

Michel Bruno Lima Nascimento

michel_bln@hotmail.com

[Orcid: 0009-0005-6418-1300](https://orcid.org/0009-0005-6418-1300)

UFS, São Cristóvão,
Sergipe, Brasil I.

José Ricardo Santana

jrsantana@academico.ufs.br

[Orcid: 0000-0001-5617-2096](https://orcid.org/0000-0001-5617-2096)

UFS, São Cristóvão, Sergipe, Brasil I.

Relação entre pesquisas de IA na produção de combustíveis sustentáveis e de patentes de combustíveis sustentáveis

RESUMO

A sustentabilidade é discutida frequentemente devido problemáticas ambientais, como emissão de gases de efeito estufa pela queima de combustíveis fósseis. Objetivando diminuir essa emissão e ser sustentável, entre as alternativas há o uso dos combustíveis sustentáveis tendo como matéria-prima biomassas. Os biocombustíveis são pesquisados há longa data e ganharam desenvoltura na produção com inclusão da inteligência artificial, agregando no aumento e qualidade, e inclusive criando propriedade intelectual, em específico, patentes. O objetivo da pesquisa é analisar a relação entre as pesquisas acadêmicas de IA na produção de combustíveis sustentáveis e pesquisas que envolvem patentes de combustíveis sustentáveis. Para alcançar nossa pretensão foi realizado busca de artigos científicos dos dois temas e utilizada a correlação de Pearson, para verificar o quão forte é a relação quantitativa de produções científicas anualmente entre os assuntos pesquisados. Os resultados indicam forte relação entre os assuntos, mostrando indícios do alinhamento dos estudos analisados. Concluiu-se que os temas abordados são fortemente correlacionados e as áreas de pesquisa andam alinhadas.

PALAVRAS-CHAVE: inteligência artificial, patente, combustíveis sustentáveis.

INTRODUÇÃO

A sociedade vem se conscientizando paulatinamente da necessidade de conciliar seu modo de viver e se desenvolver em conjunto com o meio ambiente de forma que os dois consigam coexistir. Yang *et al.* (2023) em seu estudo consideram que as ações sustentáveis auxiliam na diminuição da degradação da natureza, dentre dessas ações existe a produção dos combustíveis sustentáveis ou renováveis, que se mostram muito eficazes na diminuição da poluição do ar, logo que a sua queima gera menos Gases de Efeito Estufa (GEE) e o que os tornam renováveis é a biomassa a qual é sua matéria-prima.

Knothe e Razon (2017) afirmam que o processo de produção de biocombustíveis tem evoluído de forma significativa utilizando-se de várias matérias-primas que vêm sendo estudadas e reiteram que os biocombustíveis já são aceitos como energia sustentável, inclusive sendo misturado com combustíveis fósseis.

A disseminação de métodos de produção desses combustíveis está cada vez maior através de pesquisas divulgadas e com várias patentes sendo registradas, a inclusão da Inteligência Artificial (IA) como ferramenta de melhoria na produção, facilita as cadeias de processos da produção dos combustíveis sustentáveis (Okolie, 2024).

Apesar das patentes serem uma proteção para o investimento em tecnologia, o mercado ainda tem seus objetivos bem diferenciados em questão de (PI) Propriedade intelectual, Holgersson e Granstrand (2022) afirmam que apesar da PI fornecer novas formas de receitas para os negócios, uma parcela de empresas ainda diminui sua importância e focam mais em seus processos e desenvolvimento interno.

Muitas vezes, segundo Kondrateva *et al.* (2022) a aplicabilidade da PI ainda não está bem difundida em certas áreas tecnológicas, o que está ligado a falta de conhecimento sobre a matéria e sua complexibilidade. A temática dos direitos da propriedade intelectual ainda demonstra muitas lacunas no estado da pesquisa, inclusive algumas bem críticas, em contrapartida há outros campos que já se mostram bastante evoluídos (Castaldi *et al.*, 2024).

Aghbashlo *et al.* (2021) elucidam em sua pesquisa a importância do biocombustível produzido através de IA e cita os benefícios de sua produção como diminuição de poluição, diminuição de mão de obra e energia, redução de consumo de água e produtos químicos e afirmando sua compatibilidade com motores a diesel e inclusive a possibilidade de misturas com outros combustíveis para melhor adequação.

Considerando a importância da IA no auxílio de se produzir os combustíveis renováveis, e a criação de patentes desses produtos, nos indagamos o quão se relacionam as pesquisas acadêmicas desses temas?

Esse estudo se torna relevante pela necessidade de encontrar outros meios energéticos de combustão além dos fósseis, os quais sofrem com escassez de matéria-prima e ainda geram ônus ao meio ambiente, os biocombustíveis surgem como alternativa devido suas baixas emissões, por serem biodegradáveis e renováveis, dessa forma atendendo a especificidades que se alinham com alguns dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentáveis (ODS) da Organização das Nações

Unidas (ONU), os combustíveis sustentáveis têm grande contribuição para sociedade no campo de energias renováveis, combate às mudanças climáticas, saúde de qualidade e a manutenção do meio ambiente harmônico com o nosso viver.

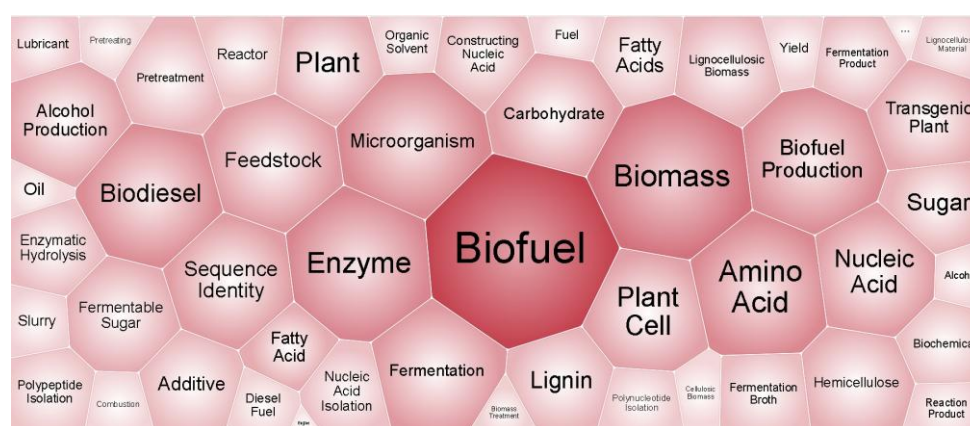
O objetivo desse trabalho é analisar a relação entre as pesquisas científicas de IA na produção de combustíveis sustentáveis e as pesquisas que envolvem patentes de combustíveis sustentáveis.

REFERENCIAL TEÓRICO

Ao decorrer do tempo os combustíveis fósseis estão ficando mais caros devido sua matéria-prima ser escassa e assim tonando-se insustentável a manutenção da disponibilidade, as indústrias energéticas se esforçam para suprir de outras formas a dependência dos insumos fósseis, pesquisas revelam os combustíveis sustentáveis como uma das solução para essa situação, esse tipo de combustível que tem como matéria-prima a biomassa se destaca por se uma fonte renovável, além disso o biocombustível demonstra melhoria na performance e nas emissões do motor (Jin *et al.*, 2023).

O insumo dos biocombustíveis vem passando por evoluções, por terem que ser renováveis, sustentáveis e biodegradáveis para fazerem sentido ao seu fim, são realizados estudo no sentido de encontrar o melhor insumo que funcione como biomassa, Mohiddin *et al.* (2021) infere que inicialmente a matéria-prima utilizada era óleo comestível, o qual se torna inviável por razão da demanda alimentícia, a segunda tentativa foram os óleos e gorduras não comestíveis ou residuais, depois foram realizados testes com algas ou óleos de algas, a quarta geração e mais recente se tem a criação de um sistema biológico para esse propósito, todavia pesquisas ainda são realizadas procurando os melhores insumos sustentáveis.

Figura 1 – Conceitos mais citados em patentes de biocombustíveis entre 2014-2024



Fonte: Dados da pesquisa adaptado da base consultada Orbit Intelligence®.

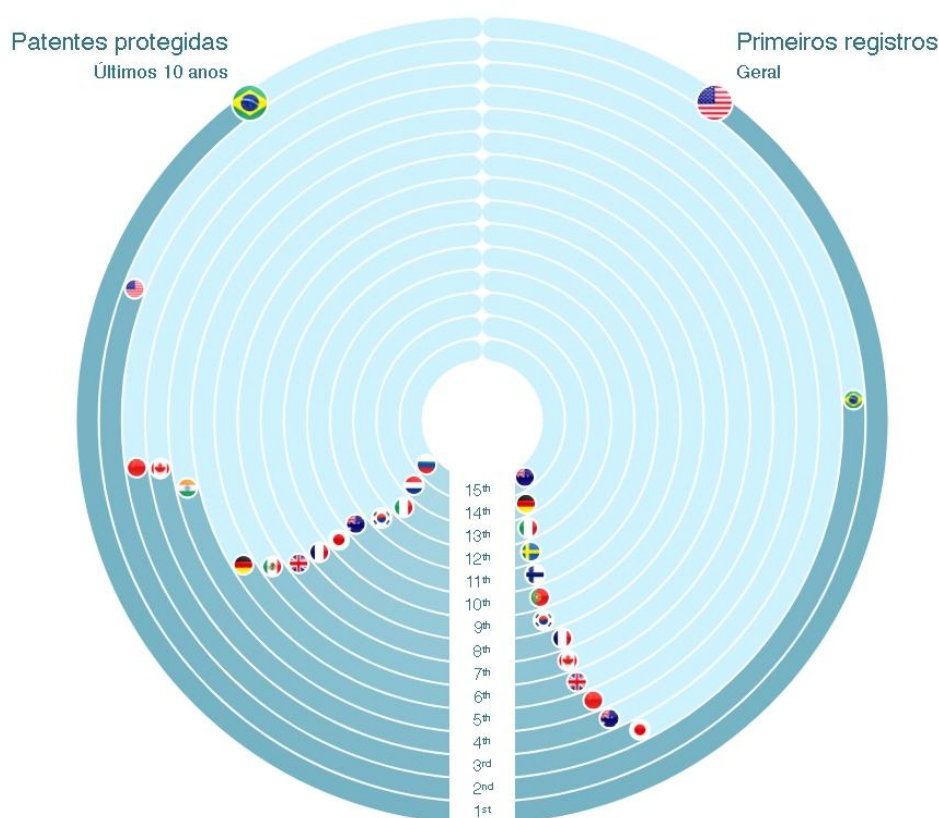
Na Figura 1, podemos visualizar alguns dos principais conceitos em torno de se criar patentes de biocombustível, por exemplo biomassas, micro-organismos, enzimas, carboidratos, célula vegetal, lignina, etc..., isso demonstra o quão é importante os estudos antecipados sobre matérias-primas para poder elaborar um novo produto eficiente. Além das pesquisas por insumos adequados, conforme

Mary *et al.* (2023) as combinações entre gasolina e biocombustível também pode ser uma forma de melhoria do desempenho e das emissões dos motores a combustão, inclusive com adição de nanopartículas de substâncias que agreguem na qualidade do produto.

Estudos no campo tecnológico computacional contribuem no desenvolvimento dos biocombustíveis, as tecnologias de IA estão sendo utilizadas em conjunto com o aprendizado de máquinas com intenção de aperfeiçoar os processos de produção dos biocombustíveis, testes e ajuste de composição, de combustão aprofundando mais ainda o desenvolvimento dessa tecnologia (Huang *et al.* 2022).

Esses esforços múltiplos para desenvolvimento dos combustíveis sustentáveis, resultam em patentes, produtos e processos inovadores, podemos ver na Figura 2 que o Brasil se destaca como o país com mais patentes registradas nos últimos 10 anos com uma boa vantagem de os outros países como EUA, China, Canadá e Índia que são respectivamente os próximos com mais patentes, além disso temos os EUA sendo líder em primeiros registros de patente nesse assunto, seguido do Brasil e outros países bem mais distantes.

Figura 2 – Países com mais patentes e com mais primeiros registros 2014-2024



Fonte: Dados da pesquisa adaptado da base consultada Orbit Intelligence® (2024)

O Brasil se destaca mundialmente por sua produção de biocombustíveis, logo é normal gerar tantas patentes de biocombustíveis, todavia muito dessa performance brasileira em quantitativo de patentes vem das instituições acadêmicas brasileiras que se destacam sendo umas das principais patenteadoras

da área de biocombustíveis, como podemos ver na Tabela 1 abaixo (BBC News Brasil, 2024).

Tabela 1 - Principais instituições acadêmicas em registro de patentes 2014-2024

Instituição	Acrônimo	País
Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro	UFRRJ	Brasil
Universidade Federal do Paraná	UFPR	Brasil
Universidade Federal de Alagoas	UFAL	Brasil
Universidade Federal da Paraíba	UFPB	Brasil
Universidade Estadual de Michigan	Universidade Estadual da Flórida	EUA
Universidade Estadual do Centro-Oeste	UNICENTRO	Brasil
Universidade Federal de Minas Gerais	UFMG	Brasil
Universidade Estadual do Oeste do Paraná	UNIOESTE	Brasil
Universidade Federal de São Carlos	UFSCAR	Brasil
Universidade Tecnológica Federal do Paraná	UTFPR	Brasil

Fonte: Dados da pesquisa adaptado do Orbit Intelligence® (2024)

METODOLOGIA

Para chegarmos aos objetivos e fins da pesquisa foram empregados os métodos comparativo, exploratório, descritivo, explicativo, pesquisa aplicada e bibliográfico. Realizamos pesquisa bibliométrica entre o período do ano de 2020 até julho de 2024 na base da *Web of Science - Coleção Principal (Clarivate Analytics/Thomson Reuters)*, escolhemos essa base por ser uma das mais utilizadas e renomadas por seu acervo de produções científicas.

2.1 Pesquisa na base de produções científicas

Foram realizadas duas pesquisas na base citada, na primeira foram procurados pelos termos (inteligência artificial e combustível sustentável), nessa pesquisa foram aplicados os seguintes filtros, apenas documentos tipo artigo, entre os períodos de 2014 e julho de 2024, retornando um total de 78 artigos, devido durante os anos de 2014 e 2021 não ter ou ter apenas 1 artigo por ano, optamos por realizar o estudo apenas no intervalo de tempo de 2020 a julho de 2024, resultando em 75 artigos.

A segunda pesquisa resultou em 48 artigos, nela foram buscados pelos termos (patente e combustível sustentável), nessa busca foram aplicados os filtros, apenas documentos tipo artigo, entre os períodos de 2020 e julho de 2024. Mantendo-se assim os parâmetros da primeira pesquisa, assim poderemos analisar a evolução anual quantitativa da produção científica das duas pesquisas de forma equitativa.

2.2 Aplicação da correlação de Pearson

Para quantificar a relação entre os estudos vamos utilizar a equação da correlação de Pearson para encontrar o coeficiente de correlação da quantidade das produções de estudos entre as duas pesquisas realizadas, através do coeficiente encontrado poderemos verificar a força da associação linear entre as variáveis, onde temos a escala de (-1 a 1), quanto mais próximo dos extremos da escala, maior será a associação linear, caso o coeficiente encontrado for zero significa que a correlação é nula ou inexistente (Pearson, Fisher e Inman, 1994).

Também vamos comparar qualitativamente e quantitativamente as áreas de pesquisa desses artigos encontrados, as áreas são indicadas pela base utilizada, dessa forma poderemos verificar se existe relação entre as áreas das pesquisas científicas.

RESULTADOS

Como as duas buscas utilizaram o termo em comum (combustível sustentável), vamos identificar as buscas de artigos realizadas por (Patente) e (IA) para diferenciá-las nas exposições.

Na Tabela 2, expomos a evolução anual das produções científicas dos termos buscados e podemos analisar que com o passar dos anos ocorre o crescimento das publicações de estudos científicos, evidenciando o aumento das pesquisas científicas tanto de artigos que envolvem IA e combustíveis sustentáveis, quanto de patentes e combustíveis sustentáveis.

Tabela 2 – Quantidade de produções científica anualmente (N = 123)

Ano	Patente	IA
2020	3	1
2021	7	8
2022	13	17
2023	11	27
2024	14	22

Fonte: Elaborada pelo autor a partir da base de dados consultada (2024).

Os quantitativos de pesquisas científicas encontrados nas buscas corroboram com estudos que indicam o crescimento do interesse em combustível sustentável produzido com o auxílio da IA, através do aprendizado das máquinas, muito pelas vantagens que a aplicação da inteligência artificial ocasiona por exemplo, otimização, monitoramento, controle de sistemas, (Aghbashlo *et al.*, 2021).

Vale ressaltar que apesar de muitas vantagens, também existe desvantagens na produção de biocombustíveis, de acordo com Sharmila, Shanmugavel e Banu (2024) devido os métodos de conversão de biomassa serem limitados por questões técnicas e operacionais, esses problemas deixam os processos complexos e tornam difícil a criação de sistemas de bioenergia.

Utilizando dos dados da Tabela 2, vamos montar a matriz de dados, considerando que as colunas de Patente e IA da tabela 2, são respectivamente as

colunas x e y da Figura 4, esses dados servirão para o cálculo do coeficiente da correlação de Pearson, após calcular o coeficiente conseguiremos avaliar se existe associação linear entre as duas variáveis.

Figura 4 – Matriz de dados

	x	y	x.y	x ²	y ²
2020	3	1	3	9	1
2021	7	8	56	49	64
2022	13	17	221	169	289
2023	11	27	297	121	729
2024	14	21	294	196	441
SOMATÓRIO	48	74	871	544	1.524

Fonte: Elaborada pelo autor a partir da base de dados consultada (2024).

Na Figura 5, realizamos o cálculo do coeficiente de Pearson, utilizando os dados da Figura 4. Na equação o (n) representa o número de pares de observação, que no caso temos 5 pares, um para cada ano.

Figura 5 – Memória de cálculo do coeficiente de correlação

$$r = \frac{\sum xy - \frac{\sum x \sum y}{n}}{\sqrt{(\sum x^2 - \frac{(\sum x)^2}{n})(\sum y^2 - \frac{(\sum y)^2}{n})}}$$

$$r = \frac{871 - 3.552/5}{\sqrt{[544 - 2.304/5][1.524 - 5.476/5]}}$$

r = 0,85

Fonte: Elaborada pelo autor (2024)

O índice de coeficiente calculado, r = 0,85, indica que existe forte correlação positiva entre o quantitativo de pesquisas científicas realizadas e que elas se direcionam no mesmo caminho em questão de crescimento quantitativo de pesquisa científicas anualmente. A relação positiva se dá pelo motivo dos dados seguirem no mesmo sentido de crescimento, como exemplo podemos citar quando ocorre o aumento de chuvas, os níveis fluviais dos rios próximos aumentam, caso ocorresse ao contrário quanto mais chuva, mais os rios baixassem seus níveis, essa seria considerada uma relação negativa.

Agora vamos analisar as áreas de pesquisa desses estudos científicos e verificar se elas corroboram mais ainda com essa relação de produção entre os estudos, vamos averiguar se as áreas de pesquisa dos artigos estão alinhadas tanto qualitativamente, quanto quantitativamente.

Tabela 2 – Áreas de pesquisa dos artigos (N = 123)

Áreas de pesquisa	Patente	IA
Ciências ambientais e ecologia	19	16
Combustível energético	13	31
Engenharia	9	18

Ciência tecnologia e outros tópicos	7	15
Química	5	9
Economia empresarial	5	-
Ciência da computação	-	8
Eletroquímica	-	7
Termodinâmica	-	7
Agricultura	-	5
Ciência dos Materiais	-	5
Outras áreas com menos de cinco artigos	12	24

Fonte: Elaborada pelo autor a partir da base de dados consultada (2024).

Na Tabela 2, a partir do método comparativo, podemos verificar que a grande parte dos artigos estão em áreas de pesquisas em comum aos dois assuntos estudados, fortificando mais ainda a relação entre os dois temas, também podemos verificar que as cinco primeiras áreas de pesquisa de cima para baixo da tabela são as mais relevantes para as duas pesquisas realizadas, onde temos os dois temas pesquisados tendo produções científicas e que fazem conexão com o outro termo incomum procurado nos artigos, o combustível sustentável, o qual facilmente podemos enxergar se enquadrar nas áreas de ciências ambientais e ecologia, combustível energético, engenharia, ciência tecnologia e química.

Os dados demonstrados trazem indícios que os temas abordados tendem ao delineamento de áreas de pesquisa em sua produção acadêmica, assim constatando relação entre eles, ressaltamos que os dados não sugerem que uma pesquisa esteja ligada diretamente a outra a todo momento ou que só sejam desenvolvidas em conjunto, todavia é possível inferir que elas andam em intercessão na maioria das pesquisas.

CONCLUSÕES

Através da pesquisa aqui exposta demonstramos indícios da forte correlação entre o estado da pesquisa de estudos que procuram disseminar conhecimento sobre IA aplicado na produção de combustíveis sustentáveis e sobre estudos de patentes de combustíveis sustentáveis. A Partir dos resultados podemos perceber que há relação entre as áreas pesquisadas dos dois temas devido a maioria dos estudos realizados no período estudado serem em áreas de pesquisas iguais. A pesquisa permite sustentar que os estudos de IA aplicados na produção de combustíveis sustentáveis andam relacionados aos estudos de patentes de combustíveis sustentáveis. Os combustíveis sustentáveis estão entre as soluções viáveis para substituir os combustíveis fósseis e vão se desenvolver mais ainda com a inclusão da IA auxiliando na sua produção, análise e testes. Futuros estudos poderiam abranger mais bases acadêmicas já que esse estudo se limitou a uma única base, também poderia se verificar se as patentes nesse campo se relacionam com as pesquisas científicas.

Relationship between AI research in sustainable fuel production and sustainable fuel patents

ABSTRACT

Sustainability is often discussed due to environmental issues, such as greenhouse gas emissions from the burning of fossil fuels. Aiming to reduce these emissions and be sustainable, one of the alternatives is the use of sustainable fuels using biomass as raw material. Biofuels have been researched for a long time and have gained momentum in production with the inclusion of artificial intelligence, adding to the increase in quality, and even creating intellectual property, specifically patents. The objective of the research is to analyze the relationship between academic research on AI in the production of sustainable fuels and research involving patents for sustainable fuels. To achieve our goal, we searched for scientific articles on both topics and used Pearson's correlation to verify how strong the quantitative relationship is in annual scientific production between the researched topics. The results indicate a strong relationship between the topics, showing evidence of the alignment of the analyzed studies. It was concluded that the topics addressed are strongly correlated and the research areas are aligned.

KEYWORDS: artificial intelligence, patent, sustainable fuels.

AGRADECIMENTOS

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), por financiar a minha pesquisa.

REFERÊNCIAS

AGHBASHLO, M. *et al.* **“Machine learning technology in biodiesel research: A review.”** Progress in Energy and Combustion Science, v. 85, p. 100904, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2021.100904>

BBC NEWS BRASIL. **“De 'vira-lata' a aliança global no G20: biocombustível ganha força e deve gerar negócios para Brasil”**. BBC News Brasil, 20 set. 2024. Disponível em: <https://www.bbc.com/portuguese/articles/cg3ll7zre1go>. Acesso em: 10 set. 2024.

CASTALDI, C. *et al.* **“Are intellectual property rights working for society?”**. Research Policy, v. 53, p. 104936, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.respol.2023.104936>

HOLGERSSON, M.; GRANSTRAND, O. **“Value capture in open innovation markets: the role of patent rights for innovation appropriation”**. European Journal of Innovation Management, v. 25, n. 6, p. 320-339, 2022. <https://doi.org/10.1108/EJIM-02-2021-0114>

HUANG, Y. *et al.* **“Modeling the effects of biodiesel chemical composition on iodine value using novel machine learning algorithm”**. Fuel, v. 316, p. 123348, 2022. <https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.123348>

JIN, C. *et al.* **“Effect of nanoparticles on diesel engines driven by biodiesel and its blends: A review of 10 years of research”**, Energy Conversion and Management, v. 291, n. 117276, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.enconman.2023.117276>

KNOTHE, G.; RAZON, L. F. **“Biodiesel fuels”**. Progress in Energy and Combustion Science, v. 58, p. 36-59, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.pecs.2016.08.001>

KONDRATEVA, G. *et al.* **“The Potential Use of Blockchain Technology in Co-creation Ecosystems”**. Journal of Innovation Economics & Management, v. 37, p. 9-27, 2022. <https://doi.org/10.3917/jie.pr1.0104>

MARY, L. L. G. *et al.* **“Experimental evaluation and neural network modelling of reactivity-controlled compression ignition engine using cashew nut shell oil**

biodiesel-alumina nanoparticle blend and gasoline injection". Energy, v. 282, p. 128923, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2023.128923>

MOHIDDIN, M. N. B. *et al.* "Evaluation on feedstock, technologies, catalyst and reactor for sustainable biodiesel production: A review". Journal of Industrial and Engineering Chemistry, v. 98, p. 60-81, 2021. <https://doi.org/10.1016/j.jiec.2021.03.036>

OKOLIE, J. A. "Introduction of machine learning and artificial intelligence in biofuel technology". Current Opinion in Green and Sustainable Chemistry, v. 47, p. 100928, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.cogsc.2024.100928>

PEARSON, K.; FISHER, R. A.; INMAN, H. F. "Karl Pearson and R. A. Fisher on Statistical Tests: A 1935 Exchange from Nature". The American Statistician, v. 48(1), p. 2–11, 1994. <https://doi.org/10.2307/2685077>

SHARMILA, V. G.; SHANMUGAVEL, S. P.; BANU, J. R. "A review on emerging technologies and machine learning approaches for sustainable production of biofuel from biomass waste". Biomass and Bioenergy, v. 180, p. 106997, 2024. <https://doi.org/10.1016/j.biombioe.2023.106997>

YANG, Y. *et al.* "Innovative composite machine learning approach for biodiesel production in public vehicles". Advances in Engineering Software, v. 184, p. 103501, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.advengsoft.2023.103501>

Recebido: 21/09/2024.

Aprovado: 09/12/2024.

DOI: 103895/recit. V15n38.19166

Como citar: NASCIMENTO.M. B.L. Relação entre pesquisas de IA na produção de combustíveis sustentáveis e de patentes de combustíveis sustentáveis R. Eletr. Cient. Inov. Tecnol, Medianeira,v.15n.38, p.77-89, set/dez 2024 Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/recit>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Michel Bruno Lima Nascimento
Rosa Elze, São Cristóvão - SE, 49100-000]

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0 Internacional.

