

RESÍDUO DE ÓLEO DE COZINHA E SEUS IMPACTOS AMBIENTAIS E POTENCIAL DE RECICLAGEM: uma revisão sistemática

USED COOKING OIL AND ITS ENVIRONMENTAL IMPACTS AND RECYCLING POTENTIAL: a systematic review

Décio da Rocha Lima¹

¹ Instituto de Tecnologia de Pernambuco (ITEP). E-mail: decio.lima.pe@gmail.com

RESUMO: O descarte inadequado de óleo de cozinha representa risco ambiental ao contaminar solo e água. No entanto, esse resíduo possui alto potencial de reciclagem, especialmente na produção de biodiesel e sabão artesanal, promovendo a economia circular. Este estudo investigou os impactos ambientais desse descarte e o potencial do desse resíduo por meio de revisão bibliométrica em publicações da base *Scopus* (2013 - 2023). A pesquisa, de natureza qualitativa e exploratório-descritiva, utilizou o *software* VOSviewer para mapear tendências e identificar 75 documentos relevantes. Houve aumento nas publicações relativas ao tema, após 2015, refletindo a preocupação com as mudanças climáticas. China, Estados Unidos, Brasil e Índia se destacam na produção científica sobre a temática. Foram identificados três clusters principais: produção de biodiesel, tecnologias de reciclagem e impactos ambientais. O estudo ressalta a necessidade de políticas públicas e infraestrutura adequadas para o descarte e reaproveitamento sustentáveis do resíduo de óleo de cozinha.

Palavras-chave: Óleo vegetal usado. Biodiesel. Economia circular.

ABSTRACT: Improper disposal of cooking oil poses an environmental risk by contaminating soil and water. However, this waste has high recycling potential, particularly to produce biodiesel and handmade soap, thereby promoting the circular economy. This study investigated the environmental impacts of improper disposal and the recycling potential of used cooking oil through a bibliometric review of publications indexed in the Scopus database from 2013 to 2023. The research, characterized as qualitative-quantitative and exploratory-descriptive, employed VOSviewer software to map research trends and identify 75 relevant documents. An increase in publications on the topic was observed after 2015, reflecting growing concern about climate change. China, the United States, Brazil, and India stood out in terms of scientific production on the subject. Three main clusters were identified: biodiesel production, recycling technologies, and environmental impacts. The study highlights the need for appropriate public policies and infrastructure to ensure the sustainable disposal and reuse of used cooking oil.

Keywords: Used vegetable oil. Biodiesel. Circular economy.

Sumário: Introdução – 1 Metodologia – 2 Resultados e Discussão – Considerações – Referências.

INTRODUÇÃO

O descarte inadequado de resíduos oleosos, especialmente o óleo de cozinha, representa um desafio significativo para a preservação ambiental. Quando descartados em drenagens ou solo, causam bloqueios, poluição da água e eliminação do solo, afetando a saúde pública e a infraestrutura de saneamento. Programas de reciclagem e reaproveitamento de óleo para biodiesel ou outros produtos sustentáveis podem reduzir esses impactos. Em um cenário global de alta demanda por alimentos e uso de óleos vegetais é importante discutir essa temática,

entretanto, não apenas os efeitos do descarte inadequado, mas, alternativas sustentáveis para mitigar os danos (Foo et al, 2021).

Os resíduos oleosos, classificados pela Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) como Classe II B pela NBR 10.004/04, não são biodegradáveis e insolúveis em água, causando sérios danos ambientais quando descartados inadequadamente, como a contaminação de solos, corpos d'água e lençóis freáticos, afetando fauna e flora (ABNT, 2004). No Brasil, a produção de óleo vegetal atinge cerca de nove bilhões de litros por ano, com uma baixa taxa de reciclagem, resultando na poluição de rios e lagos por milhões de litros de óleo mensalmente (Souza; Campos; Biorga, 2017).

O problema do descarte inadequado de óleo em redes de esgoto e ambientes aquáticos é significativo. Quando despejado na rede de esgoto, o óleo pode causar obstruções, comprometendo o funcionamento das estações de tratamento e aumentando os custos operacionais. Além disso, a presença de óleo nos efluentes eleva a carga química e biológica, reduzindo a eficiência dos sistemas de tratamento de águas residuais (Putatunda et al, 2018). Em rios e lagos, o óleo forma uma película superficial que bloqueia a luz solar e a troca gasosa, comprometendo a fotossíntese, a oxigenação e o equilíbrio ecológico, afetando diretamente a vida aquática (Al-Robai et al, 2023).

Diversas alternativas têm sido implementadas para reduzir os impactos do descarte inadequado do óleo de cozinha, sendo a fabricação de sabão uma das mais populares e eficazes. Essa prática, de baixo custo e simples execução, é viável tanto em escala industrial quanto em projetos comunitários. A saponificação transforma o óleo residual em sabão, reduzindo a poluição e gerando oportunidades econômicas, especialmente para comunidades de baixa renda. Essa prática promove sustentabilidade ambiental e inclusão social, beneficiando o meio ambiente e a economia local (Pasqualetto et al, 2018).

Uma segunda alternativa relevante é o uso do óleo residual na produção de biodiesel, um combustível renovável que reduz a poluição ambiental ao mesmo tempo que diminui a dependência de combustíveis fósseis. Estudos demonstram que a produção de biodiesel a partir de óleos residuais é viável tanto em escala laboratorial quanto industrial, contribuindo para a destinação sustentável desse resíduo (Leite, 2010). Além disso, o biodiesel é biodegradável e pode emitir menos

gases de efeito estufa, como o CO₂ e materiais particulados, dependendo da mistura utilizada (Barroso; Alves, 2008).

Além das alternativas tecnológicas, como a produção de sabão e biodiesel, o reaproveitamento do óleo de cozinha, também, pode ser direcionado para outros produtos industriais, como tintas, detergentes, lubrificantes e massa de vidraceiro (Suarez; Mello, 2011). O óleo residual, ao ser devidamente tratado, pode se tornar matéria-prima para uma série de processos industriais, minimizando a necessidade de extração de novos recursos naturais e contribuindo para uma economia circular.

Embora essas iniciativas ocorram, ainda, existem barreiras significativas para a ampla implementação de práticas de reciclagem de óleo de cozinha, como a falta de conscientização da população e a ausência de fiscalização adequada, o que dificulta o cumprimento da legislação e resulta no descarte impróprio desse resíduo (Novaes; Machado; Lacerda, 2014). Além disso, a conscientização da população é um fator crítico para o sucesso dessas alternativas. O engajamento das comunidades por meio de campanhas educativas e oficinas de reciclagem tem demonstrado resultados promissores na mudança de comportamento em relação ao descarte correto do óleo (Idalino; Costa; Silva, 2021).

Nesse contexto, a realização de uma revisão bibliométrica sobre o tema é essencial para compreender a evolução das práticas e lacunas nas pesquisas sobre descarte e reciclagem de óleo de cozinha. Essa análise quantitativa das publicações científicas identifica tendências, avanços e iniciativas para mitigar impactos ambientais.

Diante do exposto, o presente estudo tem como objetivo investigar os impactos ambientais do descarte inadequado de óleo de cozinha e explorar seu potencial de reciclagem. A pesquisa foi conduzida por meio de revisão bibliométrica, analisando publicações recentes que abordam as alternativas para minimizar os danos causados por esse tipo de resíduo e as perspectivas futuras para a implementação de práticas de reaproveitamento mais amplas e eficazes.

1 METODOLOGIA

Este estudo, de natureza quali-quantitativa e exploratório-descritiva, consistiu em uma revisão bibliométrica com o objetivo de investigar os impactos ambientais do descarte inadequado de óleo de cozinha e seu potencial de

reciclagem. A pesquisa foi realizada na base de dados *Scopus*, esta base de dados foi escolhida por sua abrangência e qualidade na indexação de literatura científica revisada por pares, especialmente nas áreas de sustentabilidade e políticas públicas.

A coleta de dados foi estruturada para assegurar precisão e relevância nos resultados. Para direcionar a busca, foi elaborada uma *string* de pesquisa que contempla termos-chave ligados ao descarte de óleo de cozinha e ao impacto ambiental, conforme apresentado a seguir: (*'used cooking oil' or 'waste cooking oil'*) and (*'environmental impact' or 'environmental contamination' or 'ecosystem pollution'*) and (*'recycling' or 'reuse' or 'biodiesel production' or 'soap production' or 'sustainable disposal'*).

Para *string* foi utilizada a função *'TITLE-ABS-KEY'*, que busca os termos nos títulos, resumos e palavras-chave dos artigos, garantindo que o tema central da pesquisa seja contemplado. O uso dos operadores lógicos *'OR'* e *'AND'* permitiu incluir sinônimos e variações dos termos, assegurando amplitude na pesquisa e a conexão entre os temas de interesse. Para restringir a busca ao período relevante, foi utilizada a função *'PUBYEAR'* para selecionar apenas as publicações dos últimos dez anos (2013 a 2023). Esse recorte temporal foi usado com o foco em buscar estudos recentes e alinhados às práticas e discussões contemporâneas.

Após a inserção da *string* de pesquisa na interface da *Scopus*, os dados selecionados foram extraídos, incluindo título do artigo, autores, afiliações institucionais, ano de publicação, resumo, palavras-chave, número de citações e *link* para o texto completo, e exportados em formato CSV para facilitar a análise. Além disso, também, foram coletados os gráficos gerados pela plataforma, que ilustraram o número de documentos por ano e por país. Esses gráficos permitiram uma análise visual e quantitativa da evolução das publicações sobre o tema ao longo dos últimos anos, bem como a identificação dos países que mais contribuíram para a produção científica na área.

A metodologia da análise bibliométrica foi dividida em três etapas: preparação dos dados, análise quantitativa e análise qualitativa, seguidas da discussão dos resultados com base na literatura existente. Primeiramente, os dados foram coletados por meio de uma *string* de busca específica e importados para o *software* VOSviewer, que permitiu visualizar redes de coautoria,

coocorrência de palavras-chave e outras conexões relevantes, essenciais para mapear áreas de concentração e identificar lacunas.

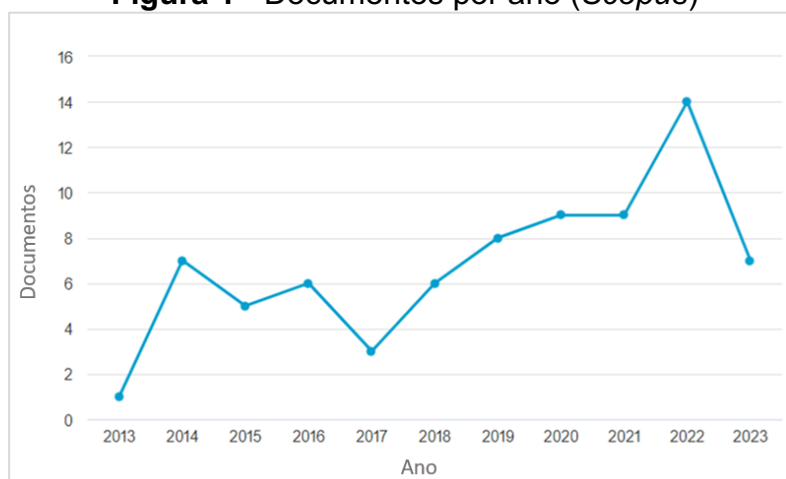
Na etapa quantitativa, foram examinados indicadores como número de publicações por ano, citações e redes de colaboração entre autores e instituições, com gráficos e tabelas evidenciando o crescimento do interesse pelo tema, estudos de maior impacto e áreas com menor interação científica. Já a análise qualitativa, baseada na leitura dos resumos, permitiu identificar temas centrais, tópicos emergentes e potenciais direções para pesquisas futuras, ampliando a compreensão sobre o campo estudado.

Por fim, os achados foram comparados com a literatura existente, permitindo validar tendências, confirmar lacunas apontadas anteriormente e sugerir novas abordagens, fortalecendo a relevância dos resultados para o avanço das pesquisas sobre o tema.

2 RESULTADOS E DISCUSSÃO

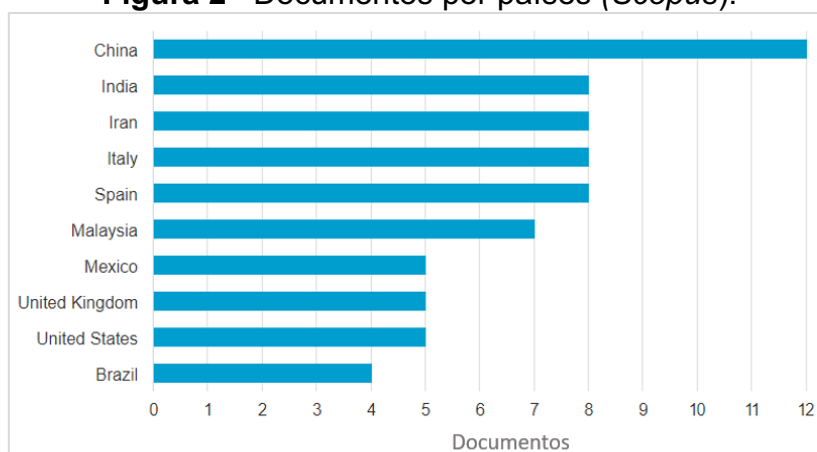
Após a aplicação da *string* de busca no *Scopus*, foram identificados inicialmente 108 documentos. Com a delimitação temporal entre os anos de 2013 e 2023, restaram 75 documentos. A análise desses documentos forneceu um panorama sobre as publicações relacionadas ao uso e reaproveitamento de óleo de cozinha usado (*Waste Cooking Oil* - WCO). A análise temporal, conforme a Figura 1 do estudo, demonstrou um aumento no número de publicações ao longo do tempo, especialmente a partir de 2014, que coincide com a intensificação dos debates sobre mudanças climáticas, bem como, com o desenvolvimento de tecnologias de reaproveitamento de resíduos.

As publicações ao longo dos anos, também, estão associadas à implementação de políticas ambientais em várias regiões do mundo, visando o controle de poluição e o incentivo ao uso de biocombustíveis. A reutilização da WCO para produção de biocombustíveis ganhou destaque como uma alternativa viável, reduzindo a dependência de combustíveis fósseis e trazendo benefícios econômicos e ambientais (Silva; Heck, 2020). O pico de publicações mais recentes pode ser explicado pela crescente necessidade de soluções energéticas alternativas, alinhadas às metas de sustentabilidade, como a Agenda 2030.

Figura 1 - Documentos por ano (Scopus)

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

Ao analisar os documentos por países (Figura 2), A produção científica sobre o reaproveitamento de WCO é liderada por países com grande capacidade industrial e alto consumo de óleos, como China, Estados Unidos, Brasil e Índia. Nesses países, o aumento do consumo de óleos vegetais e animais tem impulsionado a geração de WCO e estimulado a adoção de políticas e tecnologias para sua reutilização sustentável na produção de biocombustíveis, como biodiesel e bioquerosene (Goh et al, 2020).

Figura 2– Documentos por países (Scopus).

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

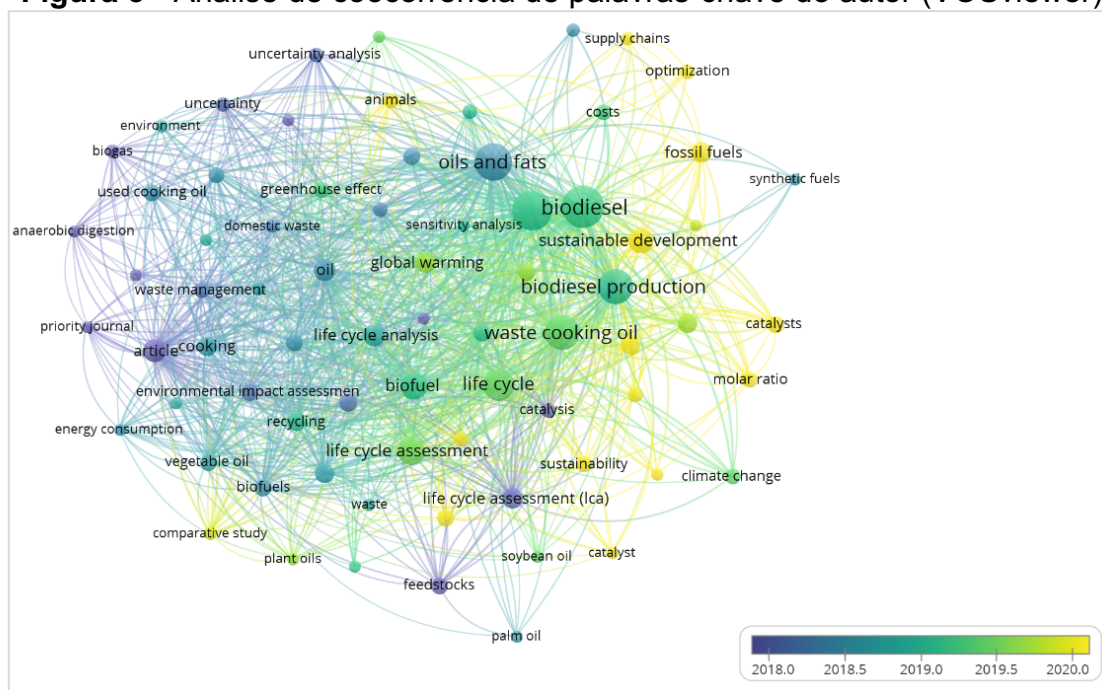
A China, por exemplo, destaca-se pela sua rápida urbanização e pelo desenvolvimento de tecnologias relacionadas à produção de biocombustíveis. O Brasil, também, se destaca pela implementação de políticas de incentivo à

produção de biodiesel, com a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, que estabeleceu a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) é frequentemente citada como um marco no incentivo à logística reversa do óleo de cozinha (Brasil, Lei nº 12.305/2010).

Países europeus, como Itália e Espanha, também, figuram entre os principais produtores de pesquisa, refletindo as políticas rigorosas da União Europeia em relação à economia circular e à redução de resíduos. O número de publicações nesses países sugere um compromisso robusto com a inovação em tecnologias verdes e a busca por alternativas ao uso de combustíveis fósseis.

A análise de coocorrência de palavras-chave, realizada com o VOSviewer, revelou a formação de três clusters principais que representam as áreas temáticas mais estudadas na pesquisa de biodiesel a partir de WCO (Figura 3). Esses clusters não apenas apontam as áreas de maior interesse, mas também, ajudam a identificar as interconexões e tendências entre diferentes tópicos, como sustentabilidade, reciclagem, e impacto ambiental. A análise desses clusters permite a visualização de um panorama abrangente sobre as tendências atuais, as lacunas de pesquisa e as áreas com maior potencial de desenvolvimento dentro deste campo de estudo.

Figura 3 - Análise de coocorrência de palavras-chave do autor (VOSviewer)



Fonte: Dados da pesquisa (2024).

O primeiro cluster destaca palavras-chave como ‘biodiesel, *waste cooking oil*, *life cycle assessment* e *sustainability*’, focando na conversão do WCO em biodiesel e na avaliação ambiental desse processo. A produção de biodiesel a partir do WCO é amplamente estudada por seus benefícios ambientais e econômicos, promovendo a economia circular sustentável. Essa conversão oferece uma alternativa aos combustíveis fósseis, alinhada à redução das emissões de gases de efeito estufa. Estudos indicam que o biodiesel de WCO reduz significativamente emissões de poluentes, em comparação ao diesel fóssil (Gad; Ismail, 2021).

A conversão de WCO em biodiesel é um dos temas mais pesquisados devido ao seu potencial de reduzir a dependência de combustíveis fósseis e mitigar impactos ambientais. A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) é amplamente utilizada para medir os impactos ambientais da produção de biodiesel de WCO, fornecendo metodologia eficaz para comparar a pegada ecológica entre diferentes tipos de combustíveis. Hosseinzadeh-Bandbafha et al. (2022), por exemplo utilizam a ACV para demonstrar que o biodiesel derivado de WCO apresenta uma pegada ecológica consideravelmente menor em comparação com combustíveis de primeira geração, como o diesel fóssil.

Em uma análise de ACV da produção de biodiesel a partir de WCO realizada em Okayama, Japão, Yang; Fujiwara; Geng (2017) concluíram que substituir o diesel convencional por biodiesel reduz, em 746,05 toneladas as emissões de CO₂ anuais, dependendo da taxa de utilização de biodiesel no sistema de transporte. Esses resultados provam os benefícios ambientais da substituição do WCO incinerado pela produção de biodiesel, além de reduzir o custo externo dos impactos ambientais, promovendo, assim, a sustentabilidade econômica.

Outro aspecto relevante abordado por esse cluster é a otimização do processo de transesterificação. A otimização desse processo é essencial para maximizar o rendimento de biodiesel e reduzir os custos de produção e impactos ambientais. Aghbashlo; Tabatabaei; Hosseinpour (2020), por exemplo, destaca o uso de ultrassom para acelerar a reação e diminuir o consumo de metanol. Essa tecnologia melhora a sustentabilidade da produção de biodiesel de WCO, reduzindo emissões de gases de efeito estufa e uso de recursos. A otimização torna o processo mais viável para adoção em larga escala, atendendo à crescente demanda por fontes de energia sustentáveis.

O segundo cluster foca em *'recycling'*, *'reuse'* e *sustainable disposal*, destacando a reutilização do WCO além do biodiesel, como em produtos de limpeza e materiais industriais. O WCO pode ser aproveitado para fabricar sabões, detergentes e melhorar a pavimentação, por exemplo, no rejuvenescimento de asfalto. Estudos mostram que o uso de WCO em misturas asfálticas melhora propriedades mecânicas, como estabilidade Marshall e módulo resiliente, especialmente em materiais envelhecidos, reduzindo o impacto ambiental do descarte inadequado (Azahar et al, 2017).

O terceiro cluster destaca termos como *'environmental impact'*, *'contamination'* e *'ecosystem pollution'*, concentrando-se nos impactos ambientais negativos do descarte inadequado do WCO. O descarte desordenado de óleo de cozinha no ambiente, especialmente em cursos d'água e solos, é uma das principais preocupações discutidas neste grupo. A poluição causada pelo WCO afeta gravemente os ecossistemas aquáticos, reduzindo a oxigenação da água e comprometendo a vida marinha, além de obstruir sistemas de esgoto e aumentar os custos de tratamento de água.

Zhao et al. (2021), por exemplo, analisaram os impactos ambientais e econômicos da produção de biodiesel a partir de WCO na China. Eles descobriram que, embora o biodiesel de WCO tenha impactos ambientais menores em termos de esgotamento de recursos em comparação ao diesel convencional, ele ainda apresenta desafios, como emissões mais elevadas de partículas e geração de poluentes no processo de transesterificação.

Este cluster, também, engloba discussões sobre soluções para mitigar esses impactos, como o desenvolvimento de sistemas eficientes de coleta e descarte de WCO, incentivando a implementação de políticas públicas que regulamentem o descarte e incentivem a reutilização. Lopresto; De Paola; Calabrò (2024) sugerem métodos de coleta e armazenamento que minimizam a degradação do óleo, garantindo sua qualidade para reutilização e reduzindo os impactos ambientais associados ao descarte inadequado.

Além disso, o desenvolvimento de tecnologias avançadas para o tratamento de resíduos e produção de biodiesel a partir de WCO, também, envolve desafios e oportunidades para a inovação. A pesquisa de Chen et al. (2021) utilizou uma análise bibliométrica avançada para examinar a evolução das tendências de

pesquisa em biodiesel de WCO, revelando que o uso de tecnologias de computação soft e avaliação termodinâmica são áreas promissoras para o avanço da sustentabilidade no setor. Esses desenvolvimentos são fundamentais para atender às demandas por biocombustíveis mais sustentáveis, especialmente em países como a China, Índia e Malásia, que lideram as publicações científicas no setor.

A análise de coocorrência de palavras-chave revelou três clusters principais na pesquisa sobre biodiesel de WCO. O primeiro destaca os benefícios ambientais e econômicos do biodiesel como alternativa sustentável aos combustíveis fósseis. O segundo aborda diversas aplicações do WCO além do biodiesel, promovendo seu uso em diferentes setores industriais. O terceiro alerta para os impactos ambientais do descarte inadequado e a necessidade de políticas públicas que regulamentem e incentivem o reaproveitamento do WCO. Esses temas são essenciais para uma economia de baixo carbono e para o avanço das metas globais de sustentabilidade.

Ao analisar os dez artigos mais citados sobre a reutilização de WCO, identificam-se importantes correlações em torno de três áreas principais: produção de biodiesel, otimização de processos e impactos ambientais, além de novas aplicações do WCO. Esses estudos estão organizados em três grandes focos: (1) produção de biodiesel e otimização tecnológica, explorando métodos mais eficientes e sustentáveis; (2) uso da ACV para medir e comparar os impactos ambientais das tecnologias empregadas e; (3) diversificação das aplicações do WCO, que vai além do biodiesel, abrangendo setores como pavimentação e produção de sabão.

O crescente interesse pela reutilização de WCO se alinha com a busca por soluções sustentáveis e alternativas aos combustíveis fósseis, promovendo a economia circular e contribuindo para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente o ODS 12, que incentiva o consumo e produção responsáveis. A Lista dos dez artigos conta no Quadro 1.

Quadro 1 - Lista dos dez artigos mais citados (*Scopus*)

Artigo	Número de citações	Referências
Sustainable asphalt rejuvenation using waste cooking oil: A comprehensive review	154	Zahoor et al., 2021
Life cycle assessment indicators of urban wastewater and sewage sludge treatment	142	Buonocore et al, 2018
On the exergoeconomic and exergoenvironmental evaluation and optimization of biodiesel synthesis from waste cooking oil (WCO) using a low power, high frequency ultrasonic reactor	134	Aghbashlo; Tabatabaei; Hosseinpour, 2018
Process simulation and life cycle analysis of biodiesel production	122	Sajid; Faisal; Yan, 2016
A robust possibilistic programming approach toward animal fat-based biodiesel supply chain network design under uncertain environment	116	Habib et al, 2021
Life cycle assessment of waste cooking oil for biodiesel production using waste chicken eggshell derived CaO as catalyst via transesterification	114	Chung et al, 2019
Used-cooking-oil biodiesel: Life cycle assessment and comparison with first- and third-generation biofuel	106	Fonteinis et al, 2020
Environmental life cycle assessment of biodiesel production from waste cooking oil: A systematic review	104	Hosseinzadeh-Bandbafha et al, 2022
History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review	101	Oliveira; Suani, 2017
Comparison of feedstocks and technologies for biodiesel production: An environmental and techno-economic evaluation	94	Rincón; Jaramillo; Cordona, 2015.

Fonte: Dados da pesquisa (2024).

A primeira área de destaque é a produção de biodiesel e a otimização dos processos tecnológicos. A produção de biodiesel a partir de WCO é uma alternativa ambiental e econômica viável, que reaproveita um resíduo abundante, reduz emissões de gases de efeito estufa e substitui parcialmente o diesel fóssil. O uso de WCO pode reduzir os custos em 60-90% comparado a óleos virgens (Talebian-Kiakalaieh; Amin; Mazaheri, 2013). Gerado diariamente em residências e estabelecimentos, seu aproveitamento é estratégico, mas depende de coleta e pré-tratamento adequados, exigindo infraestrutura que preserve a qualidade do óleo para a transesterificação.

A busca por tecnologias que aumentem a eficiência energética e reduzam os custos do biodiesel tem impulsionado inovações. Um desafio é a presença de contaminantes no WCO, como ácidos graxos livres, água e impurezas, que exigem

purificação extra e elevam os custos. A alta concentração de ácidos graxos reage com catalisadores básicos, como NaOH, formando sabão e dificultando a transesterificação (Gnanaprakasam et al, 2013). Para mitigar isso, Talebian-Kiakalaieh et al (2013) sugerem o uso de catalisadores heterogêneos, mais resistentes a impurezas e recicláveis, o que torna o processo mais sustentável e menos dependente da qualidade do WCO.

Além disso, inovações como o reator ultrassônico desenvolvido por Aghbashlo et al (2018) oferecem soluções promissoras. A tecnologia ultrassônica melhora a mistura dos reagentes e acelera a taxa de reação, reduzindo tanto o tempo necessário para a transesterificação quanto o consumo de energia. A análise exergoeconômica e exergoambiental realizada pelos autores demonstra que a aplicação de ondas ultrassônicas na produção de biodiesel a partir de WCO pode ser uma alternativa mais sustentável, com menores custos e impactos ambientais.

Outro método relevante é o uso de micro-ondas, que acelera a transesterificação ao proporcionar aquecimento rápido e uniforme, aumentando o rendimento do biodiesel (Chung et al, 2019). A técnica, também, permite o uso de catalisadores sustentáveis, como o CaO obtido de cascas de ovos, de baixo custo e menor impacto ambiental que os convencionais, como o KOH. A combinação de micro-ondas e catalisadores derivados de resíduos mostra potencial para reduzir custos e tornar o processo mais ecológico e eficiente.

A segunda área de destaque na literatura é o uso da ACV, reconhecida como ferramenta essencial para mensurar os impactos ambientais da produção de biodiesel a partir de WCO. A ACV oferece visão abrangente do ciclo, da extração da matéria-prima ao descarte final, identificando etapas críticas, como coleta e transporte, com impactos significativos. Esse entendimento orienta estratégias para reduzir impactos e promover a produção de biodiesel mais sustentável (Febijanto et al, 2024).

O uso do WCO como matéria-prima promove a economia circular, reduz a dependência de combustíveis fósseis e evita o descarte inadequado, aliviando sistemas de esgoto e reduzindo poluentes (Ripa et al, 2014; Febijanto et al, 2024). Além disso, contribui significativamente para a diminuição das emissões de gases de efeito estufa (GEE), reforçando o potencial do biodiesel de WCO como alternativa ambientalmente sustentável.

Buonocore et al. (2016) aplicou a ACV para avaliar diferentes cenários de tratamento de resíduos urbanos e lodo de esgoto, incorporando o uso de WCO como fonte de energia renovável em processos de cogeração. Os resultados sugerem que o uso de WCO pode reduzir significativamente o potencial de eutrofização de água doce e melhorar a eficiência energética do processo. Isso demonstra o potencial do WCO para além da produção de biodiesel, destacando sua relevância na gestão de resíduos e sistemas de energia urbana.

Embora existam vantagens, uma revisão sistemática realizada por Hosseinzadeh-Bandbafha et al. (2022) identificou lacunas na aplicação da ACV ao biodiesel de WCO, com foco limitado às fases de produção e uso, negligenciando a gestão de resíduos catalíticos. O estudo, também, criticou a hipótese de ‘carga zero’, que assume impacto ambiental nulo do WCO, ignorando usos alternativos como sabão ou ração animal. Isso reforça a necessidade de análises mais completas, alinhadas à economia circular.

A aplicação da ACV é fundamental para direcionar esforços em busca de uma produção de biodiesel mais sustentável. As futuras pesquisas devem focar na melhoria da eficiência de coleta, transporte e uso de tecnologias renováveis, além de desenvolver políticas que incentivem a reciclagem de WCO e a transição para biocombustíveis (Ripa et al, 2014; Febijanto et al, 2024).

A terceira área de interesse na literatura diz respeito à diversificação das aplicações do WCO. O descarte inadequado de WCO é uma das principais causas de contaminação ambiental. No Brasil, apenas 25% do óleo é reciclado. Um litro pode contaminar até 25 mil litros de água, formar películas sobre superfícies aquáticas e dificultar trocas gasosas. Isso afeta a biodiversidade e eleva os custos de saneamento, agravando enchentes e impermeabilização do solo (Ribeiro et al, 2020; Rocha; Rocha, 2021; Faria; Serra, 2020).

A reutilização do WCO como matéria-prima para biodiesel é prática e sustentável, sendo uma alternativa biodegradável e não tóxica aos combustíveis fósseis (Živković; Veljković, 2017). No entanto, há desafios na coleta e no processo de transesterificação devido às impurezas. Soluções como catalisadores derivados de resíduos têm mostrado bons resultados, aumentando a eficiência e reduzindo custos (Rincón; Jaramillo; Cardona et al, 2014).

Outro exemplo importante é a fabricação de sabão ecológico a partir do óleo residual. A produção une baixo custo e alto impacto ambiental e social. Evita o descarte inadequado, gera economia local e promove educação ambiental. Estudos mostram boa aceitação do produto pelos consumidores (Castro; Fabris, 2020). Iniciativas em cidades como Piracanjuba/GO exemplificam o sucesso da abordagem, que integra gestão de resíduos com ações comunitárias (Guimarães; Dias, 2020).

Além disso, uma aplicação inovadora da WCO é seu uso na pavimentação de asfalto. Pesquisas recentes, como as de Zahoor et al. (2021), revelam que o óleo residual pode ser usado como rejuvenecedor de asfalto reciclado, melhorando a resistência ao craqueamento térmico. Essa prática não apenas reduz o uso de materiais não renováveis, como o betume, mas também, amplia as possibilidades de reutilização de resíduos em setores como a construção civil. Apesar de suas previsões iniciais, como a resistência à fadiga e à umidade, as modificações no processo podem melhorar o desempenho do material, tornando essa aplicação ainda mais sustentável.

Um dos aspectos fundamentais para o sucesso na reutilização do óleo residual é a logística reversa, mas a falta de políticas públicas abrangentes e infraestrutura adequada em várias regiões brasileiras dificulta a coleta e o reaproveitamento da WCO. No entanto, programas como o Renova Palmas, no Tocantins, e iniciativas em Pelotas/RS demonstram que a logística reversa pode ser eficiente quando bem estruturada (Silva; Heck, 2020). A criação de pontos de coleta voluntária em locais estratégicos, como escolas, supermercados e postos de gasolina, tem apresentado bons resultados. Em Pelotas, a coleta organizada alcança quatro milhões de litros mensais, com planos para expansão da rede (Machado; Girão; Duarte, 2021).

A conscientização da população, também, desempenha papel essencial nesse processo. A educação ambiental tem sido uma ferramenta poderosa para transformar hábitos e promover mudanças de comportamento. Oficinas de reciclagem, como a produção de sabão ecológico, têm sido amplamente utilizadas para engajar comunidades e divulgar informações sobre os impactos do descarte inadequado. Em um estudo realizado em Fortaleza/CE, no Brasil, Rocha; Rocha (2021) registraram um aumento significativo na doação de óleo residual após um

programa de treinamento em um condomínio residencial. Essas ações demonstram que a conscientização contínua e bem planejada pode gerar resultados duradouros.

Embora tenham ocorridos avanços, a reutilização do WCO ainda enfrenta desafios importantes, como a concentração de iniciativas no Sul e Sudeste do Brasil, deixando outras regiões em desvantagem. A falta de políticas unificadas e de conscientização, também, limita o aproveitamento do resíduo (Oliveira; Andrade; Santos, 2022). Contudo, o aumento da demanda por soluções sustentáveis e o avanço tecnológico indicam um cenário promissor, especialmente com parcerias público-privadas e novas aplicações para produtos reciclados.

Com base nas análises e na literatura, identificam-se avanços relevantes na produção de biodiesel a partir de WCO, como a aplicação de reatores ultrassônicos e catalisadores sustentáveis, que contribuem para otimizar processos, aumentar a eficiência energética e reduzir custos operacionais. Além da produção de biodiesel, o WCO apresenta potencial em outras aplicações, como na pavimentação de asfalto e na fabricação de produtos de limpeza industriais. Ressalta-se, também, a necessidade de análises mais abrangentes de ACV, contemplando desde a coleta até a destinação final, para identificar impactos críticos e propor melhorias.

Políticas públicas eficazes, aliadas ao fortalecimento da logística reversa, são fundamentais, especialmente em regiões onde o reaproveitamento ainda é limitado. A conscientização ambiental, por meio de programas educativos e campanhas comunitárias, também, é essencial para estimular a adesão à reciclagem. Ademais, estudos de viabilidade econômica e social e o incentivo à coleta comunitária, com sistemas acessíveis e recompensas, podem ampliar o reaproveitamento de forma sustentável e inclusiva.

CONSIDERAÇÕES

Este estudo analisou os impactos ambientais do descarte inadequado de óleo de cozinha e seu potencial de reciclagem, com foco na produção de sabão artesanal e biodiesel. Por meio de revisão bibliométrica, identificou-se aumento nas publicações sobre o tema a partir de 2015, evidenciando maior conscientização ambiental e interesse por soluções sustentáveis. A reciclagem do óleo usado se

mostrou uma alternativa eficaz para reduzir danos ambientais, fomentar energias limpas e fortalecer a economia circular.

Três principais áreas de destaque foram identificadas: produção de biodiesel, tecnologias de reciclagem e impactos ambientais, ressaltando a importância de avanços tecnológicos e inovação. A análise, também, apontou a liderança de países como China, Estados Unidos, Brasil e Índia nas pesquisas sobre o tema, indicando o papel estratégico das políticas públicas e da cooperação internacional para o avanço sustentável.

Embora os avanços existam, persistem desafios significativos, como a ausência de infraestrutura eficiente para coleta seletiva e a necessidade de aprimorar os processos tecnológicos de reciclagem. Para consolidar o reaproveitamento do óleo como prática sustentável, sugerem-se estudos futuros voltados ao desenvolvimento de tecnologias acessíveis para pequenas comunidades, análise do impacto socioeconômico da reciclagem em contextos regionais e propostas interdisciplinares que integrem aspectos ambientais, econômicos e comportamentais, promovendo políticas mais eficazes e adaptadas à realidade local.

REFERÊNCIAS

ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004: resíduos sólidos: classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

AGHBASHLO, M; TABATABAEI, M; HOSSEINPOUR, S. On the exergoeconomic and exergoenvironmental evaluation and optimization of biodiesel synthesis from waste cooking oil (WCO) using a low power, high frequency ultrasonic reactor.

Energy Conversion and Management, v. 164, p. 385-398, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890418302036>.

Acesso em: 20 mai. 2025.

AL-ROBAI, H. A. et al. Petroleum's Influence on the Aquatic Environment. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2023.

p. 022025. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1262/2/022025/meta>. Acesso em: 20 mai. 2025.

AZAHAR, W. N. A. W. et al. Mechanical performance of asphaltic concrete incorporating untreated and treated waste cooking oil. **Construction and Building materials**, v. 150, p. 653-663, 2017. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061817311881>.

Acesso em: 20 mai. 2025.

BARROSO, A. C.; ALVES, L. B. **O biodiesel na matriz energética do Brasil: uma análise das externalidades**. 2008. 14 p. Trabalho apresentado no 46º Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural (SOBER), p. 20-23, 2008. Disponível em: <https://ageconsearch.umn.edu/record/113201/>. Acesso em: 20 mai. 2025.

BRASIL **Lei nº 12.305**, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 20 de mai. de 2025.

BUONOCORE, E. et al. Life cycle assessment indicators of urban wastewater and sewage sludge treatment. **Ecological indicators**, v. 94, p. 13-23, 2018. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1470160X16302291>. 20 mai. 2025.

CASTRO, C. S. de B.; FABRIS, L. B. Produção de Sabão a partir do Óleo Vegetal utilizado em Fritura. **Revista Alomorfia**, v. 4, n. 3, p. 154-162, 2020. Disponível em: <https://alomorfia.com.br/index.php/alomorfia/article/view/95>. Acesso em: 20 mai. 2025.

CHEN, C. et al. Sustainability and challenges in biodiesel production from waste cooking oil: An advanced bibliometric analysis. **Energy Reports**, v. 7, p. 4022-4034, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352484721004510>. Acesso em: 20 mai. 2025.

CHUNG, Z. L. et al. Life cycle assessment of waste cooking oil for biodiesel production using waste chicken eggshell derived CaO as catalyst via transesterification. **Biocatalysis and Agricultural Biotechnology**, v. 21, p. 101317, 2019. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1878818119309090>. Acesso em: 20 mai. 2025.

FARIA, A. K. C. A; SERRA, J. C. V. Gerenciamento de óleo residual-Proposta de intervenção para a cidade de Palmas-TO. **Revista Acta Ambiental Catarinense**, v. 17, n. 1, p. 17-24, 2020. Disponível em: <https://bell.unochapeco.edu.br/revistas/index.php/acta/article/view/5274>. Acesso em: 20 mai. 2025.

FEBIJANTO, I. et al. Application of life cycle assessment in measuring the environmental impact of waste cooking oil utilization for biodiesel-a review. In: **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**. IOP Publishing, 2024. p. 012058. Disponível em: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/1312/1/012058/meta>. Acesso em: 20 mai. 2025.

FOO, W. H. et al. The conundrum of waste cooking oil: Transforming hazard into energy. **Journal of hazardous materials**, v. 417, p. 126129, 2021. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0304389421010931>. Acesso em: 20 mai. 2025.

GAD, M. S.; ISMAIL, Mohamed A. Effect of waste cooking oil biodiesel blending with gasoline and kerosene on diesel engine performance, emissions and

combustion characteristics. **Process Safety and Environmental Protection**, v. 149, p. 1-10, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S095758202031836X>.

Acesso em: 20 mai. 2025

GNANAPRAKASAM, A. et al. Recent strategy of biodiesel production from waste cooking oil and process influencing parameters: a review. **Journal of Energy**, v. 2013, n. 1, p. 926392, 2013. Disponível em:

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/full/10.1155/2013/926392>. Acesso em: 20 mai.

2025.

GOH, B. H. H. et al. Progress in utilisation of waste cooking oil for sustainable biodiesel and biojet fuel production. **Energy Conversion and Management**, v. 223, p. 113296, 2020. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0196890420308359>.

Acesso em: 20 mai. 2025.

GUIMARÃES, B. O; DIAS, D. O. Reciclagem de óleo residual para a produção de sabão ecológico no município de Piracanjuba-GO: um processo de educação ambiental comunitário. **Educação Ambiental em Ação**, v. 19, n. 71, 2020.

Disponível em: <https://www.revistaeea.org/artigo.php?idartigo=3921>. Acesso em: 20 mai. 2025.

HABIB, M. S. et al. A robust possibilistic programming approach toward animal fat-based biodiesel supply chain network design under uncertain environment.

Journal of Cleaner Production, v. 278, p. 122403, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620324501>.

Acesso em: 20 mai. 2025.

HOSSEINZADEH-BANDBAFHA, H. et al. Environmental life cycle assessment of biodiesel production from waste cooking oil: A systematic review. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 161, p. 112411, 2022. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032122003197>.

Acesso em: 20 mai. 2025.

IDALINO, R. K. T; COSTA, J. B. V; DA SILVA, R. N. *Diversitas Journal*.

Diversitas, v. 6, n. 2, p. 2084-2098, 2021. Disponível em:

https://www.diversitasjournal.com.br/diversitas_journal/article/view/1401. Acesso

em: 20 mai. 2025.

LEITE, V. L. A. **Produção de biodiesel e sabão a partir de óleos residuais na região de Machado-MG**. Dissertação (Mestrado em Ciências Agrárias).

Universidade Jose do Rosario Vellano, Alfenas, 2010. Disponível em:

<http://tede2.unifenas.br:8080/jspui/handle/jspui/35>. Acesso em: 20 mai. 2025.

LOPRESTO, C. G; DE PAOLA, M. G; CALABRÒ, V. Importance of the properties, collection, and storage of waste cooking oils to produce high-quality biodiesel—An overview. **Biomass and Bioenergy**, v. 189, p. 107363, 2024. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0961953424003167>. Acesso

em: 20 mai. 2025.

MACHADO, J. B.; GIRÃO, M. S.; DUARTE, P. C. LOGÍSTICA REVERSA NA PRÁTICA: A RECICLAGEM DO ÓLEO RESIDUAL EM PELOTAS/RS. *Revista*

CIATEC-UPF, v. 13, n. 2, 2021. Disponível em:

<https://seer.upf.br/index.php/ciatec/article/view/12945>. Acesso em: 20 mai. 2025.

NOVAES, P. C; MACHADO, A. M. B; LACERDA, F. V. Consumo e Descarte do Óleo Comestível em um Município do sul de Minas Gerais/Consumption and Disposal of Edible Oil in a city of Southern Minas Gerais. **HSJ**, v. 4, n. 3, p. 33-40, 2014. Disponível em:

https://www.portalcrcs.hcitajuba.org.br/index.php/rcsfmit_zero/article/view/225.

Acesso em: 20 mai. 2025.

OLIVEIRA, C. M. R; ANDRADE, P. C. A; SANTOS, M. S. F. Análise dos pontos de coleta do óleo vegetal residual no Brasil para a logística reversa.

Sustentabilidade: Diálogos Interdisciplinares, v. 3, p. 1-13, 2022. Disponível em: <https://periodicos.puc-campinas.edu.br/sustentabilidade/article/view/5830>.

Acesso em: 20 mai. 2025.

PASQUALETTO, A. et al. ESTIMATIVA DOS RESÍDUOS DE ÓLEO LUBRIFICANTES E DE COMPONENTES DE FILTROS LUBRIFICANTES DA FROTA DE VEÍCULOS GOIANA E BRASILEIRA. **Engenharia Ambiental: Pesquisa e Tecnologia**, v. 14, n. 2, 2017. Disponível em:

<http://ferramentas.unipinhal.edu.br/engenhariaambiental/viewarticle.php?id=1442&layout=abstract>. Acesso em: 20 de mai. de 2025.

PUTATUNDA, S. et al. A review on the application of different treatment processes for emulsified oily wastewater. **International journal of environmental science and technology**, v. 16, p. 2525-2536, 2019. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-018-2055-6>. Acesso em: 20 mai. 2025.

RIBEIRO, C. de J. et al. O ÓLEO DE COZINHA E O DILEMA DA SUSTENTABILIDADE. **Revista NEADS**, v. 1, n. 1, 2020. Disponível em:

<http://neads.btv.ifsp.edu.br/ojs/index.php/revneads/article/view/16>. Acesso em: 20 mai. 2025.

RIPA, M. et al. Recycling waste cooking oil into biodiesel: a life cycle assessment. **International Journal of Performability Engineering**, v. 10, n. 4, p. 347, 2014.

Disponível em: <https://www.ijpe-online.com/www.ijpe-online.com/EN/10.23940/ijpe.14.4.p347.mag>. Acesso em: 20 mai. 2025.

RINCÓN, L. E; JARAMILLO, J. J; CARDONA, C. A. Comparison of feedstocks and technologies for biodiesel production: An environmental and techno-economic evaluation. **Renewable Energy**, v. 69, p. 479-487, 2014. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S096014811400233X>.

Acesso em: 20 mai. 2025.

ROCHA, B. F; ROCHA, E. J. T. Reciclagem de Óleos e Gorduras Residuais: Percepção do Impacto Ambiental por Moradores de Condomínio Residencial em Fortaleza/CE. **Conexões-Ciência e Tecnologia**, v. 15, p. e021035-e021035, 2021. Disponível em:

<https://conexoes.ifce.edu.br/index.php/conexoes/article/view/2179>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SAJID, Z; KHAN, F; ZHANG, Y. Process simulation and life cycle analysis of biodiesel production. **Renewable Energy**, v. 85, p. 945-952, 2016. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148115301415>.

Acesso em: 20 mai. 2025.

SILVA, J. D; HECK, M. Panorama da logística reversa do óleo residual de fritura no Brasil. **Revista Gestão & Sustentabilidade Ambiental**, v. 9, p. 720-739, 2020. Disponível em:

<https://pdfs.semanticscholar.org/39c8/a7644cbc2d06037cd49f80689f572754c84b.pdf>. Acesso em: 20 mai. 2025.

SUAREZ, P. A. Z.; MELLO, V. M. Gestão sustentável de óleos e gorduras residuais na Universidade de Brasília: rumo à responsabilidade ambiental e social. In: CATALÃO, V. M. L. et al. (Orgs.). **Universidade para o século XXI: educação e gestão ambiental na Universidade de Brasília** (pp. 59-69). Brasília: Cidade Gráfica e Editora, 2011. Disponível em:

https://repositorio.unb.br/bitstream/10482/32356/1/CAPITULO_GestaoSustentavelOleos.pdf. Acesso em: 20 mai. 2025.

SOUZA, M. L; DE CAMPOS, R. F. F; BORG, T. Educação ambiental: um estudo exploratório no bairro Abraão dos Santos Maciel do município de Lebon Régis/SC. **Professare**, 2017. Disponível em:

<https://periodicos.uniarp.edu.br/index.php/professare/article/view/1042>. Acesso em: 20 mai. 2025.

TALEBIAN-KIAKALAIEH, 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, 2013. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0306261912008665>.

Acesso em: 20 mai. 2025.

YANG, J; FUJIWARA, T; GENG, Q. Life cycle assessment of biodiesel fuel production from waste cooking oil in Okayama City. **Journal of Material Cycles and Waste Management**, v. 19, p. 1457-1467, 2017. Disponível em:

<https://link.springer.com/article/10.1007/s10163-016-0540-x>. Acesso em: 20 mai. 2025.

ZAHOR, M. et al. Sustainable asphalt rejuvenation using waste cooking oil: A comprehensive review. **Journal of Cleaner Production**, v. 278, p. 123304, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0959652620333497>.

Acesso em: 20 mai. 2025.

ZHAO, Y. et al. Converting waste cooking oil to biodiesel in China: environmental impacts and economic feasibility. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 140, p. 110661, 2021. Disponível em:

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403212030945X>.

Acesso em: 20 mai. 2025.

ŽIVKOVIĆ, S.; VELJKOVIĆ, M. Environmental impacts the of production and use of biodiesel. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 25, p. 191-199, 2018. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-017-0649-z>.

Acesso em: 20 mai. 2025.