
ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DAS PESQUISAS SOBRE BIODIESEL ENTRE 1984–2021

A bibliometric review of biodiesel research between 1984–2021

Jonei Marques da Costa (1), Luiz Rogério Pinho de Andrade Lima (2)

(1) Instituto Federal de Educação, Ciências e Tecnologia da Bahia, Brasil,

jonei.costa@gmail.com

(2) Universidade Federal da Bahia, Brasil, lelo@ufba.br



Resumo

O interesse sobre a produção de biodiesel, vem crescendo amplamente nos últimos anos, visto que este pode substituir total ou parcialmente o diesel mineral. O biodiesel é um combustível de origem renovável que contribui para redução das emissões de CO₂. Este estudo faz uma breve análise bibliométrica das publicações científicas disponíveis na base de dados SCOPUS sobre o tema biodiesel. Os resultados sugerem que o aumento pelo interesse acadêmico sobre o tema é mais acentuado a partir do ano de 2016, e se mantêm crescente até o presente. Os países com maior quantidade de publicações são a China, Brasil, Índia, Estados Unidos da América e a Malásia, havendo parceria entre seus pesquisadores e instituições acadêmicas. Os países com maior taxa de publicações, também são as maiores produtoras e consumidoras de biodiesel. A termo "Produção de Biodiesel", é o mais observado nos títulos dos artigos.

Palavras-chave: SCOPUS. Biblioshiny. Bibliometria. Biocombustíveis.

Abstract

Interest in the production of biodiesel has been growing widely in recent years, as it can totally or partially replace mineral diesel. Biodiesel is a fuel of renewable origin that contributes to the reduction of CO₂ emissions. This study makes a brief bibliometric analysis of scientific publications available in the SCOPUS database on the topic of biodiesel published. The results suggest that the increase in academic interest on the topic is more accentuated from the year 2016 onwards, and keep growing up to the present. The regions with the highest number of publications are China, Brazil, India, the United States of America and Malaysia,

and they almost maintain a partnership between their researchers. The regions with the highest rate of publications are also the largest producers and consumers of biodiesel. The term "Biodiesel Production" is the most commonly observed in the titles of articles.

Keywords: SCOPUS. Biblioshiny. Bibliometrics. Biofuels.

1 Introdução

O biodiesel, vem recebendo cada vez mais atenção da comunidade acadêmica, com inúmeras publicações nos últimos anos (Zhang et al. 2018; Amatucci e Spers 2010). Tal interesse está relacionado às vantagens do biodiesel em relação às questões ambientais e econômicas, como, por exemplo, a redução na taxa de emissão de dióxido de carbono e a promoção de um combustível renovável (Rocha et al. 2017).

O comércio mundial de biodiesel cresceu consideravelmente nas últimas décadas. Sendo concentrado nos países europeus, Argentina e os Estados Unidos da América. A produção mundial de biodiesel manteve-se estável em 46,8 bilhões de litros entre 2019 e 2020, com redução em 2021 devido às limitações impostas pela pandemia de COVID (British Petroleum 2021; ANP 2021). No ano de 2020 os Estados Unidos da América, Brasil, Indonésia, Alemanha e a China, foram os maiores produtores de biocombustíveis (biodiesel, etanol e bioóleo) (British Petroleum 2021). No Brasil, a adição de biodiesel ao diesel mineral vem crescendo ao longo dos anos, pela imposição de programas governamentais. No ano de 2007 a adição de 2% de biodiesel ao diesel mineral era facultativa, passando a obrigatório nos anos seguintes. Em 2021 a quantidade mínima da mistura passou a 10% de biodiesel, consolidado assim a importância deste combustível à matriz energética brasileira (ANP 2021).

Nos últimos anos, houve grande interesse para o desenvolvimento de novas tecnologias aplicada à produção de biodiesel (Hossain et al. 2020; Singh et al. 2020). Notadamente a produção de biodiesel via catalise heterógenas (Costa e Lima 2021; Putra et al. 2020) vem despertando alguma atenção, bem como ao uso de etanol em substituição ao metanol na reação de transesterificação (Zempulski et al. 2020). A necessidade de mitigar dificuldades ambientais, motiva a busca por novas fontes de óleos, como as pesquisas com produção de biodiesel proveniente de algas e outras matérias primas (Sitepu et al. 2020; Wijffels e Barbosa 2010).

Os estudos bibliométricos podem auxiliar no entendimento sobre um campo de saber e delimitar desafios a serem investigados em pesquisas futuras, sendo esta ferramenta amplamente usada pela comunidade acadêmica nas áreas de engenharia e ciências naturais (Chung et al. 2020; Zhang et al. 2018). Alguma investigação sobre a bibliometria do biodiesel vem sendo desenvolvida, com resultados importantes para direcionar futuros trabalhos (Maricato 2010).

As investigações bibliométricas fornece informações relevantes sobre o panorama de um país, como o trabalho de Chen et al. (2016) referente a produção científica sobre biodiesel na China e a investigação de Ferreira e Picinin (2018) sobre a posição de biodiesel no Brasil. Estas avaliações podem ser, direcionando para uma região específica do país, como a investigação sobre a produção tecnológica em biotecnologia no nordeste do Brasil (Costa et al. 2018).

Algumas investigações bibliométrica sobre biodiesel usam a Web of Science como banco de dados de trabalhos científicos, este serviço de indexação dá acesso a múltiplas revistas e jornais, quando combinados, totalizam mais de 33 mil periódicos (Zhang et al. 2018; Yaoyang e Boeing 2013; Torres et al. 2019). A base de dados Scopus fundada em 2004, contém mais 43 mil periódicos, sendo assim, uma poderosa ferramenta para investigação bibliométrica sobre biodiesel, ainda pouco explorada (Martín-Martín et al. 2018).

Este trabalho analisa as tendências globais sobre tema Biodiesel, identificando as principais tecnologias para sua produção, bem como os principais atores da produção de conhecimento científico, usando as publicações disponíveis na base dados acadêmico SCOPUS.

2 Metodologia

O estudo foi realizado a partir de uma pesquisa exploratória com abordagem quali-quantitativa, utilizando a pesquisa bibliográfica com grande volume de dados. Uma abordagem quali-quantitativa leva em considerações dadas qualitativa e quantitativa, os quais são complementares, já que a primeira pode ser usada também, para explicar os resultados obtidos pela pesquisa quantitativa (Gil 2019).

As informações sobre as publicações científicas referente ao tema biodiesel foram obtidas na base de dados Scopus, limitando a trabalhos encontrados até 2021, realizada em três estágios

de refinamento. A base de dados Scopus foi escolhida devido a maior quantidade de títulos de revistas associados a este tema (Martín-Martín et al. 2018).

Inicialmente foi realizada uma pesquisa ampla com o termo “TITLE-ABS-KEY (biodiesel) AND NOT (motor)”, na qual foram retornados 47.629 documentos. Com o objetivo identificar prioritariamente os trabalhos sobre as técnicas de produção de biodiesel e correlatos, foram excluindo os trabalhos relacionados a ensaios de motores de combustão interna e seus produtos, modelagem matemática, ensaios de propriedades dos combustíveis, bem como, informações relacionadas a área artística e da saúde, este procedimento, retornou 25.476 publicações, o Quadro 1, sumariza a metodologia de busca.

Quadro 1 - Termos de refinamento de busca para publicações sobre Biodiesel.

Etapa 1: Delete subjarea ("Biochemistry, Genetics and Molecular Biology" or "Immunology and Microbiology" or "Mathematics" or "Computer Science" or "Social Sciences" or " Pharmacology, Toxicology and Pharmaceutics" or " Medicine " or "Veterinary" or " Health Professions" or "Arts and Humanities" or "Nursing" or "Neuroscience e Psychology" or "Physics and Astronomy" or “Health Professions”).
Etapa 2: Exclude to “Erratum” or “Book” or “Note” or “Book Chapter” or “Letter” or “Retracted” or “Editorial”
Etapa 3: Exclude exactkeyword ("Diesel Engines" or "Diesel Fuels" or "Combustion" or "Carbon Monoxide" or "Emission" or "Particulate Emissions" or "Emission Characteristics" or "Compression Ignition Engine" or "Gasoline" or "Combustion Characteristics" or "Exhaust Emission" or "Brake Specific Fuel Consumption" or "Waste Incineration" or "Emission Control" or "Biogas")

Fonte: Autores.

Foram mantidos os artigos originais, artigos de conferencia, artigos de revisão, artigos de negócios, dados de pesquisa e resumos. Também foram preservados os temas “Energy”, “Chemical”, “Environmental Science”, “Engineering”, “Chemistry”, “Agricultural and Biological”, “Materials Science”, “Earth and Planetary Sciences”, “Business, Management and Accounting”, “Multidisciplinary” e “Economicse, Econometrics and Finance”.

O Bibliometrix foi escolhido com ferramenta para análise bibliométrica. Há alguns softwares disponíveis para investigação bibliométrica (Moreira et al. 2020), contudo, o Bibliometrix, desenvolvido em linguagem R (CRAN, The Comprehensive R Archive Network, <https://cran.r-project.org>), exibe algumas vantagens, como facilidade operacional, versatilidade, vasta gama de relatórios de análise, além de ter acesso livre e gratuito.

Para construir o banco de dados, foram extraídos todos metadados os artigos da base de dados Scopus (Informações sobre citações, bibliografia dos autores e co-autores, resumos, palavras chaves, detalhes de financiamento e outras informações). Estes dados foram extraídos por cada ano, onde foram encontrados os trabalhos. Estes conjuntos de informações anuais, foram então agrupados em um único arquivo o qual foi manipulado pelo software R, como sugerido pelo manual do usuário (Moreira et al. 2020).

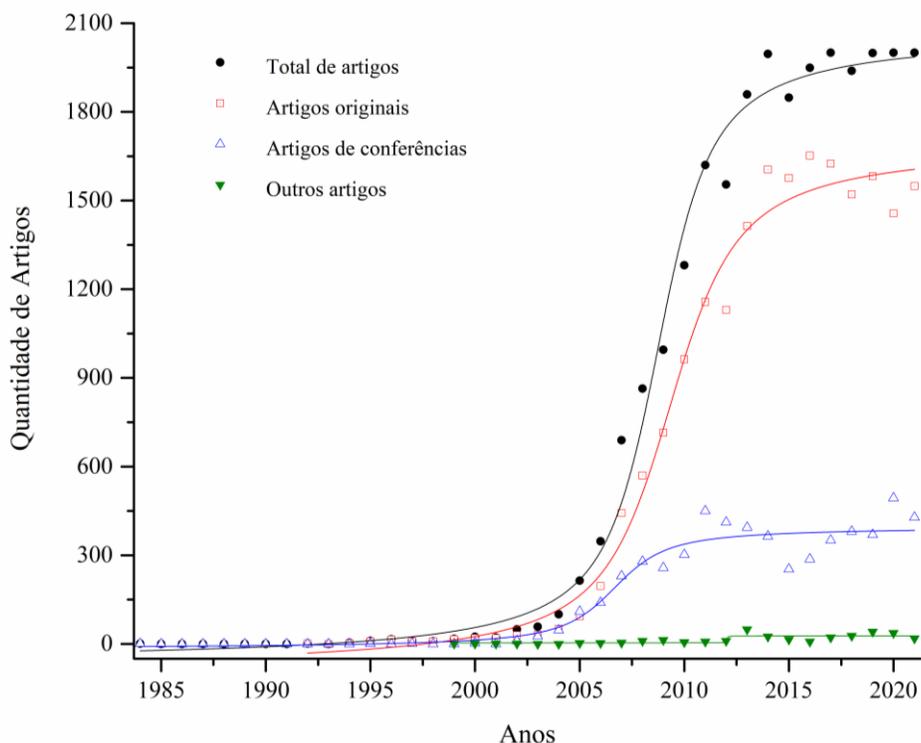
3 Resultados e Discussões

2.1 Características dos resultados da publicação

A busca na base de dados Scopus retornou com 25.476 documentos entre os anos de 1984 e 2021. Dentre estes documentos foram encontrados 19.462 (76,39%), artigos originais, 4.009 (15,74%) trabalhos publicados em conferências, 1.584 (6,22%) artigos de revisão publicados em conferência, 304 (1,19%) revisões bibliográfica e sistemática, artigos curtos somam 80 (0,31%) unidades, por fim, outros trabalhos com menor quantidade como, dados de pesquisa forma 27 (0,11%), 6 (0,024%) artigos de negócios e 4 resumos (0,016%). Estes trabalhos foram publicados em 2.630 revistas, jornais e conferências, produzidos por 50.708 autores e coautores, sendo 1.079 são de autores individuais.

A Figura 1 exibe a evolução temporal da quantidade de artigos publicados entre 1984 e 2021, mostrado o total de artigos, os artigos originais, os artigos de conferência e outros artigos (artigos de revisão, curtos, dados de pesquisa, artigos de negócios e resumos). Os resultados sugerem que o tema biodiesel começou a ganhar maior notoriedade a partir do ano de 2004, com a produção de 100 artigos neste ano, desde então, a quantidade de artigos vem aumentando sucessivamente, chegando a mais de 1000 trabalhos acadêmicos anuais a partir de 2010. Notadamente entre o ano de 1984 e 2004, um intervalo de 20 anos, foram produzidos 322 trabalhos, nos anos que seguem, a quantidade de publicações aumenta rapidamente, entre 2005 e 2006 foram publicados 561 artigos, ou seja, mais trabalhos do que nos 20 anos anteriores.

Figura 1 - Evolução na quantidade de publicações científicas sobre o tema Biodiesel entre 1984 e 2021.



*Outros artigos: Artigos de revisão, negócios ou curtos, dados de pesquisa e Resumos.

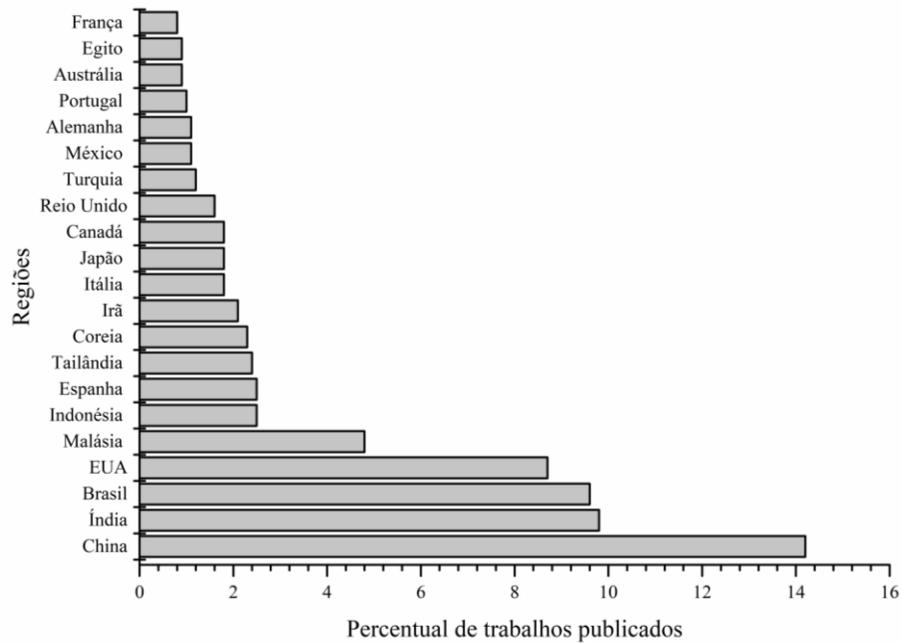
Fonte: Autotes

O aumento do interesse sobre as técnicas e métodos de produção de biodiesel a partir dos anos 2000, pode ser relacionado aos problemas ambientais apontados pelo Protocolo de Kyoto (1997), bem como, a crescente preocupação com as mudanças climáticas, proporcionando alguma atenção da comunidade científica sobre a produção de energia renovável (Kang et al 2020). Outro fator a ser considerado é a tendência sobre o aumento nos preços do petróleo, iniciadas em 2000, alcançando \$132,83/Barril em 2008, o que possivelmente motivou investigações para combustível líquido alternativo (Fan e Xu 2011).

2.2 Relação entre os países e as publicações

As publicações estão relacionadas a uma indicação geográfica e a uma instituição. A Figura 2 exibe o percentual dos trabalhos produzidos por cada países sobre o tema Biodiesel entre 1984 e 2021.

Figura 2 - Quantidade de publicações sobre Biodiesel por região que os produziu.



Fonte: Autotes

Alguns trabalhos não tiveram filiação determinada, equivalendo a 14,5% (3.687 artigos) do total. Os autores exibem afiliação localizada majoritariamente na China (14,2%), Índia (9,8%), Brasil (9,6%), Estados Unidos da América (8,7%) e Malásia (4,8%), somados são 11.990 publicações o que equivale a 47,10% de todos os trabalhos produzidos no período. Alguns outros países, não apresentada na Figura 2, também tiveram alguma publicação sobre Biodiesel, como Nigéria (195), Colômbia (189), Argentina (176), Paquistão (171), África do Sul (161), Polônia (154), Sérvia (142), Países Baixos (135), Grécia (128) e Romênia (114).

A elevada concentração de estudos na China, Índia, Brasil, Estados Unidos da América e Malásia, pode estar relacionada a dois fatores preponderantes como: i) quantidade de recursos investidos em ciência e tecnologia, e ii) a demanda estratégica por tecnológicas de produção de biodiesel. A China, Índia, Estados Unidos da América e Brasil são grandes produtores e consumidores de biodiesel a Malásia é um grande produtor e exportador de óleos vegetais (Atabani 2012).

As principais fontes de matéria-prima para a produção de biodiesel na China são a soja (49%), colza (25%), amendoim (9%), palma (9%), girassol (4%), sementes de algodão (3%) e

outros (1%) (Zhang and Lis 2020). Esta versatilidade nas fontes de óleo vegetal, associada a uma política de incentivo à produção de biocombustíveis, faz da China um dos maiores produtores de biodiesel do planeta (Chung et al. 2020). No ano de 2020 foi produzido 1,455 bilhão de litros de biodiesel em 42 usinas (McGrath 2021). O mercado de biocombustível e suas demandas tecnológicas, é um motivador para incentivar produção científica, proporcionando vencer os desafios tecnológicos deste setor industrial chinês.

A Índia possui 38,5 Mha em áreas agricultáveis marginais, correspondendo a 12% da área total do país e deverá ser o terceiro maior consumidor de petróleo do mundo até 2030 (Usmani 2020; Selvaraj et al. 2021). Nesta região há uma diretriz da política energética que prever a adição de até 20% de biodiesel ao diesel mineral, pautada na ampliação de áreas agricultáveis com oleaginosa, permitindo uma expansão no fornecimento de biodiesel (Saravanan et al. 2020). A demanda indiana por biodiesel, sugere que sua elevada produção acadêmica pode estar relacionada à necessidade de atualização de tecnologias associadas à cadeia produtiva do biodiesel.

O Brasil é o terceiro maior produtor de biodiesel do mundo. Em dezembro de 2020, a capacidade instalada brasileira era de 10,4 bilhões de litros, dividida entre as 49 usinas (ANP 2021). Há uma perspectiva de expansão na necessidade por biodiesel no Brasil, que deve ampliar a demanda para aproximadamente 9 bilhões de litros de biodiesel em 2024. A ampliação da demanda é proveniente do aumento do percentual de biodiesel incorporado ao diesel mineral, que deve chegar a 15% em 2023 (Rodrigues 2021). Desta maneira, a demanda por biodiesel deve corresponder a 18 bilhões de litros até 2030 (ANP 2021).

A produção de conhecimento sobre biodiesel no Brasil, foi incentivada pela Rede Brasileira de Tecnologia do Biodiesel (RBTB), criada e implantada em março de 2004, com o objetivo de reunir instituições de P&D e o setor produtivo para identificar as oportunidades do setor (Rocha et al. 2015).

O consumo biocombustível (etanol e biodiesel) nos Estados Unidos da América equivale a 17% do total de combustíveis líquidos, para suprir esta demanda, foram produzidos 602 milhões de litros de biodiesel em 2020, usando 85 usinas de processamento que consumiram aproximadamente 338 mil toneladas de soja, principal matéria-prima neste país (EIA 2021).

No quesito desenvolvimento tecnológico, estes países possuem Índice Global de Inovação superior aos das regiões nas quais estão inseridos. No ano de 2020, o Índice Global de Inovação dos Estados Unidos da América, China, Malásia, Índia e Brasil ocupam a posição 3^a, 11^a, 33^a, 48^a e 33^a, respectivamente (Dutta et al. 2020). Esta posição de destaque em relação aos investimentos em ciência e tecnologia, proporciona um ambiente propício ao desenvolvimento tecnológico.

2.3 Características das instituições

A contribuição de cada instituição na quantidade de publicações pode ser estimada pela afiliação dos pesquisadores. A Tabela 1 mostra a relação com as 15 instituições de ensino e pesquisa, com maiores quantidades afiliações dedicadas a tecnologias associadas ao biodiesel. Entre estas, a China e a Malásia contam com 5 instituições cada, o Brasil possui 3 instituições em destaque, a Índia e a Tailândia possuem 1 instituição cada. Estes países também são destaques na quantidade de publicações acadêmicas e na produção de biocombustíveis estas instituições estão bem posicionadas na relação de melhores instituições de pesquisa e ensino do mundo.

Vale destacar que o “Indian Institute of Technology” com 1124 pesquisadores. Esta universidade pública independente da Índia, fundada em 1951, possui atualmente 23 unidades educacionais, esta ocupa a 172^a posição entre as melhores universidades do mundo (QS World 2021).

O Brasil conta com 3 instituições públicas com elevada concentração de pesquisadores dedicado ao biodiesel. A Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP) está em 2^o lugar em quantidade de pesquisadores dedicados a biodiesel, com 793 afiliações, esta ocupa a 233^a posição na relação entre as melhores universidades. Ocupando a 6^a posição na quantidade de pesquisadores com 657 afiliações, está a Universidade de São Paulo e seus campi, esta universidade ocupa a 115^o posição entre as melhores. Por fim, a Universidade Federal do Rio de Janeiro ocupa a 380^o posição entre as melhores e conta com 654 pesquisadores publicando sobre biodiesel (QS World 2021).

Tabela 1 - Afiliações dos autores com produções acadêmicas sobre Biodiesel.

Classificação global	Universidades	Afiliações	Região	Ano de fundação	QS
1°	Indian Institute of Technology	1124	Índia	1951	172
2°	Universidade Estadual de Campinas	793	Brasil	1962	233
3°	Universiti of Malaya	765	Malásia	1905	59
4°	Zhejiang University	758	China	1897	53
5°	Tsinghua University	716	China	1911	15
6°	Universidade de São Paulo	657	Brasil	1934	155
7°	Universidade Fed. do Rio de Janeiro	654	Brasil	1920	380
8°	Universiti PUTRA Malaysia	588	Malásia	1971	132
9°	Universiti Teknologi PETRONAS	581	Malásia	1997	439
10°	Tianjin University	538	China	1895	387
11°	Universiti Sains Malaysia	533	Malásia	1969	142
12°	Shandong University	533	China	1901	485
13°	Universiti Teknologi Malaysia	523	Malásia	1904	187
14°	Guangzhou Institute of Energy Conversion	458	China	1978	nd
15°	Chulalongkorn University	451	Tailândia	1917	208

QS: QS World University Rankings 2021. nd: não determinado.

Fonte: Autores.

A Malásia conta algumas instituições com pesquisa dedicada a biodiesel. A Universiti Malaya (UM) é umas das instituições mais antigas da desta região, ocupa a 59ª posição entre as melhores univerrisades do mundo (QS World University Rankings 2021). Há ainda a Universiti PUTRA Malaysia, Universiti Sains Malaysia e Universiti Teknologi Malaysia. Uma observação adicional deve ser registra para Universiti Teknologi PETRONAS que esta associada diretamente a empresa petrolífera estatal Petroliam Nasional Berhad, conhecida como PETRONAS.

A China tem uma grande quantidade de instituições com algum foco sobre o tema biodiesel. As universidades com maior destaque são a Zhejiang University, Tsinghua University, Tianjin University, Shandong University e Guangzhou Institute of Energy Conversion. Entre estas pode ser destacada a Tsinghua University, que ocupa a 15ª posição no ranque entre as melhores universidades do mundo (QS World 2021).

2.4 Características das publicações

Algumas métricas vêm sendo propostas para atribuir, de maneira objetiva e numérica, a qualidade das publicações científica, dentre este se destacam o Índice-H, Índice-G e o Índice-M (Novak e Batko 2009). O índice-H ou também chamado de Índice de Hirsch, é baseado nos artigos mais citados do pesquisador e no número de citações que eles receberam em publicações de outras pessoas. O índice-G relaciona a quantidade de citações total aos artigos principais, ou de maior citação. O índice-M relaciona a quantidade de citações em função do tempo decorrido entre a data da primeira publicação até o presente. Cada uma destas metodologias de avaliação das publicações acadêmicas possui alguma limitação (Novak e Batko 2009).

Para investigar a influência das revistas e jornais científicos, será usada o Índice-M, visto que esta metodologia pode apresentar alguma vantagem, como, por exemplo, a possibilidade de relacionar suas publicações à longevidade das revistas. A Tabela 2 exibe as 15 revistas acadêmicas com maior Índice-M, são apresentadas também o Índice-H, total de publicações absoluta e o ano de fundação da revista.

Os resultados sugerem, que o maior índice-M e índice-H não estão relacionados à antiguidade das revistas ou a quantidade total de publicação sobre o tema biodiesel. A influência de uma revista pode esta relacionada à quantidade de citações de alguns artigos específicos, que de alguma maneira influenciou outros trabalhos ao longo do tempo. Os cinco maiores índice-M são identificados nas revistas “Renewable and sustainable energy reviews”, “Applied energy”, “Bioresource technology”, “Fuel” e “Fuel processing technology”, apresentam os cinco maiores valores de Índice-M, contudo, não possuem, necessariamente, a maior quantidade de publicações, o maior Índice-H ou mesmo as mais antigas.

Tabela 2 - Parâmetros qualitativos dos meios de publicação sobre o tema Biodiesel.

N°	Periódicos	Índ. M	Índ. H	Total de publicações	Íncio das publicações
1°	Renewable and sustainable energy reviews	5,950	119	374	2003
2°	Applied energy	5,000	70	173	2009
3°	Bioresource technology	4,759	138	1159	1994
4°	Fuel	4,682	103	1086	2001
5°	Fuel processing technology	4,412	75	296	2006
6°	Journal of cleaner production	3,800	57	287	2008
7°	Bioresource technology reports	3,600	18	47	2018
8°	Catalysts	3,571	25	136	2016
9°	Algal research	3,545	39	185	2012
10°	Chemical engineering journal	3,412	58	161	2006
11°	Energy	3,143	44	131	2009
12°	Energy conversion and management	3,115	81	358	1997
13°	Applied catalysis A: General	3,105	59	148	2004
14°	RSC advances	3,091	34	159	2012
15°	Applied catalysis B: Environmental	3,059	52	92	2006

Fonte: Autores.

É observado na Tabela 2, que as revistas fundadas mais recentemente podem alcançar índice-M superior às mais antigas. Esta peculiaridade é percebida na revista “Catalysts” (índice-M de 3,571 e fundada em 2016), que possui índice-M superior às revistas mais antigas como a “Energy conversion and management” fundada em 1997 e com índice-M de 3,115. A quantidade total de publicações também não contribui para o maior índice-M, como pode ser percebido observado a revista “Bioresource technology reports” com 47 publicações sobre biodiesel e Índice-M superior às revistas “Applied catalysis B: Environmental” com 92 publicações e índice-M de 3,059.

A influência dos artigos sobre a quantidade de citações obtida pelas revistas, pode ser investigada observado os artigos com maior quantidade de citações, a Tabela 3 apresenta os 15 artigos mais citados anualmente.

Tabela 3 - Publicações com maior citação por ano sobre o tema Biodiesel.

Título	Citações/Anos	Revista	Referência
Microalgae for biodiesel production and other applications: A review	304,23	Renewable and Sustainable Energy Reviews	(Mata et al. 2010)
Catalytic conversion of biomass to biofuels	137,85	Green Chemistry	(Alonso et al. 2010)
A review on biodiesel production using catalyzed transesterification	132,85	Applied Energy	(Leung et al. 2010)
Valorization of Biomass: Deriving More Value from Waste	131,18	Science	(Tuck et al. 2012)
Production of liquid biofuels from renewable resources	124,42	Progress in Energy and Combustion Science	(Nigam e Singh 2011)
Green and sustainable manufacture of chemicals from biomass: State of the art	121,22	Green Chemistry	(Sheldon 2014)
Review of biodiesel composition, properties, and specifications	118,36	Renewable and Sustainable Energy Reviews	(Hoekman et al. 2013)
An Outlook on Microalgal Biofuels	111,15	Science	(Wijffels e Barbosa 2010)
A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics	108,64	Renewable and Sustainable Energy Reviews	(Atabani et al. 2012)
Chemoselective catalytic conversion of glycerol as a biorenewable source to valuable commodity chemicals	95,27	Chemical Society Reviews	(Zhou et al. 2008)
Production and utilization of biochar: A review	94,86	Journal of Industrial and Engineering Chemistry	(Cha et al. 2016)
Heterotrophic cultures of microalgae: Metabolism and potential products	90,17	Water Research	(Perez-Garcia et al. 2011)
Industrial use of immobilized enzymes	89,90	Chemical Society Reviews	(DiCosimo et al. 2013)
From Glycerol to Value-Added Products	88,31	Angewandte Chemie	(Pagliaro et al. 2007)
Non-edible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production	83,60	Renewable and Sustainable Energy Reviews	(Atabani et al. 2013)

Fonte: Autores.

Alguns dos artigos com maior citação não foram publicados pelas revistas com maior índice-M. Entre as revistas com maior índice-M, foi observado que duas destas possui os artigos com maior citação entre os quinze trabalhos com maior taxa de citação. A revista “Renewable and Sustainable Energy Reviews”, com índice-M de 5,950 e 374 artigos publicado, teve quatro artigos com elevada taxa de citações, em quanto a revista “Applied Energy”, que possui índice-M de 5,000 e um total de 173 publicações sobre biodiesel teve o artigo A review on biodiesel production using catalyzed transesterification com 132,85 citações/ano.

As revistas “Chemical Society Reviews”, “Green Chemistry” e a “Science”, tiveram dois artigos cada com elevada taxa de citação. As revistas “Progress in Energy and Combustion Science”, “Journal of Industrial and Engineering Chemistry”, “Water Research” e “Angewandte Chemie” tiveram um artigo cada com alta taxa de citações.

Os resultados sugerem que há alguma correlação entre os países com maior produção bibliográfica sobre biodiesel, apresentada na Figura 2, e a afiliação do primeiro autor dos artigos com maior quantidade de citações anuais, com os apresentados na Tabela 3. Os Estados Unidos da América contribuem com três destes artigos. A China, a Malásia e o Reino Unido possuem dois artigos cada, e os demais países (Portugal, Coreia, Holanda, Itália, México, Países Baixos) um artigo cada.

O artigo com maior taxa de citações é “Microalgae for biodiesel production and other applications: A review” com 304,23 citações/ano de autoria da autora Teresa M. Mata, afiliada a Faculdade de Engenharia da Universidade do Porto em Portugal, assim como os demais colaboradores. Portugal teve 248 artigos (1% do total), como apresentado na Figura 2.

Os Estados Unidos da América, contribuiu com um total de 2.213 artigos (8,7% do total) e com três afiliações do primeiro autor para o “Catalytic conversion of biomass to biofuels” (137,85 citações/ano) como o primeiro autor David Martin Alonso afiliado a Universidade de Wisconsin-Madison, a “Review of biodiesel composition, properties, and specifications” (118,36 citações/ano) de autoria de S. Kent Hoekman e colaboradores (2012) do Instituto de Pesquisa do Deserto (DRI), e por fim, “Industrial use of immobilized enzymes” (89,9 citações/ano) de autoria de Robert DiCosimo e colaboradores do Centro de Pesquisa e Desenvolvimento da DuPont.

A China é a região com maior quantidade de publicações 3.613 (14,2% do total), como apresentado na Figura 2 e tem os artigos com elevada taxa de citações como o “Chemoselective catalytic conversion of glycerol as a biorenewable source to valuable commodity chemicals” de autoria de Chun-Hui (Clayton) Zhou afiliado a da Zhejiang University e o autor Dennis Yiu Cheong Leung afiliados a University Hong Kong que publicou o artigo “A review on biodiesel production using catalyzed transesterification” com 132,85 citações/ano, vale destacar que a Zhejiang University tem 758 afiliações e esta entre as melhores universidades do mundo, como apresentado na Tabela 1.

A Malásia também se destaca em relação à quantidade de publicações com 1.219 artigo (4,8% do total) e possui 5 instituições de ensino e pesquisa entre as que mais possui pesquisadores publicando sobre biodiesel. Entre este pode ser destacado o autor Abdulaziz E. Atabani, afiliado a Universiti of Malaya, publicou dois trabalhos com elevada taxa de citações, o “A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics” com 108,64 citações/ano e o "Non-edible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance and emissions production” com 83,6 citações/ano.

O Reino Unido tem 404 artigo sobre biodiesel (1,6 % do total), dentre estes há dois com elevada taxa de citação anual, como o artigo “Valorization of Biomass: Deriving More Value from Waste” que tem como primeiro autor Christopher O. Tuck, afiliada a Universidade de Nottingham e o artigo “Production of liquid biofuels from renewable resources” produzidos por Poonam Singh Nigam afiliado a Universidade de Ulster.

O autor Roger Arthur Sheldon, afiliado a Universidade de Tecnologia de Delft dos Países Baixos, publicou o artigo “Green and sustainable manufacture of chemicals from biomass: State of the art” com 121,22 citações/ano. O artigo “An Outlook on Microalgal Biofuels” com 111,15 citações/ano, de autoria de René H. Wijffels e Maria J. Barbosa, ambos afiliados à Universidade de Wageningen na Holanda. A Coreia, que possui 575 artigos sobre biodiesel (2,3 % do total) teve o trabalho “Production and utilization of biochar: A review” com 94,86 citações/ano de autoria de Jin Sun Cha e colaboradores.

O Centro de Pesquisa Biologica do Noroeste (CIBNOR) no México, afiliação do autor OctavioPerez-Garcia, publicou o trabalho “Heterotrophic cultures of microalgae: Metabolism and potential products” com 90,17 citações/ano. O autor Mario Pagliaro, afiliado ao Instituto para o Estudo de Materiais Nanoestruturados na Itália, publicou o trabalho “From Glycerol to Value-Added Products” com 88,31 citações/ano

2.5 Temas abordados

Os temas abordados nas publicações acadêmicas fornecem indícios dos desafios científicos mais relevantes, e desta forma auxiliar a investigações vindouras. A Figura 3 exibe os temas mais relevantes encontrados nos resumos das publicações.

Os temas mais observados foram os que aborda a produção de biodiesel (24,2 %), os ácidos graxos (7,4 %) e óleos residuais domésticos (7,1 %). A produção de biodiesel usando óleo vegetal de diferentes fontes é também um tema recorrente, notadamente os óleos provenientes da *Jatropha curcas* (Pinhão-mansão) (4,2 %), palma (3,7 %), soja (2,5%), canola (1,2 %), girassol (0,8 %), rícino (0,6 %), *Pongamia pinnata* (0,4%) e óleo de sementes de seringueira (0,4 %). Outras fontes de óleo estão relacionda a aplicação de algas, como a *Chlorella vulgaris* uma espécie de microalga verde da divisão Chlorophyta representando 1,4 % dos temas investigados.

A fontes não convencionais para a produção de óleo destinado a produção de biodiesel, tem alcançado alguma atenção devido a necessidade de reduzir as taxas de ampliação de fronteiras agrícolas, bem como identificar cultivares adaptadas às condições de solo pouco férteis e desta forma reduzir a competição com a produção de alimentos (Sheldon 2014; Mata et al. 2010).

A produção de biodiesel é comercialmente realizada por catalise homogêneo, contudo, alguma atenção vem sendo dada aos métodos de produção não convencionais. Entre os temas sobre métodos de produção de biodiesel pode ser destaca a catalise heterogêneo (2,1%), incluindo a aplicação de sólidos ácidos (1,1%) e sólidos alcalinos (0,7%), esta forma de síntese de biodiesel exibe alguma vantagem sobre outros, como a redução de efluente e reutilização dos catalisadores (Lima et al. 2016).

Figura 3 – Temos mais frequentes observadas nos títulos dos artigos.

Cooking oil 7.1	Rapeseed oil 1.2	Production process 0.7	Fuel properties 0.5	Calcium oxide 0.4	Pongamia pinnata 0.4	Wastewater treatment 0.4	Engine performance 0.3	Kinetic study 0.3
	Biofuel production 1.2	Oleic acid 0.7	Carbon dioxide 0.5	Situ transesterification 0.5	Oil extraction 0.4	Steam reforming 0.4	Biodiesel plant 0.3	Immobilized lipase 0.3
Free fatty acid 7.4	Sunflower oil 0.8	Biodiesel feedstock 0.5	Renewable energy 0.5	Oil catalyzed 0.4	Produce biodiesel 0.4	Rice bran 0.4	Artificial neural 0.3	Rubber seed oil 0.4
	Surface methodology 1.3	Emission characteristic 0.8	Process optimization 0.5	Ethyl esters 0.4	Fuel production 0.4	Hydrogen production 0.4	Microalgal biomass 0.4	
Ionic liquid 1.3	Experimental investigation 0.8	Cycle assessment 0.6	Oil methyl 0.5	Oil production 0.5	Oil transesterification 0.5	Oleaginous yeast 0.5		
	Lipid accumulation 0.9	Solid base 0.7	Supercritical methanol 0.7	Base catalyst 0.6	Biodiesel blends 0.6	Castor oil 0.6		
Biodiesel production 24.2	Chlorella vulgaris 1.4	Acid methyl 1.2	Life cycle 1.1	Oxidative stability 1.1	Solid acid 1.1	Transesterification reaction 1.1		
	Vegetable oil 2.1	Diesel engine 1.8	Crude glycerol 1.5	Response surface 1.5	Acid catalyst 1.4			
	Soybean oil 2.5	Lipid production 2.4	Biodiesel fuel 2.3	Heterogeneous catalyst 2.1				
Jatropha curcas 4.2	Palm oil 3.7	Methyl ester 3.1						

Fonte: Autores.

Os métodos não catalíticos para a produção de biodiesel também são abordados, como o uso de líquidos iônicos (1,3%), fluido supercrítico (0,7 %) e transesterificação *in situ* (0,4 %). Entre, estes os métodos em condições de fluidos supercríticos exibem alguma vantagem e bons desafios tecnológicos, com desenvolver métodos para alcançar condições reacionais mais amenas (Alves et al. 2013). A transesterificação *in-situ*, vem ganhando notoriedade entre as técnicas de produção de biodiesel, devido à possibilidade de redução de etapas de produção dos óleos vegetais e biodiesel, e desta forma, reduzir custos operacionais (Karmakar and Halder 2019).

3 Conclusões

A produção de biodiesel é um tema que desperta alguma atenção da comunidade científica, em especial aos investigam processo de obtenção e energias alternativas. A partir do ano de 2005 houve maior quantidade de trabalhos sobre biodiesel, sendo mantida elevada a quantidade de publicações até 2021. Esta produção de conhecimento é mais vasta em países com abundante produtividade agrícola ou capacidade de expansão das suas fronteiras agrícolas.

O Brasil se destaca com grande quantidade de artigos e muita universidade com elevada taxa de publicação, contudo, estes trabalhos necessitam de maior visibilidade. Os programas governamentais contribuirão para a posição de destaque do Brasil na quantidade de trabalhos sobre biodiesel.

Os temas abordados nos trabalhos têm alguma relação com as demandas de redução de custos de produção do biodiesel, bem como reduzir os impactos ambientais durante o processo de produção matéria prima para produção de óleo vegetal. Deste modo, este trabalho permite observar um panorama amplo sobre a produção de biodiesel no mundo e desta forma, direcionar trabalhos futuros com sobre o tema. Novos trabalhos devem ser produzidos para investigar como os temas sobre a produção de biodiesel estão variando no tempo e suas justificativas.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo suporte financeiro deste estudo.

Referências

- Agência Nacional de Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis. ANP. *Anuário Estatístico Brasileiro do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis 2021*. 2021. www.anp.gov.br. Acessado 10 out. 2021.
- Alonso, David Martin, et al., “Catalytic conversion of biomass to biofuels”. *Green Chemistry*, vol. 12, no. 9, 2010, pp. 1493–1513, doi: <https://doi.org/10.1039/c004654j>. Acessado 22 junho 2021.
- Alves, Carine Tondo, et al., “Transesterification of waste frying oil using a zinc aluminate catalyst”. *Fuel Processing Technology*. vol. 106, 2013, pp. 102–107, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuproc.2012.07.008>. Acessado 22 fev. 2021.
- Amatucci, Marcos, and Spers, Eduardo Eugenio. “The Brazilian Biofuel Alternative”. *International Journal of Automotive Technology and Management*, vol. 10, no 1, 2010, pp. 37-55, doi: <https://doi.org/10.1504/IJATM.2010.031455>. Acessado 05 jun. 2022.
- Atabani, Abdelaziz Emad, et al., “A comprehensive review on biodiesel as an alternative energy resource and its characteristics”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 4, 2012, pp. 2070–2093, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.01.003>. Acessado 22 fev. 2021.

- Atabani, Abdelaziz Emad, et al., “Non-Edible Vegetable Oils: A Critical Evaluation of Oil Extraction, Fatty Acid Compositions, Biodiesel Production, Characteristics, Engine Performance and Emissions Production”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 18, Fev. 2013, pp. 211–45, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2012.10.013>. Acessado 22 fev. 2021.
- British Petroleum. “BP Statistical Review of World Energy”. *BP Energy Outlook 2021*. vol. 70, 2021, pp. 8–20, www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/energy-outlook.html. Acessado 05 de out. 2021.
- Cha, Jin Sun, et al., “Production and Utilization of Biochar: A Review”. *Journal of Industrial and Engineering Chemistry*, vol. 40, 2016, pp. 1–15, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2016.06.002>. Acessado 05 de out. 2021.
- Chen, Hua-Qi, et al., “Chinese Energy and Fuels Research Priorities and Trend: A Bibliometric Analysis”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 58, May, 2016, pp. 966–75, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.12.239>. Acessado 08 de jul. 2022.
- Chung, Chao-chen, et al., “The evolution of biodiesel policies in China over the period 2000-2019”. *Processes*, vol. 8, no. 8, 2020, pp. 1-22, doi: <https://doi.org/10.3390/PR8080948>. Acessado 22 fev. 2021.
- Costa, Benedita Marta Gomes, et al., “Analysis of Technological Production in Biotechnology in Northeast Brazil”. *World Patent Information*, vol. 52, 2018, pp. 42–49, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wpi.2018.01.006>. Acessado 08 jul. 2022.
- Costa, Jonei Marques da, e Lima, Luiz Rogério Pinho de Andrade. “Transesterification of cotton oil with ethanol for biodiesel using a KF/bentonite solid catalyst”. *Fuel*, vol. 293, 2021, pp. 120446, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.120446>. Acessado 20 jun. 2021.
- DiCosimo, Robert, et al., “Industrial use of immobilized enzymes”. *Chemical Society Reviews*. vol. 42, no. 15, 2013, pp. 6437–6474, doi: <https://doi.org/10.1039/c3cs35506c>. Acessado 22 fev. 2021.
- Dutta, Soumitra, et al., *Global innovation index 2022: What is the future of innovationdriven growth?*. WIPO, 2020, doi: <https://doi.org/10.34667/tind.46596>. Acessado 22 jun. 2022.
- EIA. “The United States consumed a record amount of renewable energy in 2020”. 2021. www.eia.gov. Acessado 05 out. 2021.
- Fan, Ying, and Xu, Jin-Hua. “What has driven oil prices since 2000? A structural change perspective”. *Energy Economics*. vol. 33, no. 6, 2011, pp. 1082–1094, doi: <https://doi.org/10.1016/j.eneco.2011.05.017>. Acessado 22 fev. 2021.

- Ferreira, Rafael Henrique Mainardes, and Picinin, Claudia Tania. “Bibliometric Analysis for Characterization of Oil Production in Brazilian Territory”. *Scientometrics*, vol. 116, no. 3, 2018, pp. 1945–74, doi: <https://doi.org/10.1007/s11192-018-2829-0>. Acessado 08 jul. 2022.
- Gil, Antônio Carlos. *Métodos e Técnicas de Pesquisa Social*. Atlas, 2019.
- Hoekman, S. Kent, et al., “Review of biodiesel composition, properties, and specifications”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 16, no. 1, 2012, pp. 143–169, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2011.07.143>. Acessado 22 fev. 2021.
- Hossain, S. M. Zakir, et al., “Recent Advances in Enzymatic Conversion of Microalgal Lipids into Biodiesel”. *Energy and Fuels*, vol. 34, no. 6, 2020, pp. 6735–6750, doi: <https://doi.org/10.1021/acs.energyfuels.0c01064>. Acessado 22 fev. 2021.
- Kang, Jia-Ning, et al., “Energy systems for climate change mitigation: A systematic review”. *Applied Energy*. vol. 263, 2020, pp. 114602, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.114602>. Acessado 03 jul. 2021.
- Karmakar, Bisheswar, and Halder, Gopinath. “Progress and future of biodiesel synthesis: Advancements in oil extraction and conversion Technologies”. *Energy Conversion and Management*, vol. 182, 2019, pp. 307–339, doi: <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.12.066>. Acessado 03 jul. 2021.
- Leung, Dennis Yiu Cheong, et al., “A Review on Biodiesel Production Using Catalyzed Transesterification”. *Applied Energy*, vol. 87, no 4, 2010, pp. 1083–1095, doi: <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2009.10.006>. Acessado 03 jul. 2022.
- Lima, Ana Lúcia de, et al., “Heterogeneous Basic Catalysts for Biodiesel Production”. *Catalysis Science & Technology*, vol. 6, no 9, 2016, pp. 2877–2891, doi: <https://doi.org/10.1039/C5CY01989C>. Acessado 08 jul. 2022.
- Maricato, João de Melo. “Dinâmica das relações entre Ciência e Tecnologia: estudo Bibliométrico e Cientométrico de múltiplos indicadores de artigos e patentes em biodiesel”. 2010, doi: <https://doi.org/10.11606/T.27.2010.tde-17112010-131149>. Universidade de São Paulo, Tese de doutorado. Acessado 08 jul. 2022.
- Martín-Martín, Alberto, et al., “Google Scholar, Web of Science, and Scopus: A systematic comparison of citations in 252 subject categories.” *Journal of Informetrics*, vol. 12, no. 4, 2018, pp. 1160–1177, doi: <https://doi.org/10.1016/j.joi.2018.09.002>. Acessado 15 ago. 2022.
- Mata, Teresa M., et al., “Microalgae for Biodiesel Production and Other Applications: A Review”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 14, no 1, 2010, pp. 217–32, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2009.07.020>. Acessado 23 mar. 2021.

- McGrath, Chase. “Biofuels Annual: Peoples Republic of China”. *United States Department of Agriculture*, 2020. www.fas.usda.gov/data/china-biofuels-annual-6. Acessado 05 jul. 2021.
- Moreira, Paulo Sergio da Conceição, et al., “Qual ferramenta bibliométrica escolher? Um estudo comparativo entre softwares”. *P2P e Inovação*, vol. 6, 2020, pp. 140–158, doi: <https://doi.org/10.21721/p2p.2020v6n2.p140-158>. Acessado 03 jul. 2021.
- Nigam, Poonam Singh, and Singh, Anoop. “Production of Liquid Biofuels from Renewable Resources”. *Progress in Energy and Combustion Science*, vol. 37, no 1, 2011, pp. 52–68, doi: <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2010.01.003>. Acessado 15 ago. 2022.
- Novak, David, and Batko, Michal. “Metric index: An efficient and scalable solution for similarity search”. *Second International Workshop on Similarity Search and Applications: IEEE*, 2009, doi: <https://doi.org/10.1109/SISAP.2009.26>. Acessado 03 jul. 2021.
- Pagliaro, Mario, et al., “From glycerol to value-added products”. *Angewandte Chemie International Edition*. vol. 46, no. 24, 2007, pp. 4434–4440, doi: <https://doi.org/10.1002/anie.200604694>. Acessado 03 jul. 2021.
- Perez-Garcia, Octavio, et al., “Heterotrophic Cultures of Microalgae: Metabolism and Potential Products”. *Water Research*, vol. 45, no. 1, 2011, pp. 11–36, doi: <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.08.037>. Acessado 15 ago. 2022.
- Putra, Meilana Dharma, et al., “Biodiesel production from waste cooking oil using heterogeneous catalyst: Biodiesel product data and its characterization”. *Data in Brief*, vol. 28, 2020, pp. 104879, doi: <https://doi.org/10.1016/j.dib.2019.104879>. Acessado 03 jul. 2021.
- QS World. *University Rankings*, 2021. www.topuniversities.com. Acessado 10 ago. 2021.
- Rocha, Angela Machado, et al., “Biodiesel in Brazil: Science, Technology and Innovation Indicators”. *International Journal of Technology Management*, vol. 69, no. 3/4, 2015, pp. 246- 260, doi: <https://doi.org/10.1504/IJTM.2015.072984>. Acessado 02 jul. 2021.
- Rocha, Angela Machado, et al., “Biodiesel na república popular da china: mapeamento de artigos e patentes”. *Cadernos de Prospecção*, vol. 6, 2017, pp. 36–41, doi: <https://doi.org/10.9771/S.CPROSP.2013.006.0034>. Acessado 02 jul. 2021.
- Rodrigues, Alexandre Carlos Camacho. “Policy, regulation, development and future of biodiesel industry in Brazil”. *Cleaner Engineering and Technology*, vol. 4, 2021, pp. 100197, doi: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100197>. Acessado 02 jul. 2021.
- Saravanan, Azhaham Perumal, et al., “A comprehensive assessment of biofuel policies in the BRICS nations: Implementation, blending target and gaps”. *Fuel*. vol. 272, 2020, pp.117635, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2020.117635>. Acessado 03 jun. 2021.
-
- COSTA, Jonei Marques da; LIMA, Luiz Rogério Pinho de Andrade. Análise Bibliométrica das Pesquisas sobre Biodiesel entre 1984–2021. *Brazilian Journal of Information Science: research trends*, vol. 17, publicação continua, 2023, e023042. Doi 10.36311/1981-1640.2023.v17.e023042

- Selvaraj, Ambika, et al., “Life Cycle Sustainability Assessment of Crops in India”. *Current Research in Environmental Sustainability*, vol. 3, 2021, pp. 100074, doi: <https://doi.org/10.1016/j.crsust.2021.100074>. Acessado 03 jun. 2021.
- Sheldon, Roger Arthur. “Green and Sustainable Manufacture of Chemicals from Biomass: State of the Art”. *ChemInform*. vol. 45, no. 19, 2014, pp. 950- 963, doi: <https://doi.org/10.1039/c3gc41935e>. Acessado 06 jun. 2020.
- Singh, Digambar, et al., “A review on feedstocks, production processes, and yield for different generations of biodiesel”. *Fuel*, vol. 262, 2020, pp. 116553, doi: <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116553>. Acessado 06 jun. 2020.
- Sitepu, Eko K., et al., “Critical evaluation of process parameters for direct biodiesel production from diverse feedstock. Renewable and Sustainable” *Energy Reviews*, vol. 123, March 2020, pp. 109762, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.109762>. Acessado 03 jun. 2020.
- Torres, Najara Barros Dias, et al., “Uma abordagem de dinâmica de sistemas para a avaliação do biodiesel: uma revisão bibliométrica”. *Research, Society and Development*, vol. 8, no. 2, 2019, pp. e182522, doi: <https://doi.org/10.33448/rsd-v8i2.522>. Acessado 08 jul. 2022.
- Tuck, Christopher O., et al., “Valorization of Biomass: Deriving More Value from Waste”. *Science*, vol. 337, no. 6095, 2012, pp. 695–699, doi: <https://doi.org/10.1126/science.1218930>. Acessado 22 jun. 2021.
- Usmani, Rahil Akhtar. “Potential for energy and biofuel from biomass in India”. *Renewable Energy*, vol. 155, 2020, pp. 921–930, doi: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2020.03.146>. Acessado 22 jun. 2021.
- Wijffels, René H., and Barbosa, Maria J. “An Outlook on Microalgal Biofuels”. *Science*, vol. 329, no. 5993, 2010, pp. 796–99, doi: <https://doi.org/10.1126/science.1189003>. Acessado 18 abr. 2022.
- Yaoyang, Xu, and Boeing, Wiebke J. “Mapping Biofuel Field: A Bibliometric Evaluation of Research Output”. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 28, 2013, pp. 82–91, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2013.07.027>. Acessado 08 jul. 2022.
- Zempulski, Denise Aparecida, et al. “Continuous transesterification reaction of residual frying oil with pressurized ethanol using KF/clay as catalyst”. *European Journal of Lipid Science and Technology*, vol. 122, no. 5, 2020, pp. 1900315, doi: <https://doi.org/10.1002/ejlt.201900315>. Acessado 22 jun. 2021.
- Zhang, Min, et al., “A bibliometric analysis of biodiesel research during 1991–2015”. *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 20, no. 1, 2018, pp. 10–18, doi: <https://doi.org/10.1007/s10163-016-0575-z>. Acessado 22 jun. 2021.

Zhang, Zhijuan, and Lis, Marcin. “Modeling green energy development based on sustainable economic growth in China”. *Sustainability*, vol. 12, no. 4, 2020, pp. 1368, doi: <https://doi.org/10.3390/su12041368>. Acessado 22 jun. 2021.

Zhou, Chun-Hui, et al., “Chemoselective catalytic conversion of glycerol as a biorenewable source to valuable commodity chemicals”. *Chemical Society Reviews*, vol. 37, no. 3, 2008, pp. 527–549, doi: <https://doi.org/10.1039/b707343g>. Acessado 22 jun. 2021.

Dados da pesquisa

O banco de dados usado para o presente trabalho, no formato R Workspace (RData) estará disponível para consulta quando solicitado.

Copyright: © 2023 COSTA, Jonei Marques da; LIMA, Luiz Rogério Pinho de Andrade. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons CC Attribution-ShareAlike (CC BY-SA), which permits use, distribution, and reproduction in any medium, under the identical terms, and provided the original author and source are credited.

Received: 15/11/2021

Accepted: 30/03/2023