

**INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA*****DIRECT INJECTION AND COMBUSTION CHARACTERISTICS OF ETHANOL IN DIESEL  
ENGINES: A SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW******INYECCIÓN DIRECTA Y CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTIÓN DEL ETANOL EN MOTORES  
DIÉSEL: REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA***

Ana Vitória das Chagas Motta<sup>1</sup>, Alex Pereira da Cunha<sup>1</sup>, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares<sup>1</sup>, Masoud Ghanbari Kashani<sup>1</sup>, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos<sup>1</sup>

e626119

<https://doi.org/10.47820/recima21.v6i2.6119>

PUBLICADO: 2/2025

**RESUMO**

Este estudo tem como objetivo explorar uma alternativa eficaz para mitigar o impacto das emissões de motores Diesel, propondo a substituição total ou parcial do óleo diesel por etanol, com foco em aprimorar o desempenho e reduzir as emissões dos motores de combustão interna. A pesquisa foi realizada através de uma revisão sistemática da literatura, que utiliza de métodos sistemáticos para analisar e catalogar artigos encontrados em bases de dados, foi utilizado o *software* StArt como ferramenta para esta etapa. Os estudos analisados revelam que a utilização de combustíveis alternativos, como etanol, biodiesel, e metanol, em combinação com óleo Diesel, bem como a injeção de hidrogênio e água, pode significativamente melhorar o desempenho e reduzir as emissões de motores de combustão interna, especialmente em motores de ignição por compressão. O uso de motores de teste monocilíndricos e modelos numéricos foi crucial para validar esses achados. Conclui-se que a combinação de combustíveis alternativos com técnicas avançadas de injeção e combustão tem o potencial de não apenas melhorar a eficiência dos motores, mas também de reduzir significativamente as emissões de poluentes. Contudo, é necessária uma contínua otimização desses métodos para equilibrar desempenho e sustentabilidade, oferecendo uma base sólida para futuras pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos no setor de transportes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Etanol. Injeção direta. Motor Diesel. Redução de emissões.

**ABSTRACT**

*This study aims to explore an effective alternative to mitigate the impact of diesel engine emissions by proposing the total or partial replacement of diesel oil with ethanol, focusing on improving performance and reducing emissions in internal combustion engines. The research was conducted through a systematic literature review, which employs systematic methods to analyze and catalog articles found in databases, using the StArt software as a tool for this stage. The analyzed studies reveal that the use of alternative fuels, such as ethanol, biodiesel, and methanol, in combination with diesel oil, as well as hydrogen and water injection, can significantly improve the performance and reduce emissions of internal combustion engines, especially in compression ignition engines. The use of single-cylinder test engines and numerical models was crucial to validate these findings. It is concluded that the combination of alternative fuels with advanced injection and combustion techniques has the potential not only to improve engine efficiency but also to significantly reduce pollutant emissions. However, continuous optimization of these methods is necessary to balance performance and sustainability, providing a solid foundation for future research and technological developments in the transportation sector.*

**KEYWORDS:** Emissions reduction. Ethanol. Diesel engine. Direct injection.

---

<sup>1</sup> UNESP - Universidade Estadual Paulista "Julio de Mesquita Filho"



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

### RESUMEN

*Este estudio tiene como objetivo explorar una alternativa eficaz para mitigar el impacto de las emisiones de los motores Diésel, proponiendo la sustitución total o parcial del aceite Diésel por etanol, con un enfoque en mejorar el rendimiento y reducir las emisiones de los motores de combustión interna. La investigación se llevó a cabo mediante una revisión sistemática de la literatura, que emplea métodos sistemáticos para analizar y catalogar artículos encontrados en bases de datos, utilizando el software StArt como herramienta para esta etapa. Los estudios analizados revelan que el uso de combustibles alternativos, como etanol, biodiésel y metanol, en combinación con aceite Diésel, así como la inyección de hidrógeno y agua, puede mejorar significativamente el rendimiento y reducir las emisiones de los motores de combustión interna, especialmente en los motores de encendido por compresión. El uso de motores de prueba monocilíndricos y modelos numéricos fue crucial para validar estos hallazgos. Se concluye que la combinación de combustibles alternativos con técnicas avanzadas de inyección y combustión tiene el potencial no solo de mejorar la eficiencia de los motores, sino también de reducir significativamente las emisiones de contaminantes. Sin embargo, es necesaria una optimización continua de estos métodos para equilibrar rendimiento y sostenibilidad, proporcionando una base sólida para futuras investigaciones y desarrollos tecnológicos en el sector del transporte.*

**PALABRAS CLAVE:** Etanol. Inyección directa. Motor Diesel. Reducción de emisiones.

### 1. INTRODUÇÃO

O tráfego de veículos atualmente representa uma das formas de transporte mais proeminentes. Segundo o *Global EV Outlook 2024* da Agência Internacional de Energia (IEA), em 2023 aproximadamente 330 milhões de veículos movidos a óleo diesel estavam em circulação globalmente. Além das aplicações ferroviárias e marítimas, os motores diesel são amplamente utilizados em máquinas agrícolas, equipamentos de mineração e geradores de energia elétrica, tanto como fonte principal quanto como sistema de reserva em instalações diversas, como hospitais, hotéis e indústrias. Apesar de não haver uma contagem precisa do número exato de motores diesel em operação no mundo, é inegável sua presença constante em nosso cotidiano.

Com o aumento das emissões de gases de efeito estufa, a descarbonização da frota de veículos movidos a óleo diesel e de aplicações estacionárias tornou-se uma meta fundamental. Como parte da agenda mundial para a redução de emissões até 2030, diversos estudos estão sendo realizados para alcançar esse objetivo.

Este estudo visa explorar uma alternativa promissora para mitigar o impacto das emissões provenientes de motores diesel. Por meio de uma abordagem metodológica rigorosa, pretende-se não apenas examinar, mas também apresentar uma análise detalhada das soluções propostas. A pesquisa foi conduzida de maneira sistemática, investigando trabalhos publicados em diferentes bases de dados científicos reconhecidos, visando abranger um espectro amplo de perspectivas e resultados. O foco está na avaliação do impacto das soluções propostas, tanto em frotas veiculares, quanto em motores estacionários, destacando a utilização do etanol como combustível complementar ou alternativo. Foi realizada uma análise abrangente dos efeitos dessa substituição, seja parcial ou total, considerando aspectos como desempenho, condições operacionais, durabilidade e outros parâmetros relevantes.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

O objetivo final é fornecer *insights* fundamentados e recomendações práticas para a implementação bem-sucedida dessas soluções, contribuindo para a redução do impacto ambiental associado aos motores diesel.

Este trabalho contribui para diversos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU para 2030. O ODS 4 (Educação de Qualidade) busca disseminar conhecimento de forma eficaz para apoiar pesquisas futuras. O ODS 7 (Energia Acessível e Limpa) promove transição energética para fontes sustentáveis. O ODS 9 (Indústria, Inovação e Infraestrutura) incentiva inovações para cadeias produtivas mais eficientes e menos poluentes. Já o ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis) enfatiza práticas sustentáveis para minimizar impactos ambientais. O estudo propõe reduzir emissões de gases de efeito estufa e otimizar o uso de combustíveis fósseis, promovendo sua substituição gradual por energias limpas.

Considerando que os combustíveis fósseis são parte essencial das cadeias de produção e estão intrinsecamente ligados a todas as formas de geração de energia, consumo e transporte, além de serem insumos em diversos setores industriais, este trabalho propõe ações para a redução das emissões de gases de efeito estufa e a otimização do uso desses combustíveis. A promoção de fontes de energia mais limpas e sustentáveis é crucial para garantir um futuro mais saudável e sustentável para as próximas gerações.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o entendimento do tema abordado, foi utilizada a revisão sistemática da literatura (RSL), visando explorar alternativas favoráveis para diminuir o impacto das emissões advindas de motores movidos a óleo diesel, tanto em frotas veiculares como também em motores estacionários, utilizando uma substituição parcial ou total, deste combustível por etanol.

### 2.1 Desenvolvimento da revisão sistemática da literatura

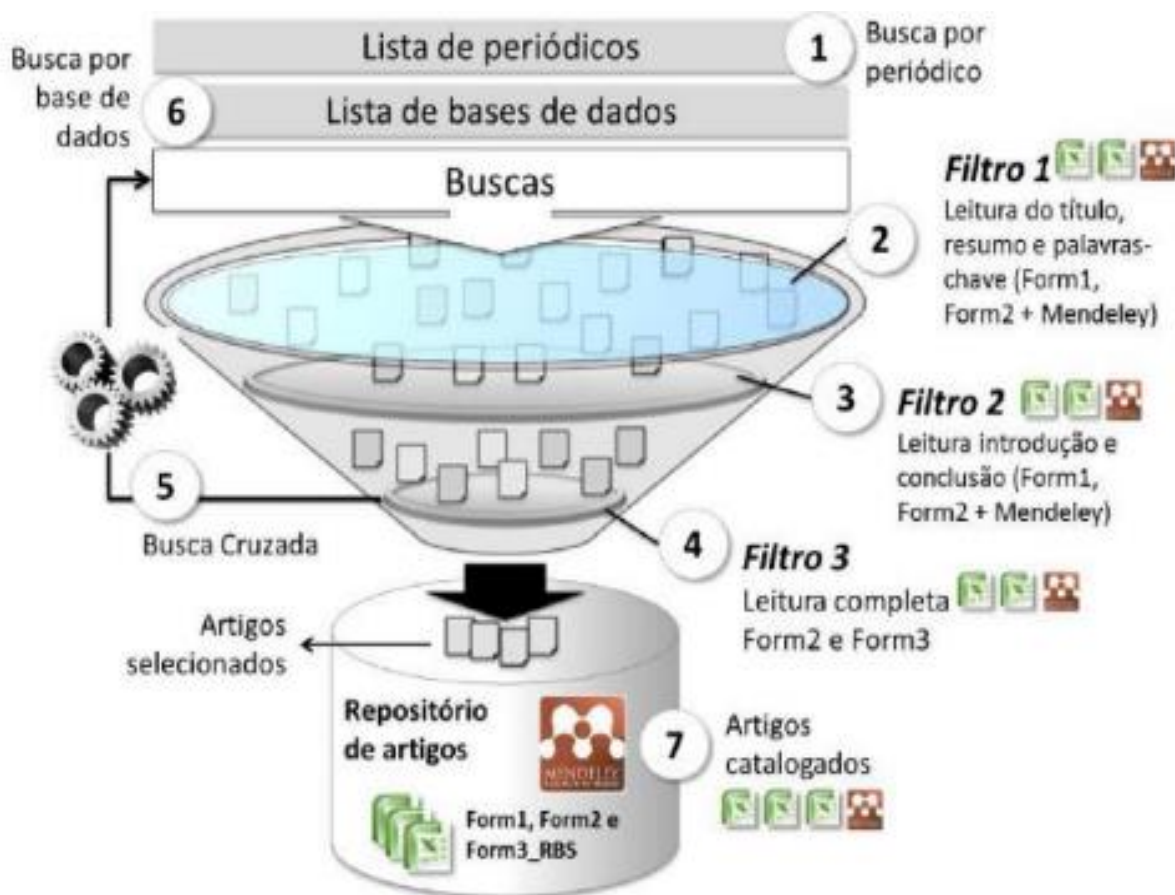
Do ponto de vista acadêmico, as revisões sistemáticas apresentam-se como recursos cruciais em desenvolvimento de trabalhos de pesquisa, uma vez que são largamente utilizadas como fonte inicial de informações, servindo de embasamento teórico para o desenvolvimento e de onde podem partir novas pesquisas ou novos projetos a serem desenvolvidos, servindo como fontes de análise e identificação de oportunidades para novas contribuições científicas ao proporcionar a identificação de lacunas em determinadas áreas de conhecimento, promovendo a oportunidade de publicações de novos trabalhos que contribuam com originalidade e inovação ao conduzir inexoravelmente novos estudos (Webster; Watson, 2002).

Seguindo o proposto por Conforto, Amaral e Silva (2011), a revisão sistemática da literatura compõe-se de uma sequência de passos estruturados e meticulosamente ordenados que visam identificar, selecionar e analisar informações disponíveis sobre um assunto específico. Este processo segue uma metodologia rigorosa envolvendo a definição de critérios de busca, tais como operadores

lógicos, incluindo palavras-chave, fontes de informação relevantes e a coleta de dados sobre pesquisas recentes no campo desejado (Figura 1).

De acordo com Webster e Watson, (2002), após o levantamento, os estudos que foram considerados importantes passam por um minucioso processo de seleção e extração, para que as informações mais relevantes sejam compiladas e sintetizadas. Após as etapas de seleção e extração, os textos selecionados são analisados e interpretados de forma a seguirem para produção de resultados consolidados, oferecendo uma visão do estado atual das principais pesquisas apresentadas sobre o tema em questão.

Figura 1: Representação da etapa de processamento



Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011).



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

### 2.1.1. Software StArt - ferramenta computacional para auxílio da RSL

Fez-se a utilização do *software* StArt, versão 3.4 Beta, desenvolvido pelo Laboratório de Pesquisas em Engenharia de *Software* (LaPES), na Universidade Federal de São Carlos (UFSCar). O *software* StArt conduz a revisão através de um processo com várias etapas bem definidas, possibilitando maior precisão e rendimento para os pesquisadores.

Ao iniciar o *software*, é criado um arquivo para o desenvolvimento da RSL (Figura 2A), o *software* apresenta uma caixa com informações para que se dê início ao processo (Figura 2B), então, faz-se o preenchimento do título da RSL, e também os pesquisadores envolvidos (Figura 2C), uma descrição dos fundamentos da pesquisa (Figura 2D), para transitar-se de uma tela a outra deve-se clicar em *Next* para avançar e *Back* para retornar, e *Finish* para dar fim (Figura 2E), abrindo em seguida a árvore de projeto da RSL.

Figura 2: Criação do projeto da RSL no *software* StArt



Fonte: Autores.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

### 2.1.2. Protocolo da RSL

Dessa forma, foi estabelecida uma sequência de palavras-chave em língua inglesa (Quadro 1), definidas através das principais questões da pesquisa, e de determinada *string* de busca para cada base de dados. A *string* de busca é definido como um conjunto de caracteres que unem termos de interesse, com operadores booleanos (*And*, *Or* e *Not*) para serem inseridos em sistemas de busca das bases de dados.

Após a definição dos termos, realizou-se a determinação dos critérios de inclusão ou exclusão, os quais podem ser visualizados no Quadro 2, os critérios auxiliam na seleção dos artigos, para que sejam selecionados de maneira rigorosa.

Com os dados de entrada definidos, faz-se a inserção destes no *software*, na aba de planejamento em protocolo (Figura 3A), em seguida adiciona-se as bases de dados que foram utilizadas para coletar os artigos (Figura 3B), os critérios de inclusão e exclusão (Quadro 2) também devem ser inseridos (Figura 3C), também é possível colocar um fator de qualidade (Figura 3D), se faz também a colocação de campos para os elementos de extração (Figura 3E), os elementos de extração são componentes os quais determinam a relevância do artigo para a pesquisa.

Quadro 1: Parâmetros iniciais para RSL

Questão	É possível utilizar injeção direta de etanol em motores diesel?
Termos	Tradução
<i>CI engine</i>	Motor de ignição por compressão
<i>Diesel engine</i>	Motor a diesel
<i>Direct injection</i>	Injeção direta
<i>Ethanol</i>	Etanol
Bases de Dados	String de busca
IEE	<i>("diesel engine" OR "CI engine") AND (ethanol) AND ("direct fuel injection")</i>
Scielo	<i>("diesel engine" OR "CI engine") AND (ethanol) AND ("direct fuel injection")</i>
Science Direct	<i>("diesel engine" OR "CI engine") AND (ethanol) AND ("direct fuel injection")</i>
Taylor and Francis	<i>("diesel engine" OR "CI engine") AND (ethanol) AND ("direct fuel injection")</i>
Web of Science	<i>("diesel engine" OR "CI engine") AND (ethanol) AND ("direct fuel injection")</i>

Fonte: Autores.



# RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

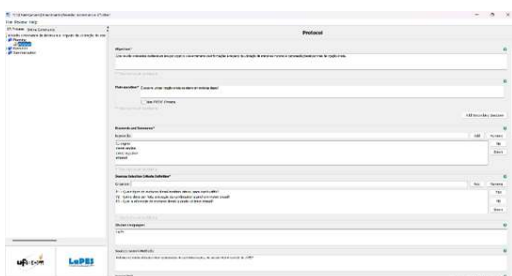
INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
 REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
 Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
 Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

Critério	Critério de inclusão	Critério	Critério de exclusão
CI1	Artigos classificados como Q1	CE1	Artigos classificados como Q4
CI2	Artigos classificados como Q2		
CI3	Artigos classificados como Q3		

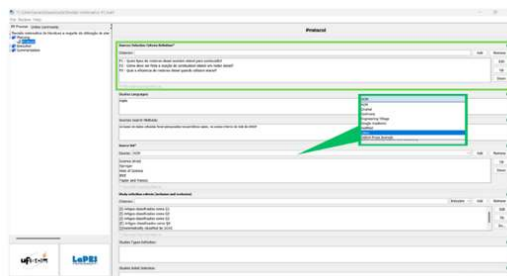
Quadro 2: Critérios de inclusão ou exclusão

Fonte: Autores.

Figura 3: Campos do protocolo da RSL



A) Questão principal e palavras-chaves



B) Fontes e adicionar bases de dados



C) Critérios



D) Qualidade



E) Campos de extração



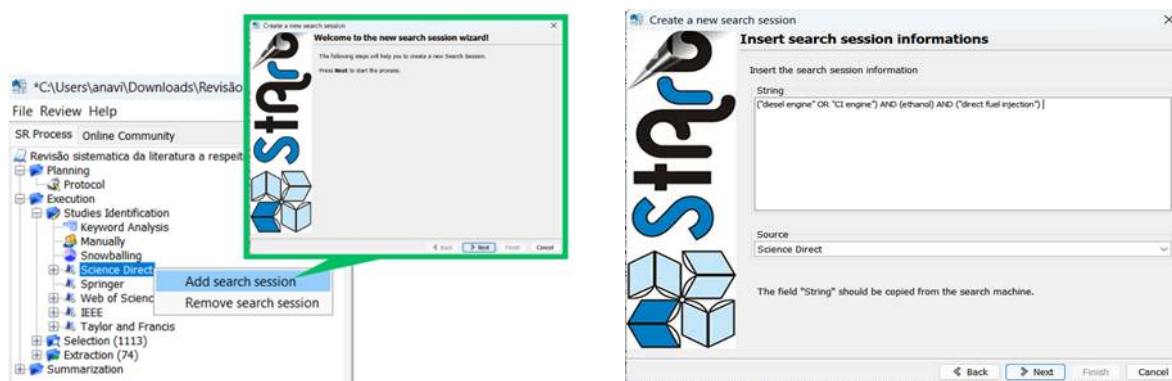
## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

### 2.1.3. Processamento dos Artigos

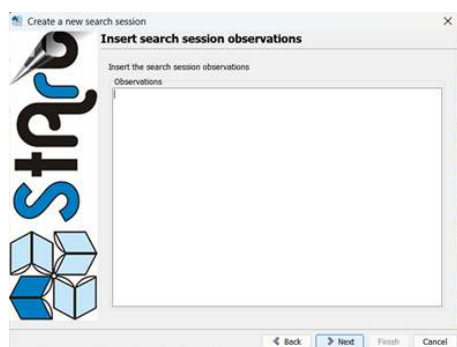
Após a *string* de busca definida, foi realizada a busca nas bases de dados e feito o *download* dos arquivos com extensão “.bib” ou “.ris”, a pesquisa foi realizada utilizando a *Virtual Private Network* (VPN), da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, proporcionando dessa forma, o acesso a artigos, periódicos e revistas. Após os arquivos serem salvos no computador, fez-se a inserção destes no *software* StArt, observe na Figura 4A que as bases de dados que são mostradas, são as que foram inseridas anteriormente, ao clicar em “Add search session” são abertas janelas, onde devem ser inseridas as informações da *string* de busca (Figura 4B), observações a respeito da busca (Figura 4C), e é finalizado com uma nova caixa de diálogo (Figura 4D), para que seja aberta a janela onde serão carregados os arquivos (Figura 4E), então seleciona-se o formato em que o arquivo foi salvo, escolhendo o arquivo e escolhendo a opção que remove as duplicatas.

Figura 4: Inserção de arquivo contendo referências bibliográficas no StArt

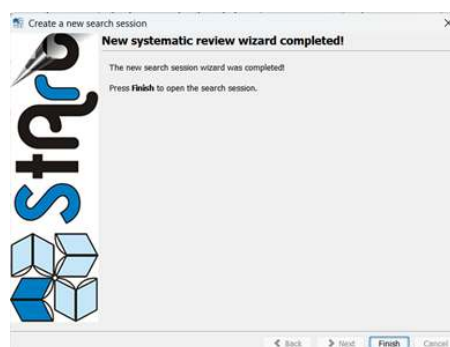


A) Adição de novo arquivo

B) Inserção da String de busca



C) Observações complementares do arquivo de referências



D) Finalização da caixa de diálogo dos arquivos de referências



E) Localização da seleção do formato do arquivo “bib” ou “ris”

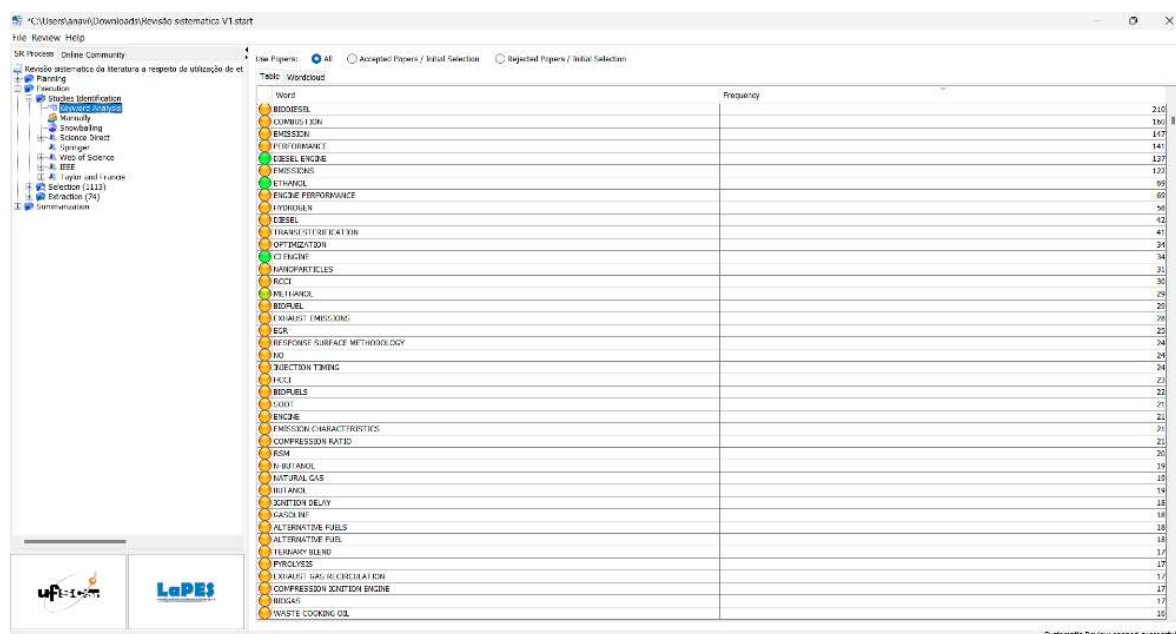


## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

Após inserir os arquivos de referência no *software*, é possível observar em “*keyword analysis*”, a frequência com que certas palavras aparecem, elas ficam sinalizadas com a cor que melhor se enquadra na sua situação, sendo as cores: verde para iguais, amarelo para semelhantes e laranja para distintas.

Figura 5: Análise da frequência das palavras das referências bibliográficas



Salienta-se que o terceiro critério de inclusão utiliza a ferramenta do *software* StArt, para selecionar e fazer recortes nos artigos, sendo divididos em quartis de pontuação, esta etapa somente deve ser feita após a inserção de todos os arquivos de referência bibliográfica no *software*, podendo ser excluídos aqueles que possuem quadrantes inferiores, por possuírem menor aderência a pesquisa.

Após esta etapa, faz-se uma sequência da pontuação (*Score*) de cada artigo, para a etapa de leitura dinâmica, analisando se o resumo atende a algum critério de inclusão ou de exclusão. Os resumos podem ser vistos dando um clique duplo no botão direito (Figura 6A), e classificados (Figura 6B), e levados para a etapa de extração, onde é executada a leitura completa dos artigos selecionados, preenchendo os campos de interesse para a construção da pesquisa e definindo se irá ser utilizado no relatório final.

O *software* StArt permite que seja realizada a criação de um arquivo com extensão “*xlsx*”, incluindo todos os dados extraídos dos arquivos, ressaltando que há a opção de visualização de alguns dados em “*Summarization*” na árvore de projeto da RSL. (Figura 7).

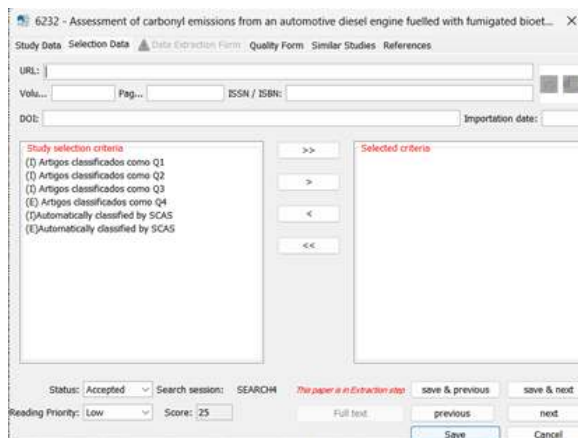
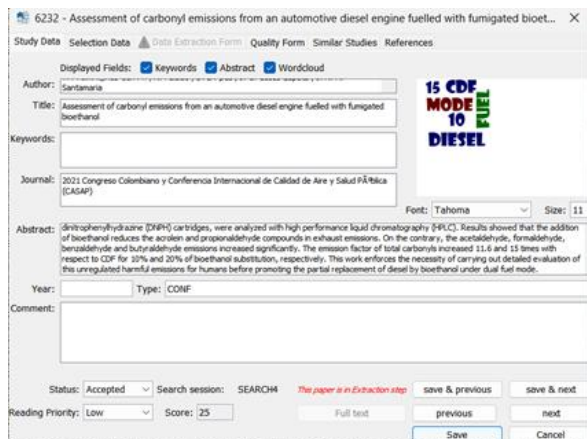


# RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR

ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

Figura 6: Avaliação individual e extração



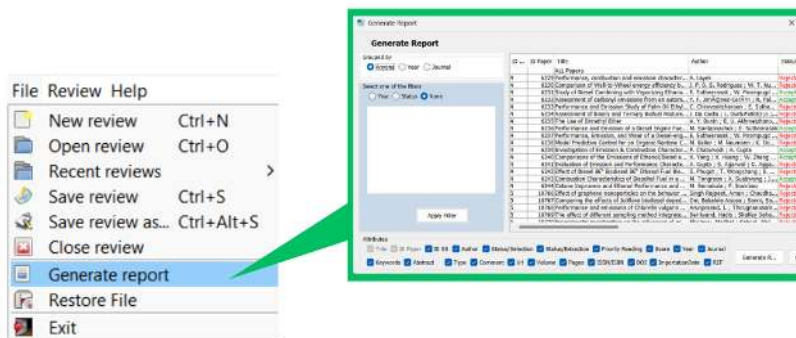
A) Consulta ao resumo

B) Atribuição dos critérios

Fonte: Autores

Fonte: Autores

Figura 7: Geração der relatório “xlsx”



A Figura 8 é um organograma que representa como são organizados os blocos de funções dentro do *software*, podendo esses serem seguidos em ordem, ou de acordo com o protocolo que foi definido, essa organização detalhada contribui para que possam ser obtidos os melhores resultados. A Figura 8 também está apresentando os detalhes quantitativos dos artigos classificados em cada etapa do processo.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos



Figura 8: Organograma do software StArt

Fonte: Autores

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Foram utilizados como base de consulta as fontes de artigos científicos, eles foram pesquisados e foi realizado o seu *download*, com arquivo em formato “.ris” ou “.bib”, pode se observar a importância do tema, analisando o crescente número de pesquisas que o envolvem (Figura 9B). Isso reforça a importância de uma Revisão Sistemática da Literatura (RSL), que não só organiza e sintetiza os achados, mas também orienta futuras pesquisas.

Durante o processo de Revisão Sistemática da Literatura, algumas limitações foram identificadas, impactando a abrangência e a qualidade da análise. Uma das principais dificuldades encontradas foi a variação metodológica entre os artigos selecionados, que dificultou a comparação direta dos resultados e a criação dos resumos, além disso, a seleção e a interpretação dos pesquisadores também influenciam diretamente nos resultados.

A distribuição dos artigos segundo as bases de dados, pode ser vista na Figura 9A, é perceptível que a base de dados *Science Direct* teve a maior quantidade de artigos encontrados, enquanto a *Web of Science* teve menor índice, isso se dá porque as bases de dados têm seus temas predominantes.

Ao observar a Figura 9B, é possível verificar a crescente quantidade de artigos publicados por ano, e o quanto esse valor teve um pico e crescimento a partir do ano de 2022, alterando-se de 200 para mais de 750, o aumento expressivo no número de publicações poder associado não apenas ao interesse acadêmico, mas também à demanda por soluções práticas em contextos industriais, tecnológicos e ambientais. Essa mudança no panorama de publicações evidencia que o tema deixou de ser uma questão puramente teórica para se tornar uma área de pesquisa aplicada com implicações diretas na sociedade.

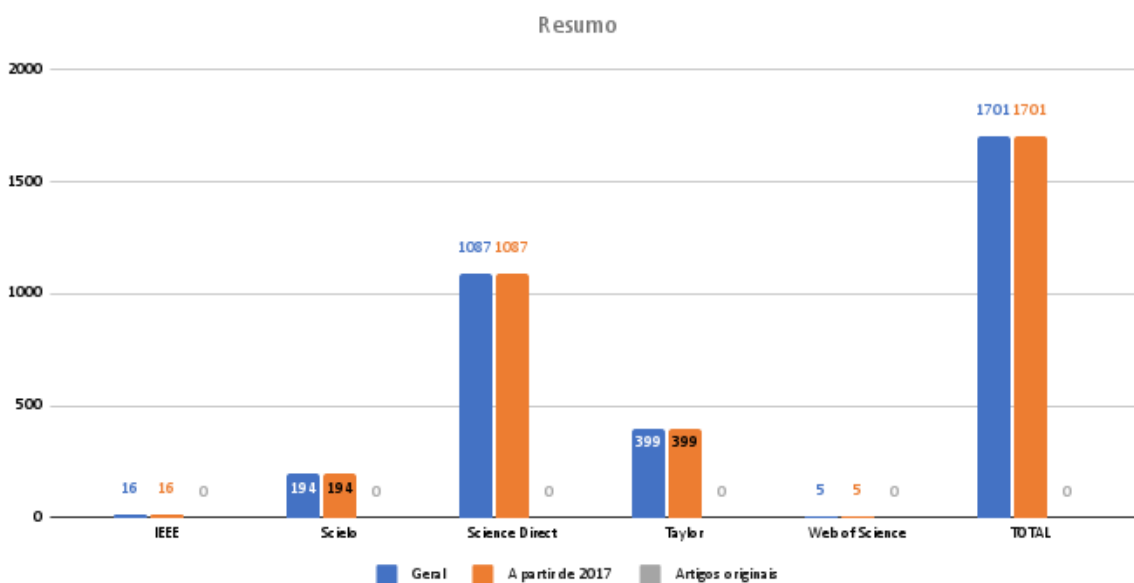


## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

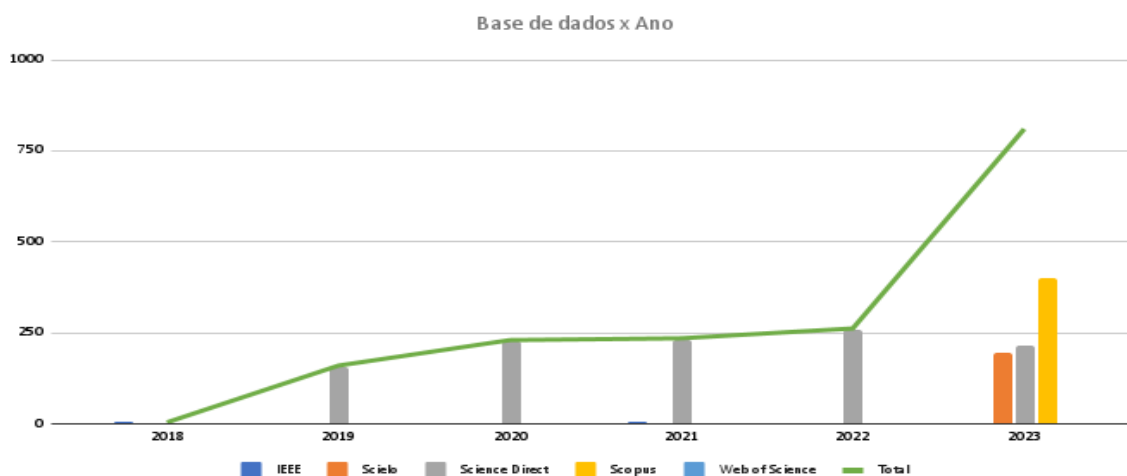
INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

Os textos selecionados foram 1701 no total, conforme exposto na Tabela 1, onde se encontra a discriminação de artigos por base de dados, sendo a base de dados Science Direct a que obteve um significativo número de artigos selecionados, e a base de dados Web of Science obteve menos número. Dessa forma, é possível mensurar a importância da RSL para obtenção dos melhores resultados.

Figura 9: Distribuição dos artigos segundo as bases de dados



A) Distribuição dos artigos segundo as bases de dados.



B) Quantidade de publicações durante os anos 2018 a 2023

Fonte: Autores.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

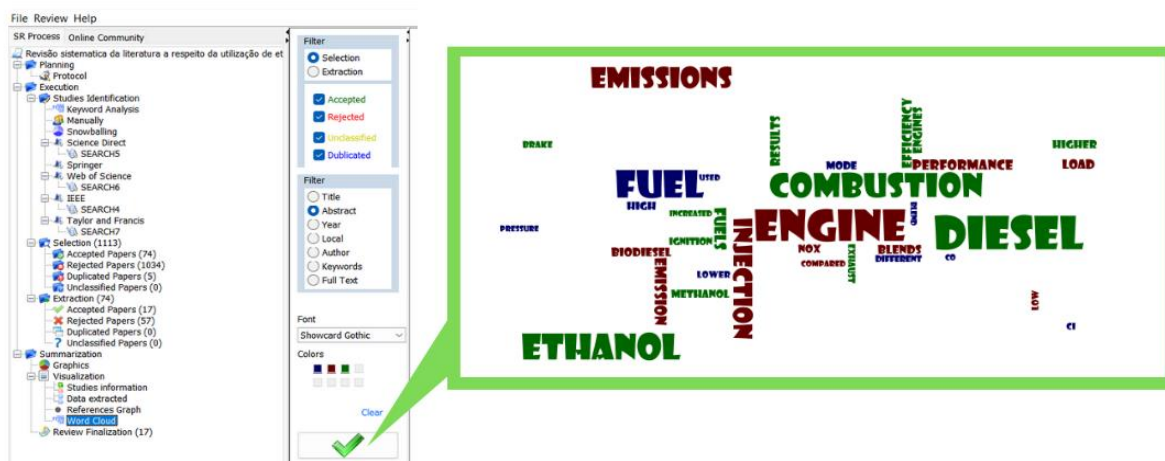
Tabela 1: Quantitativos de artigos adquiridos nas bases de dados

Bases de Dados	Geral	A partir de 2017
IEE	16	16
Scielo	194	194
Science Direct	1087	1087
Taylor and Francis	399	399
Web of Science	5	5
TOTAL	1701	1701

Fonte: Autores.

Após todos os artigos terem sido inseridos no *software*, foi criada uma nuvem de palavras, como pode ser observado na Figura 10. Ao analisá-la, é possível identificar palavras em destaque como *combustion*, *Diesel*, *biodiesel*, *fuel* entre outras palavras que também estão diretamente relacionadas com o tema da RSL.

Figura 10: Nuvem de palavras



Fonte: Autores.

Após analisar a contagem de palavras dentro do *software*, foi observado palavras com aderência ao tema da pesquisa, que podem ser observadas na Tabela 2. Nela estão destacadas quais são as novas palavras e a frequência que foram localizadas.

Tabela 2: Novas palavras inseridas no protocolo da RSL

Palavra-chave	Contagem
<i>Diesel engine</i>	137
<i>Ethanol</i>	69
<i>CI engine</i>	34

Fonte: Autores.

Levando em consideração as etapas de leitura e extração, foi realizada a criação de resumos a partir de cada artigo selecionado, de acordo com suas pontuações e o encaixe nos critérios de inclusão e exclusão, mostrando seus objetivos, metodologia e os resultados obtidos.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

O estudo avaliou o impacto da adição de hidrogênio no ar de admissão de um motor diesel alimentado com misturas de etanol-Diesel. Foram realizados testes em um motor de um cilindro, com variação de carga e velocidade constante de 1500 rpm, comparando o desempenho do motor operando com diesel puro, com injeção de hidrogênio e óleo Diesel, e com misturas de diesel-etanol e hidrogênio. Os resultados mostraram que a mistura de etanol-diesel com hidrogênio melhorou o desempenho do motor e reduziu as emissões de poluentes, como CO, HC e NOx, em comparação com o óleo diesel puro. A análise de variância (ANOVA) revelou que a mistura de combustível influenciou mais o desempenho do motor do que a carga aplicada. O estudo sugere a otimização das estratégias de injeção de combustível e o uso de técnicas adicionais, como EGR e SCR, para reduzir ainda mais as emissões de NOx, destacando a viabilidade de utilizar essas misturas para melhorar a eficiência e sustentabilidade dos motores diesel (Vasanthakumar; Loganathan; Chocklingam; Vikneswaran; Manickam, 2023).

A pesquisa examinou o efeito da injeção de água em um motor HCCI de etanol, focando em desempenho, combustão e emissões. A injeção de água reduziu as taxas de liberação de calor, preveniu o *knock* e permitiu uma operação em cargas três vezes maiores, aumentando a duração da combustão de 6,6 a 17,0 CAD em cargas baixas. A eficiência de conversão indicada atingiu 39% a 6 bar de pressão efetiva média indicada (IMEP), enquanto as emissões de NOx ficaram abaixo de 0,8 g/kWh. Sem a injeção de água, a operação foi limitada devido à baixa estabilidade da combustão em altas cargas. A técnica também reduziu a temperatura máxima de combustão, diminuindo as emissões de CO e gases orgânicos em cargas altas, mas essas emissões aumentaram em cargas baixas devido à menor temperatura e dificuldade na oxidação completa do combustível. A injeção de água mostrou-se eficaz para controlar a *fasing* da combustão, expandir a faixa de carga e melhorar a eficiência do motor HCCI de etanol (Telli; Zulian; Lanzanova; Martins; Rocha, 2022).

A análise avaliou a influência do uso de etanol na transição da combustão de biodiesel para regimes RCCI em motores diesel, avaliando desempenho, emissões, estabilidade e tribologia. Utilizando biodiesel de Mahua como combustível principal, os testes mostraram que o motor apresentou maior estabilidade com biodiesel em comparação com diesel ou biodiesel-etanol. A eficiência energética e o consumo específico de energia do freio foram superiores com a mistura biodiesel-etanol. As emissões de NOx, fuligem e hidrocarbonetos não queimados foram menores com biodiesel-etanol do que com biodiesel puro ou óleo Diesel. A pesquisa destacou a vantagem de utilizar técnicas de RCCI etanol-biodiesel para melhorar o desempenho e reduzir emissões em motores diesel existentes com injeção dividida. O estudo também discutiu o potencial do biodiesel de Mahua e as políticas da Índia para incentivar o uso de biocombustíveis, visando reduzir a dependência de importação de combustíveis fósseis e diminuir a poluição por Nox (Biswas; Kakati; Chakraborti; Banerjee, 2021).



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

A pesquisa confrontou as características de combustão e emissão de um motor diesel de trilho comum e uma máquina de compressão-expansão rápida (RCEM) usando diesel e injeção de etanol/etanol hidratado nos coletores de admissão e escape. Foram utilizados diversos dispositivos de medição para avaliar parâmetros como concentração de NOx, fuligem, e pressão nos cilindros. O estudo também comparou diferentes abordagens operacionais, destacando que a injeção de etanol nos coletores de admissão e escape apresentou menor emissão de material particulado e melhor eficiência de combustão em comparação com outras técnicas, como misturas de biodiesel-etanol-diesel. Experimentos mostraram que a injeção de etanol nos coletores de escape, uma técnica pouco explorada, se beneficiou do calor residual para vaporizar o etanol antes da combustão, melhorando a eficiência e reduzindo as emissões. O estudo forneceu *insights* importantes sobre o uso de etanol como combustível alternativo em motores Diesel, destacando seu impacto positivo na eficiência e redução de emissões (El-Seesy; Kayatas; Takayama; He; Kandasamy; Kosaka, 2020).

O estudo investigou o impacto de diferentes cossolventes em *blends* de etanol/diesel nas características de combustão e emissão de um motor diesel pesado de injeção direta (CRDI). Foram testados *blends* de etanol/diesel com biodiesel, n-pentanol e tetrahidrofurano (THF) em diversas condições de carga, EGR, e tempos de injeção. O principal objetivo foi comparar a eficiência térmica indicada (ITE) e outras métricas para avaliar o desempenho e a redução de emissões. Conduzido em um motor de cilindro único com sistema de injeção de alta pressão, o experimento mostrou que todos os *blends* aumentaram a ITE, exceto em cargas baixas. O *blend* THF/etanol/diesel destacou-se com a maior ITE e uma queima estável, mesmo com tempo de injeção retardado. A adição de cossolventes como n-pentanol, THF e biodiesel permitiu a dissolução de até 20% de etanol, resultando em combustão mais eficiente e menor emissão de poluentes. O estudo sublinha a importância da escolha de cosolventes e condições operacionais para otimizar a eficiência e sustentabilidade dos motores diesel (Liang; Zhang; Ma; Chen; Zheng, 2022).

O levantamento explorou a otimização da injeção de metanol em um motor de locomotiva de 16 cilindros, utilizando um modelo 1-D validado com dados experimentais anteriores. O principal objetivo foi maximizar a eficiência do motor, explorando diferentes tempos de injeção e o papel da injeção de diesel piloto na combustão do metanol. A metodologia incluiu a conversão do modelo base para metanol, a seleção de tempos de injeção e o desenvolvimento de injetores co-axiais para avaliar o desempenho do motor. Os resultados mostraram aumentos significativos no torque em determinados cenários, com análise detalhada de parâmetros de combustão como pressão máxima no cilindro e eficiência térmica do freio. O estudo destacou que a estratégia de injeção e o *design* do injetor são cruciais para otimizar o desempenho e reduzir as emissões em motores de locomotiva operando com metanol (Valera; Kumar; Agarwal, 2022).



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

O estudo experimental avaliou misturas de diesel-biodiesel-etanol (DBE) para motores de ignição por compressão, focando no impacto do etanol anidro nas propriedades físico-químicas dos *blends*. Foram preparadas misturas com diferentes proporções de diesel, biodiesel e etanol, adicionando um aditivo para melhorar a estabilidade. As propriedades analisadas incluíram densidade, viscosidade cinemática, ponto de fulgor e índice de cetano. Os resultados mostraram que o teor de etanol anidro afeta significativamente essas propriedades, com variações notáveis na densidade, viscosidade e estabilidade das misturas. Misturas com maiores teores de etanol apresentaram alterações nas propriedades físicas e químicas, evidenciando a necessidade de equilibrar os componentes para garantir desempenho e estabilidade. O estudo destacou o potencial das misturas DBE como uma alternativa sustentável ao diesel tradicional e a importância do etanol anidro na formulação dos *blends* (Pradelle; Leal Braga; Fonseca De Aguiar Martins; Turkovics; Nohra Chaar Pradelle, 2019).

O trabalho de E. Balakrishnan e R. Prakash avaliou o efeito da fumigação de etanol em um motor diesel monocilíndrico de quatro tempos com potência de 5,2 kW e 1500 rpm. Foram testadas diferentes misturas de diesel e etanol, incluindo óleo diesel puro e *blends* variados, com foco na eficiência térmica e nas emissões de CO, NOx e CO<sub>2</sub>. A metodologia envolveu a preparação de etanol hidratado (10% de água) e a realização de testes com diferentes combinações de combustíveis. Os resultados mostraram que a mistura D30E (30% etanol) teve a melhor eficiência térmica entre as combinações testadas. Além disso, o aumento do teor de etanol reduziu as emissões de CO e NOx. A fumigação de etanol demonstrou potencial para melhorar a eficiência do motor e reduzir as emissões, evidenciando a importância de biocombustíveis para uma combustão mais limpa e eficiente em motores de combustão interna (Balakrishnan; Prakash, 2023).

A análise experimental avaliou a melhoria do desempenho e das emissões de um motor diesel alimentado com óleo de gérmen de trigo, utilizando injeção de bioetanol no modo PCCI (Pré-Câmara de Compressão Controlada por *Ignition*). Os objetivos foram avaliar o impacto da injeção de bioetanol em diferentes proporções de energia, analisar as características de combustão do óleo de gérmen de trigo e investigar os efeitos na eficiência e nas emissões do motor. A metodologia incluiu o uso de um transdutor de pressão piezoelétrico, um codificador de posição óptico e um sistema de aquisição de dados para medir e analisar a pressão no cilindro e calcular a taxa de liberação de calor. Os resultados mostraram que a injeção de bioetanol aumentou a pressão máxima de combustão, melhorou o desempenho do motor e reduziu as emissões de NOx e a opacidade da fumaça. A adição de bioetanol também ajudou a reduzir a temperatura no cilindro e atrasar o início da combustão, tornando o sistema mais eficiente e ambientalmente amigável. Em resumo, a injeção de bioetanol no modo PCCI demonstrou potencial para promover tecnologias de transporte mais verdes e sustentáveis (Nibin; Raj; Geo, 2021).



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

A pesquisa examinou o impacto da taxa de substituição de bioetanol e das estratégias de injeção de óleo diesel em um motor de injeção direta de combustível duplo (DFDI), realizado pela Universidade de Xi'an Jiaotong. Utilizou um motor monocilíndrico modificado com dois sistemas de injeção direta de alta pressão independentes. Foram testados diesel comercial e bioetanol, com propriedades detalhadas no estudo. Os objetivos foram avaliar a influência da taxa de bioetanol e das estratégias de injeção no desempenho e nas emissões, comparando com o modo de diesel puro. A metodologia incluiu a modificação do motor para ajuste preciso dos tempos de injeção e medição de parâmetros como pressão no cilindro e emissões de CO, NOx, THC e fuligem. Os resultados mostraram que uma taxa moderada de bioetanol melhorou a eficiência térmica e reduziu NOx e fuligem. A injeção precoce de diesel aumentou a eficiência térmica, mas elevou NOx. A estratégia de injeção dividida resultou em maior eficiência térmica, redução de CO, HC e fuligem, mas com aumento de NOx. O estudo destaca a viabilidade do modo DFDI e o potencial do bioetanol como combustível alternativo para otimizar o desempenho e reduzir as emissões (Yang; Wang; Bai; Hao; Xiu, 2023).

O levantamento verificou os efeitos da adição de etanol em um motor de ignição por compressão-ignição (SICI), focando na combustão e nas emissões de partículas. A pesquisa revelou que a adição de etanol reduziu o "knock" e diminuiu as emissões de partículas, principalmente durante a fase de propagação da chama. No entanto, aumentou as emissões de hidrocarbonetos não queimados e óxidos de nitrogênio devido à baixa propensão do etanol à autoignição, especialmente em condições de diluição do combustível. O desempenho do motor em termos de consumo de combustível foi melhorado com etanol, especialmente em condições de combustão diluída. Contudo, a baixa tolerância do etanol à diluição pode levar a um aumento no consumo de combustível e nas emissões em condições mais diluídas. Em resumo, o etanol demonstrou benefícios na redução do "knock" e das emissões de partículas, mas pode ter impactos negativos no consumo e nas emissões em situações de diluição elevada (Fan; Liu; Qi; Cai; Wang; 2021).

O estudo mensurou o desempenho, a combustão e as emissões de misturas de biodiesel-etanol com hidrogênio em um motor de ignição por compressão (CI). Foram analisadas as propriedades físico-químicas dos combustíveis, como densidade, ponto de fulgor e poder calorífico. O objetivo principal foi avaliar o impacto do hidrogênio nas misturas biodiesel-etanol. A metodologia incluiu experimentos em um motor CI de um cilindro com carga variável, testando diferentes proporções de biodiesel, etanol e hidrogênio. O motor foi operado sob várias condições de carga e as emissões foram medidas com analisadores de gases e medidores de fumaça. Os resultados mostraram que a adição de hidrogênio melhorou a eficiência térmica de frenagem (BTE) e reduziu as emissões de NOx. A combustão das misturas ternárias foi mais eficiente do que com combustíveis convencionais. Com uma margem de erro de  $\pm 2,1\%$ , os experimentos demonstraram que a combinação de biodiesel, etanol e hidrogênio pode otimizar o desempenho do motor e diminuir as



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

emissões, promovendo uma operação mais sustentável e eficiente (Ramalingam; Radhakrishnan; Subramanian, 2023).

O estudo realizado por Baodong Ma *et al.* analisou as emissões de metanol e formaldeído em um motor diesel de duplo combustível metanol-diesel (DMDF), considerando diferentes sobreposições de válvulas. O processo de geração desses compostos foi dividido em duas etapas: antes da abertura da válvula de escape e durante a sobreposição das válvulas de admissão e escape. As emissões foram calculadas usando equações que consideram a massa e a concentração dos gases no cilindro e vazamentos. Os pesquisadores utilizaram um modelo computacional para simular os processos de admissão, compressão, expansão e escape, levando em conta a troca de gases. Os resultados mostraram que motores com pequena sobreposição de válvulas apresentam baixo vazamento, mas a sobreposição maior afeta as emissões devido a variações nas elevações das válvulas e concentrações de mistura. Os experimentos foram realizados em um banco de testes modificado com instrumentos como espectrômetro FTIR e transdutores de pressão piezoelétricos, garantindo a precisão dos dados. A validação foi feita em um motor marítimo turboalimentado e intercooler, demonstrando a importância da sobreposição de válvulas na emissão de metanol e formaldeído. O estudo contribui para o desenvolvimento de estratégias de controle de emissões em motores de combustão interna (Ma; Yao; Yao; Wang; Ai, 2021).

A análise realizada por Alireza Shirneshan e colaboradores analisou o impacto de misturas de biodiesel-etanol no desempenho e nas emissões de motores diesel. Utilizando biodiesel derivado de óleo de cozinha e etanol puro, as misturas foram preparadas e suas propriedades analisadas conforme métodos ASTM. O objetivo foi investigar como essas misturas afetam o motor diesel, desenvolver modelos matemáticos para prever desempenho e emissões, e otimizar condições para melhorar resultados. A metodologia envolveu testes em um motor diesel com injeção direta e refrigerado a água, variando as proporções de biodiesel-etanol em diferentes condições de carga e velocidade. Utilizou-se a Metodologia de Superfície de Resposta (RSM) e o Algoritmo Genético para otimizar as condições de operação. Modelos matemáticos foram desenvolvidos para prever o desempenho, e análises de regressão e variância foram realizadas para avaliar esses modelos. Os resultados mostraram condições ótimas para obter maior potência e torque, menor consumo de combustível e reduções nas emissões de fumaça, CO e NOx. A comparação com diesel puro revelou que as misturas de biodiesel-etanol podem ser uma alternativa viável e benéfica, destacando a importância da otimização para melhorar o desempenho e reduzir as emissões (Shirneshan; Bagherzadeh; Najafi; Mamat; Mazlan, 2021).

O documento explora o uso de etanol hidratado como combustível em motores de ignição por centelha (SI) e motores de compressão de ignição (CI). Destaca-se que o etanol hidratado é preferido devido a benefícios de custo e energia em comparação com o etanol anidro. O etanol, como fonte renovável, ajuda a reduzir emissões de NOx e fuligem. O estudo aborda a produção de etanol,



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

políticas para biocombustíveis e estratégias de mistura com gasolina e diesel para melhorar a eficiência energética e reduzir emissões.

A metodologia inclui revisão de estudos, análise de dados experimentais e modelagem teórica. Resultados mostram que o teor de água no etanol influencia suas propriedades de pulverização e combustão. O uso de etanol hidratado em motores SI e CI é viável, com ênfase em estratégias de injeção dupla para otimizar desempenho e reduzir emissões. O documento oferece uma visão abrangente do etanol hidratado como uma alternativa eficaz e sustentável em tecnologias de motores, destacando a importância da redução de emissões e uso sustentável de biocombustíveis (Loyte; Suryawanshi; Bhiogade; Devarajan; Subbiah, 2022).

O artigo investiga os efeitos da adição de gasolina ao óleo diesel em um motor de ignição por compressão de dois cilindros e quatro tempos, focando em desempenho, combustão e emissões. Os resultados mostram que a gasolina aumenta as emissões de CO e HC, especialmente em cargas parciais, enquanto reduz as emissões de NO. A eficiência térmica geralmente é superior com óleo diesel puro, mas uma mistura de 5% de gasolina atinge a eficiência térmica máxima em certas condições. A adição de gasolina também altera a taxa de liberação de calor e a temperatura do escape. A temporização da injeção de combustível impacta significativamente as propriedades de combustão e as emissões, com diferentes avanços na injeção afetando a eficiência térmica e as emissões de CO, HC e NO. O estudo recomenda futuras investigações sobre aditivos e estratégias de injeção para otimizar o desempenho e reduzir emissões. Os dados foram obtidos a partir de testes com várias misturas de diesel-gasolina, analisando as propriedades de combustão e emissões com equipamentos específicos (Enes,;Orhan, 2022).

O estudo avaliou o desempenho térmico e de autoignição de um motor HCCI (*Homogeneous Charge Compression Ignition*) usando misturas de éter dietílico e etanol, variando a temperatura do ar de admissão e os valores lambda. Utilizando um modelo de zona única baseado na primeira lei da termodinâmica, os resultados mostraram que o aumento do valor lambda reduziu a pressão e a taxa de liberação de calor para todos os combustíveis testados. A temperatura do ar de admissão avançou a fase de combustão e aumentou sua duração, enquanto a adição de etanol atrasou o início da combustão. As misturas D85E15 e D70E30 mostraram aumentos de 12,6% e 6,10 bar na pressão média efetiva indicada, respectivamente, com um valor lambda de 2 e temperatura de 420 K. A eficiência térmica indicada também aumentou, com DEE apresentando 11,4% e D85E15 49,17% de melhoria, respectivamente. O estudo destacou a influência significativa da temperatura do ar de admissão e da relação ar/combustível na otimização da combustão HCCI e confirmou a boa concordância entre os resultados numéricos e experimentais (Hasan; Rahman; Rasul, 2021).



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

### 4. CONSIDERAÇÕES

Perante a numerosa quantidade de trabalhos a respeito deste tema, se criou a necessidade do uso de ferramentas computacionais para o tratamento classificatório dos artigos para a organização de uma base de referências bibliográficas mais precisa com os objetivos da pesquisa.

Os estudos apresentados exploram diversas abordagens para melhorar o desempenho e reduzir as emissões de motores de combustão interna, principalmente em motores Diesel. Entre os combustíveis analisados, destacam-se o etanol, o biodiesel, o metanol, e suas misturas com óleo Diesel, bem como a injeção de hidrogênio e água. Os métodos experimentais variaram desde a simples adição de combustíveis alternativos em diferentes proporções até o desenvolvimento de estratégias de injeção sofisticadas e técnicas de combustão avançadas, como HCCI e RCCI.

Diversos estudos revelaram que a adição de etanol e biodiesel a motores diesel pode melhorar a eficiência térmica, como observado nos experimentos com *blends* de biodiesel-etanol e diesel-etanol, que apresentaram maior eficiência em comparação com o diesel puro. A injeção de hidrogênio, tanto em misturas com etanol-diesel quanto com biodiesel-etanol, também mostrou ganhos significativos na eficiência térmica, reforçando a viabilidade desses combustíveis na melhoria do desempenho de motores de combustão interna.

Os estudos mostraram que a adição de etanol e biodiesel pode melhorar a estabilidade da combustão, especialmente em motores diesel operando com misturas de biocombustíveis. O uso de estratégias de injeção dividida e a fumigação de etanol foram eficazes na melhoria da estabilidade e na otimização da taxa de liberação de calor.

A maioria dos estudos utilizou motores de teste monocilíndricos, frequentemente com medições detalhadas de parâmetros como pressão no cilindro, temperatura de combustão e composição dos gases de escape, empregando equipamentos de medição avançados como transdutores de pressão piezoelétricos e espectrômetros FTIR (Espectroscopia no infravermelho por transformada de Fourier). Modelos numéricos e técnicas de simulação computacional também foram amplamente utilizados para prever o comportamento dos motores sob diferentes condições de operação e para validar os resultados experimentais.

Os resultados dos estudos indicam que a combinação de combustíveis alternativos com técnicas avançadas de injeção e combustão pode não apenas melhorar a eficiência dos motores, mas também reduzir significativamente as emissões de poluentes. No entanto, é essencial continuar a otimização desses métodos para equilibrar desempenho e sustentabilidade, garantindo que a durabilidade dos componentes do motor não seja comprometida. Além disso, a investigação de novos aditivos e catalisadores, bem como o aprimoramento das estratégias de injeção e combustão, pode contribuir para uma redução ainda maior das emissões de poluentes. A variedade de abordagens metodológicas e experimentais utilizadas nestes estudos fornece uma base sólida para futuras pesquisas e desenvolvimentos tecnológicos.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

Entretanto, ainda há lacunas a serem exploradas, como o impacto a longo prazo dessas misturas nos sistemas de injeção e nos processos de combustão, bem como a necessidade de modelos projetivos mais precisos para diferentes cenários operacionais. Dessa forma, a continuidade das pesquisas é fundamental para a criação de soluções mais ecológicas e eficientes para o setor de transportes, considerando também sua viabilidade econômica e adaptação às normativas ambientais globais.

### REFERÊNCIAS

- BALAKRISHNAN, E.; PRAKASH, R. Experimental investigation on effects of ethanol fumigation in dual fuel reactivity controlled compression ignition engine. **Materials Today: Proceedings**. 2023.
- BISWAS, S.; KAKATI, D.; CHAKRABORTI, P.; BANERJEE, R. Assessing the potential of ethanol in the transition of biodiesel combustion to RCCI regimes under varying injection phasing strategies: A performance-emission-stability and tribological perspective. **Fuel**, 2021.
- CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. *In: 8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CBGDP*. 2011, p. 12.
- EL-SEESY, A. I.; KAYATAS, Z.; TAKAYAMA, R.; HE, Z.; KANDASAMY, S.; KOSAKA, H. Combustion and emission characteristics of RCEM and common rail diesel engine working with diesel fuel and ethanol/hydrous ethanol injected in the intake and exhaust port: Assessment and comparison. **Energy Conversion and Management**, 2020.
- ENES FIL, H.; ORHAN AKANSU, S. The impact of modified injection timing methods on performance, combustion and pollution emissions in CI engine using diesel-gasoline mixtures. **Fuel**, 2022.
- FAN, Q.; LIU, S.; QI, Y.; CAI, K.; WANG, Z. Investigation into ethanol effects on combustion and particle number emissions in a spark-ignition to compression-ignition (SICI) engine. **Energy**, 2021.
- HASAN, M.; RAHMAN, M.; RASUL, M. The thermal and auto-ignition performance of a homogeneous charge compression ignition engine fuelled with diethyl ether and ethanol blends. **Applied Thermal Engineering**, 2021.
- LIANG, J.; ZHANG, Q.; MA, Q.; CHEN, Z.; ZHENG, Z. Effect of various ethanol/diesel cosolvents addition on combustion and emission characteristics of a CRDI heavy diesel engine. **Energy Reports**, 2022.
- LOYTE, A.; SURYAWANSHI, J.; BHIIOGADE, G.; DEVARAJAN, Y.; SUBBIAH, G. Recent developments in utilizing hydrous ethanol for diverse engine technologies. **Chemical Engineering and Processing - Process Intensification**, 2022.
- MA, B.; YAO, A.; YAO, C.; WANG, W.; AI, Y. Numerical investigation and experimental validation on the leakage of methanol and formaldehyde in diesel methanol dual fuel engine with different valve overlap. **Applied Energy**, 2021.
- NIBIN, M.; RAJ, J. B.; GEO, V. E. Experimental studies to improve the performance, emission and combustion characteristics of wheat germ oil fuelled CI engine using bioethanol injection in PCCI mode. **Fuel**, 2021.



## RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR ISSN 2675-6218

INJEÇÃO DIRETA E CARACTERÍSTICAS DE COMBUSTÃO DE ETANOL EM MOTORES DIESEL:  
REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA  
Ana Vitória das Chagas Motta, Alex Pereira da Cunha, Gabriel Coelho Rodrigues Alvares,  
Masoud Ghanbari Kashani, Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

PRADELLE, F.; LEAL BRAGA, S.; FONSECA DE AGUIAR MARTINS, A. R.; TURKOVICS, F.; NOHRA CHAAR PRADELLE, R. Experimental assessment of some key physicochemical properties of diesel-biodiesel-ethanol (DBE) blends for use in compression ignition engines. **Fuel**, 2019.

RAMALINGAM, S.; RADHAKRISHNAN, M.; SUBRAMANIAN, S. Investigation on performance, combustion and emission characteristics of biodiesel - Ethanol blends with hydrogen in CI engine. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2023.

SHIRNESHAN, A.; BAGHERZADEH, S. A.; NAJAFI, G.; MAMAT, R.; MAZLAN, M. Optimization and investigation the effects of using biodiesel-ethanol blends on the performance and emission characteristics of a diesel engine by genetic algorithm. **Fuel**, 2021.

TELLI, G.; ZULIAN, G.; LANZANOVA, T.; MARTINS, M.; ROCHA, L. An experimental study of performance, combustion and emissions characteristics of an ethanol HCCI engine using water injection. **Applied Thermal Engineering**, 2022.

VALERA, H.; KUMAR, D.; AGARWAL, A. K. Evaluating the effect of variable methanol injection timings in a novel co-axial fuel injection system equipped locomotive engine. **Journal of Cleaner Production**, 2022.

VASANTHAKUMAR, R.; LOGANATHAN, M.; CHOCKALINGAM, S.; VIKNESWARAN, M.; MANICKAM, M. A study on the effect of hydrogen enriched intake air on the characteristics of a diesel engine fueled with ethanol blended diesel. **International Journal of Hydrogen Energy**, 2023.

WEBSTER, J.; WATSON, R. T. Analyzing the Past to Prepare for the Future: Writing a Literature Review. **MIS Quarterly**, 2002.

YANG, W.; WANG, Y.; BAI, Y.; HAO, L.; LIU, X. Experimental study of the bioethanol substitution rate and the diesel injection strategies on combustion and emission characteristics of dual-fuel-direct-injection (DFDI) engine. **Journal of the Energy Institute**, 2023.