



MATHEUS DI CARLO LACERDA

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO DE
BIODIESEL A PARTIR DO ÓLEO RESIDUAL DE
FRITURA**

LAVRAS – MG

2021

MATHEUS DI CARLO LACERDA

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO DE BIODIESEL A PARTIR DO
ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

Prof^ª. Dr^ª. Renata de Aquino Brito Lima Corrêa

Orientadora

LAVRAS – MG

2021

MATHEUS DI CARLO LACERDA

**ANÁLISE BIBLIOMÉTRICA DA PRODUÇÃO DO BIODIESEL A PARTIR DE
ÓLEO RESIDUAL DE FRITURA**

**BIBLIOMETRIC ANALYSIS OF BIODIESEL PRODUCTION FROM FRYING
RESIDUAL OIL**

Monografia apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Curso de Engenharia Química, para a obtenção do título de Bacharel.

APROVADA em 18 de novembro de 2021.

Prof^ª. Dr^ª. Renata de Aquino Brito Lima Corrêa UFLA.

Prof^ª. Dr^ª. Lidja Dahiane Menezes Santos Borél UFLA.

Prof. Dr. Irineu Petri Júnior UFLA.

Prof^ª. Dr^ª. Renata de Aquino Brito Lima Corrêa

Orientadora

LAVRAS – MG

2021

RESUMO

O atual ritmo de crescimento da população mundial preocupa especialistas por questões relacionadas à produção de alimentos, demanda energética e meio ambiente, uma vez que é necessário manter o equilíbrio entre essas três áreas. As principais formas utilizadas na atualidade para suprir a demanda mundial de energia procedem de fontes não-renováveis, que se esgotarão em poucos anos e são nocivas ao meio ambiente. Tecnologias que possam utilizar de fontes renováveis como a energia solar, a água, os ventos e a biomassa são alternativas viáveis para suprir essa emergente exigência por energia. Uma das alternativas que se destaca é a produção de biodiesel, pois ele apresenta características facilmente incorporáveis na matriz energética já estabelecida e possui menor potencial poluidor. Entretanto, a produção de biodiesel envolve o uso de triglicerídeos como os presentes em óleos de origem vegetal, o que pode afetar a produção de alimentos e encarecer o preço final. Este trabalho visou realizar uma revisão bibliográfica a respeito de pesquisas que envolvam a produção de biodiesel a partir de óleos residuais do processo de fritura de alimentos, uma vez que tais óleos ainda apresentam triglicerídeos e já não apresentam utilidade para o consumo humano, sendo muitas vezes descartados de forma irregular, prejudicando o serviço de tratamento de esgoto e o meio ambiente. Para o estudo foram utilizados trabalhos presentes nos bancos de dados do *Web of Science*, *Scopus* e *Google Scholar*, em que foi realizada uma revisão bibliográfica, para levantamento das principais rotas e matérias-primas empregadas na produção de biodiesel e novos seguimentos que a comunidade científica vem estudando, sendo base para futuros trabalhos na área. Também foram utilizados para elaboração de uma análise bibliométrica dos principais autores, seus artigos e os anos de publicação de seus trabalhos. Tal comparativo indicou que apesar das diferenças existentes entre os bancos de dados, foram obtidas respostas similares para o tema, demonstrando que a produção de biodiesel utilizando como fonte de triglicerídeos o óleo de cozinha é possível, e estudos relacionados ao tema vem crescendo nos últimos anos, com o Brasil ocupando a quinta posição dentre os que mais publicam sobre a temática.

Palavras-chave: Biocombustível; Reaproveitamento de óleo; Energia renovável; Meio ambiente; Análise bibliométrica.

ABSTRACT

The current pace of world population growth worries specialists on issues related to food production, energy demand and the environment, since it is necessary to maintain a balance between these three areas. The main ways used today to supply the world demand for energy come from non-renewable sources, which will run out in a few years and are harmful to the environment. Technologies that can use renewable sources such as solar energy, water, wind and biomass are viable alternatives to meet this emerging demand for energy. One of the alternatives that stands out is the production of biodiesel, as it presents characteristics that are easily incorporated into the already established energy matrix and has less polluting potential. However, the production of biodiesel involves the use of triglycerides such as those present in vegetable oils, which can affect food production and increase the final price. This work aimed to carry out a literature review on research involving the production of biodiesel from residual oils from the food frying process, since such oils still have triglycerides and are no longer useful for human consumption, being often irregularly disposed of, harming the sewage treatment service and the environment. For the study, works present in the databases of *Web of Science*, *Scopus* and *Google Scholar* were used, in which a literature review was carried out, to survey the main routes and raw materials used in the production of biodiesel and new segments that the scientific community has been studying, being the basis for future work in the area. They were also used to prepare a bibliometric analysis of the main authors, their articles and the years of publication of their work. This comparison indicated that despite the differences between the databases, similar responses were obtained for the topic, demonstrating that the production of biodiesel using cooking oil as a source of triglycerides is possible, and studies related to the topic have been growing in recent years, with Brazil occupying the fifth position among those who publish the most on the subject.

Keywords: Biofuel; Oil Reuse; Renewable Energy; Environment; Biometric Analysis.

AGRADECIMENTOS

Em primeiro lugar, a Deus, que fez com que meus objetivos fossem alcançados, durante todos os meus anos de estudos.

A minha família, sobretudo ao meu pai Oleir e à minha mãe Cleide, que sempre me incentivaram a continuar estudando apesar de todas as dificuldades encontradas no caminho.

À minha orientadora, professora Renata, pela orientação, paciência e dedicação durante esses meses, dando seu suporte em todas as minhas incertezas

Aos professores da UFLA, pela correções e ensinamentos durante esses anos que permitiram meu crescimento como profissional.

E a todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Evolução matriz energética mundial 1965-2020.....	14
Figura 2 – Evolução matriz energética brasileira 1965-2020.....	15
Figura 3 – Evolução da geração de Energia Renovável 1965-2020.....	18
Figura 4 – Composição de uma coluna de destilação de petróleo.....	21
Figura 5 – Evolução da produção mundial de biodiesel 2004-2016.	22
Figura 6 – Matéria-prima para produção brasileira de biodiesel em 2020.	24
Figura 7 – Matéria-prima para produção mundial de biodiesel em 2019.	25
Figura 8 – Reação de esterificação e hidrólise.	26
Figura 9 – Transesterificação de triglicerídeos.	26
Figura 10 – Mecanismo de transesterificação básica.	27
Figura 11 – Influência da temperatura no rendimento do biodiesel por transesterificação metanólica.	30
Figura 12 – Influência da concentração do catalizador no rendimento em peso do biodiesel a 60°C por 60 min por transesterificação metanólica.	30
Figura 13 – Evolução da quantidade de trabalhos ao longo dos anos WoS.	39
Figura 14 – Número de trabalhos por categoria WoS.	39
Figura 15 – Contribuição de trabalhos por países.	40
Figura 16 – Evolução da quantidade de trabalhos ao longo dos anos <i>Scopus</i>	42
Figura 17 – Número de trabalhos por categoria <i>Scopus</i>	43
Figura 18 – Contribuição de trabalhos por países no <i>Scopus</i>	44
Figura 19 – Evolução da quantidade de trabalhos ao longo dos anos Google Scholar.	46
Figura 20 - Mapa de ligações entre autores no WoS.	49
Figura 21 - Mapa de ligações entre autores no Scopus.	50
Figura 22 – Mapa de ligações entre autores no Google Scholar.	50

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Principais atrativos regionais para produção de biodiesel.	22
Quadro 2 – Teor de biodiesel presente em diesel.	23
Quadro 3 – Comparativo entre Scopus, Web of Science e Google Scholar.	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Comparativo entre o diesel US-D2 e biodiesel de óleo residual de fritura. .	32
Tabela 2 – Caracterização do biodiesel a base de óleo residual de fritura.	32
Tabela 3 – Custos variáveis para a produção do biodiesel.	33
Tabela 4 – Principais revistas sobre o tema e quantidade de publicações.	40
Tabela 5 – Principais obras a respeito do tema no WoS.	41
Tabela 6 – Principais revistas sobre o tema e quantidade de publicações no Scopus. ...	44
Tabela 7 – Principais obras a respeito do tema no Scopus.	45
Tabela 8 – Principais revistas publicadoras sobre o tema e quantidade de publicações no Google Scholar.	47
Tabela 9 – Principais obras a respeito do tema no Google Scholar.	47

SUMÁRIO

1	Introdução	11
2	Objetivos.....	12
2.1	Objetivo geral	12
2.2	Objetivos específicos	12
3	Matriz energética	12
3.1	Matriz energética mundial	13
3.2	Matriz energética brasileira	15
4.	Classificação das fontes energéticas.....	16
5.	Biodiesel	19
6.	Rotas para produção do biodiesel.....	24
7.	Produção de biodiesel através de óleo residual de fritura	28
8.	Produção Científica	33
8.1	Web of Science	38
8.2	Scopus.....	41
8.3	Google Scholar	45
8.4	VOSviewer	48
9.	Conclusão	51
	REFERÊNCIAS	53

1 Introdução

Nos últimos anos, o mundo apresentou um rápido crescimento populacional principalmente devido à melhora em alguns aspectos sociais, o que contribuiu para uma rápida industrialização e urbanização. Entretanto, como consequência dessa rápida urbanização, houve o aumento do consumo de energia em diferentes setores e a intensificação de mudanças climáticas (DONG *et al.*, 2018).

Dentre as áreas que tiveram crescimento na necessidade por energia, o setor de transportes se destaca, sendo o emprego de energia nesse setor aplicado nos combustíveis para movimentar os veículos. Nesse contexto, os combustíveis de origem fóssil são ainda os mais utilizados, apesar de serem os principais contribuintes para a intensificação do efeito estufa, uma vez que sua queima envolve a emissão de gases de efeito estufa, responsáveis pelo aumento da temperatura no planeta (HÖÖK; TANG, 2013).

A grande demanda por combustíveis fósseis, como o petróleo, tem contribuído para a rápida diminuição de tais recursos energéticos, além de estarem criando impactos negativos ao meio ambiente, pois a combustão de tais combustíveis libera gases como o CO₂, compostos sulfurados, entre outros. Por essas razões e incertezas quanto ao preço, pesquisas que se dediquem a investigar fontes alternativas em substituição aos combustíveis a base de petróleo têm sido incentivadas (BORUGADDA; GOUD, 2012).

Atualmente, o biodiesel se destaca como um combustível substituto ao diesel de petróleo. Ele é produzido a partir de biomassas ricas em triglicerídeos como óleos vegetais, o que o torna popular à medida que os países se esforçam para diminuir os problemas ambientais causados pela liberação de carbono da queima de diesel (SIMS *et al.*, 2010). A produção de biodiesel se difere entre os países quanto às oleaginosas utilizadas como matéria-prima. Estados Unidos, Brasil e Argentina frequentemente usam o óleo de soja como matéria-prima, o óleo de colza é usado em grande parte dos países europeus, e em países asiáticos o fruto da planta *Jatropha curcas* conhecida como pinhão-mansão (OGUNKUNLE; AHMED, 2019).

A destinação de tais matérias-primas para a produção do biodiesel recebe, contudo, frequentes críticas, uma vez que são utilizadas fontes de alto proveito para as atividades humanas. Isto promove a busca pelo uso de novos materiais para a obtenção desse biocombustível. Nesse cenário, surgem novas pesquisas que colocam a gordura de frango, o sebo bovino e o óleo residual de fritura como possíveis candidatos a substituir

os óleos vegetais (OKORO *et al.*, 2017), uma vez que tais matérias-primas são fontes de triglicerídeos, que possibilitam seu uso para produção do biodiesel, além de sua aplicabilidade na produção de sabões, em rações animais e tintas (ROSA *et al.*, 2017).

Nesse sentido, o presente trabalho teve por objetivo realizar uma revisão bibliográfica descrevendo aspectos relacionados à matriz energética brasileira, crescente uso dos biocombustíveis (classificação, principais rotas de produção) e obtenção destes pelo uso de óleo de fritura residual. Em adição, a bibliometria, método que permite analisar e construir gráficos sobre a evolução de trabalhos científicos e, assim, analisar as características de um determinado tema, foi empregada. Utilizando-se desse método foi realizada uma pesquisa a respeito dos trabalhos que envolvem a produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura, a fim de destacar a importância de tal assunto para a comunidade científica e guiar eventuais trabalhos na área.

2 Objetivos

2.1 Objetivo geral

Realizar uma revisão da literatura sobre o emprego de óleos residuais de fritura como matéria-prima para a produção de biodiesel, com base na crescente demanda por fontes de energia sustentáveis que apresentem baixa emissão de poluentes, mas que consigam substituir de forma eficaz as fontes atuais.

2.2 Objetivos específicos

- Avaliar o cenário atual de geração de energia;
- Destacar as principais fontes de energia no mundo;
- Identificar rotas para obtenção de combustíveis ecologicamente viáveis;
- Avaliar as vantagens e desvantagens da utilização do biodiesel;
- Avaliar as vantagens e desvantagens da produção do biodiesel a partir do óleo residual de fritura, e
- Realizar um levantamento sistemático nas bases de dados do *Web of Science*, *Scopus* e *Google Scholar*, listando a quantidade de trabalhos científicos produzidos ao longo dos últimos anos, principais revistas e países que publicam sobre o emprego de óleos residuais de fritura na produção de biodiesel.

3 Matriz energética

O ritmo do crescimento populacional vem reduzindo ao longo das décadas, tendo seu pico por volta dos anos de 1965 e 1970, quando a taxa de crescimento foi de cerca de 2,1% ao ano. Atualmente, a taxa de crescimento da população é em torno de 1,1% ao ano, com expectativas de redução. Entretanto, o contingente populacional atingiu 7,7 bilhões de pessoas em 2019, o que se deve, sobretudo, aos avanços na medicina que contribuíram para o aumento da expectativa de vida da população e estima-se que a população mundial atinja 9,7 bilhões até o ano de 2050 (ONU, 2019).

Este aumento populacional, somado à migração das pessoas para áreas urbanas, em busca de melhores condições de vida, emprego e educação, aumentam cada vez mais a exploração dos recursos naturais que são extraídos anualmente do planeta para suprir as necessidades da população. Segundo Alves (2012), esta exploração dos recursos naturais, já ultrapassa a capacidade regenerativa do planeta.

A exploração abusiva dos recursos naturais causa impactos significativos em diferentes setores, tanto ambientais quanto econômicos, visto que parte desses recursos é utilizado para a geração de energia, constituindo a matriz energética. Este termo refere-se ao conjunto de todas as fontes energéticas que podem ser utilizadas como força motriz para o desenvolvimento das atividades de um país ou região (EPE, 2020).

A matriz energética é composta por fontes que podem ser classificadas quanto a sua capacidade de regeneração. Assim, uma fonte renovável é aquela que, após sua exploração, pode ter seus recursos renovados em um período de tempo curto e de maneira cíclica, como a energia solar, a eólica, a hídrica e a biomassa. Por outro lado, uma fonte não renovável é aquela cuja formação ocorreu sob condições de temperaturas e pressões ao longo de milhares de anos e, uma vez esgotadas, não poderão ser regeneradas. São fontes de energia não renováveis o petróleo, o carvão mineral e o gás natural (SCHOLTEN; BOSMAN, 2013).

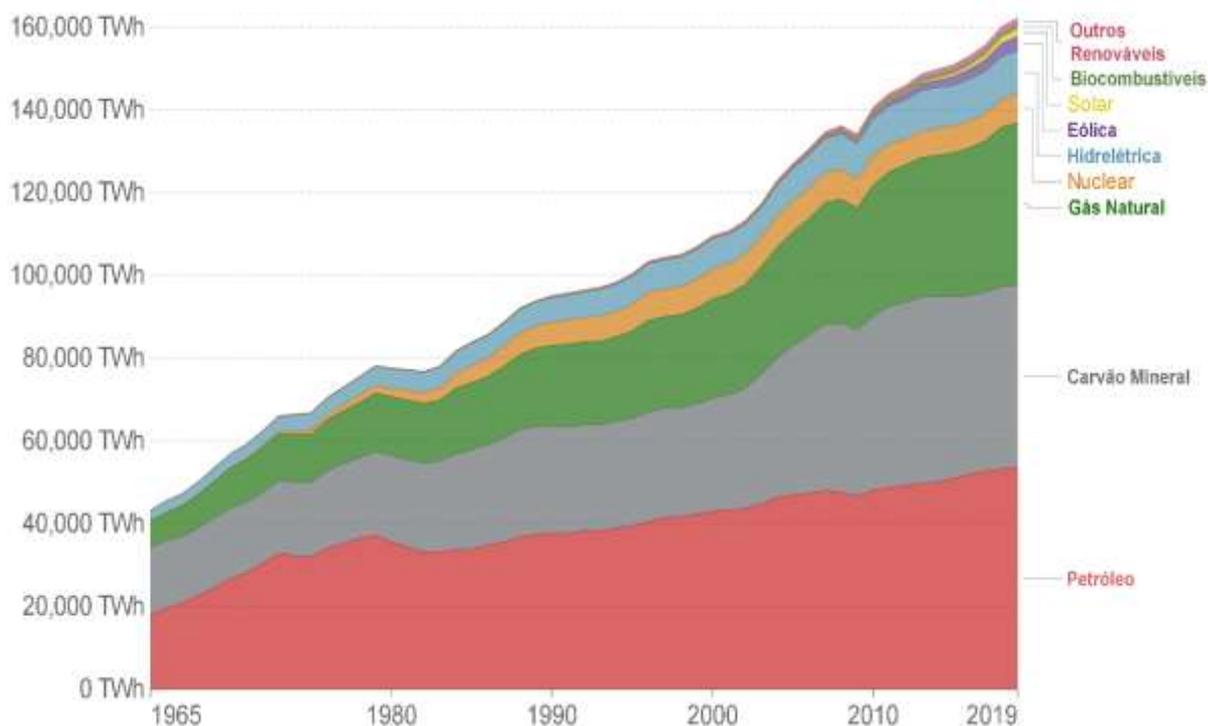
3.1 Matriz energética mundial

A matriz energética mundial passou por transformações durante sua existência. Inicialmente, durante a pré-história, a madeira era suficiente para suprir as necessidades energéticas da população, mas com o advento da revolução industrial, o carvão mineral passou a ter destaque nas atividades humanas. Assim, a partir da década de 1920, a

necessidade de recursos energéticos mais eficientes alavancou a demanda por petróleo e gás natural (ZOU *et al.*, 2016; FOUQUET, 2009).

Em paralelo ao crescimento da população, a demanda por recursos energéticos também cresceu, passando de cerca de 4300 TWh no ano de 1965 para mais de 160000 TWh em 2020, como mostra a Figura 1, que traz uma evolução da configuração da matriz energética mundial, fragmentada em cada uma das fontes. Previsões apontam que este ritmo de crescimento se manterá, e terá um aumento de cerca de 50% em relação ao consumo atual, atingindo a marca de 250000 TWh até o ano de 2050. Este expressivo crescimento tem sido impulsionado principalmente por países que não compõem a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OCDE), como Índia, China e outros países da África e Ásia (IEA,2020).

Figura 1 – Evolução matriz energética mundial 1965-2020.



Fonte: BP (2021).

Da Figura 1 também é possível inferir que a matriz energética mundial é baseada principalmente em fontes de origem fóssil, tais como o carvão mineral, o petróleo e o gás natural, que somadas representam mais de 80% da matriz energética do mundo (FILHO, 2013). A dependência de tais fontes preocupa especialistas devido ao elevado ritmo de exaustão das reservas de combustíveis fósseis e aos danos ambientais provocados pela queima de tais produtos como, o aumento da concentração de CO₂ na atmosfera, a chuva

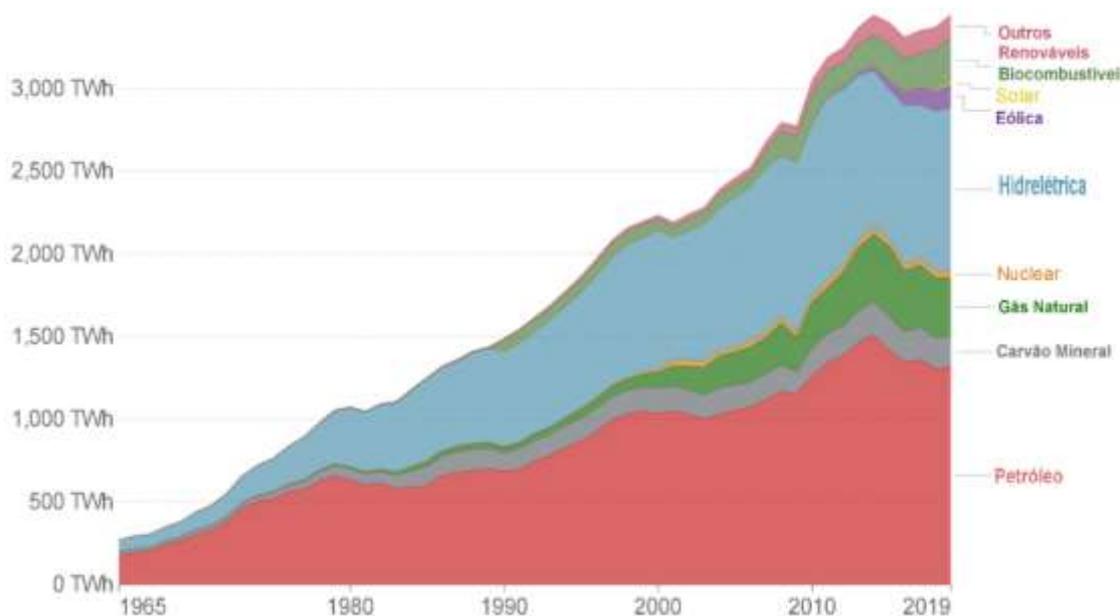
ácida, além da degradação ambiental provocada pela extração de tais combustíveis (OGEDA; PETRI, 2010).

3.2 Matriz energética brasileira

Tal como o restante do planeta, inicialmente, o principal recurso energético brasileiro era a lenha. Com o passar dos anos, o carvão mineral, o petróleo e seus derivados começaram a compor a matriz energética brasileira; mas, devido a uma série de obstáculos referentes à importação de tais produtos, bem como à programas e incentivos governamentais, a matriz brasileira acabou por tornar-se bastante diversificada (HAGE, 2008). Dessa forma, até a década de 1970, a matriz energética era composta predominantemente por lenha e petróleo, compondo cerca de 78% da totalidade; mas, com a participação de novas fontes na matriz, está se tornando mais diversificada e renovável (TOLMASQUIM *et al.*, 2007).

A Figura 2 demonstra a evolução da configuração da matriz energética brasileira entre os anos 1990 e 2019, fragmentada em cada uma das fontes. É possível observar que, de forma similar à matriz energética mundial, a matriz brasileira também cresceu no decorrer dos anos, passando de um consumo de cerca de 270 TWh no ano de 1965 para mais de 3400 TWh em 2020, e possuindo em sua composição, tanto fontes renováveis como não renováveis (IEA, 2020).

Figura 2 – Evolução matriz energética brasileira 1965-2020.



Fonte: BP (2021).

Em comparação ao restante do mundo, a matriz brasileira é considerada uma das mais limpas, devido à grande parcela de fontes renováveis que a compõe. Cerca de 46% da matriz energética do Brasil é proveniente de fontes renováveis, percentual superior ao triplo do apresentado pelo restante do mundo (EPE, 2020). Essa grande quantidade de fontes renováveis ocorre principalmente pela oferta de biomassa e biodiesel, somada à entrada de novas tecnologias de captação de luz solar e eólica (REN21, 2021).

4. Classificação das fontes energéticas

As fontes energéticas apresentam diferentes classificações em relação aos órgãos regulamentadores. Os fatores que determinam tais subdivisões incluem sua obtenção, sua capacidade de renovação, empregabilidade e vantagens e desvantagens de seu uso (RYBÁR *et al.*, 2015).

A forma de obtenção diz respeito à necessidade de transformação de uma fonte energética para sua utilização. Dessa forma, uma fonte primária é aquela em que o recurso é obtido diretamente da natureza e já é transformado em energia, enquanto uma fonte secundária é aquela em que o recurso necessita passar por uma conversão prévia, para finalmente ser empregado em sua atividade, acarretando gastos e eventuais perdas durante tais processos (SHKRABETS; BERDNYK, 2016).

A capacidade de renovação é aquela que garante que uma fonte seja considerada uma energia renovável ou não renovável; assim, uma fonte de energia renovável é aquela que possui recursos virtualmente inesgotáveis, sendo reabastecidos naturalmente em uma taxa superior à velocidade de consumo da humanidade (IEA, 2020). As tecnologias que utilizam como matéria-prima fontes renováveis de energia, além de apresentarem vantagens ambientais, também apresentam fácil construção e são economicamente rentáveis para localidades de difícil acesso (PAO; FU, 2013). Já as fontes de energias não renováveis vêm de recursos que se formaram há milhares de anos e sua capacidade de reposição é extremamente lenta por processos naturais. Apesar de possuírem elevado rendimento energético, sua queima libera gases prejudiciais ao meio ambiente e devido à sua natureza limitada, estima-se que as reservas suportem o ritmo de consumo atual por cerca de 50 anos (AYDIN, 2019).

Para análise prévia das principais vantagens e desvantagens de uso foram tomadas como exemplo as principais fontes energéticas empregadas no ano de 2019 e que podem ser observadas na Figura 1.

O carvão mineral corresponde a cerca de 27% da matriz energética mundial. É uma fonte energética não renovável primária de origem fóssil, formada a partir da decomposição de árvores e plantas ao longo de milhões de anos. É a principal fonte energética utilizada na China, sendo ela responsável por cerca de 56% do consumo mundial de carvão. Devido às propriedades adversas do uso do carvão, medidas estão sendo tomadas para redução da queima de tal produto uma vez que este apresenta em sua composição enxofre que, quando queimado, libera SO₂, responsável pela chuva ácida entre outros problemas ambientais e que comprometem a saúde humana (WANG; LI, 2016).

O petróleo é uma fonte fóssil não renovável, é uma mistura líquida oleosa de cor variando entre o castanho claro e o negro. Apresenta em sua composição centenas de compostos químicos, em sua maioria hidrocarbonetos, que podem ser separados conforme o seu ponto de ebulição, mas, também, apresenta outros elementos como compostos sulfurados, nitrogenados, além de outros metais (THOMAS, 2001). A produção do petróleo se dá pela ação da decomposição da matéria orgânica em rochas sedimentares a temperaturas em torno de 165°C. Além de ser usado como fonte de energia é matéria-prima para inúmeros produtos como o plástico, tecidos e produtos asfálticos. Dados recentes mostram uma queda em sua utilização durante o ano de 2019 (IEA, 2020).

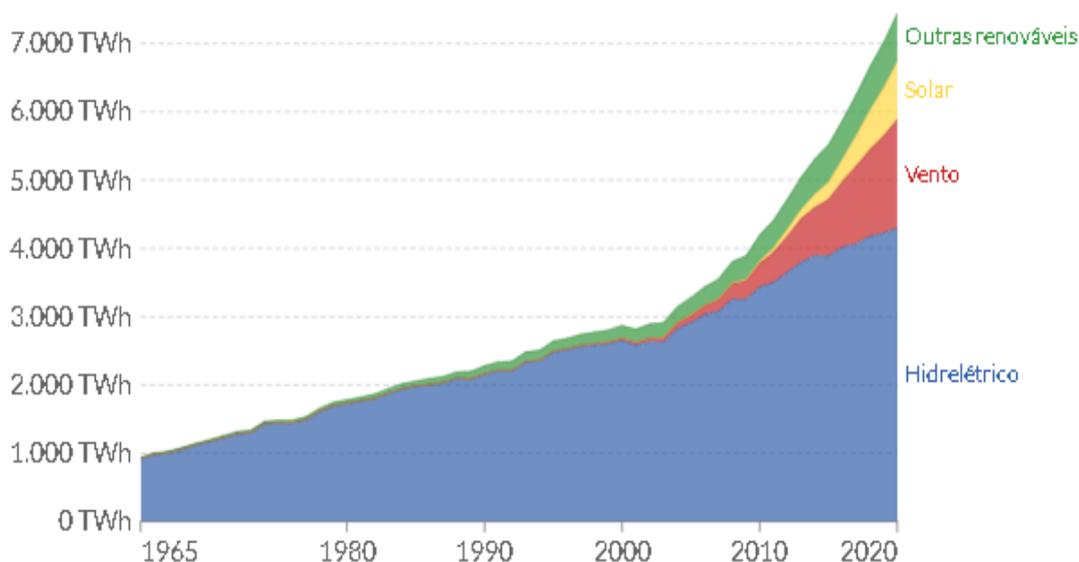
O gás natural também é um recurso não renovável, de origem fóssil, que pode ser encontrado tanto em reservatórios continentais (*onshore*) quanto no oceano (*offshore*), associado ou não associado ao petróleo (SANTOS *et al.*, 2007). É formado por uma mistura de hidrocarbonetos de cadeia curta como metano, que compõe aproximadamente 70% da mistura, etano, propano e butano. Comparado aos demais ao carvão mineral e ao petróleo é relativamente o menos poluente com devido às baixas emissões de enxofre e gás carbônico durante sua queima, fatores que contribuem para o crescimento de seu uso, que atualmente corresponde a cerca de 23% da demanda mundial de energia (IEA, 2020).

A energia nuclear é produzida em usinas nucleares que aproveitam do calor liberado pela fissão nuclear de elementos como o urânio e responde pelo fornecimento de cerca de 5% da matriz energética mundial (IEA, 2020). É uma fonte não renovável, considerada limpa por apresentar emissões de gases causadores do efeito estufa praticamente nulas, porém envolve riscos quanto ao descarte de seus resíduos radioativos (GRAPE *et al.*, 2014).

A energia gerada pelos recursos hídricos é atualmente a principal fonte renovável atuante no mundo, como demonstra a Figura 3. É uma fonte que apresenta baixa emissão de gases causadores do efeito estufa durante sua operação de longa vida útil e custos operacionais relativamente baixos (LIU *et al.*, 2013). Vem apresentando um crescimento baixo em relação às demais fontes renováveis, com crescimento médio nos últimos 10 anos inferior a 3% frente ao um crescimento médio de 13,4% ao ano das demais fontes (BP, 2021). Este menor crescimento pode estar relacionado aos efeitos ambientais negativos ocasionados pela construção de barragens, como a inundação de áreas produtivas, interferência no processo migratório de peixes e diminuição da qualidade da água (ASCHER, 2021; FLETCHER, 2010).

A energia eólica, proveniente da ação dos ventos formados quando a radiação solar atinge a superfície terrestre criando diferenças de pressão e temperatura, e levando à movimentação das massas de ar, é uma fonte primária renovável e de baixo custo (TRABER; KEMFERT, 2011). Em 2020, apresentou um aumento em sua adesão de 8% em relação a 2019 (IEA, 2020). Tal fonte de energia possui como pontos negativos a necessidade de uma grande área para instalação e o fato de ser dependente da irregularidade da ação dos ventos (SHOAIB *et al.*, 2019).

Figura 3 – Evolução da geração de Energia Renovável 1965-2020.



Fonte: BP (2021).

O aproveitamento da energia solar pode ocorrer por duas formas: a forma indireta, quando a radiação solar é utilizada para aquecer ou para produzir vapor que movimenta as turbinas de geradores, e a forma direta, que utiliza painéis fotovoltaicos nos quais os

fótons coletados provocam o deslocamento de elétrons e, conseqüentemente, geram corrente elétrica (REIS *et al.*, 2012). É uma fonte renovável e limpa, que devido à redução nos preços das tecnologias necessárias para implantação, apresenta um cenário de ascensão mundial com crescimento médio de 15% ao ano até 2030, impulsionado principalmente por países desenvolvidos (IEA, 2020). O interesse de países subdesenvolvidos e emergentes por tal tecnologia também é crescente. O Brasil, por exemplo, apresentou um recorde na aquisição de instalações, com aumento de 212% entre os anos de 2018 e 2019 (ABSOLAR, 2020).

Bioenergia é o nome dado a energia renovável originada a partir da biomassa que pode ser de matéria vegetal ou animal como lenha, bagaço de cana-de-açúcar, esterco, entre outros (GOLDEMBERG, 2009). No ano de 2020, a bioenergia representou cerca de 10% da matriz energética mundial, apresentando um crescimento de 6% em relação ao ano anterior (IEA,2020). Dentre as fontes de bioenergia, estão presentes os biocombustíveis, subgrupo que se apresenta como alternativa para substituição dos combustíveis fósseis, visto que emitem menor quantidade de CO₂ e demais gases nocivos ao ambiente. Entre os principais biocombustíveis podemos citar o etanol, o bioetanol, o biogás e o biodiesel (LEITE; LEAL, 2007).

5. Biodiesel

Entre os combustíveis constituídos de hidrocarbonetos estão presentes o óleo diesel e o biodiesel, que apesar da semelhança na nomenclatura, apresentam diferenças quanto às suas características e forma de obtenção, uma vez que o primeiro é um derivado do petróleo enquanto o segundo é uma fonte renovável de energia (APROBIO, 2018).

O óleo diesel é um dos combustíveis derivados do petróleo tal como a gasolina, querosene e gás liquefeito de petróleo (GLP). É composto em sua maioria por hidrocarbonetos parafínicos, olefínicos e aromáticos, que possuem cadeias carbônicas compostas por 8 a 16 carbonos, além de apresentar também outros compostos como enxofre, nitrogênio e oxigênio (PETROBRAS, 2018).

Para obtenção do diesel, o petróleo depois de extraído é levado para refinarias onde passa por tratamentos para retirada de impurezas, seguido pelo aquecimento em caldeira até que ocorra sua vaporização. Os componentes do petróleo vaporizados sobem pela torre de destilação e, ao atingir uma bandeja com temperatura menor que seu ponto de ebulição, se liquefazem, sendo coletados separadamente. Este procedimento encontra-

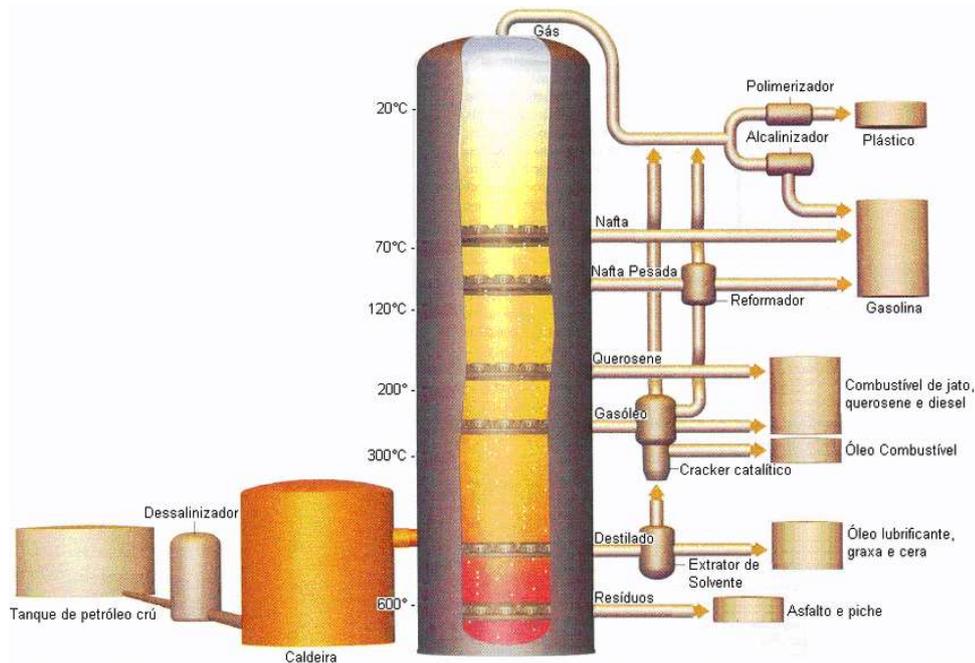
se ilustrado na Figura 4. No caso do diesel, isso ocorre em torno de 220 a 350°C, sendo este o principal combustível obtido por barril de petróleo bruto, representando cerca de um terço da totalidade (FERREIRA *et al.*, 2008; PETROBRÁS, 2018).

A demanda pelo diesel está principalmente relacionada com o setor de transportes de cargas e de passageiros, nas máquinas agrícolas e locomotivas, devido à sua alta eficiência e flexibilidade, obtendo uma maior rentabilidade em relação aos outros combustíveis empregados nos motores automobilísticos destinados a trabalhos que exijam força ou tração (FERREIRA *et al.*, 2008). Entretanto, dentre os derivados de petróleo, o diesel é o que apresenta maior potencial poluente devido às suas longas cadeias carbônicas e maior presença de contaminantes, apresentando uma emissão de componentes nocivos 6,7 vezes maior que a emitida pela gasolina, o que demonstra a necessidade por novas fontes para substituição desse combustível (GENTNER *et al.*, 2012).

Entre as possíveis alternativas para a substituição do óleo diesel, o biodiesel é uma das fontes que se destaca, por possuir propriedades semelhantes, o que lhe garante aplicabilidade em setores dominados pelo diesel. Além de ser um biocombustível renovável e uma fonte mais limpa que o diesel, o biodiesel apresenta boa eficiência em motores de combustão interna com ignição por compressão e na geração de outros tipos de energia, podendo substituir parcial ou totalmente o diesel (FERRARI *et al.*, 2005; SEBRAE, 2013).

O biodiesel é um mono-alquil éster de ácidos graxos derivado de fontes renováveis como óleo vegetal ou gordura animal, podendo ser também produzido a partir de algas. Tal biocombustível pode ser obtido através de processos como o craqueamento, a esterificação ou a transesterificação, sendo esta última a rota mais comumente empregada (FERRARI *et al.*, 2005).

Figura 4 – Composição de uma coluna de destilação de petróleo.

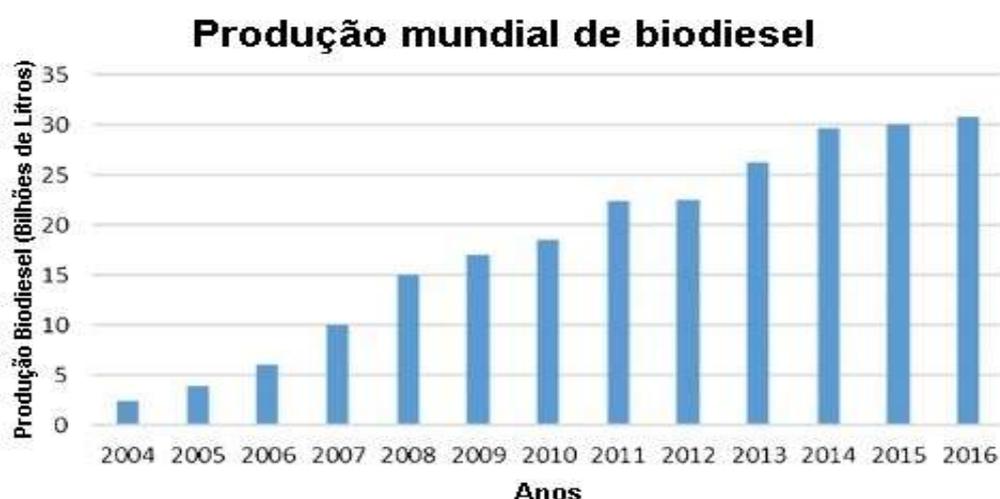


Fonte: Godoi (2016).

A tecnologia para produção de biodiesel não é nova, sendo o primeiro relato de uso associado ao inventor dos motores a diesel, o engenheiro franco-alemão Rudolf Diesel que, durante a Exposição Universal de Paris em 1900, apresentou um protótipo de motor que utilizava óleo de amendoim como combustível, mas que apresentava alguns problemas. A solução para tais problemas foi descoberta em 1937 com a aplicação da transesterificação de óleos vegetais, que resultaram em desempenho semelhante ao do diesel. Entretanto, devido à facilidade de obtenção do petróleo e, conseqüentemente, do diesel na época, somado ao valor relativamente caro para se obter o biodiesel, o potencial e produção desse biocombustível ficou dormente, até por volta de 1973 com a crise do petróleo (KNOTHE *et al.*, 2006).

Com o avanço da crise do petróleo, muitos países começaram a elaborar planos e a incentivar a utilização do biodiesel, o que levou à melhora das tecnologias empregadas e à diminuição do preço para obtenção do biodiesel. Isso fez com que a produção de biodiesel se elevasse no mundo inteiro, como demonstrado na Figura 5. Entretanto, após o ano de 2013, o setor se estagnou. No ano de 2020, como reflexo da pandemia de COVID-19, o crescimento foi inferior a 1%, com a produção passando de 46,5 bilhões de litros em 2019 para 46,8 bilhões de litros em 2020, sendo os principais responsáveis por esse aumento, Indonésia, Estados Unidos e Brasil (REN21, 2021).

Figura 5 – Evolução da produção mundial de biodiesel 2004-2016.



Fonte: Jain *et al.* (2012).

No Brasil, o crescimento da utilização do biodiesel ocorreu principalmente por conta da ampliação do Programa Nacional de Produção e Uso de Biodiesel (PNPB). O PNPB, elaborado em 2005, tem como objetivos a implantação do biodiesel de forma sustentável e economicamente viável, de forma a incluir a produção agrícola, gerando assim emprego e renda para a população. Conforme apresentado no Quadro 1, o PNPB visa a adoção de diferentes tipos de oleaginosas para a produção de biodiesel, levando em consideração o potencial de cada cultura na região. O plano consiste na adição obrigatória e gradativa do percentual de mistura do biodiesel ao diesel, como apresentado no Quadro 2, com o objetivo de que o percentual alcance 15% até o ano de 2023 como estabelecido pela Resolução CNPE nº 16, de 29 de outubro de 2018 (MAPA, 2019).

Quadro 1 – Principais atrativos regionais para produção de biodiesel. (Continua)

Regiões	Principais Motivações	Matérias-Primas
Amazônia	Pequenas produções localizadas em ilhas energéticas. Grandes produções nos dendezaís	Óleos de palmeiras nativas, plantio de dendê em áreas de reflorestamento
Pré-Amazônia	Exploração dos babaçuais, através do aproveitamento integral do coco, para fins químicos e energéticos. Geração de renda através de lavouras associadas aos babaçuais (exemplos: amendoim, girassol)	Óleo de Babaçu, Óleo de Amendoim, e outros provenientes de culturas consorciadas
Semiárido Nordestino	Geração de ocupação e renda. Erradicação da Miséria	Lavouras familiares de plantas oleaginosas xerófilas. Ricinocultura.(mamona)

Quadro 1 – Principais atrativos regionais para produção de biodiesel. (Conclusão)

Regiões	Principais Motivações	Matérias-Primas
Cone Sul, Centro Sul e Centro Oeste	Melhorias das emissões veiculares nos grandes centros urbanos. Regulação nos preços do óleo de soja ora em declínio	Soja e outras possíveis culturas temporárias.
Em todas as Regiões	Melhor aproveitamento de certos desperdícios.	Óleos residuais de frituras e de resíduos industriais (sebo, borras e outros), matérias graxas extraídas de esgotos industriais e municipais

Fonte: Parente (2003)

Estímulos para o emprego de diferentes dessas matérias-primas em território nacional são concedidos através de selos e certificados regulamentados pelo governo federal como o Certificado da Produção Eficiente de Biocombustíveis, que possibilita o produtor autorizado pela ANP solicitar o lastro de crédito de descarbonização (ANP, 2020). Já o Selo Biocombustível Social, instituído pelo decreto N° 5.297, de 6 de dezembro de 2004 e suas posteriores alterações, concede aos produtores de biodiesel benefícios como diferenciação nos tributos PIS/PASEP e COFINS, melhores condições de financiamento e participação nos leilões nacionais de biodiesel, sendo requerido a eles a compra de um percentual mínimo de matéria-prima que varia de região para região e assegurar preços, capacitação e assistência técnica gratuita aos agricultores familiares contratados, contribuindo para o desenvolvimento da região e melhoria econômica dos pequenos produtores rurais (MAPA, 2019).

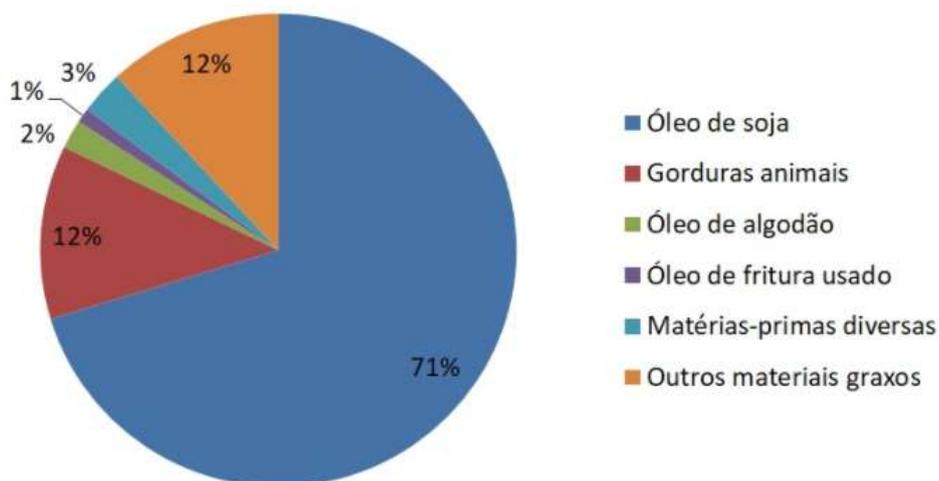
Quadro 2 – Teor de biodiesel presente em diesel.

ANO	% Biodiesel presente no diesel
Até 2007	Facultativo até 2%
Jan/2008	2%
Jul/2008	3%
Jul/2009	4%
Jan/2010	5%
Ago/2014	6%
Nov/2014	7%
Mar/2017	8%
Mar/2018	10%
Mar/2019	11%
Mar/2020	12%
Mar/2021	13%
Mar/2021	14%
Mar/2021	15%

Fonte: MAPA (2019)

Apesar da grande variedade de matérias-primas utilizadas para produção do biodiesel, a soja se consolidou como o principal meio para obtenção desse combustível, como demonstra a Figura 6, sendo responsável por mais de 71% da produção, seguida pela gordura bovina e materiais graxos (EPE, 2021). Essa maior utilização ocorre devido à soja ter utilidade não apenas no setor de combustíveis, mas também no de alimentos, sendo utilizada para a produção de óleo, como farelo para alimentação animal, entre outros; com grandes investimentos em pesquisa para seu melhoramento (EMBRAPA, 2020).

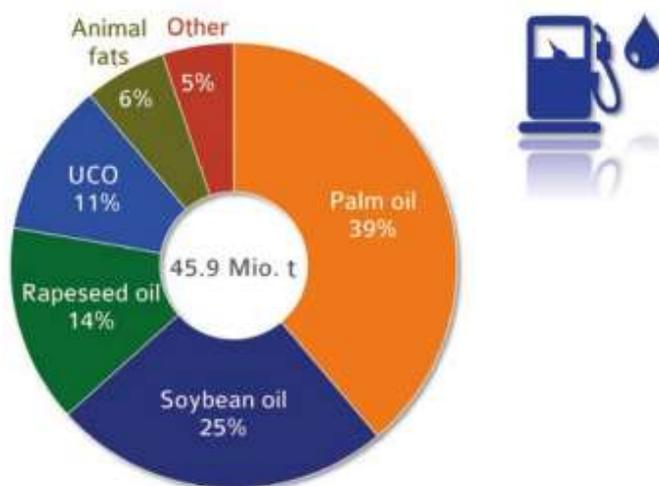
Figura 6 – Matéria-prima para produção brasileira de biodiesel em 2020.



Fonte: ABIOVE (2021).

A Figura 7 apresenta o contexto mundial em relação ao uso de matérias-primas para a produção de biodiesel, em que se destaca a utilização do óleo de palma, com 39% da produção mundial, seguido pelo óleo de soja, que corresponde a 25%, e pelo óleo de canola com 14% (UFOP, 2021). As vantagens que levam o óleo de palma a ocupar a primeira posição são seu preço atrativo e a elevada capacidade de extração de seu óleo por hectare plantado se comparado a outras oleaginosas. Parte significativa da produção de óleo de palma é proveniente do sudeste asiático, com Malásia e Indonésia sendo responsáveis por 85% da produção mundial (ABRAPALMA, 2015). A palma se destaca pela sua produtividade frente as outras oleaginosas, em que um único hectare é capaz de produzir em média 6 toneladas de óleo, enquanto outras matérias-primas como a soja possuem produção estimada por de 600kg de óleo por hectare (EMBRAPA, 2021).

Figura 7 – Matérias-Primas para produção mundial de biodiesel em 2019.



Fonte: UFOP (2021).

Apesar das vantagens relacionadas à diminuição da emissão dos gases do efeito estufa, o biodiesel apresenta ressalvas quanto à sua produção. Como as principais matérias-primas para a produção de biodiesel competem com a produção de alimentos e rações animais, o seu uso na produção de biocombustíveis é associado como uma das possíveis causas para a crise global dos alimentos de 2008 (KOIZUMI, 2015; FILIP *et al.*, 2019). Em adição, problemas relacionados ao desmatamento de florestas para plantio de cultivares voltadas para a produção e exportação de óleos vegetais têm feito com que alguns países elaborem restrições a determinadas oleaginosas, como as impostas pela União Europeia à utilização do óleo de palma na produção de biocombustíveis (BIODIESELBR, 2019).

6. Rotas para produção do biodiesel

O processo de produção do biodiesel através da matéria, seja ela de origem animal ou vegetal, pode ocorrer por esterificação ou transesterificação, sendo este o processo mais comumente utilizado por apresentar maior eficácia na conversão dos triglicerídeos em ésteres, em menores tempos de reação (ENCARNAÇÃO, 2008; DELATORRE *et al.*, 2011).

O processo de obtenção do biodiesel através da esterificação advém da reação entre um ácido graxo livre e um álcool de cadeia curta, na presença de um catalisador ácido (ARANDA *et al.*, 2009). Essa reação é reversível e ocorre conforme apresentada na Figura 8, onde a reação de esterificação resulta na formação de água e éster (biodiesel); já a reação inversa é denominada hidrólise do éster.

Figura 8 – Reação de esterificação e hidrólise.

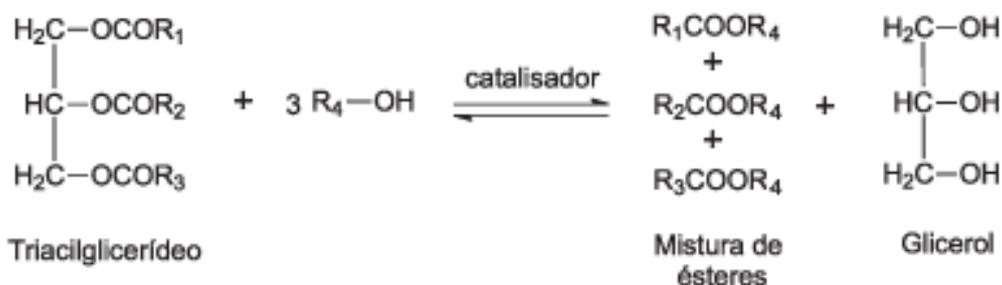


Fonte: Suarez *et al.* (2009).

A reação de esterificação atinge o equilíbrio muito rapidamente na presença de ácidos fortes. Em adição, o equilíbrio dessa reação pode ser deslocado para a direita favorecendo a formação do éster pelo uso de um dos reagentes em excesso, bem como pelo uso de reagentes puros (ausência de água) e pela remoção de água da mistura reacional (OLIVEIRA *et al.*, 2010). Entretanto, a reação de esterificação via catálise ácida homogênea apresenta como inconvenientes a dificuldade de separação do catalisador e o aumento da corrosão dos equipamentos.

A reação de transesterificação é a rota mais utilizada para produção do biodiesel, sendo a transesterificação alcalina amplamente utilizada na indústria por empregar menores temperaturas e apresentar menor tempo de reação (LAGE *et al.*, 2019). Essa técnica foi empregada e patenteada em 1937 pelo cientista George Chavanne para transformação de óleos vegetais e posterior uso como combustível. Ela ocorre entre os triglicerídeos presentes na matéria-prima e álcoois de cadeia curta como o metanol e o etanol, e produzem ésteres de metila ou ésteres etílicos de ácidos graxos e glicerol. Nesta reação, o uso do catalisador é importante para aumentar a eficiência da reação, sendo que este catalisador pode ser tanto ácido quanto alcalino (LOURENÇO *et al.*, 2021). A equação geral da reação de transesterificação é a representada pela Figura 9.

Figura 9 – Transesterificação de triglicerídeos.



Fonte: Geris *et al.* (2007).

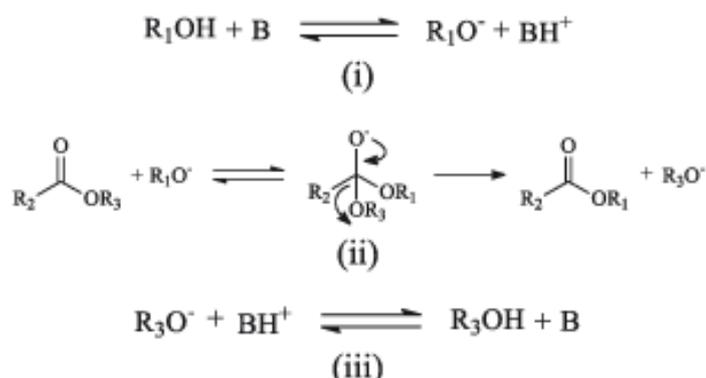
Ao se utilizar catalisadores ácidos como HCl, H₂SO₄ e HSO₃-R, os resultados apresentam rendimentos elevados em ésteres, mas as reações são lentas e necessitam de temperaturas acima de 100°C, sendo que o tipo de álcool e sua quantidade podem influenciar no rendimento. Como a reação é reversível, a utilização de álcool em excesso proporciona uma maior conversão em ésteres, mas também dificulta a retirada do glicerol (SCHUCHARDT, *et al.* 1998).

Os catalisadores básicos são os mais utilizados na indústria, que geralmente emprega hidróxidos metálicos alcalinos, como KOH e NaOH. A reação catalisada por bases ocorre mais rapidamente que a reação que emprega catalisadores ácidos, além de apresentar menor risco de corrosão de equipamentos (LOURENÇO *et al.*, 2021).

O mecanismo da reação de transesterificação alcalina de um triglicerídeo ocorre em três etapas como apresentado na Figura 10. Inicialmente ocorre a reação do álcool com a base (B) produzindo o alcóxido e uma outra espécie, no caso a água quando bases fortes são empregadas. Em seguida, as carbonilas do triglicerídeo sofrem gradualmente ataque nucleofílico do alcóxido e, com isso, são formados intermediários tetraédricos. Por fim, ocorre a formação de um éster e outro alcóxido, e após a desprotonação do ácido conjugado da base, esta é recuperada (SCHUCHARDT *et al.*, 1998).

Entretanto a principal desvantagem da utilização desse método está relacionada com a matéria-prima empregada no processo, sendo ela responsável por mais de 50% do custo final da produção (SANTOS *et al.*, 2019). Matérias-primas com presença de água e alto índice de ácidos graxos livres favorecem a saponificação do éster produzindo sabonetes e água. A saponificação além de consumir o catalisador provoca a formação de emulsões entre o biodiesel e o glicerol que prejudicam a separação e a conversão do biodiesel (MOSER, 2009).

Figura 10 – Mecanismo de transesterificação básica.



Fonte: Suarez *et al.* (2007).

O álcool é empregado em excesso em uma proporção molar de 1:6, sendo utilizados álcoois de cadeias curtas, especialmente metanol e etanol, devido às vantagens na separação das fases (RAQEED; BHARGAVI, 2015). O metanol é o mais utilizado na maioria dos países devido ao seu preço, menor tempo de reação e por apresentar facilidade quanto à separação das fases. Já o etanol apresenta menor toxicidade e menor risco de provocar incêndios que o metanol, além de maior quantidade de cetanos, possibilidade de obtenção de um combustível mais *eco-friendly* e totalmente independente do petróleo, sendo uma alternativa viável para países que possuem uma produção de etanol consolidada (RAVELO; RODRIGUEZ, 2018).

7. Produção de biodiesel através de óleo residual de fritura

A produção de biodiesel através de óleos residuais de fritura ainda é baixa. Como mostrado na Figura 6, de toda a matéria-prima utilizada para a produção de biodiesel no ano de 2020, apenas 1,2% da totalidade corresponde aos óleos residuais. Em contrapartida, somente no Brasil, o consumo de óleos vegetais é de cerca de três bilhões de litros ao ano e estima-se que, de cada quatro litros consumidos, um seja descartado incorretamente, o que representa mais de 700 milhões de litros ao ano descartados incorretamente no meio ambiente (AESBE, 2020).

Muitas residências e estabelecimentos comerciais descartam o óleo de fritura de forma incorreta na rede de esgoto, o que pode danificar o sistema de esgoto com entupimentos e provocar um aumento de cerca de 45% para o tratamento de uma mesma quantidade de efluentes, pela necessidade de empregar tratamentos adicionais para desobstrução da tubulação e remoção do óleo (LOPES; BALDIN, 2009). Quando descartado no solo junto ao lixo doméstico, possui capacidade de impermeabilizá-lo e torná-lo impróprio para uso, aumentando o risco de enchentes, além de se infiltrar e contaminar o lençol freático (MIGUEL, FRANCO, 2014). Devido à característica apolar dos óleos, cada um litro de óleo de cozinha descartado incorretamente pode contaminar mais de 20 mil litros de água potável (UBRABIO, 2019). Assim, ao atingir a superfície de rios, lagos e mananciais, os óleos provocam a diminuição das trocas gasosas, reduzindo o oxigênio dissolvido na água e elevando a demanda bioquímica de oxigênio (DBO), o que afeta grandemente a vida aquática da região (REQUE; KUNKEL, 2010).

Em muitos países ainda não há uma legislação específica para o descarte de óleos residuais. No Brasil, existem Projetos de Lei em trânsito a respeito do descarte de óleos como o PL 2074/2007 e o PLS 75/2017, que buscam o recolhimento, reaproveitamento

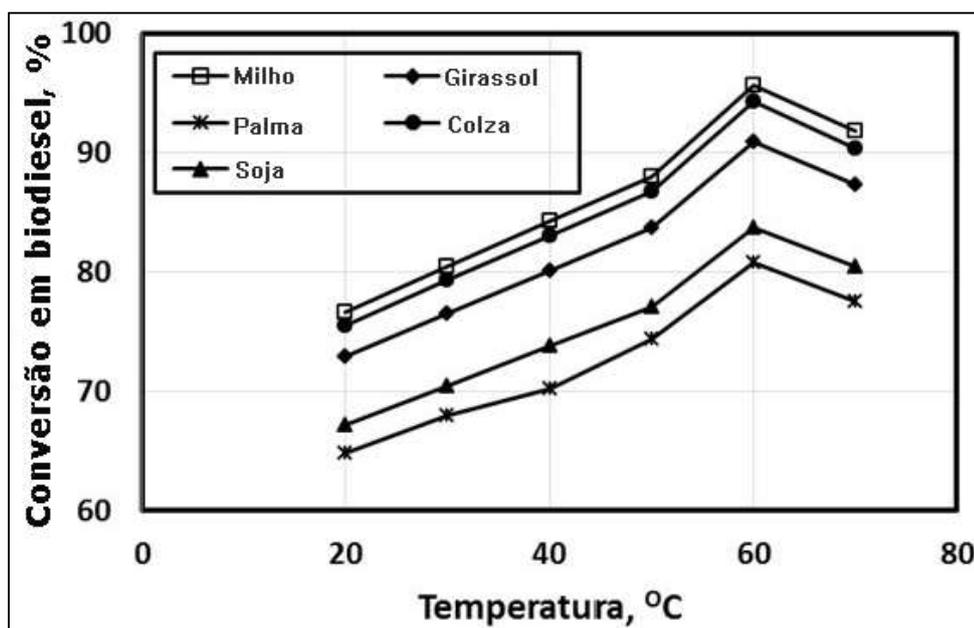
energético e descarte correto pelos fabricantes, sendo que em algumas cidades já existem leis em vigor (ENVOLVERDE, 2018). Há, também, a Resolução CONAMA nº 357/2005 e suas alterações, que dispõe sobre padrões para o lançamento de efluentes para que os corpos de água apresentem níveis de óleo e graxas virtualmente ausentes (REIS, 2013).

Durante o processo de fritura, o óleo é aquecido em contato com o ar em temperaturas superiores a 150°C, durante longos períodos. Este procedimento usado em residências, lanchonetes, restaurantes e indústrias para a produção de alimentos faz com que o óleo sofra degradação por reações tanto hidrolíticas quanto oxidativas. As reações hidrolíticas são responsáveis pela formação de ácidos graxos livres e as oxidativas formam moléculas complexas e compostos voláteis (FREIRE *et al.*, 2013). As mudanças provocadas pelas reações são tanto físico-químicas como organolépticas, e levam a mudanças na cor, aumento da viscosidade, aumento na formação de espuma, odor desagradável, mudanças na tensão superficial, entre outras (COSTA NETO *et al.*, 2000).

Devido às impurezas geradas no óleo de cozinha durante a fritura, a utilização deste como matéria-prima pode envolver um pré-tratamento, independente da rota escolhida para reaproveitamento em biodiesel. Os tratamentos empregados envolvem o aquecimento do óleo em torno de 60°C e a sua filtração (CHRISTOFF, 2006; GERIS *et al.*, 2007). Tais tratamentos contribuem para a melhora do desempenho da reação e qualidade do biodiesel gerado, mas elevam o custo final de produção (COSTA *et al.*, 2020).

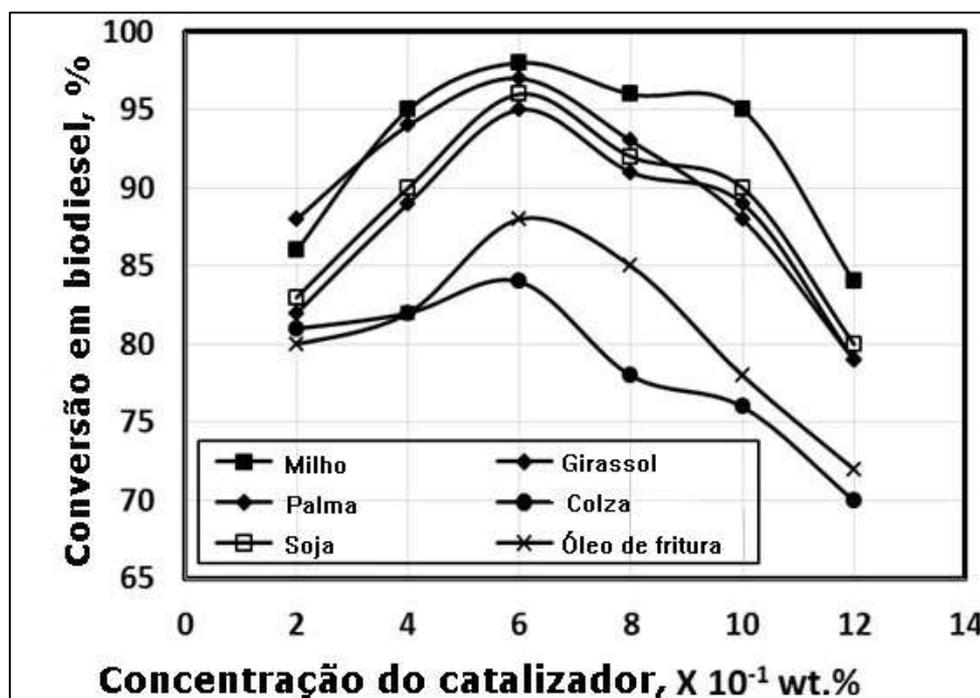
Dentre os álcoois de cadeia curta (metanol, etanol, 1-propanol, 2-propanol e butanol) empregados para realização da transesterificação alcalina com KOH, o primeiro apresenta uma conversão em torno de 90%, mesmo sem realização do pré-tratamento (NYE *et al.*, 1983). O rendimento para o metanol é influenciado pela temperatura e concentração do catalisador; já o rendimento da reação utilizando etanol é influenciado pelo tempo, o que revela que cada reação sofre influência de acordo com a natureza do álcool utilizado (LOPES *et al.*, 2020). A influência da temperatura no rendimento em biodiesel com o uso de diferentes matérias-primas e metanol está representada na Figura 11, enquanto a influência da concentração do catalisador é apresentada na Figura 12.

Figura 11 – Influência da temperatura no rendimento do biodiesel por transesterificação metanólica.



Fonte: Abo-Dief *et al.* (2018).

Figura 12 – Influência da concentração do catalizador no rendimento em peso do biodiesel a 60°C por 60 min.



Fonte: Abo-Dief *et al.* (2018).

A Figura 11 revela que o aumento da temperatura para diferentes matérias-primas provoca uma elevação na conversão alcançada até um valor próximo a 60°C. A elevação da temperatura acima de tal valor afeta negativamente a obtenção de biodiesel. Já os dados apresentados na Figura 12 permitem concluir que, mesmo possuindo comportamentos

diversos, as matérias-primas utilizadas possuem rendimentos ótimos quando a concentração do catalisador é de aproximadamente 0,6 g KOH/g. Em ambos os casos, a elevação da temperatura e da concentração tendem a aumentar a reação de saponificação, consumindo o catalisador e aumentando a formação de glicerina, o que provoca a redução na eficiência de separação e no rendimento do biodiesel.

Estudos dedicados a avaliar a emissão de gases pelo uso do biodiesel proveniente de óleo de fritura, constituído da mistura de óleo de soja, azeite e canola, em motores podem também ser encontrados na literatura. Uma análise da emissão de gases demonstrou uma diminuição na emissão de hidrocarbonetos, CO_x e compostos sulfúricos quando comparado ao diesel comum. Contudo, a quantidade de compostos nitrogenados possui um aumento significativo em relação ao diesel, causada principalmente pela presença de impurezas (MITTELBACH; TRITTHART, 1988; TEIXEIRA *et al.*, 2012). A Tabela 1 demonstra a caracterização do biodiesel obtido, onde o emprego do biodiesel apresentou uma redução de 10% da emissão de carbono e uma redução em torno de 90% da emissão de compostos com enxofre.

Para diminuição dos compostos nitrogenados e aumento da pureza do biodiesel, a etapa de pré-tratamento faz-se necessária. Nela, o óleo residual de cozinha é filtrado para a retirada de partículas sólidas e a água pode ser removida através do aquecimento da mistura em tanque aberto (RABU *et al.*, 2013). Porém, melhores resultados para a produção do biodiesel ocorrem quando a quantidade de ácidos graxos livres é inferior a 1%. Para isso, pode-se empregar a esterificação para conversão dos ácidos graxos livres e, em seguida, empregar a transesterificação. Tal procedimento promove conversões em ésteres acima de 90% (BANERJEE; CHAKRABORTY, 2009).

Camargo *et al.* (2018) estudaram a eficiência de obtenção de biodiesel etílico de óleo residual de fritura utilizando a esterificação ácida com H₂SO₄, seguida por transesterificação com KOH. Os autores obtiveram como resultado um rendimento de 96,83% quando empregado o H₂SO₄ em concentração de 1,5% por 4 horas. Na sequência, o produto obtido passou pelo processo de transesterificação com KOH em concentração de 1,5% e etanol em razão molar de 13:1. O biodiesel apresentou valores aceitáveis do índice de acidez e viscosidade.

Tabela 1 – Comparativo entre o diesel US-D2 e biodiesel de óleo residual de fritura.

Características	Oleo diesel	Biodiesel
Densidade 15°C (kg/m ³)	0,849	0,888
Ponto inicial de destilação (°C)	189	307
10%	220	319
20%	234	328
50%	263	333
70%	286	335
80%	299	337
90%	317	340
Ponto final de destilação (°C)	349	342
Aromáticos (% v/v)	31,5	nd
Carbono (%)	86,0	77,4
Hidrogênio (%)	13,4	12,0
Oxigênio (%)	0,0	11,2
Enxofre (%)	0,3	0,03
Índice de cetano	46,1	44,6
Número de cetano	46,2	50,8
Valor calórico (MJ/kg)	42,30	37,50

Fonte: Costa Neto *et al.* (2000).

Com a finalidade de verificar se o biodiesel produzido pela metanólise do óleo residual de fritura atendia a legislação vigente, Costa Neto *et al.* (2000) realizaram uma caracterização do material e os resultados obtidos encontram-se na Tabela 2, em que foram incluídas algumas características do diesel e de uma mistura entre ambos os combustíveis para comparação.

Tabela 2 – Caracterização do biodiesel a base de óleo residual de fritura.

Características	Biodiesel (puro)	Diesel (puro)	Mistura B20	Normas
Viscosidade (cSt, 40°C)	5,14	3,05	3,54	ABNT MB-293
Ponto de fulgor (°C)	151	38	34	ABNT MB-50
Ponto de combustão (°C)	191	45	43	ABNT MB-50
Densidade (g/cm ³)	0,8828	0,8359	0,8449	NBR -7148
Sedimentos	negativo	negativo	negativo	ABNT MB-38
Cloretos e sulfatos	negativo	negativo	negativo	NBR-5779
Umidade (ppm)	1390	58	350	NBR-5755

Fonte: Costa Neto *et al.* (2000).

Os dados presentes na Tabela 2 demonstram que o biodiesel (puro) apresenta características diferentes das obtidas para o diesel (puro). Tais diferenças podem trazer complicações para o motor como, por exemplo, uma maior viscosidade afetaria a atomização do combustível, pois resultaria em maiores gotas de combustível na câmara de combustão, provocando atrasos na resposta de ignição do motor (TEIXEIRA *et al.*, 2013). Entretanto, a mistura contendo 20% de biodiesel no diesel (B20) apresenta uma

boa semelhança com o diesel (puro) sendo possível adicioná-lo sem grandes riscos ao motor (COSTA NETO *et al.*, 2000).

As propriedades da conversão de óleo de soja virgem e do óleo de soja utilizado na fritura de alimentos foi estudada por Primata *et al.* (2013). Os autores analisaram tanto a conversão de cada um dos óleos separadamente, quanto a adição gradual do óleo de fritura no óleo virgem, por meio da esterificação com metanol na presença de catalizador alcalino (NaOH). Como resultado, encontraram que o aumento da concentração do óleo de fritura na mistura diminuiu a conversão em biodiesel, tendo uma diminuição acentuada quando a mistura é composta por mais de 60% do óleo de fritura.

Castellanelli e Cunha (2015) avaliaram a viabilidade econômica de se implantar uma mini usina de fabricação de biodiesel para suprir a demanda por diesel da Universidade Federal de Santa Maria, que girava em torno de 10.000 litros por mês. Os autores estimaram que o investimento inicial para construção, compra de equipamentos, montagem e transporte era de R\$ 176.900,00, com vida útil de 10 anos. Os custos da produção estimada anual, com equipamentos trabalhando 8 horas por dia durante 25 dias no mês, foram divididos em custos variáveis e custos fixos operacionais. Os custos variáveis estão dispostos na Tabela 3, já os custos operacionais fixos são destinados à manutenção da instalação, despesas gerais e preço de mão de obra. Tais valores foram estimados em R\$ 39.507,00 ao ano (CASTELLANELLI; CUNHA, 2015).

Tabela 3 – Custos variáveis para a produção do biodiesel.

Óleo de fritura usado (120.000 litros)	X
Metanol – 24.000 L.	R\$ 156.000 (R\$ 6,50 por litro)
Soda Cáustica –500 KG	R\$ 4.000,00 (R\$ 8,00 por KG.)
Recolha do óleo	R\$ 9.500,00
Material de divulgação e campanhas	R\$ 16.000,00
Energia elétrica	R\$ 8.000,00
Outros	R\$ 4.000,00
Venda de 18.000 L. de glicerina	R\$ (14.400,00) (R\$ 0,80 por litro)
CUSTO VARIÁVEL FINAL	X

Fonte: Castellanelli; Cunha (2015).

O custo da venda da glicerina e o preço do litro do óleo residual de fritura, obtido das residências, indústrias, bares e lanchonetes e constituído por uma mistura de azeite,

óleo de girassol, óleo de soja, óleo de canola, se destacou como uma variável importante para a viabilidade do projeto. Os valores para aquisição do óleo de fritura que tornariam a implantação dessa mini usina viável seriam de até R\$0,80 por apresentarem VPL superior ou igual a zero. Tais valores são atrativos, pois, quando não obtido gratuitamente, o litro de óleo usado é vendido por valores em torno de R\$0,10 a R\$0,15 (CASTELLANELLI; CUNHA, 2015).

Novas formas de produção do biodiesel vêm ganhando espaço, como o emprego da eletrólise no processo de transesterificação alcalina. Por esse processo, um rendimento de 96% pode ser obtido devido ao fato de não ocorrerem reações laterais, pois a reação é concluída em uma única etapa (FEREIDOONI *et al.*, 2021). Estudos recentes têm também investigado a influência da adição de co-solventes no processo. Como exemplo, temos o trabalho de Mohadesi *et al.* (2020), que projetaram um microrreator semi-industrial para avaliar o efeito da adição de co-solventes na transesterificação metílica do óleo residual de fritura. Os autores encontraram que a utilização da acetona em concentrações até 14% (em massa) aumenta a pureza do biodiesel, pois a adição do co-solvente eleva a solubilidade do óleo no álcool, o que resultou em um biodiesel com 97,16% de pureza (MOHADESI *et al.*, 2020). A técnica de hidroesterificação pode também ser empregada. Esta técnica necessita de temperatura acima de 250°C, mas apresenta um rendimento em torno de 98% com vantagens quanto à separação de fases, em que o coproduto formado (glicerol) apresenta-se livre de contaminações, permitindo seu uso em cosméticos, fármacos e, também, na indústria de alimentos (ENCARNAÇÃO, 2008; SANTOS *et al.*, 2019).

8. Produção Científica

A bibliometria é uma ferramenta que utiliza de métodos estatísticos e matemáticos para realização de uma análise quantitativa para mensurar a contribuição de publicações em determinadas áreas do conhecimento. O termo foi cunhado inicialmente por Pritchard (1969) em substituição ao termo bibliografia estatística proposto por Hulme (1922), devido ao uso escasso de tal termo durante o período e para evitar confusões linguísticas (PRITCHARD, 1969).

O estudo bibliométrico é norteado por três leis, sendo elas: a Lei de Bradford, Lei de Lotka e Lei de Zipf. A Lei de Bradford permite medir o grau de atração do periódico, identificando assim os periódicos de melhor qualidade e relevância para um tema em

específico. A Lei de Lotka mede a produtividade do autor, tendo como objetivo observar o impacto que a pesquisa de um autor gera em sua área. Já a Lei de Zipf mensura a frequência das palavras-chaves, permitindo estimar os mais recorrentes de uma área do conhecimento (ARAÚJO, 2006).

O primeiro passo para realização de uma revisão bibliométrica é a determinação da base de dados a ser utilizada. Dentre os principais bancos de dados para consulta, se encontram o *Web of Science* (WoS) mantido pela empresa *Clarivate Analytics*, o *SciVerse Scopus* (*Scopus*) da editora *Elsevier* e o *Google Scholar* (GS) pertencente ao Google (VIEIRA; WAINER, 2013).

A *Web of Science* foi o primeiro grande banco de dados bibliográfico, fundado por Eugene Garfield na década de 60 com o nome de *Institute for Scientific Information* (ISI), sendo renomeado em 1992 quando recebeu seu nome atual. A WoS é um banco de dados multidisciplinar e seletivo, composto por diversos índices especializados, agrupados de acordo com o tipo de conteúdo indexado ou por tema, mantendo-se como principal ferramenta na área até o ano de 2004, quando houve a entrada de concorrentes (NORRIS; OPPENHEIM, 2007).

O *Scopus* é um dos maiores concorrentes em relação à WoS. Foi lançado pela *Elsevier* em novembro de 2004, se tornando o maior banco de dados de resumos e citações da literatura com revisão por pares e reunindo o conteúdo de mais de 5000 editoras. As principais diferenças entre estas duas bases de dados são que o WoS permite uma pesquisa mais profunda de artigos publicados datando de 1900 e coleta principalmente informações sobre as áreas das ciências naturais, técnicas e sociais, presando pela qualidade, enquanto que o *Scopus* cobre materiais mais modernos, diversificados e todo seu conteúdo pode ser pesquisado através de uma única assinatura, equilibrando qualidade com quantidade (SINGH *et al.*, 2021).

Já o *Google Scholar*, lançado pelo Google também em 2004, apresentou uma revolução no meio acadêmico sendo uma base de dados de fácil acesso e gratuita apresentando um conjunto de dados diversificados e de cobertura geral de conteúdo de diferentes disciplinas, documentos, países e idiomas, uma vez que indexa qualquer documento de cunho aparentemente acadêmico (HARZING; VAN DER WAL, 2008).

Um comparativo demonstrando as principais diferenças entre o *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar* pode ser visto no Quadro 3.

Quadro 3 – Comparativo entre *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar*. (Continua)

Características	Scopus	Coleção núcleo da Web of Science	Google Scholar
Número de revistas	21.950 (22.800 se incluir documentos comerciais)	13.100 (20.556 se incluir ESCI)	Desconhecido
Coleções	8 milhões	10,5 milhões	Desconhecido
Foco	Ciências físicas, ciências da saúde, ciências da vida, ciências sociais e humanidades	Ciência, tecnologia, ciências sociais, artes e humanidades	Todas as áreas de assunto
Período coberto	1970-presente	1945-presente; se Century of Science comprou, cobertura de volta a 1900	Desconhecido
Linguagem não inglesa	Sim, mas deve apresentar resumo inglês; 22% dos periódicos não são ingleses	Sim, mas deve apresentar resumo inglês	Artigos publicados em muitas línguas
Publicado fora da América do Norte	16.000	14.420 (20.420 se incluir ESCI)	Desconhecido
Cobertura de campo interdisciplinar	Forte	Fraco	Forte
Atualizado	Diário	Diário	Desconhecido
Desenvolvedor/Produtor	Elsevier	Clarivate Analytics	Google
Análise de citação	Sim	Sim	Não
Registros de marcas	Sim	Sim	Sim, mas requer login
Registros de exportação	Sim – em massa	Sim – em massa	Sim – em massa se você marcar registros que salvam a Minha Biblioteca – em seguida, exportar de dentro da Minha Biblioteca
Relatórios de exportação	Robusto – muitas opções	Exportar para Excel (e texto)	Somente cópia/pasta

Quadro 3 – Comparativo entre *Scopus*, *Web of Science* e *Google Scholar*. (Conclusão)

Características	Scopus	Coleção núcleo da Web of Science	Google Scholar
Serviço de alertas	Sim	Sim	Sim
Perfis de autores	Gerado automaticamente pelo Scopus – edições feitas apenas pela equipe do Scopus	Autor criado como parte do ResearcherID – editado por autores	Autor criado e editado
Pontos fortes	<ul style="list-style-type: none"> • Autores e relatórios de citação visualmente impressionantes • Cobertura disciplinar internacional e especializada • Inclui <i>Altmetrics</i> quando disponível (na página abstrata) • Inclui artigos na imprensa 	<ul style="list-style-type: none"> • Cobertura de volta a 1900 • Unificação do nome da organização • Editor neutro (eles são um provedor de informações, não um editor) 	<ul style="list-style-type: none"> • Inclui todos os tipos de documentos – por exemplo, tutoriais, pôsteres, apresentações • Encontra mais citações na maioria das áreas de assunto • Cobertura de livros via Google Books e publicações <i>online</i> gratuitas. • Cobertura internacional e interdisciplinar
Fraquezas	<ul style="list-style-type: none"> • Erros tipográficos nos registros 	<ul style="list-style-type: none"> • Cobre apenas “periódicos de influência” • Dificuldade em pesquisar formatos incomuns de nomes de autores: hifenizados, nomes compostos, acentos, etc. • Questões de pontuação 	<ul style="list-style-type: none"> • Difícil reduzir as pesquisas de nomes de autores comuns • Poucas opções de classificação • Qualidade de conteúdo questionável <ul style="list-style-type: none"> • Problemas que ingerem corretamente metadados de arquivos PDF • Muitas fontes não revisadas por pares • Tem que criar um Perfil de Citação Acadêmica para criar relatórios

Fonte: Pellack (2019).

Posto isso, foi realizada uma pesquisa nas bases WoS, *Scopus* e GS, para representar o comportamento da evolução da produção científica sobre o processo de produção de biodiesel a partir de óleos residuais do processo de fritura ao longo dos anos. Foram realizadas buscas no campo de pesquisa avançada em ambos os sites com os parâmetros “*Waste Cooking Oil*” e “*biodiesel*” seguindo as normas de concatenação de cada página.

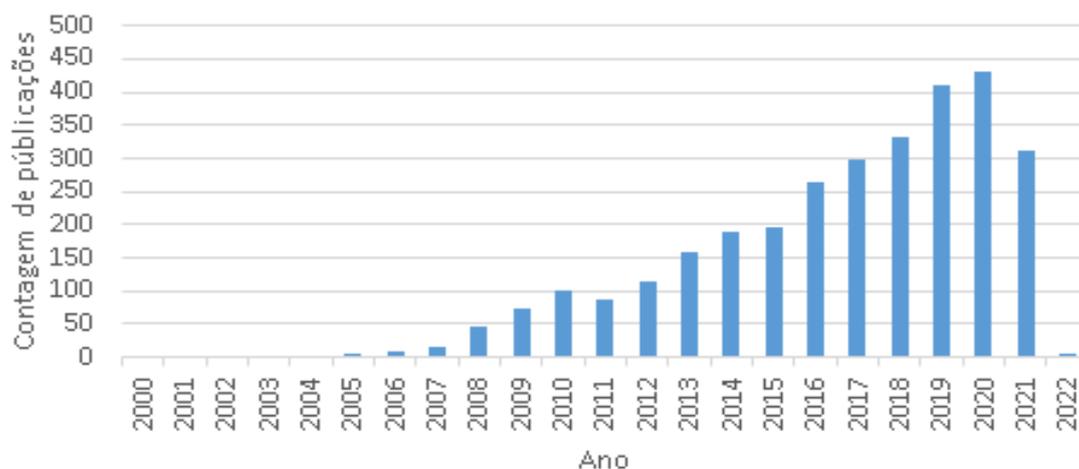
8.1 Web of Science

Pesquisando pelos termos “*Waste Cooking Oil*” e “*biodiesel*” com operador booleano “AND” realizando a pesquisa em todos os campos na *Web of Science* foram encontrados 3055 trabalhos a respeito da produção de biodiesel através do uso de óleo residual de fritura, sendo cerca de 80,2% arquivados como arquivos, correspondendo a 2451 trabalhos. Dentre os demais, 343 são arquivos de revisão, 315 são arquivos de congressos e as demais porções são de resumos, retratações e cartas.

Classificando os resultados encontrados no *Web of Science* quanto ao ano de publicação, do trabalho mais antigo para o mais recente, foi construído um gráfico da evolução dos trabalhos acadêmicos, que se encontra apresentado na Figura 13 em que a primeira entrada é referente ao ano de 2000, com o trabalho *Emission and performance characteristics of a 2 litre Toyota diesel van operating on esterified waste cooking oil and mineral diesel fuel*, desenvolvido por GOMES e colaboradores. Ainda neste gráfico é possível notar uma tendência no aumento de pesquisas nesse assunto, com 430 resultados correspondendo ao ano de 2020. Para o ano corrente, foram encontrados 314 trabalhos e já há, também, arquivos programados para serem publicados no ano de 2022.

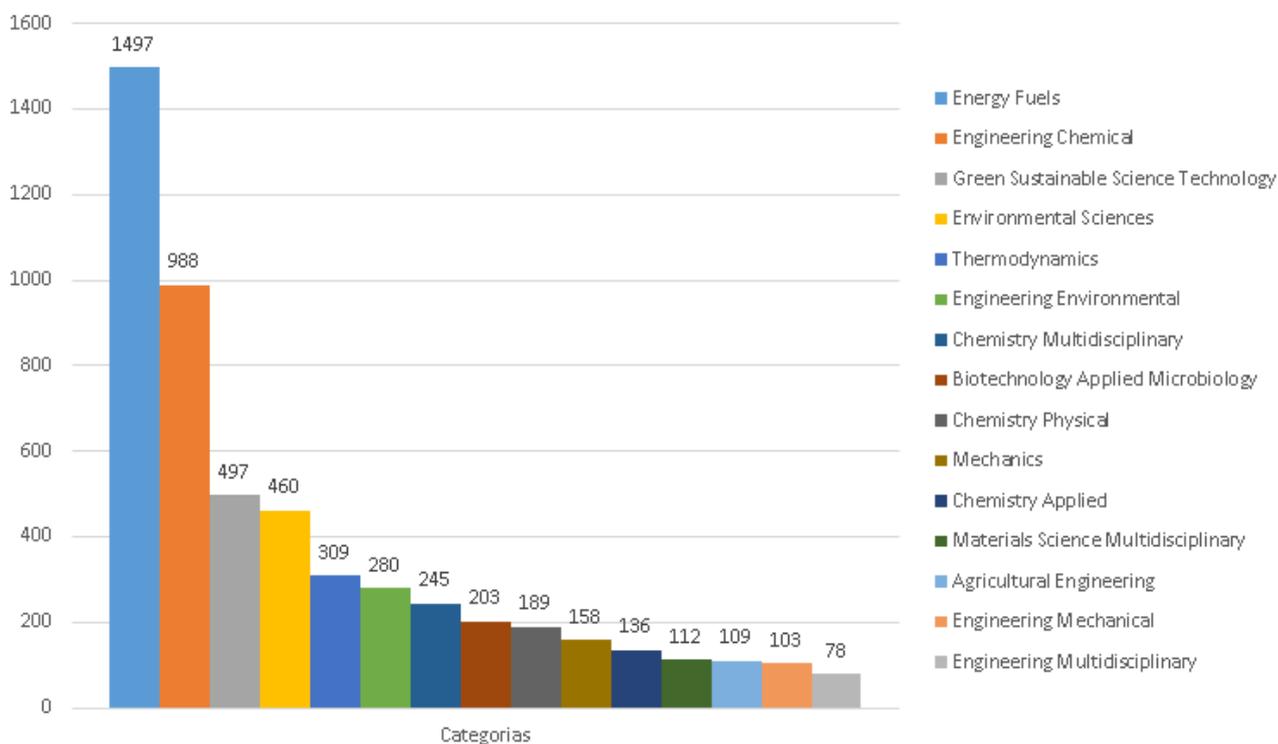
A análise por áreas do conhecimento na base de dados do *Web of Science*, permitiu elaborar o gráfico apresentado na Figura 14, que revela que aproximadamente 50% dos trabalhos que envolvem o uso do óleo residual de cozinha para produção de biodiesel, se enquadram na categoria *Energy Fuels* com 1497 trabalhos, seguido por *Engineering Chemical* com 988 trabalhos, correspondendo a cerca de 33,4% do total, *Green Sustainable Science Technology* e *Environmental Sciences* que contribuem com 497 e 460 trabalhos, respectivamente.

Figura 13 – Evolução da quantidade de trabalhos ao longo dos anos WoS.



Fonte: Web of Science (2021).

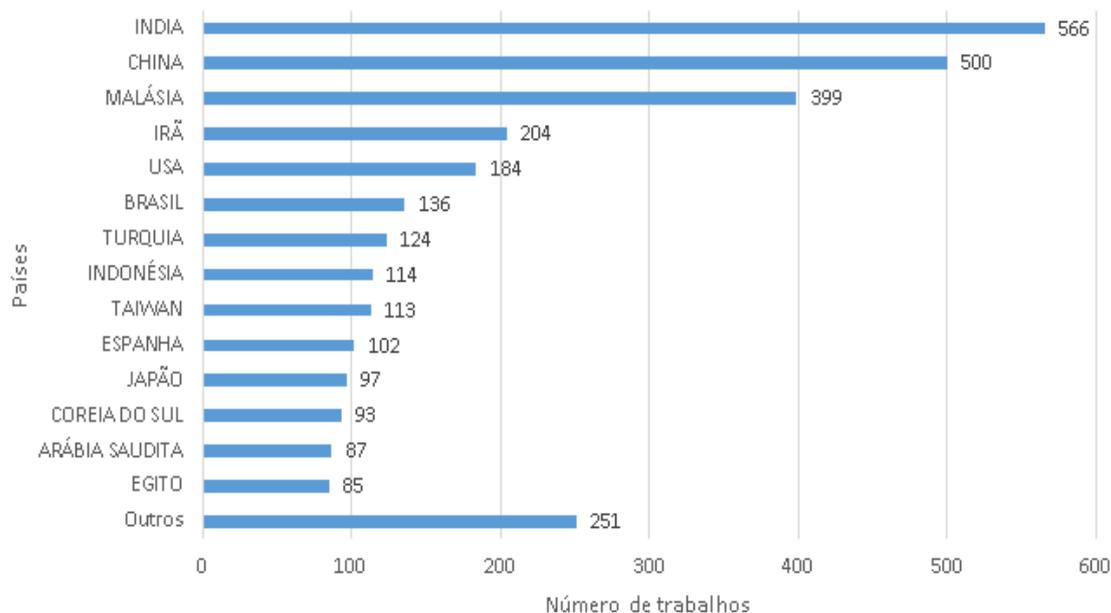
Figura 14 – Número de trabalhos por categoria WoS.



Fonte: Web of Science (2021).

A Figura 15 apresenta a porcentagem de trabalhos que cada país contribuiu para a totalidade de arquivos relacionados ao tema na base WoS. Através dele, é possível notar que parte significativa dos trabalhos advém de países asiáticos, em que a Índia lidera com mais de 567 trabalhos, seguido pela China com 500 trabalhos, Malásia com 399 trabalhos e Irã com 204 trabalhos. O Brasil está bem colocado nesse quesito, ocupando a sexta posição com 136 registros.

Figura 15 – Contribuição de trabalhos por países.



Fonte: Web of Science (2021).

A pesquisa por revistas com publicações sobre o tema no *Web of Science* exibiu 710 entradas, sendo que a grande maioria apresentou ao menos um trabalho relacionado ao tema. As revistas que mais publicaram sobre o tema de biodiesel produzido a partir de óleo residual de cozinha estão dispostas na Tabela 4.

Tabela 4 – Principais revistas sobre o tema e quantidade de publicações.

Revista	Nº Publicações
FUEL	260
RENEWABLE ENERGY	145
ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT	133
RENEWABLE SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	107
ENERGY	83
JOURNAL OF CLEANER PRODUCTION	72
ENERGY SOURCES PART A RECOVERY UTILIZATION AND ENVIRONMENTAL EFFECTS	69
BIORESOURCE TECHNOLOGY	68
FUEL PROCESSING TECHNOLOGY	60
ENERGIES	56
ENERGY FUELS	44
APPLIED ENERGY	36
INDUSTRIAL ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH	36
RSC ADVANCES	33

Fonte: Web of Science (2021).

Por fim, a Tabela 5 apresenta as principais publicações acerca do tema e seus respectivos autores, sendo que o padrão para o estabelecimento do *ranking* fora o número de citações que a obra obteve.

Tabela 5 – Principais obras a respeito do tema no WoS.

Publicação	Autores	Revista	Ano Publicação	N° Citações
Biodiesel from microalgae	CHISTI, Y	BIOTECHNOLOGY ADVANCES	2007	5804
Biodiesel processing and production	VAN GERPEN	FUEL PROCESSING TECHNOLOGY	2005	1360
Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological	ZHANG, Y <i>et al.</i>	BIORESOURCE TECHNOLOGY	2003	1181
Progress and recent trends in biodiesel fuels	DEMIRBA S, A.	ENERGY CONVERSION AND MANAGEMENT	2009	1155
Review of biodiesel composition, properties, and specifications	HOEKMAN, S. <i>et al.</i>	RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	2012	987
Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis	ZHANG, Y. <i>et al.</i>	BIORESOURCE TECHNOLOGY	2003	819
Waste cooking oil-an economical source for biodiesel: A Review	KULKARNI, M.G.; DALAI, A.K.	INDUSTRIAL & ENGINEERING CHEMISTRY RESEARCH	2006	760
Effect of biodiesel on engine performances and emissions	XUE, J. <i>et al.</i>	RENEWABLE & SUSTAINABLE ENERGY REVIEWS	2011	749
Advancements in development and characterization of biodiesel: A Review	SHARMA, Y. C. <i>et al.</i>	FUEL	2008	728
Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A Review	LAM, M. K. <i>et al.</i>	BIOTECHNOLOGY ADVANCES	2010	724

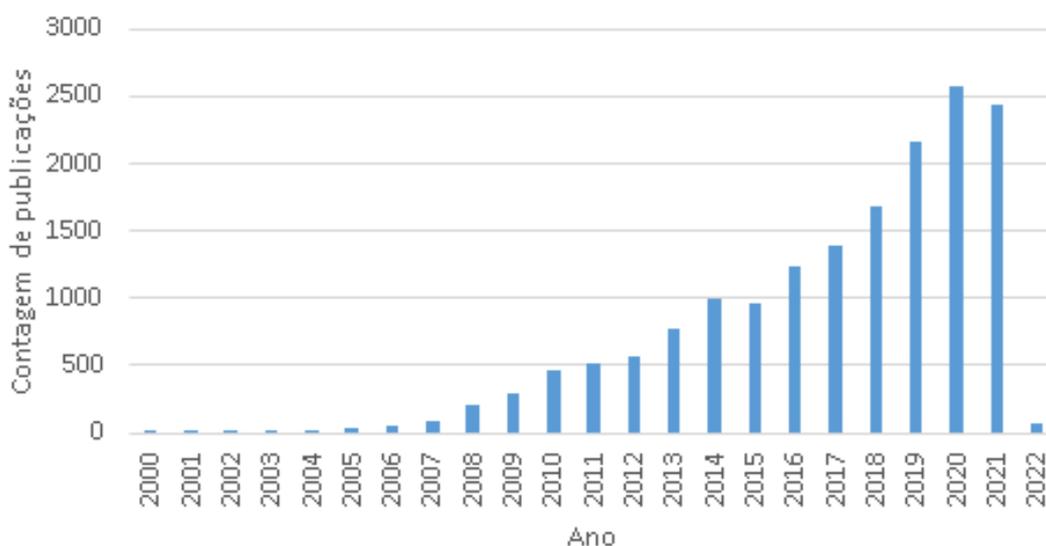
Fonte: Web of Science (2021).

8.2 Scopus

Pesquisando por “*Waste Cooking Oil*” e “*biodiesel*” com operador booleano *AND* para todos os campos no Scopus foram encontrados 16558 trabalhos a respeito da produção de biodiesel através do uso de óleo residual de fritura, um ganho de resultados em torno de 550% superior aos apresentados pelo *Web of Science*. Esse montante é composto por 12712 artigos, 1578 revisões, 1566 documentos de conferência, 557 capítulos de livros e o restante formado por livros, notas e editoriais.

A Figura 16 apresenta os resultados encontrados no *Scopus* quanto ao ano de publicação, classificados em ordem cronológica até o mais recente. Assim como encontrado para o *Web of Science*, a primeira entrada data do ano de 2000, com o trabalho *Emission and performance characteristics of a 2 litre Toyota diesel van operating on esterified waste cooking oil and mineral diesel fuel*, realizado por GOMES e colaboradores. No mesmo gráfico também é possível notar uma tendência no aumento de pesquisas sobre o assunto, sendo que o ano de 2020 apresentou 2577 resultados, número levemente superior aos 2433 já indexados no ano de 2021, e 67 periódicos já estão programados para serem publicados em 2022.

Figura 16 – Evolução da quantidade de trabalhos ao longo dos anos *Scopus*.

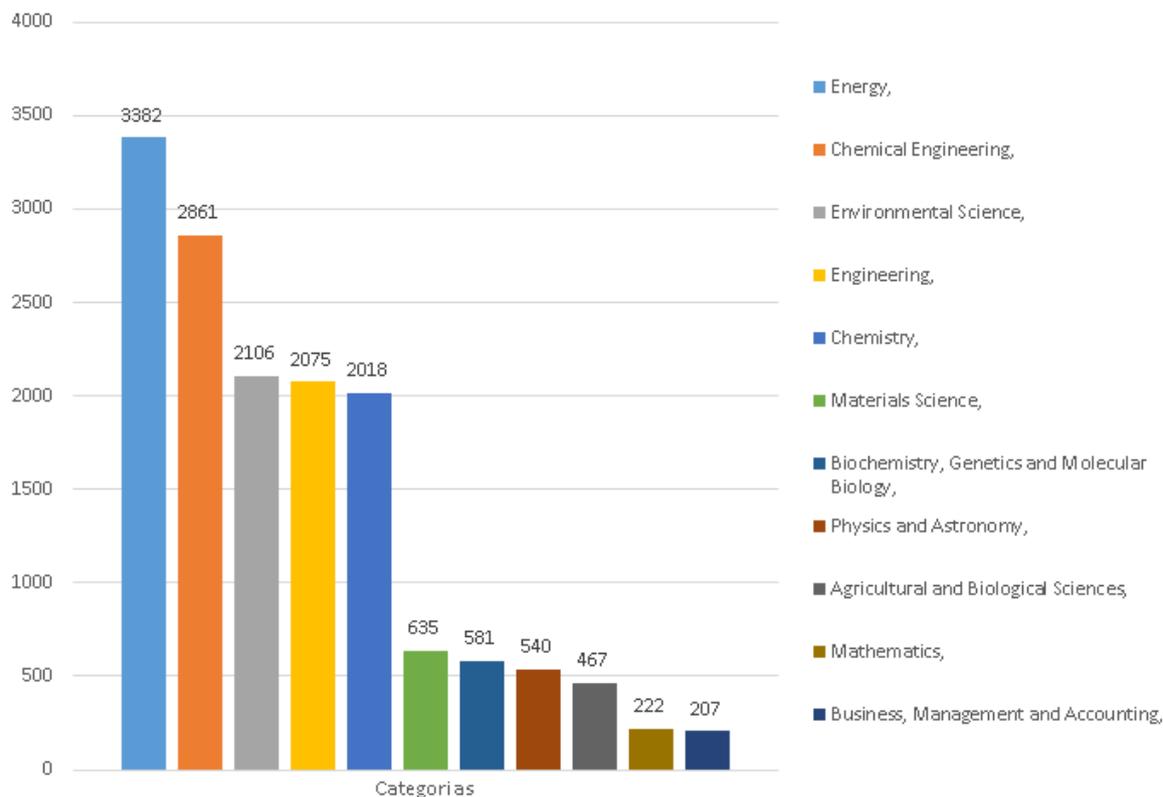


Fonte: Scopus (2021).

Quanto às áreas de conhecimento, os trabalhos que envolvem a produção de biodiesel a partir de óleo residual de cozinha presentes na base de dados do *Scopus*, estão principalmente divididos em cinco grandes categorias: *Energy* que corresponde a 20,9% dos trabalhos, *Chemical Engineering* com 17,7%, *Environmental Science* com 13%,

Engineering com 12,9% e *Chemistry* com 12,5% dos trabalhos encontrados, como mostrado na Figura 17. Essa distribuição diverge da apresentada pelo WoS, visto que as categorias do Scopus são bem diversas, enquanto cerca de 50% dos trabalhos no WoS foram classificados como *Energy Fuels*.

Figura 17 – Número de trabalhos por categoria *Scopus*.

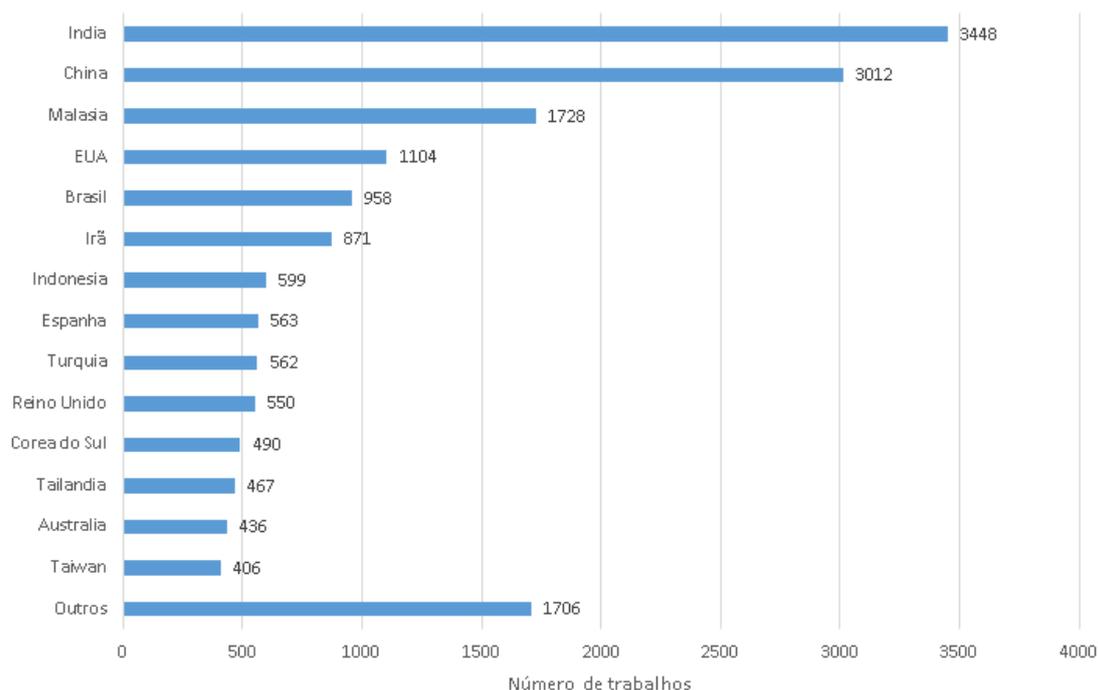


Fonte: Scopus (2021).

Em relação ao país de origem dos trabalhos encontrados, novamente se destacam trabalhos que procedem de países de origem asiática, sendo a Índia a principal fornecedora de trabalhos sobre produção de biodiesel com 3329 trabalhos representando cerca de 20% da totalidade, seguido pela China com 2943 trabalhos e Malásia com 1692 trabalhos. Neste banco de dados, o Brasil ocupa a quinta posição, com 938 trabalhos, conforme pode ser observado na Figura 18.

A Tabela 6 apresenta as principais revistas que publicam a respeito da produção de biodiesel a partir de resíduo de óleo de cozinha. No Scopus foram encontradas 158 revistas, número inferior ao encontrado no WoS, pois o Scopus considera apenas aquelas que possuem mais de 15 publicações a respeito do tema.

Figura 18 – Contribuição de trabalhos por países no *Scopus*.



Fonte: Scopus (2021).

Tabela 6 – Principais revistas sobre o tema e quantidade de publicações no Scopus.

Revista	Nº Publicações
Fuel	1038
Renewable Energy	500
Energy Conversion And Management	442
Bioresource Technology	370
Renewable And Sustainable Energy Reviews	349
Energy	325
Journal Of Cleaner Production	323
Energy Sources Part A Recovery Utilization And Environmental Effects	293
Energy And Fuels	240
Fuel Processing Technology	208
Energies	189
Applied Energy	172
SAE Technical Papers	160
Iop Conference Series Materials Science And Engineering	157

Fonte: Scopus (2021).

Por fim, a Tabela 7 apresenta as principais publicações sobre o tema e seus respectivos autores, sendo que o padrão para o estabelecimento do *ranking* fora o número de citações que a obra obteve. Comparando tais dados com os apresentados na Tabela 5, é possível notar que algumas das obras como *Biodiesel from microalgae* (CHISTI, 2007) e *Biodiesel processing and production* (VAN GERPEN, 2005) se destacaram em ambas as bases.

Tabela 7 – Principais obras a respeito do tema no Scopus.

Publicação	Autores	Revista	Ano Publicação	Nº Citações
Biodiesel from microalgae	CHISTI, Y.	Biotechnology Advances	2007	6539
Biodiesel processing and production	VAN GERPEN, J.	Fuel Processing Technology	2005	1607
A review on biodiesel production using catalyzed transesterification	LEUNG, D.Y.C., <i>et al.</i>	Applied Energy	2010	1572
Progress and recent trends in biodiesel fuels	DEMIRBAS, A.	Energy Conversion and Management	2009	1355
Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment	ZHANG, Y. <i>et al.</i>	Bioresource Technology	2003	1355
Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties	RAMOS, M.J., <i>et al.</i>	Bioresource Technology	2009	1307
Synthesis of biodiesel via acid catalysis	LOTERO, E., <i>et al.</i>	Industrial and Engineering Chemistry Research	2005	1299
Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass	TILMAN, D. <i>et al.</i>	Science	2006	1284
Progress and recent trends in biofuels	DEMIRBAS, A.	Progress in Energy and Combustion Science	2007	1267
Review of biodiesel composition, properties, and specifications	HOEKMAN, S.K. <i>et al.</i>	Renewable and Sustainable Energy Reviews	2012	1118

Fonte: Scopus (2021).

8.3 Google Scholar

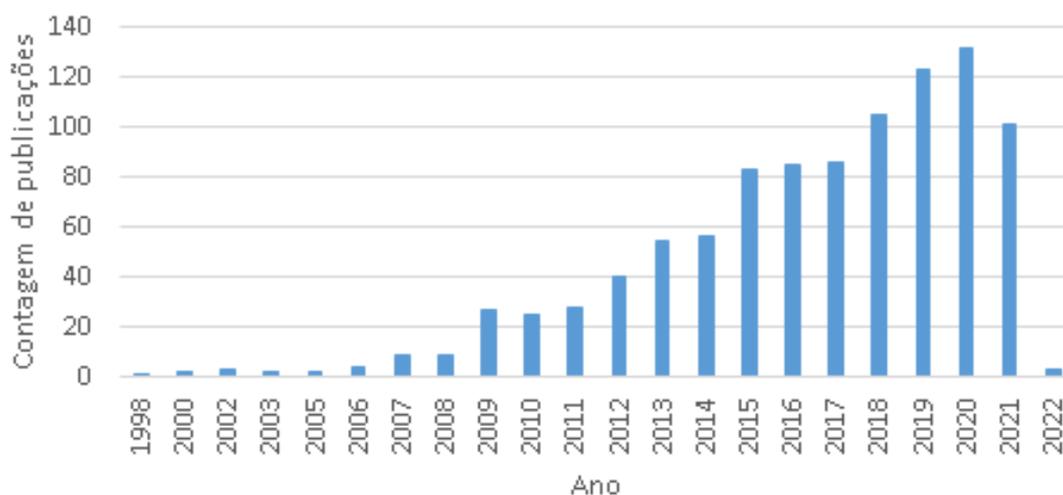
A análise bibliométrica realizada no *Google Scholar* se difere das empregadas no WoS e no *Scopus*, uma vez que o *Google Scholar* não apresenta as mesmas ferramentas para coleta de dados analíticos. Para extração dos dados bibliométricos do *Google*

Scholar foi empregado o *software* gratuito *Publish or Perish*, para então obter as citações brutas, analisar e calcular uma série de métricas.

Para a pesquisa dos dados foram utilizados os termos “*Waste Cooking Oil*” e “*biodiesel*” no campo *keywords*, sendo obtidos apenas 980 resultados, devido às limitações impostas ao *Publish or Perish* pelo Google. Entretanto, não é possível afirmar que todos os arquivos são de artigos.

Classificando os resultados quanto à data de publicação foi possível elaborar o gráfico presente na Figura 19. Assim como observado para os outros bancos de dados, é possível notar o crescimento do número de trabalhos a respeito da produção de biodiesel ao longo dos anos. Além disso, nesta busca foi possível encontrar arquivos que relatam do ano de 1998, *Biodiesel production from camelina oil, waste cooking and tallow*, e que possui como autores RICE e colaboradores.

Figura 19 – Evolução da quantidade de trabalhos ao longo dos anos no Google Scholar.



Fonte: Google Scholar (2021)

Os dados extraídos do *Google Scholar* não contêm informações sobre o país de origem e a categoria indexada. Contudo, é possível obter os dados sobre as principais revistas que publicam sobre o tema, como apresentado na Tabela 8. Uma análise dessa tabela permite concluir que, assim como nas demais bases, as principais revistas que abordam o tema são sobre combustíveis e energia.

Tabela 8 – Principais revistas publicadoras sobre o tema e quantidade de publicações no Google Scholar.

Revista	N° Publicações
Fuel	82
Renewable Energy	46
Energy Conversion and Management	31
Energy	28
International Journal of Ambient Energy	28
Bioresource technology	27
Journal of Cleaner Production	26
Energy Sources, Part A: Recovery, Utilization, and ...	23
Journal of Cleaner Production	22
Materials Today: Proceedings	20
Energies	19

Fonte: Google Scholar (2021)

Em relação aos principais trabalhos e artigos presentes no Google Scholar, as métricas podem também ser ordenadas considerando os trabalhos com maior número de citações. Estes foram compilados e estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Principais obras a respeito do tema no Google Scholar. (Continua.)

Publicação	Autores	Revista	Ano Publicação	N° Citações
Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment	Y Zhang, MA Dube, DDL McLean, M Kates	Bioresource technology	2007	2438
Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis	Y Zhang, MA Dubé, DD McLean, M Kates	Bioresource technology	2005	1526
Waste cooking oil an economical source for biodiesel: a review	MG Kulkarni, AK Dalai	Industrial & engineering chemistry ...	2010	1473
Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: a review	MK Lam, KT Lee, AR Mohamed	Biotechnology advances	2009	1322
Biodiesel production from waste cooking oils	AN Phan, TM Phan	Fuel	2003	900

Tabela 9 – Principais obras a respeito do tema no Google Scholar. (Conclusão.)

Publicação	Autores	Revista	Ano Publicação	Nº Citações
Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed process	Y Wang, S Ou, P Liu, Z Zhang	Energy conversion and management	2009	692
A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil	A Talebian-Kiakalaieh, NAS Amin, H Mazaheri	Applied Energy	2005	685
Comparison of two different processes to synthesize biodiesel by waste cooking oil	Y Wang, S Ou, P Liu, F Xue, S Tang	Journal of Molecular Catalysis A ...	2006	562
Solid acid catalyzed biodiesel production from waste cooking oil	K Jacobson, R Gopinath, LC Meher, AK Dalai	Applied Catalysis B ...	2007	546
Waste cooking oil as an alternate feedstock for biodiesel production	AB Chhetri, KC Watts, MR Islam	Energies	2012	544

Fonte: Google Scholar (2021).

Apesar de apresentar menos informações que as demais fontes de dados e de possuir limitações, o *Google Scholar* apresentou semelhanças com as bases mais confiáveis, corroborando o crescimento de pesquisas relacionadas ao tema ao longo dos anos e, também, semelhanças quanto aos principais títulos.

8.4 VOSviewer

Outra forma de analisar os dados bibliométricos e as relações entre cada banco de dados, autores e revistas é através do *software VOSviewer*, que é uma ferramenta gratuita e internacionalmente utilizada para a construção e visualização de redes bibliométricas com base em dados baixados de bancos de dados bibliográficos (RODRIGUEZ et al., 2016).

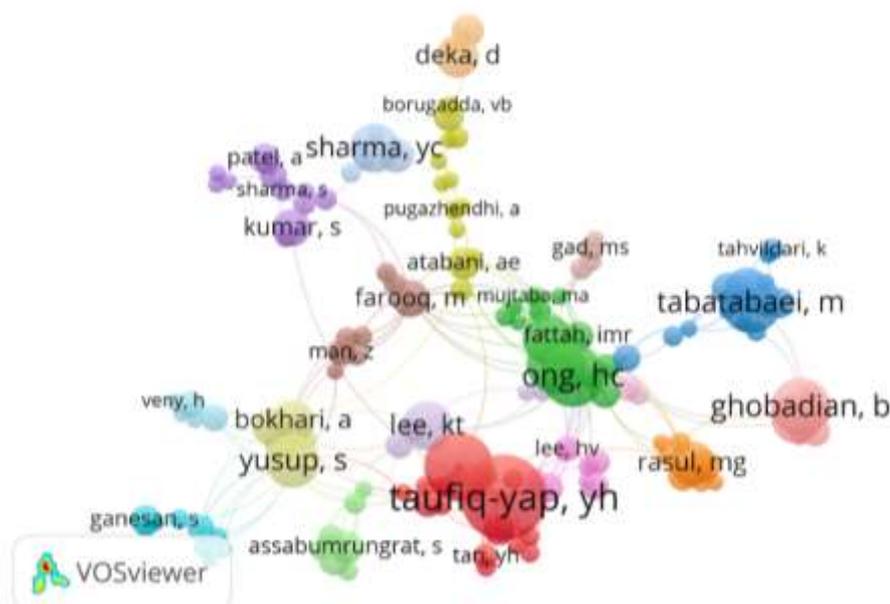
O *VOSviewer* permite a criação de mapas visuais sobre as cocitações, coautoria, palavras-chaves e acoplamento bibliográfico de cada uma das bases utilizadas, possibilitando verificar a influência de cada autor, quais ligações eles possuem entre si, os temas que vem sendo explorados na área. O *software* permite ainda verificar a formação de *clusters*, que ocorrem quando o trabalho de um autor serve de base para vários outros trabalhos. Contudo, essa ferramenta apresenta desafios na verificação dos

resultados caso um dos *clusters* apresente muitos autores de grande renome, pois dessa forma apenas o com maior contribuição dominará o *cluster*.

O *software* VOSviewer possui uma interface intuitiva, em que para a criação dos mapas de rede é necessário obter previamente os arquivos das bases de dados. Na sequência define-se qual tipo de mapa deseja ser gerado entre os possíveis e, por fim, o pesquisador deve escolher o número mínimo de ocorrências que o item deve possuir. Este número mínimo de ocorrências definirá o número de clusters que serão formados, e cabe ao autor da pesquisa a escolha entre o uso de maior ou menor número de clusters. Por fim, podem-se escolher termos que não serão utilizados na geração do mapa, devido à sua alta ou baixa frequência

Através dos dados do *Web of Science* foi possível gerar o mapa de ligações entre os autores, representado pela Figura 20. Como resultado, verificou-se que os 3055 trabalhos analisados foram desenvolvidos por 8165 autores e que 336 possuíam ao menos 5 trabalhos sobre o tema. Tal configuração apresentou 18 *clusters*, sendo os principais nomes Y. H. Taufiq-Yap., RASHID U e H. C. Ong.

Figura 20 - Mapa de ligações entre autores no WoS.



Fonte: VOSviewer (2021).

A Figura 21 foi elaborada utilizando os dados obtidos no *Scopus*, contando com 7225 autores. Desses, 332 possuíam ao menos 4 trabalhos e foram formados 17 *clusters*, sendo os principais nomes encontrados Y. Wang, MUJTABAM. A.e SOUDAGAR M. E. M. Neste caso, é notável a grande concentração em torno dos trabalhos de Wang.

A análise das Figuras 20, 21 e 22, tal como os dados obtidos através das tabelas 5, 7, e 9 revelam que as fontes de dados a respeito da produção de biodiesel a partir de óleo residual de cozinha estão bem distribuídas entre os principais bancos de dados, se diferenciando em poucos aspectos e facilitando a democratização da informação.

9. Conclusão

O aumento da população mundial afeta diversos setores, dentre eles, o energético, o econômico, o alimentício e o ambiental, pois o crescimento populacional somado ao estilo de vida mais agitado faz com que surja a necessidade de mais fontes de energia para atender uma crescente demanda da população na execução de suas atividades.

A busca por novas fontes de energia necessariamente precisa atender as perspectivas de desenvolvimento sustentável, o que coloca em xeque fontes e tecnologias que dependam de recursos naturais, que poderão se esgotar em poucos anos, devido à exploração desenfreada de tais recursos.

Dessa forma, o uso de tecnologias amigáveis ao meio ambiente como os biocombustíveis, é uma alternativa possível, visto que ela pode substituir total ou parcialmente a utilização de combustíveis fósseis, apresentando melhores resultados na diminuição de gases causadores do efeito estufa.

O biodiesel é um destes combustíveis que pode ser originado de diferentes fontes de matéria-prima, como plantas oleaginosas, gorduras animais, ácidos graxos, resíduos de fritura, entre outras. Atualmente, em torno de 80% de toda produção mundial desse combustível é proveniente da utilização das oleaginosas, o que leva muitos a temerem seu impacto na quantidade de alimentos ofertada.

A utilização dos óleos residuais do processo de fritura se torna uma alternativa atrativa para a produção de biodiesel pois, além da redução de gases nocivos, estes óleos não competem com o setor de alimentos. Em adição, o aproveitamento de óleos residuais de fritura pode evitar o seu descarte inapropriado, que causa grandes prejuízos ao meio ambiente.

Existe muita pesquisa em torno da produção de biodiesel utilizando como matéria-prima o óleo residual de fritura, e diferentes rotas podem ser aplicadas para atender às exigências e necessidades de sua fabricação. Algumas dessas rotas de obtenção podem ser mais onerosas que as formas de obtenção de combustíveis tradicionais, como o diesel de petróleo, e este ponto pode tornar sua produção não atrativa economicamente.

Entretanto, devido ao apelo ambiental que ela apresenta, pode ser considerada uma alternativa ecologicamente atrativa.

Por fim, a análise bibliométrica dos trabalhos acadêmicos a respeito da produção de biodiesel utilizando o óleo residual de fritura como matéria-prima corrobora com a ideia de crescimento de pesquisas nessa área, o que evidencia que muito ainda pode ser investigado nessa área do conhecimento.

REFERÊNCIAS

ABO-DIEF, H. M.; EMAM, A.S.; ABUALNAJA, K. M.; MOHAMED, A. T. An Investigation into Transesterification of Waste Cooking Oil. **Oriental Journal of Chemistry**, v. 34, p. 1011–1015, 28 abr. 2018.

ABIOVE - Associação Brasileira das Indústrias de Óleos Vegetais. 2021. Disponível em <https://abiove.org.br/estatisticas/biodiesel-producao-por-tipo-de-materia-prima/>. Acesso em: 22 nov. 2021.

ABRAPALMA. Associação Brasileira de Produtores de Óleo de Palma. 2015. Disponível em <http://www.abrapalma.org/pt/a-palma-no-brasil-e-no-mundo/> Acesso em: 13 out. 2021.

ABSOLAR - Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica. Energia solar distribuída registra crescimento superior a 212% em 2019. São Paulo. 2020. Disponível em <https://www.absolar.org.br/noticia/energia-solar-distribuida-registra-crescimento-superior-a-212-em-2019/> Acesso em: 11 set. 2021.

AESBE Associação Brasileira das Empresas Estaduais de Saneamento. O prejuízo do óleo de cozinha no meio ambiente, 2020. Disponível em <https://aesbe.org.br/o-prejuizo-do-oleo-de-cozinha-no-meio-ambiente/> Acesso em: 12 out. 2021.

ALVES, J.E.D. População, Pegada Ecológica e Biocapacidade: como evitar o colapso? **Ecodebate**, 2012. Disponível em: <https://www.ecodebate.com.br/2012/05/23/pegada-ecologica-e-biocapacidade-artigo-de-jose-eustaquio-diniz-alves/>. Acesso em: 11 set. 2021.

APROBIO. Qual a diferença entre diesel e biodiesel? **Associação dos Produtores de Biocombustíveis do Brasil - APROBIO**, 2018. Disponível em: <https://aprobio.com.br/noticia/qual-a-diferenca-entre-diesel-e-biodiesel>. Acesso em: 11 set. 2021.

ARANDA, D. A. G.; GONÇALVES, J. de A.; PERES, J. S.; RAMOS, A. L. D.; MELO JUNIOR, C. A. R. de; ANTUNES, O. A. C.; FURTADO, N.C.; TAFT, C. A. The use of acids, niobium oxide, and zeolite catalysts for esterification reactions. **Journal of Physical Organic Chemistry**, v. 22, p. 709–716, 1 jul. 2009.

ARAÚJO, C. A. A. Bibliometria: evolução histórica e questões atuais. **Em Questão**, v. 12, n. 1, p. 11–32, 10 dez. 2006.

ASCHER, W. Rescuing responsible hydropower projects. **Energy Policy**, v. 150, p. 112092, 1 mar. 2021.

AYDIN, M. The effect of biomass energy consumption on economic growth in BRICS countries: A country-specific panel data analysis. **Renewable Energy**, v. 138, p. 620–627, 1 ago. 2019.

BANERJEE, A.; CHAKRABORTY, R. Parametric sensitivity in transesterification of waste cooking oil for biodiesel production—A review. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 53, n. 9, p. 490–497, 1 jul. 2009.

BIODIESELBR, 2019. Disponível em: <https://www.biodieselbr.com/noticias/inter/ue/ue-impoe-limites-ao-uso-oleo-de-palmana-producao-de-biocombustiveis-140319>. Acesso em: 11 set. 2021.

BORUGADDA, V. B.; GOUD, V. V. Biodiesel production from renewable feedstocks: Status and opportunities. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 7, p. 4763–4784, 1 set. 2012.

BP – Statistical Review of World Energy 2021. Disponível em: <https://www.bp.com/en/global/corporate/energy-economics/statistical-review-of-world-energy.html>. Acesso em: 12 out. 2021.

CAMARGO, R. de P. L.; COSTA, D. C.; SIQUEIRA, A. J.; ALVES, M. I. R.; FILHO, N. R. A. Produção De Biodiesel Etílico De Óleos E Gorduras De Fritura Residuais Via Esterificação Ácida Seguida De Transesterificação Alcalina. **Fronteiras: Journal of Social, Technological and Environmental Science**. Vol.6, n.3, p. 19-44. 2018.

CASTELLANELLI, C. A.; CUNHA, L. M. Utilização de biodiesel em veículos diesel: Análise de viabilidade de um projeto de pequena escala. **Revista ESPACIOS | Vol. 36 (Nº 18) Año 2015**, 17 set. 2015. Disponível em: <https://www.revistaespacios.com/a15v36n18/15361804.html>. Acesso em: 26 set. 2021.

CHHETRI, A. B.; WATTS, K. C.; ISLAM, M. R. Waste Cooking Oil as an Alternate Feedstock for Biodiesel Production. **Energies**, v. 1, n. 1, p. 3–18, jun. 2008.

CHISTI, Y. Biodiesel from microalgae. **Biotechnology Advances**, v. 25, n. 3, p. 294–306, maio 2007.

CHRISTOFF, P. **Produção de biodiesel a partir do óleo residual de fritura comercial. Estudo de caso: Guaratuba, litoral paranaense**. Tese (Mestrado em Ciências) - Instituto de Engenharia do Paraná – IEP, Curitiba, p. 83. 2006.

COSTA, G. L. da; SITEO, B. V.; SANTOS, D. Q.; NETO, W. B. Quantificação do teor de biodiesel de crambe em misturas com diesel utilizando espectroscopia MIR e seleção de variáveis. **Química Nova**, v. 43, 1 jun. 2020.

COSTA NETO, P. R.; ROSSI, L. F. S.; ZAGONEL, G. F.; RAMOS, L. P. Produção de biocombustível alternativo ao óleo diesel através da transesterificação de óleo de soja usado em frituras. **Química Nova**, v. 23, p. 531–537, ago. 2000.

DELATORRE, A. Produção de biodiesel: Considerações sobre as diferentes matérias-primas e rotas tecnológicas de processos. **Biológicas & Saúde**, v. 1, 24 jun. 2011.

DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biofuels. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 33, n. 1, p. 1–18, 1 fev. 2007.

DEMIRBAS, A. Progress and recent trends in biodiesel fuels. **Energy Conversion and Management**, v. 50, n. 1, p. 14–34, 1 jan. 2009.

DONG, K.; SUN, R.; DONG, X. CO₂ emissions, natural gas and renewables, economic growth: Assessing the evidence from China. **The Science of the Total Environment**, v. 640–641, p. 293–302, 1 nov. 2018.

ENCARNAÇÃO, A. P. G. **Geração de biodiesel pelos processos de transesterificação e hidroesterificação, uma avaliação econômica**. Tese (Mestrado em Ciências) - Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, p. 164. 2008.

EMBRAPA - PORTAL EMBRAPA SOJA. 2020. Disponível em: <https://www.embrapa.br/soja/cultivos/soja1>. Acesso em: 12 out. 2021

EMBRAPA - Potencial de cultivo da palma de óleo irrigada nas condições do Cerrado. 2021. Disponível em: <https://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/infoteca/bitstream/doc/1133273/1/Potencial-de-cultivo-da-palma-de-oleo-Documentos-368.pdf> Acesso em 23 nov. 2021

ENVOLVERDE. Óleo de cozinha pode ter lei que regulamente seu descarte. 2018. Disponível em <https://envolverde.com.br/oleo-de-cozinha-pode-ter-lei-que-regulamente-seu-descarte/> Acesso em: 13 out. 2021.

EPE – Empresa de Pesquisa Energética, 2020. Disponível em: <https://www.epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2020>. Acesso em: 12 out. 2021.

FEREIDOONI, L.; ABBASPOURRAD, A.; ENAYATI, M. Electrolytic transesterification of waste frying oil using Na⁺/zeolite–chitosan biocomposite for biodiesel production. **Waste Management**, v. 127, p. 48–62. 15 maio 2021.

FERRARI, R. A.; OLIVEIRA, V. da. S.; SCABIO, A. Biodiesel de soja: taxa de conversão em ésteres etílicos, caracterização físico-química e consumo em gerador de energia. **Química Nova**, v. 28, p. 19–23, fev. 2005.

FERREIRA, S. L.; SANTOS, A. M. dos; SOUZA, G. R. de; POLITO, W. L.; MÓDOLO, D. L. Análise por cromatografia gasosa de BTEX nas emissões de motor de combustão interna alimentado com diesel e mistura diesel-biodiesel (B10). **Química Nova**, v. 31, p. 539–545, 2008.

FILHO, A. V. Por que a Hidroeletricidade no Mundo e no Brasil? **Instituto Nacional de Altos Estudos - INAE**, 2013. Disponível em: <https://www.inae.org.br/wp-content/uploads/2015/04/EP0517.pdf>. Acesso em: 11 set. 2021.

FILIP, O.; JANDA, K.; KRISTOUFEK, L.; ZILBERMAN, D. Food versus fuel: An updated and expanded evidence. **Energy Economics**, Replication in Energy Economics. v. 82, p. 152–166, 1 ago. 2019.

FLETCHER, R. When environmental issues collide: climate change and the shifting political ecology of hydroelectric Power. **Peace Conflict Rev.**, v. 5, p. 1–15, 1 jan. 2010.

FOUQUET, R. A brief history of energy. **International Handbook on the Economics of Energy**, p. 1–19, 1 jan. 2009.

FREIRE, P. C. M.; MANCINI-FILHO, J.; FERREIRA, T. A. P. de C. Principais alterações físico-químicas em óleos e gorduras submetidos ao processo de fritura por imersão: regulamentação e efeitos na saúde. **Revista de Nutrição**, v. 26, p. 353–358, jun. 2013.

GENTNER, D. R.; ISAACMAN, G.; WORTON, D. R.; CHAN, A. W. H.; DALLMANN, T. R.; DAVIS, L.; LIU, S.; DAY, D. A.; RUSSELL, L. M.; WILSON, K. R.; WEBER, R.; GUHA, A.; HARLEY, R. A.; GOLDSTEIN, A. H. Elucidating secondary organic aerosol from diesel and gasoline vehicles through detailed characterization of organic carbon emissions. **Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America**, v. 109, n. 45, p. 18318–18323, 6 nov. 2012.

GERIS, R.; SANTOS, N. A. C. dos; AMARAL, B. A.; MAIA, I. de S.; CASTRO, V. D.; CARVALHO, J. R. M. Biodiesel de soja: reação de transesterificação para aulas práticas de química orgânica. **Química Nova**, v. 30, p. 1369–1373, out. 2007.

GERPEN, J. V. Biodiesel processing and production. **Fuel Processing Technology**, Biodiesel Processing and Production. v. 86, n. 10, p. 1097–1107, 25 jun. 2005.

GODOI, L. de. **Recuperação de vanádio por eletrorremediação de catalisadores desativados provenientes do processo de craqueamento catalítico fluidizado (FCC)**. Tese (Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais) - Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 128. 2016.

GOLDEMBERG, J. Biomassa e energia. **Química Nova**, v. 32, n. 3, p. 582–587, 2009.
GOMEZ, M.; HOWARD-HILDIGE, R.; LEAHY, J.; O'REILLY, T.; SUPPLE, B.; MALONE, M. Emission and Performance Characteristics of a 2 Litre Toyota Diesel Van Operating on Esterified Waste Cooking Oil and Mineral Diesel Fuel. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 65, p. 13–20, 11 jan. 2000.

GOOGLE SCHOLAR. Disponível em: <https://scholar-google-com.ez26.periodicos.capes.gov.br/>. Acesso em: 11 out. 2021.

GRAPE, S.; JACOBSSON SVÄRD, S.; HELLESEN, C.; JANSSON, P.; ÅBERG LINDELL, M. New perspectives on nuclear power—Generation IV nuclear energy systems to strengthen nuclear non-proliferation and support nuclear disarmament. **Energy Policy**, v. 73, p. 815–819, 1 out. 2014.

HAGE, J. A. A. O poder político na energia e relações internacionais: o difícil equilíbrio entre o direito e a busca de segurança do Estado brasileiro. **Revista Brasileira de Política Internacional**, v. 51, p. 169–186, 2008.

HARZING, A.W. K.; VAN DER WAL, R. Google Scholar as a New Source for Citation Analysis. **Ethics in Science and Environmental Politics**, v. 8, p. 61–73, 3 jun. 2008.

HOEKMAN, S. K.; BROCH, A.; ROBBINS, C.; CENICEROS, E.; NATARAJAN, M. Review of biodiesel composition, properties, and specifications. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 16, n. 1, p. 143–169, 1 jan. 2012.

HÖÖK, M.; TANG, X. Depletion of fossil fuels and anthropogenic climate change—A review. **Energy Policy**, Special Section: Transition Pathways to a Low Carbon Economy. v. 52, p. 797–809, 1 jan. 2013.

IEA – International Energy Agency, 2020. Disponível em: <https://www.iea.org> Acesso em: 26 set. 2021.

IRENA – International Renewable Energy Agency. 2012. Disponível em: <https://www.irena.org/costs/Charts/Biodiesel>. Acesso em: 12 set. 2021.

JAIN, M.; CHANDRAKANT, U.; ORSAT, V.; RAGHAVAN, V. A review on assessment of biodiesel production methodologies from *Calophyllum inophyllum* seed oil. **Industrial Crops and Products**, v. 114, p. 28–44, 1 abr. 2018.

JACOBSON, K.; GOPINATH, R.; MEHER, L.; DALAI, A. Solid acid catalyzed biodiesel production from waste cooking oil. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 85, n. 1–2, p. 86–91, 17 dez. 2008.

JASPER, E. de A. **Síntese do éster aromático benzoato de benzila via esterificação enzimática**. Tese (Graduação em Engenharia de Alimentos) - Universidade Federal de Santa Catarina. Santa Catarina, p. 53. 2018.

KNOTHE, G.; GERPEN, J.; KRAHL, J. **Manual de Biodiesel**. São Paulo: Blucher, 2006.

KOIZUMI, T. Biofuels and food security. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 52, p. 829–841, 1 dez. 2015.

KULKARNI, M. G.; DALAI, A. K. Waste Cooking Oil An Economical Source for Biodiesel: A Review. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, v. 45, n. 9, p. 2901–2913, 1 abr. 2006.

LAGE, L. H. A.; GONÇALVES, R. T.; OLIVEIRA, U. A. de; SABILA, W. A. Utilização de biodiesel em veículos diesel: Análise de viabilidade de um projeto de pequena escala. **Journal of Exact Sciences – JES**, Vol.21, n.3, pp.09-14, Abr - Jun 2019. Disponível em: https://www.mastereditora.com.br/periodico/20190912_082812.pdf. Acesso em: 26 set. 2021.

LAM, M. K.; LEE, K. T.; MOHAMED, A. R. Homogeneous, heterogeneous and enzymatic catalysis for transesterification of high free fatty acid oil (waste cooking oil) to biodiesel: A review. **Biotechnology Advances**, v. 28, n. 4, p. 500–518, 1 jul. 2010.

LEITE, R. C. de C.; LEAL, M. R. L. V. O biocombustível no Brasil. **Novos estudos CEBRAP**, São Paulo, n. 78, p. 15-21, 2007.

LEUNG, D. Y. C.; WU, X.; LEUNG, M. K. H. A review on biodiesel production using catalyzed transesterification. **Applied Energy**, v. 87, n. 4, p. 1083–1095, 1 abr. 2010.

LIU, J.; ZUO, J.; SUN, Z.; ZILLANTE, G.; CHEN, X. Sustainability in hydropower development—A case study. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 19, p. 230–237, 1 mar. 2013.

LOPES, R. C.; BALDIN, N. **Educação Ambiental para areutilização do óleo de cozinha na produção de sabão-projeto “Ecolimpo”**, 2009. Disponível em: https://educere.bruc.com.br/cd2009/pdf/2078_1012.pdf. Acesso em: 26 set. 2021.

LOPES, L. F.; SILVA, F. C. da; SIMÕES, R. C.; PONTUAL, L. V.; SOUZA, L. A. de; NASCIMENTO, L. G. do; SANTOS, C. M. dos A. dos. Produção de biodiesel por rota etílica e metílica a partir de planejamento fatorial. **Brazilian Journal of Environmental Sciences (Online)**, v. 55, n. 2, p. 226–241, 18 jun. 2020.

LOTERO, E.; LIU, Y.; LÓPEZ, D. E.; SUWANNAKARN, K.; BRUCE, D.; GOODWIN, J. Synthesis of Biodiesel via Acid Catalysis. 2005.

LOURENÇO, V. A.; NADALETI, W. C.; VIEIRA, B. M.; LI, H. Investigation of ethyl biodiesel via transesterification of rice bran oil: bioenergy from residual biomass in Pelotas, Rio Grande do Sul - Brazil. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 144, p. 111016, 1 jul. 2021.

MAPA. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB)**. 2019. Disponível em <https://www.gov.br/agricultura/pt-br/assuntos/agricultura-familiar/biodiesel/programa-nacional-de-producao-e-uso-do-biodiesel-pnpb/> Acesso em: 13 out. 2021.

MIGUEL, A. C.; FRANCO, D. M. B. Logística reversa do óleo de cozinha usado. *Revista Científica, Paraná*, v. 9, n. 1, p.3-13, abr. 2014. Disponível em: <http://www.faculdadeanchieta.edu.br/wp-content/uploads/logstica-reversa-do-leo-de-cozinha-usado.pdf>. Acesso em: 26 set. 2021.

MITTELBAACH, M.; TRITTHART, P. Diesel fuel derived from vegetable oils, III. Emission tests using methyl esters of used frying oil. **Journal of the American Oil Chemists’ Society**, v. 65, n. 7, p. 1185–1187, 1 jul. 1988.

MOHADESI, M.; AGHEL, B.; MALEKI, M.; ANSARI, A. Study of the transesterification of waste cooking oil for the production of biodiesel in a microreactor pilot: The effect of acetone as the co-solvent. **Fuel**, v. 273, p. 711-736, 1 ago. 2020.

MOSER, B. R. Biodiesel production, properties, and feedstocks. **In Vitro Cellular & Developmental Biology - Plant**, v. 45, n. 3, p. 229–266, 1 jun. 2009.

NORRIS, M.; OPPENHEIM, C. Comparing alternatives to the Web of Science for coverage of the social sciences’ literature. **Journal of Informetrics**, v. 1, n. 2, p. 161–169, 2007.

NYE, M. J.; WILLIAMSON, T. W.; DESHPANDE, W.; SCHRADER, J. H.; HORSFALL, W.; YURKEWICH, T. P.; FRENCH, C. L. Conversion of used frying oil

to diesel fuel by transesterification: Preliminary tests. **Journal of the American Oil Chemists' Society**, v. 60, p. 1598–1601, 8 jan. 1983.

OGEDA, T. L.; PETRI, D. F. S. Hidrólise Enzimática de Biomassa. **Química Nova**, v. 33, p. 1549–1558, 2010.

OGUNKUNLE, O.; AHMED, N. A. A review of global current scenario of biodiesel adoption and combustion in vehicular diesel engines. **Energy Reports**, v. 5, p. 1560–1579, 1 nov. 2019.

OKORO, O. V.; SUN, Z.; BIRCH, J. Meat processing dissolved air flotation sludge as a potential biodiesel feedstock in New Zealand: A predictive analysis of the biodiesel product properties. **Journal of Cleaner Production**, v. 168, p. 1436–1447, 1 dez. 2017.

OLIVEIRA, J. F. G.; LUCENA, I. L.; SABOYA, R. M. A.; RODRIGUES, M. L.; TORRES, A. E. B.; FERNANDES, F. A. N.; CAVALCANTE JUNIOR, C. L.; PARENTE JUNIOR, E. J. S. Biodiesel production from waste coconut oil by esterification with ethanol: The effect of water removal by adsorption. **Renewable Energy**, v. 35, n. 11, p. 2581–2584, 1 nov. 2010.

ONU, United nations, department of economic and social affairs. **World Population Prospects 2019: Highlights** Disponível em: https://population.un.org/wpp/Publications/Files/WPP2019_Highlights.pdf. Acesso em: 26 set. 2021.

PAO, H.-T.; FU, H.-C. The causal relationship between energy resources and economic growth in Brazil. **Energy Policy**, v. 61, p. 793–801, 1 out. 2013.

PARENTE, E. J. S. **Biodiesel: Uma aventura tecnológica num país engraçado**. Fortaleza, CE. Tecbio, 2003.

PELLACK, L. Library Guides: Database Comparisons: Google Scholar, Scopus, Web of Science. - **Iowa State University University Library**, 2019. Disponível em: <https://instr.iastate.libguides.com/c.php?g=901522&p=6492159>. Acesso em: 11 out. 2021.

PETROBRÁS. **Óleo Diesel**. 2018. Disponível em <https://petrobras.com.br/pt/nossas-atividades/produtos/automotivos/oleo-diesel/> Acesso em: 11 set. 2021.

PHAN, A. N.; PHAN, T. M. Biodiesel production from waste cooking oils. **Fuel**, v. 87, n. 17, p. 3490–3496, 1 dez. 2008.

PRIMATA, M.; SEO, Y. C.; CHU, Y. H. Effect of alkali catalyst on biodiesel production in South Korea from mixtures of fresh soybean oil and waste cooking oil. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 15, n. 2, p. 223–228, 1 abr. 2013.

PRITCHARD, A. Statistical Bibliography or Bibliometrics? **Journal of Documentation**, v. 25, p. 348–349, 1 jan. 1969.

PUBLISH OR PERISH. Disponível em: <https://harzing.com/resources/publish-or-perish>. Acesso em: 11 out. 2021.

RABU, R.; JANAJREH, I.; HONNERY, D. Transesterification of waste cooking oil: Process optimization and conversion rate evaluation. **Energy Conversion and Management**, v. 65, 31 jan. 2013.

RAMOS, M. J.; FERNÁNDEZ, C. M.; CASAS, A.; RODRÍGUEZ, L.; PÉREZ, Á. Influence of fatty acid composition of raw materials on biodiesel properties. **Bioresource Technology**, v. 100, n. 1, p. 261–268, 1 jan. 2009.

RAQEEB, M.; BHARGAVI, R. Biodiesel production from waste cooking oil. **Journal of chemical and pharmaceutical research**, v. 7, p. 670–681, 1 jan. 2015.

RAVELO, V. C.; RODRIGUEZ, J. S. Biodiesel production as a solution to waste cooking oil (WCO) disposal. Will any type of WCO do for a transesterification process? A quality assessment. **Journal of Environmental Management**, v. 228, p. 117–129, 15 dez. 2018.

REIS, A.C. Q. de S. Reutilização de óleo de cozinha: uma ação socioambiental urgente rumo ao desenvolvimento sustentável. **Revista Eletrônica Machado Sobrinho**, 2013. Disponível em : http://www.machadosobrinho.com.br/revista_online/publicacao/resenhas/PainelAcademico02REMS8.pdf. Acesso em: 9 out. 2021

REIS, L.B. dos.; FADIGAS, E. A.F.A.; CARVALHO, C. E. **Energia, Recursos Naturais e a Prática do Desenvolvimento Sustentável**. 2. ed. Barueri: Ed. Manole, 2012.

REN21 – Renewables 2021 global status report. Disponível em: https://www.ren21.net/wp-content/uploads/2019/05/GSR2021_Full_Report.pdf. Acesso em: 11 set. 2021.

REQUE, P. T.; KUNKEL, N. Quantificação do óleo residual de fritura gerado no município de Santa Maria-RS. **Disciplinarum Scientia**, S. Maria, v. 11, n. 1, p. 50-63, 2010.

RICE, B.; FROHLICH, A.; LEONARD, A. **Biodiesel production from camelina oil, waste cooking and tallow**. Technical Report. Teagasc, 1 set. 1998. Disponível em: <https://t-stor.teagasc.ie/handle/11019/1480>. Acesso em: 9 out. 2021.

RODRIGUEZ, A. P.; WALTMAN, L.; VAN ECK, N. J. Constructing bibliometric networks: A comparison between full and fractional counting. **Journal of Informetrics**, v. 10, p. 1178–1195, 1 nov. 2016.

ROSA, D. J. D.; PEREIRA, F. D. C.; SCORTEGAGNA, P. E. R utilização de óleo de cozinha residual para o desenvolvimento de produtos sustentáveis. **Salão do Conhecimento**, 22 set. 2017. Disponível em: <https://publicacoeseventos.unijui.edu.br/index.php/salaconhecimento/article/view/7581>. Acesso em: 21 nov. 2021.

RYBÁR, R.; KUDELAS, D.; BEER, M. Selected problems of classification of energy sources – What are renewable energy sources? **Acta Montanistica Slovaca**, v. 20, p. 172–180, 1 out. 2015.

SANTOS, E. M. dos; FAGÁ, M. T. W.; BARUFI, C. B.; POULALLION, P. L. Gás natural: a construção de uma nova civilização. **Estudos Avançados**, v. 21, p. 67–90, abr. 2007.

SANTOS, L. K dos; HATANAKA, R. R.; OLIVEIRA, J. E de.; FLUMIGNAN, D. L. Production of biodiesel from crude palm oil by a sequential hydrolysis/esterification process using subcritical water. **Renewable Energy**, v. 130, p. 633–640, 1 jan. 2019.

SCHOLTEN, D.; BOSMAN, R. The Geopolitics of Renewable Energy; a Mere Shift or Landslide in Energy Dependencies? 31 maio 2013.

SCHUCHARDT, U.; SERCHELI, R.; VARGAS, R. M. Transesterification of vegetable oils: a review. **Journal of the Brazilian Chemical Society**, v. 9, p. 199–210, maio 1998.

SCOPUS. Disponível em: <https://www-scopus.ez26.periodicos.capes.gov.br/search/>
Acesso em: 11 out. 2021.

SEBRAE. O que é e como pode ser utilizado o biodiesel, 2013. Disponível em: <https://www.sebrae.com.br/sites/PortalSebrae/artigos/o-que-e-biodiesel,466d438af1c92410VgnVCM100000b272010aRCRD>. Acesso em: 12 set. 2021.

SHARMA, Y. C.; SINGH, B.; UPADHYAY, S. N. Advancements in development and characterization of biodiesel: A review. **Fuel**, v. 87, n. 12, p. 2355–2373, 1 set. 2008.
SHKRABETS, F. P.; BERDNYK, V. V. Secondary Power Resources of the Fuel and Energy Complex in Ukraine. **Mechanics, Materials Science & Engineering Journal**, mar. 2016.

SHOAIB, M.; SIDDIQUI, I.; REHMAN, S.; KHAN, S.; ALHEMS, L. M. Assessment of wind energy potential using wind energy conversion system. **Journal of Cleaner Production**, v. 216, p. 346–360, 10 abr. 2019.

SIMS, R. E. H.; MABEE, W.; SADDLER, J. N.; TAYLOR, M. An overview of second generation biofuel technologies. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 6, p. 1570–1580, mar. 2010.

SINGH, V. K.; SINGH, P.; KARMAKAR, M.; LETA, J.; MAYR, P. The journal coverage of Web of Science, Scopus and Dimensions: A comparative analysis. **Scientometrics**, v. 126, n. 6, p. 5113–5142, jun. 2021.

SOUZA, C. A. de. Sistemas catalíticos na produção de biodiesel por meio de óleo residual. **An. 6. Enc. Energ. Meio Rural**, 2006. Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n6v2/110.pdf>. Acesso em: 9 out. 2021.

SUAREZ, P. A. Z.; MENEGHETTI, S. M. P.; MENEGHETTI, M. R.; WOLF, C. R. Transformação de triglicerídeos em combustíveis, materiais poliméricos e insumos

químicos: algumas aplicações da catálise na oleoquímica. **Química Nova**, v. 30, p. 667–676, jun. 2007.

SUAREZ, P. A. Z.; SANTOS, A. L. F.; RODRIGUES, J. P.; ALVES, M. B. Biocombustíveis a partir de óleos e gorduras: desafios tecnológicos para viabilizá-los. **Química Nova**, v. 32, p. 768–775, 2009.

TALEBIAN-KIAKALAEH, A.; AMIN, N. A. S.; MAZAHARI, H. A review on novel processes of biodiesel production from waste cooking oil. **Applied Energy**, v. 104, p. 683–710, 1 abr. 2013.

TEIXEIRA, C. V.; COLAÇO, M. J.; CALDEIRA, A. B. Viscosidade e desempenho de misturas diesel / biodiesel em um motor monocilíndrico. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia - RMCT**, 2013. Disponível em: http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_1_tri_2013/RMCT_007_E4A_11.pdf. Acesso em: 9 out. 2021.

TEIXEIRA, E. C.; MATTIUZI, C. D. P.; FELTES, S.; WIEGAND, F.; SANTANA, E. R. R. Estimated atmospheric emissions from biodiesel and characterization of pollutants in the metropolitan area of Porto Alegre-RS. **Anais da Academia Brasileira de Ciências**, v. 84, p. 655–667, set. 2012.

THOMAS, J. E. **Fundamentos de Engenharia de Petróleo**. Rio de Janeiro: Ed. Interciência, 2001.

TILMAN, D.; HILL, J.; LEHMAN, C. Carbon-negative biofuels from low-input high-diversity grassland biomass. **Science (New York, N.Y.)**, v. 314, n. 5805, p. 1598–1600, 8 dez. 2006.

TOLMASQUIM, M. T.; GUERREIRO, A.; GORINI, R. Matriz energética brasileira: uma prospectiva. **Novos estudos CEBRAP**, São Paulo, n. 79, p. 47–69, nov. 2007.

TRABER, T.; KEMFERT, C. Gone with the Wind?: Electricity Market Prices and Incentives to Invest in Thermal Power Plants under Increasing Wind Energy Supply. **Energy Economics**, v. 33, p. 249–257, 1 fev. 2009.

UBRABIO. Dia Mundial da Água: Um litro de óleo = 20 mil litros de água contaminada. Disponível em <https://ubrabio.com.br/2019/03/22/dia-mundial-da-agua-um-litro-de-oleo-25-mil-litros-de-agua-contaminada/> Acesso em: 11 out. 2021

UFOP - UNION ZUR FÖRDERUNG VON OEL- UND PROTEINPFLANZEN E.V. Disponível em: https://www.ufop.de/files/7216/1649/5848/UFOP_SupplyReport_2020-2021__120321.pdf. Acesso em: 12 out. 2021.

VIEIRA, P.; WAINER, J. Correlações entre a contagem de citações de pesquisadores brasileiros, usando o Web of Science, Scopus e Scholar. **Perspectivas em Ciência da Informação**, v. 18, p. 45–60, 1 set. 2013.

VOSVIEWER. Disponível em: <https://www.vosviewer.com/>. Acesso em: 12 out. 2021.

WANG, Q.; LI, R. Journey to burning half of global coal: Trajectory and drivers of China's coal use. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 58, p. 341–346, maio 2016.

WANG, Y.; OU, S.; LIU, P.; XUE, F.; TANG, S. Comparison of two different processes to synthesize biodiesel by waste cooking oil. **Journal of Molecular Catalysis A: Chemical**, v. 252, n. 1, p. 107–112, 1 jun. 2006.

WANG, Y.; PENGZHAN LIU, S. O.; ZHANG, Z. Preparation of biodiesel from waste cooking oil via two-step catalyzed process. **Energy Conversion and Management**, v. 48, n. 1, p. 184–188, 1 jan. 2007.

WEB OF SCIENCE. Disponível em: <https://www-periodicos-capes-gov-br.ez26.periodicos.capes.gov.br/>. Acesso em: 11 out. 2021

XUE, J.; GRIFT, T. E.; HANSEN, A. C. Effect of biodiesel on engine performances and emissions. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 15, n. 2, p. 1098–1116, 1 fev. 2011.

ZHANG, Y. A.; DUBÉ, M.; MCLEAN, D.; KATES, M. Biodiesel production from waste cooking oil: 1. Process design and technological assessment. **Bioresource technology**, v. 89, p. 1–16, 1 set. 2003.

ZHANG, Y.; DUBÉ, M. A.; MCLEAN, D. D.; KATES, M. Biodiesel production from waste cooking oil: 2. Economic assessment and sensitivity analysis. **Bioresource Technology**, v. 90, n. 3, p. 229–240, 1 dez. 2003.

ZOU, C.; ZHAO, Q.; ZHANG, G.; XIONG, B. Energy revolution: From a fossil energy era to a new energy era. **Natural Gas Industry B**, v. 3, n. 1, p. 1–11, 1 jan. 2016.