido por meio de processos de lavagem ou secagem. Por outro lado, catalisadores heterogêneos podem ser removidos através de filtração, sendo um tipo não encontrado na mesma fase reacional, possui alta demanda energética e de reagentes (Ulukardesler, 2023; Inan; Koçer; Özçimen, 2023).

Contornando esta demanda está o grupo dos biocatalisadores, que inclui processos enzimáticos com lipases (glicerol éster hidrolases), atuantes sobre gorduras e óleos, gerando ácidos graxos livres, mono-, diacilgliceróis e glicerol livre.

As lipases demandam condições amenas de energia, além de permitir a fácil separação do produto e, dependendo das condições ao qual é submetida, esta classe de enzima pode atuar como catalisadora de acidólise, aminólise, transesterificação, esterificação e interesterificação (Ahmed et al., 2023; Wan et al., 2018).

De origem principalmente microbiana, as lipases apresentam vantagens quanto ao processo de obtenção do biodiesel na forma tradicional. Contudo, o elevado custo de importação destas enzimas limitam seu uso pleno na indústria, instigando pesquisadores a obterem métodos mais rentáveis para sua produção, sendo as fontes microbianas as mais estudadas quanto ao quesito produção enzimática (Tan et al., 2023).

3.2 ENZIMAS DE ORIGEM MICROBIANA UTILIZADAS NA OBTENÇÃO DE BIODIESEL

A substituição de catálise química pela catálise enzimática ganha espaço por contribuir em fatores como a não formação de sabão, catálise de ácidos graxos livres e triglicerídeos (Hidayatullah et al., 2023).

Alternativas na obtenção de biodiesel, as lipases são enzimas lipolíticas utilizadas na substituição de uma variedade de catalisadores químicos devido às atividades quimiobiológicas, especificidade de substrato, especificidade de grupo funcional, enantiosseletividade, dentre outras características (Quayson et al., 2020).

A obtenção de lipases por meio de rotas microbianas é baseada principalmente pelo desenvolvimento de biorrefinarias que apresentam estruturas integradas quanto ao tratamento



da conversão de biomassa e seus resíduos para a produção de combustíveis renováveis, produtos químicos e energia (Quayson et al., 2020).

Nesse sentido, bactérias, fungos filamentosos e leveduras são alvos de diferentes estudos relacionados a área de bioprospecção e prospecção dos microrganismos na busca dos melhores modelos para aplicações industriais. A triagem de novas linhagens de aplicabilidade em processos fermentativos pode garantir um avanço significativo na obtenção de metabólitos microbianos, que por sua vez, podem ser aplicados na produção de biodiesel (Li et al., 2017).

Um exemplo é a combinação de substratos obtidos de tratamentos de biomassa, que quando combinados a bactérias como as pertencentes às famílias *Enterobacteriaceae*, *Clostridium*, *Klebsiella* e *Enterobacter*, demonstrou vantagens quanto a obtenção de metabólitos de múltiplas funcionalidades e aplicações, sendo um exemplo de avanço significativo quanto a obtenção de produtos químicos de origem microbiana voltados para a área de produção de biodiesel a partir de substratos variados (Almeida, 2011).

Dos diferentes tipos de microrganismos capazes de produzir enzimas com atividades catalíticas para a produção de biodiesel, destacam-se algumas espécies como, por exemplo, as espécies de leveduras *Candida antarctica* e *Candida rugosa*, as espécies de bactérias *Cryptococcus sp.*, *Pseudomonas sp.* e *Bacillus sp.*, e fungos filamentosos como as espécies *Trichosporon asahii* e *Yarrowia lipolytica* (Li et al., 2017).

Fungos filamentosos são microrganismos capazes de secretar uma diversidade de enzimas tais como as lipases, que são utilizadas em larga escala no setor de produção de biocombustíveis. Neste grupo de fungos as espécies *Trichoderma reesei* e *Aspergillus niger* são as mais relatadas na literatura, uma vez que a produção de enzimas é voltada para a hidrólise de biomassa lignocelulósica. Já espécies de fungos filamentosos como *Penicillium echinulatum* foram relatadas para produzir sistemas enzimáticos com desempenho superior do que *T. reesei* e *A. niger* (Li et al., 2017).

Entretanto, apesar dos relatos de lipases com características desejadas, ainda é imprescindível a continuidade destes estudos uma vez que enzimas naturais carecem de



otimização a fim de suprir a demanda industrial pois muitas enzimas produzidas apresentam condições ótimas diferentes dos critérios exigidos pela demanda (Park et al., 2019).

Dentre os diferentes gêneros de bactérias capazes de produzir lipases para uso industrial, as bactérias do gênero *Pseudomona* ganham notório destaque, devido a sua capacidade degradativa de compostos complexos como celulose e hemicelulose, que são alvo de ativos indústria de biocombustíveis (Novik; Savich; Kiseleva, 2015).

Em nível industrial, existem projetos comerciais de obtenção de biodiesel a partir de lipases. Uma colaboração entre Novozymes A/S e Viesel Fuel LLC (Flórida, EUA) em meados de 2014 revelou o aumento da atividade lipolítica da lipase NS-40116 obtida de *T. lanuginosus* para obtenção de biodiesel. Além disso, duas fábricas chinesas avaliaram o aumento da produção em escala da Novozym® 435 e lipases obtidas de *Candida* sp. para conversão de óleo de cozinha residual (Quayson et al., 2020).

Além disso a produção de novas enzimas de origem microbiana requer o uso de substratos adequados que possibilitam a produção de compostos secundário de interesse como é o caso das próprias lipases utilizadas na produção de biodiesel e outros metabólitos de interesse, como os ácidos orgânicos como o ácido láctico e o ácido kójico que podem ser obtidos por processos fermentativos de microrganismos como *Bacillus* sp. e fungos filamentosos *Aspergillus niger* respectivamente, tendo o glicerol de biodiesel de soja como fonte de carbono (Soares et al., 2023).

Estudos realizados a fim de obter lipases de melhor desempenho na produção de biodiesel geraram a descoberta de enzimas de diferentes características, algumas delas estão listados na tabela 1:

Tabela 1. Enzimas do tipo lipase que possuem origem microbiana e apresentam características que favorecem a obtenção de biodiesel.

Espécie microbiana	Característica	Referências
<i>Pseudomonas reinekei</i>	Lipases resistentes a solventes orgânicos hidrofóbicos (n-hexano, ciclohexano e n-heptano).	Priyanka et al., 2019



<i>Bacillus licheniformis</i> KM12	Lipases adaptadas ao frio, resistentes a solventes orgânicos, gerando rendimento de conversão de 78% de óleo a biodiesel nas condições de 35°C em 18 horas.	Malekabadi et al., 2018
<i>Marinobacter lipolyticus</i>	Lipase resistente a temperatura elevada (70°C) além de estável frente a solventes como dimetilsulfóxido, metanol, acetona e 2-propanol	Park et al., 2019
<i>Aspergillus oryzae</i>	Lipases com atividade etanólise de óleo de colza para produção de biodiesel	Koda et al. 2010
<i>Rhizopus stolonifer</i> e <i>Aspergillus tamaraii</i>	Lipases obtidas de micélios de fungos filamentosos utilizadas como catalisadores de óleo residual de cozinha (ORC)	Ahmed et al. 2020

3.2 SUBSTRATOS ALTERNATIVOS PARA OBTENÇÃO DE BIODIESEL

Para a obtenção do biodiesel, a matéria prima oleaginosa precisa atender critérios como o baixo custo, fácil acesso em larga escala, não trazer desvantagens na cadeia alimentar e não haver concorrência alimentícia e combustível (Tan et al., 2023; Inan, Koçer, Özçimen, 2023).

Triglicerídeos são considerados uma fonte principal de cadeias de carbono, sendo o óleo de palma um exemplo de excelente fonte, se mostrando superior a outras fontes lipídicas já descritas na literatura, além de ser de baixo custo (Hidayatullah et al., 2023;).

As principais matérias-primas do biodiesel são classificadas em 3 tipos: Óleos vegetais como óleos de soja, pinhão-mansão, palma, semente de algodão e de girassol; gorduras animais como sebo, banha e gordura; resíduos oleaginosos de origem industrial e doméstico (Tan et al., 2020).



Óleos de cozinha como de soja, colza e girassol, listadas na Tabela 2, também são matéria-prima para obtenção do biodiesel em outros países, mas o uso destas matérias são polêmicas pelo fato de serem produtos alimentícios, o que pode resultar no aumento do preço devido à concorrência, ponto mencionado anteriormente (Ahmed et al., 2023).

Tabela 2. Substratos utilizados nas enzimas obtidas por microbiana, suas características e condições de reação para obtenção de biodiesel.

Espécie microbiana	Substratos	Condições de reação	Referências
<i>Burkholderia cepacia</i>	Óleo de soja	Razão molar MeOH/óleo: 4:1, 0,3% em peso de <i>tert</i> -butanol e 2,5% em peso de água, 45 °C durante 9 h/ ciclo	Li et al., 2017
<i>Pseudomonas fluorescens</i>	Óleo de girassol	500 µL de <i>iso</i> - octano; Razão molar óleo/etanol: 1:5, 30 °C por 4 h/ ciclo	Bartha-vári et al., 2020
<i>Candida antarctica</i>	Óleo de colza	Razão molar óleo/metanol: 1:6, 45°C, 8 h/ ciclo	Miao et al., 2019
<i>Alcaligenes sp.</i>	Óleo de canola	Razão molar óleo/metanol: 1:3 e 1:4, 40°C, 6h/ciclo.	Soler, Illanes, Wilson, 2016
<i>Aspergillus tamaritii</i>	Óleo Residual de Cozinha (ORC)	Razão molar metanol/ORC, 30 °C e 250 rpm	Ahmed et al. 2020
<i>Candida antarctica</i>	Resíduos Alimentares	Razão molar lipídio/metanol, 24 horas e 40 °C	Karmee et al. 2015

A avaliação das lipases frente a grande variedade de substratos ricos em óleo para a obtenção do biodiesel pode ser influenciada por vários fatores como a elevada especificidade



das lipases, sendo assim necessário selecionar lipases adequadas para cada tipo de matéria-prima de interesse (Romano, 2020).

O uso de resíduos como substrato ou matéria-prima para obtenção de biodiesel atrai interesse dos pesquisadores devido à viabilidade e vantagens como contribuir para redução do impacto ambiental, já que muitas vezes resíduos são descartados de forma inadequada, como também é uma forma de atribuir valor ao material que geralmente é rejeitado (Zou et al., 2020).

Outro fator que deve ser levado em consideração são os solventes a serem utilizados. Segundo Romano (2020) embora exista um elevado número de lipases microbianas citadas na literatura, apenas as enzimas de algumas espécies apresentam estabilidade frente a reagentes utilizados na obtenção do biodiesel, sendo necessária devida caracterização da enzima.

Grande parte das lipases apresenta atividade em solvente aquoso e não aquoso, caracterizado como ativação enzimática interfacial. Esta atividade é relacionada a alterações conformacionais no domínio proteico denominado “tampa” que dá ao substrato acesso ao sítio ativo. Contudo, em certos casos, quando a lipase possui pouca ou nenhuma ativação, esta pode apresentar atividade tanto de lipase quanto esterase, sendo necessário submeter esta enzima a um ambiente bifásico, sendo suficiente o uso de substrato em concentração que caracteriza uma fase orgânica em ambiente aquoso ou solubilização do substrato em solvente hidrofóbico (Zanotto et al., 2009).

Diante disso, estudos da área de biocatálise têm contribuído para reforçar a relação entre as áreas de química e biotecnologia, onde se tem aprofundado por exemplo, estudos da química em reações presentes em ciências biológicas, levando a colaboração entre cientistas de tais áreas. Além disso, estudos envolvendo biocatálise contribuem também para aprofundar o conhecimento da biodiversidade de potenciais fontes enzimáticas isoladas de regiões ainda não tão exploradas que podem fornecer produtos de grande interesse para a humanidade.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS



De vantagens ambientais em comparação ao óleo diesel, o biodiesel é atrativo principalmente no âmbito econômico já que o custo de produção é menor à indústria petrolífera, que por sua vez apresenta custo elevado quanto à exploração e produção.

Utilizando-se lipases microbianas para a obtenção do biodiesel, este se torna mais atrativo ainda ao não demandar condições extremas quando comparado aos catalisadores químicos. Dentre os gêneros e espécies apresentados, destaca-se a espécie *Zymomonas mobilis*, geneticamente modificada a fim de reduzir a quantidade de etapas de processamento para obtenção de biodiesel.

Por outro lado, espécies como *Pseudomonas reinekei*, *Bacillus licheniformis* KM12, *Marinobacter lipolyticus*, *Aspergillus orizae*, *Rhizopus stolonifer* e *Aspergillus tamaraii* não modificadas apresentaram características vantajosas para obtenção de biodiesel o que relativamente pode baratear a obtenção do biodiesel. Ainda no quesito barateamento de produção, as espécies *Aspergillus tamaraii* e *Candida antarctica* se destacam ao se mostrarem viáveis na obtenção de biodiesel utilizando resíduos oleaginosos de cozinha, que ao serem descartados de maneira inapropriada podem acarretar problema ambientais, sendo sua avaliação na obtenção do biodiesel uma forma de atribuir valor ao material que geralmente é rejeitado.

Neste sentido conclui-se que é perceptível a capacidade de evolução no quesito estudo de catálise enzimática na obtenção de biodiesel aliado ao potencial de substituição dos combustíveis fósseis mesmo em passos lentos, não deixa de ser uma alternativa na resolução de problemáticas em relação aos combustíveis fósseis e emissão de gases.

REFERÊNCIAS

- ADHIKESAVAN, C.; GANESH, D.; AUGUSTIN, V. C. Effect of quality of waste cooking oil on the properties of biodiesel, engine performance and emissions. **Cleaner Chemical Engineering**, v. 4, n. 1, p. 1-9, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.clce.2022.100070>.
- AHMED, A.; DABI, N. K.; VERMA, S.; GEHLOT, P.; PUROHIT, P.; KUMAR, R.; MEGHWANSHI, G. K. Evaluation of Thar Desert bacterial lipases for catalytic efficiencies and biodiesel production potentials, **Biologia**, v. 78, n. 1, p. 1187-1197, 2023. <https://doi.org/10.1007/s11756-023-01340-7>



ALMEIDA, J. R. M. DE. Microrganismos para produção de químicos a partir da glicerina bruta gerada na produção de biodiesel. **Circular Técnica**, 07, p. 6, 2011.

BARTHA-VÁRI, J. H.; MOISA, M. E.; BENCZE, L. C.; IRIMIE, F. D.; PAIZS, C.; TOSA, M. I. Efficient biodiesel production catalyzed by nanobioconjugate of lipase from *Pseudomonas fluorescens*. **Molecules**, v. 25, n. 3, 2020.

DE BRITO, VL; GONÇALVES, MA; DOS SANTOS, HCL; DA ROCHA FILHO, GN; DA CONCEIÇÃO, LRV. Produção de biodiesel a partir de óleo residual de fritura utilizando molibdênio sobre nióbia como catalisador ácido heterogêneo: otimização de processos e estudo cinético. **Energia Renovável**, v. 215, n.1, p. 1-12, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2023.118947>.

GUERRA, A. de L. e R. METODOLOGIA DA PESQUISA CIENTÍFICA E ACADÊMICA. **Revista OWL (OWL Journal) - REVISTA INTERDISCIPLINAR DE ENSINO E EDUCAÇÃO**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 149–159, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.8240361. Disponível em: <https://www.revistaowl.com.br/index.php/owl/article/view/48>. Acesso em: 20 set. 2023.

GRAND VIEW RESEARCH. Biodiesel Market Size, Share & Trends Analysis Report By Feedstock (Vegetable Oils, Animal Fats), By Application (Fuel, Power Generation), By Region (Europe, APAC), And Segment Forecasts, 2022 - 2030. **Grand view research**, 2022. Disponível em: <https://www.grandviewresearch.com/press-release/global-biodiesel-market>. Acesso em: Jun 2023.

HIDAYATULLAH, I. M.; SOETANDAR, F.; SUDIYASA, P. V.; COGNET, P.; HERMANSYAH, H. Ion Exchange Resin and Entrapped *Candida rugosa* Lipase for Biodiesel Synthesis in the Recirculating Packed-Bed Reactor: A Performance Comparison of Heterogeneous Catalysts. **Energies**, v. 16, n. 12, p. 1-17, 2023.

INAN, B.; KOÇER, A. T.; OZÇIMEN, D. B. Valorization of Lignocellulosic Wastes for Low-Cost and Sustainable Algal Biodiesel Production using Biochar-Based Solid Acid Catalyst. **Journal of Analytical and Applied Pyrolysis**, v. jul, p. 1-29, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.jaap.2023.106095>

KARKAL, S.S.; RATHOD, D.R.; JAMADAR, A.S.; SURESH, P.V.; KUMAR, H. N.; KUDRE, T. G. *Fenneropneustes indicus* Shrimp Shell and Fishmeal Oil: A Novel Feedstock for Biodiesel Production and Bio Derived Heterogeneous Catalyst Development. **Catalysis Letter**, v. Jul (2023). <https://doi-org/10.1007/s10562-023-04396-x>

KARMEE SK, LINARDI D, LEE J, LIN CS. Conversion of lipid from food waste to biodiesel. **Waste Manag.** 2015 Jul;41:169-73. doi: 10.1016/j.wasman.2015.03.025. Epub 2015 Apr 3. PMID: 25843356.



KODA, R.; NUMATA, T.; HAMA, S.; TAMALAMPUDI, S.; NAKASHIMA, K.; TANAKA, T.; KONDO, A. Ethanolysis of rapeseed oil to produce biodiesel fuel catalyzed by *Fusarium heterosporum* lipase-expressing fungus immobilized whole-cell biocatalysts. **Journal of Molecular Catalysis B: Enzymatic**, v. 66, n. 1–2, p. 101–104, 2010.

LI, K.; FAN, Y.; HE, Y.; ZENG, L.; HAN, X.; YAN, Y. Burkholderia cepacia lipase immobilized on heterofunctional magnetic nanoparticles and its application in biodiesel synthesis. **Scientific reports**, v. 7, n. 1, p. 1-17, 2017.

MADIJAN, P.; TABATABAEI, M.; ZEINOLABEDNI, M.; NAGHSHBANDI, M. P.; CHRISTI, Y. Metabolic engineering of microorganisms for biofuel production, **Renewable and Sustainable Energy reviews**, v. 82, part 3, p. 3863-3885, 2018. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2017.10.085>

MALEKABADI, S.; BADOEI-DALFARD, A.; KARAMI, Z. Biochemical characterization of a novel cold-active, halophilic and organic solvent-tolerant lipase from *B. licheniformis* KM12 with potential application for biodiesel production. **International Journal of Biological Macromolecules**, v. 109, pp. 389-398, 2018. 10.1016/j.ijbiomac.2017.11.173

MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA, MME. **Biodiesel**, 2022. Disponível em: <<http://antigo.mme.gov.br/web/guest/secretarias/petroleo-gas-natural-e-biocombustiveis/acoes-e-programas/programas/biodiesel>> Acesso em: 16 Jul 2023.

MIAO, C.; LI, H.; ZHUANG, X.; WANG, Z.; YANG, L.; LV, P. Synthesis and properties of porous CLEAs lipase by the calcium carbonate template method and its application in biodiesel production. **RSC advances**, v. 9, n. 51, 2019.

MORDOR INTELLIGENCE, 2022. **Brazil Biofuel Market Size & Share analysis Growth Trends & Forecasts (2023-2028)**. Disponível em: <<https://www.mordorintelligence.com/industry-reports/brazil-biofuel-market>> Acesso em: 16 Jul 2022.

NOVIK, G.; SAVICH, V.; KISELEV, E. An Insight Into Beneficial *Pseudomonas* bacteria. **Microbiology in Agriculture and Human Health**, 2015.

PRIYANKA, P.; KINSELLA, G.; HENEHAN, G. T.; RYAN, B.J. Isolation, purification and characterization of a novel solvent stable lipase from *Pseudomonas reinekei* **Protein Expression and purification**, v. 153, pp. 121-130, 2019. 10.1016/j.pep.2018.08.007.

PARK, S. H.; KIM, S.; PARK, S.; KIM, H.K. Characterization of organic solvent-tolerant lipolytic enzyme from *Marinobacter lipolyticus* isolated from the antarctic ocean. **Applied Biochemistry and Biotechnology**, v. 187, pp. 1046-1060, 2019. 10.1007/s12010-018-2865-5



QUAYSON, E.; AMOAH, J.; HAMAC, S.; KONDO, A.; OGINO, C. Immobilized lipases for biodiesel production: Current and future greening opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 134, n. 1, p. 1-17, 2020. 10.1016/j.rser.2020.110355

ROMANO, I. P. **Seleção de isolados fúngicos amazônicos produtores de lipases para biocatálise enantiosseletiva em meio orgânico**. Universidade do Estado do Amazonas. 2020. https://tede.ufam.edu.br/bitstream/tede/7902/5/Tese_IsraelRomano_PPGBionorte.pdf

SOARES, C. E. V. F. **Caracterização fisiológica e comparação de leveduras *Saccharomyces* e não-*Saccharomyces* na presença de diferentes inibidores presentes no hidrolisado lignocelulósico**. Universidade de Brasília. 2020. <http://repositorio2.unb.br/jspui/handle/10482/40385>.

SOARES, C. E. V. F.; BERGMANN, J. C.; DE ALMEIDA, J. R. M. Variable and dose-dependent response of *Saccharomyces* and non-*Saccharomyces* yeasts toward lignocellulosic hydrolysate inhibitors. **Brazilian Journal of Microbiology**, v. 52, n. 2, p. 575–586, 2021. DOI: 10.1007/s42770-021-00489-0.

SOARES, C. E. V. F. et al. **APLICAÇÃO DA EXTRAÇÃO EM FASE SÓLIDA NA SEPARAÇÃO/PURIFICAÇÃO DE ÁCIDOS ORGÂNICOS PRODUZIDOS POR ROTA MICROBIANA A PARTIR DE RESÍDUOS AGROINDUSTRIAIS**. Anais do IV Congresso Brasileiro de Ciências Biológicas On-line. **Anais**. Revista Multidisciplinar de Educação e Meio Ambiente, 27 jun. 2023. Disponível em: <<https://ime.events/conbracib2023/pdf/18439>>. DOI: 10.51189/conbracib2023/18439.

SOARES, C. E. V. F. MINI REVISÃO: LEVEDURAS NÃO-CONVENCIONAIS COM POTENCIAL BIOTECNOLÓGICO PARA APLICAÇÃO DE BIOINSUMOS. **Revista OWL (OWL Journal) - REVISTA INTERDISCIPLINAR DE ENSINO E EDUCAÇÃO**, [S. l.], v. 1, n. 2, p. 197–213, 2023. DOI: 10.5281/zenodo.8271234. Disponível em: <https://www.revistaowl.com.br/index.php/owl/article/view/52>. Acesso em: 20 set. 2023.

SOLER, L.; ILLANES, A.; WILSON, L. Immobilization of *Alcaligenes* sp. lipase as catalyst for the transesterification of vegetable oils to produce biodiesel, **Catalysis today**, v. 259, n. 1, p. 1-6, 2015. 10.1016/j.cattod.2015.06.025

SU, A. Metabolic engineering of microorganisms for the production of multifunctional non-protein amino acids: γ -aminobutyric acid and δ -aminolevulinic acid. **Microbial Biotechnology**, v. 14, n. 6, p. 2279–2290, 2021.



TAN, Z.; CHEN, G.; CHEN, S.; ZHANG, J.; LIU, J.; MA, X.; LIAO, H.; HU, Z.; GE, F.; JU, F.; SHI, H.; BILAL, M. Engineering lipase at the molecular scale for cleaner biodiesel production - A review, **Molecular Catalysis**, V. 546, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.mcat.2023.113271>.

TAN, T.; LU, J.; NIE, K.; DENG, L.; WANG, F. Biodiesel production with immobilized lipase: A review. **Biotechnology advances**, v. 28, n. 5, p. 628-634, 2020.

ULUKARDESLER, A. H. Biodiesel Production from Waste Cooking Oil Using Different Types of Catalysts, **Processes**, v. 11, n. 7, p. 1-11, 2023. <https://doi.org/10.3390/pr11072035>

WAN, D.; TIAN, L.; LI, X.; LI, B.; ZHANG, Q. A versatile strategy for enzyme immobilization fabricating lipase/inorganic hybrid nanostructures on macroporous resins with enhanced catalytic properties, **Biochemistry engineering journal**, v. 139, pp. 101-108, 2018. 10.1016/j.bej.2018.08.010

ZANOTTO, S. P.; ROMANO, I. P.; LISBOA, L. U. S.; DUVOISIN JR, S.; MARTINS, M. K.; LIMA, F. A. et al. Potential application in biocatalysis of Mycelium-Bound Lipases from Amazonian Fungi. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 20, n. 6, 2009.

ZOU, L.; WAN, Y.; ZHANG, S.; LUO, J.; LI, Y.; LIU, J. Valorization of food waste to multiple bio-energies based on enzymatic pretreatment: A critical review and blueprint for the future. **Journal of Cleaner Production**, v. 277, n. 1, p. 1-13, 2020. DOI: 10.1016/j.jclepro.2020.124091.

Recebido em: 11/09/2023

Aprovado em: 15/09/2023

Publicado em: 20/09/2023