RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

CONTROLE DE COMANDO DE VÁLVULAS EM MOTORES DE IGNIÇÃO POR CENTELHA: REVISÃO SISTEMÁTICA DA LITERATURA

VALVE TIMING CONTROL IN SPARK IGNITION ENGINES: SYSTEMATIC LITERATURE REVIEW

CONTROL DE MANDO DE VÁLVULAS EN MOTORES DE ENCENDIDO POR CHISPA: REVISIÓN SISTEMÁTICA DE LA LITERATURA

Layra Beatriz da Silva Carvalho[1], Gabriel Coelho Rodrigues Alvares[1], Alex Pereira da Cunha[1], Masoud Ghanbari Kashani[1], Paulo Sergio Barbosa dos Santos[1], Isabele Oliveira de Paula[1]

e626124
https://doi.org/10.47820/recima21.v6i2.6124

PUBLICADO: 2/2025

RESUMO

O texto trata as diferenças entre os ciclos Otto e Miller em motores de combustão interna, destacando como o ciclo Miller, ao retardar o fechamento das válvulas de admissão, melhora a eficiência térmica ao permitir um fluxo reverso que reduz o trabalho de compressão. O desenvolvimento de tecnologias com controle eletrônico tem sido crucial para aumentar a eficiência energética e reduzir emissões de gases de efeito estufa, especialmente em setores como mobilidade e indústria. A revisão sistemática proposta visa analisar as tecnologias aplicadas nos motores Otto e Miller, identificando suas vantagens e acompanhando a evolução das máquinas térmicas. O trabalho busca alinhar-se com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável da ONU, promovendo motores mais eficientes e contribuindo para a redução das emissões. O foco principal é catalogar as inovações em controle de válvulas em motores de ignição por centelha, avaliando suas aplicações e impactos.

PALAVRAS-CHAVE: Controle de comando de válvulas. Motor de ignição por centelha. Ciclo Otto. Ciclo Miller.

ABSTRACT

The text discusses the differences between the Otto and Miller cycles in internal combustion engines, highlighting how the Miller cycle, by slowing down the closing of the intake valves, improves thermal efficiency by allowing a reverse flow that reduces compression work. The development of technologies with electronic control has been crucial to increase energy efficiency and reduce greenhouse gas emissions, especially in sectors such as mobility and industry. The proposed systematic review aims to analyze the technologies applied in Otto and Miller engines, identifying their advantages and disadvantages, and monitoring the evolution of thermal machines. The work seeks to align with the UN Sustainable Development Goals, promoting more efficient engines and contributing to the reduction of emissions. The main focus is to catalog innovations in valve control in spark ignition engines, evaluating their applications and impacts.

KEYWORDS*: Valve timing control. Spark ignition engine. Otto cycle. Miller cycle.*

RESUMEN

El texto discute las diferencias entre los ciclos Otto y Miller en los motores de combustión interna, destacando cómo el ciclo Miller, al retrasar el cierre de las válvulas de admisión, mejora la eficiencia térmica al permitir un flujo inverso que reduce el trabajo de compresión. El desarrollo de tecnologías de control electrónico ha sido crucial para aumentar la eficiencia energética y reducir las emisiones de gases de efecto invernadero, especialmente en sectores como la movilidad y la industria. La revisión sistemática propuesta tiene como objetivo analizar las tecnologías aplicadas en los motores Otto y Miller, identificando sus ventajas y desventajas, y siguiendo la evolución de las máquinas térmicas. El trabajo busca alinearse con los Objetivos de Desarrollo Sostenible de la ONU, promoviendo motores más eficientes y contribuyendo a la reducción de emisiones. El objetivo principal es catalogar las innovaciones en el control de válvulas en motores de encendido por chispa, evaluando sus aplicaciones e impactos.

PALABRAS CLAVE: *Control de mando de válvulas. Motor de encendido por chispa. Ciclo de Otto. Ciclo de Miller.*

[1] Universidade Estadual Paulista - UNESP.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

1. INTRODUÇÃO

No ciclo Otto as válvulas de admissão fecham logo após ponto morto inferior(BDC), enquanto no ciclo Miller, o fechamento das válvulas de admissão (IVC) é Retardado, de forma a promover um fluxo reverso na admissão *"backflow"*, tornando a relação de expansão maior do que a relação de compressão (CR), o que reduz o trabalho de compressão devido ao atraso do fechamento da válvula de admissão, melhorando assim a eficiência térmica de motores de ignição por centelha (Chen *et al.,* 2019).

A diferença entre os ciclos Miller e Otto está no tempo de abertura das válvulas. Também conhecido como ciclo de "cinco tempos", que além de apresentar os quatro tempos do ciclo Otto (admissão, compressão, expansão e exaustão ou escape) conta com um suposto "quinto tempo" em que ocorre a compressão com a válvula de admissão aberta (Miller, 2024).

Os motores de combustão interna têm sido objeto de desenvolvimento e aplicação de tecnologias com controle eletrônico, com propósito de alcançar maior eficiência energética e redução das emissões de gases do efeito estufa. É amplamente reconhecido que os motores de combustão interna desempenham um papel essencial em setores como indústria, mobilidade e logística, eles desempenham um papel fundamental em uma grande variedade de aplicações como veículos automotores e máquinas industriais. O aumento expressivo na comercialização de veículos equipados com esses motores nos últimos anos tem impulsionado a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias para mitigar as emissões de gases de efeito estufa.

O motor de ciclo Otto é um tipo de motor de combustão interna amplamente utilizado em veículos automotores. Seu funcionamento é baseado na combustão controlada da mistura ar-combustível, gerando energia mecânica. Com seus componentes e vantagens esse motor se destaca como uma opção eficiente (Pabocar, 2020). Já um motor que opera sobre o ciclo Miller, apresenta um rendimento superior aos motores que trabalham sobre o ciclo Otto devido ao aproveitamento de elevada entalpia proveniente dos gases de escape, que em outros ciclos não são reutilizados.

Os ciclos Miller, nos quais a taxa de compressão efetiva é menor do que a taxa de expansão efetiva, podem ser chamados de ciclos superexpandidos. Na prática moderna, os ciclos superexpandidos são implementados com fechamento antecipado (EIVC) ou tardio (LIVC) da válvula de admissão. O efeito primário do EIVC e do LIVC é uma redução na temperatura no final do curso de compressão. A temperatura mais baixa permite o uso de taxas de compressão geométricas mais altas que produzem uma taxa de expansão mais longa e um benefício de eficiência (Dieselnet, 2019).

Essa revisão sistemática tem como objetivo efetuar uma análise detalhada dos motores de ciclo Miller e Otto, explorando as diversas tecnologias aplicadas nestes motores por meio de uma revisão sistemática de cada um deles, evidenciando seus aspectos positivos e negativos. Esta abordagem permite acompanhar de perto a evolução das máquinas térmicas e selecionar as tecnologias que proporcionam maior aproveitamento energético aos motores de combustão interna.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

Dessa forma, o presente trabalho almeja alinhar-se com os objetivos de desenvolvimento sustentável (ODS) da ONU, em particular, com os ODS 9, 12 e 13 residem na convergência entre inovação tecnológica, eficiência no uso de recursos e responsabilidade ambiental. Essa intersecção é crucial para promover um desenvolvimento sustentável que integre o crescimento econômico, a preservação ambiental e o bem-estar social, em consonância com as metas condicionais da ONU.

O alvo central deste trabalho é acompanhar de perto o desenvolvimento, testes e aplicações das tecnologias de controle de válvulas em motores de ignição por centelha (SI), catalogando os aspectos positivos e negativos de cada abordagem desenvolvida e a tecnologia empregada a eles.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Revisão Sistemática da Literatura

A revisão sistemática da literatura é uma abordagem metodológica meticulosa e organizada para analisar e sintetizar as evidências disponíveis sobre um tema específico. Este método envolve a definição clara de critérios de busca, como palavras-chave relevantes e fontes de informação adequadas, para identificar estudos pertinentes (Conforto *et al.*, 2011).

Durante o processo de seleção e extração de dados, são cuidadosamente escolhidas as informações mais relevantes e confiáveis para análise. Esses dados são então interpretados para fornecer uma visão abrangente do estado atual do conhecimento sobre o assunto em questão (Webster; Watson, 2002).

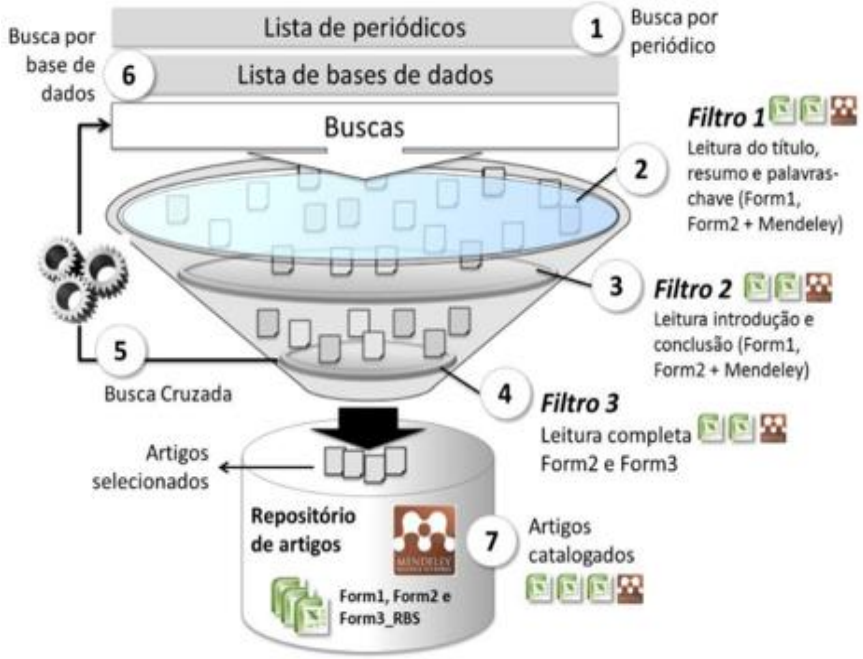
Além de oferecer uma síntese organizada do conhecimento existente, as revisões sistemáticas desempenham um papel crucial na identificação de lacunas na literatura. Ao destacar áreas que precisam de mais investigação, elas orientam futuras pesquisas e incentivam a originalidade e inovação na área (Webster; Watson, 2002).

Logo, as revisões sistemáticas não apenas resumem o conhecimento atual, mas também impulsionam o progresso científico ao indicar direções para pesquisas futuras colaborando com o desenvolvimento direcionado da ciência.

A Figura 1 ilustra uma etapa de busca, análise de resultados e documentações com um trabalho de respectivamente sete passos, o primeiro deles é as buscas realizadas utilizando filtros (passo 1, 5 e 6). Segundo é a leitura e análise dos resultados (passo 2, 3 e 4). Terceiro, realização da documentação e arquivamento dos artigos selecionados nos filtros de leitura (passo 2, 3, 4 e 7), nessa parte a documentação representa quantidade de artigos encontrados por periódico, quantidade de artigos excluídos, quantidade de artigos encontrados na busca cruzada etc.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

Figura 1: Procedimento iterativo da fase de processamento, RBS *Roadmap*



Fonte: Conforto, Amaral e Silva (2011).

2.2. *Software Start*

No intuito de melhorar a qualidade das pesquisas e aplicações nas criações de Revisão Sistemática (RS), foi desenvolvida uma ferramenta denominada StArt *(State of the Art through Systematic Reviews)*, pelo Laboratório de Pesquisa em Engenharia de *Software* (LaPES), que tem como objetivo dar suporte ao pesquisador, apoiando a aplicação dessa técnica (Lapes, 2025).

O StArt presta dispor de uma melhor estrutura para organização e classificação de artigos, para que estudiosos delimitem com mais facilidade sua base de pesquisa e que consequentemente tenham um melhor aproveitamento em suas buscas.

Ao se iniciar o *software* se cria um arquivo para ser realizada a revisão sistemática da literatura (RSL) como mostra a Figura 2A. Em seguida é exibido uma aba contendo informações do início do processo Figura 2B. Começando o processo preenche-se o título da RSL e os dados dos pesquisadores envolvidos Figura 2C, com uma descrição dos fundamentos da pesquisa Figura 2D, dentro das abas de diálogo apresentadas ao usuário Figura 2. Para mudar de uma tela para outra, é necessário clicar em (*Next*) para avançar ou (*Back*) para retornar, e por fim clicar em (*Finish*) Figura 2E, dando início a árvore de projeto da RSL Figura 2F.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

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



A) Criação de arquivo para RSL | B) Caixa de orientações | C) Título e Pesquisadores

D) Descrição da pesquisa | E) Caixa de diálogo | F) Árvore de projeto da RSL

Fonte: Autores.

2.3. Protocolo da RSL

Foi determinada uma sequência de palavras-chave e seus sinônimos em língua inglesa (Quadro 1), baseadas nas questões centrais da pesquisa, foi desenvolvida uma *String* de busca para cada base de dados, conforme o Quadro 1, obedecendo aos manuais de busca lógica de cada plataforma.

Uma *String* de Busca pode ser definida como um conjunto de caracteres que une termos de interesse, palavras-chave, com operadores booleanos para serem utilizados em sistemas de busca nas bases de dados, neste caso, em bases de dados de artigos científicos.

Quadro 1: Parâmetros iniciais para RSL

Questão	Qual é a interação da variação do período de abertura das válvulas em um motor de ignição por centelha (SI) em seu desempenho?
Termos	**Tradução**
Spark ignition	Ignição por centelha
cam	came
Valve control	Controle de válvulas
Base de dados	**String de Busca**
IEEE	*(Spark ignition Engine) AND ("cam" OR "valve control")*
ScienceDirect	*(Spark ignition Engine) AND ("cam" OR "valve control")*
Web of Science	*(Spark ignition Engine) AND ("cam" OR "valve control")*

Fonte: Autores.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

Determinados os termos, foram criados critérios de inclusão e exclusão, os quais podem ser observados no Quadro 2. Esses critérios são parâmetros que irão auxiliar na seleção dos artigos, permitindo que sejam selecionados com maior rigor estratégico.

Quadro 2: Critérios de inclusão ou exclusão

Critério	Descrição do critério de inclusão	Critério	Descrição do critério de exclusão
CI1	Fala de Motores de ignição por Centelha	CE1	Motores de ignição por compressão
CI2	Sistemas que flexibilizam a operação das válvulas de admissão	CE2	Sistemas que flexibilizam as válvulas de escape apenas
CI3	Motores que operem em ciclo Miller	CE3	Motores ciclo Diesel
CI4	Motores que operam em ciclo Otto	CE4	Motores dois cursos
CI5	Motores veiculares e pesquisa		

Fonte: Autores.

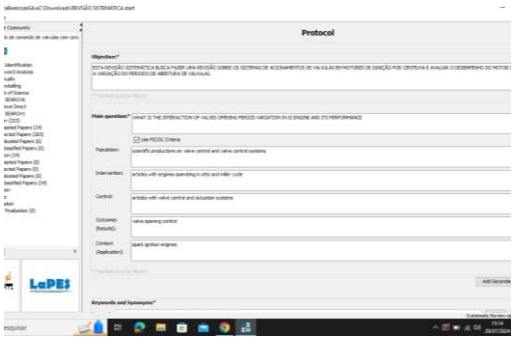
Com os dados de entrada em mãos, estes foram inseridos no software na aba de planejamento, sob o protocolo. A questão principal pode conter uma subquestão (Figura 3A). Os artigos devem seguir critérios de seleção específicos, como ano de publicação, originalidade, e serem escritos em inglês ou português, os quais devem ser discriminados no protocolo (Figura 3B). Para selecionar uma base de dados, escolha-a na caixa de seleção e inclua-a utilizando o botão de adição (*Add*) (Figura 3B). Esse processo deve ser repetido para todas as bases de dados nas quais se deseja pesquisar os artigos da RSL.

Os critérios para inclusão ou exclusão de um artigo (Quadro 2) são inseridos no mesmo campo, diferenciados pela caixa de seleção, onde se pode optar por "*Inclusion*" ou "*Exclusion*" (Figura 3C). No protocolo, também é possível atribuir um fator de qualidade (Figura 3D), que pode ser uma nota ou uma avaliação mais abrangente. Além disso, foram inseridos campos para os elementos de extração (Figura 3E).

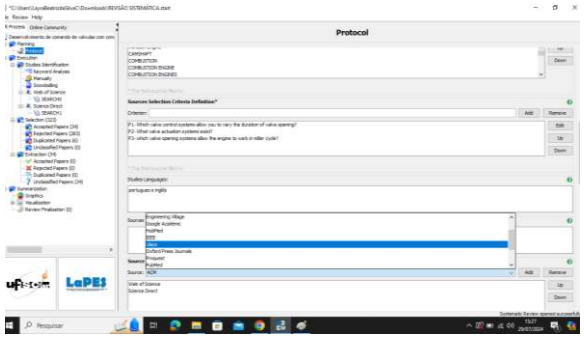
Os elementos de extração são componentes do artigo nos quais temos interesse e que são relevantes para a nossa pesquisa. Geralmente, esses elementos podem ser resumidos em três questões: "O que foi feito?", "Como foi feito?" e "Quais foram os resultados obtidos?". Também foram adicionados campos para os locais de estudo e alguns itens referentes ao uso de sensores e observações, visando à organização dos dados no relatório final.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

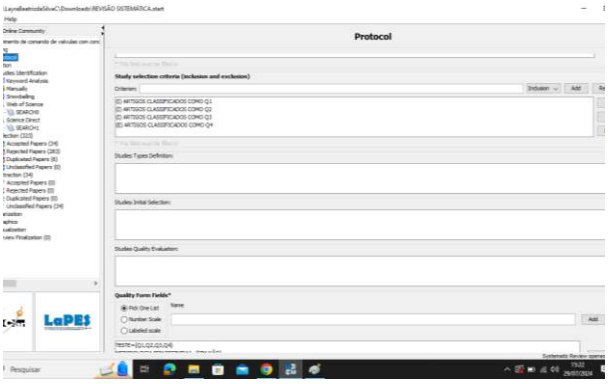
Figura 3: Campus do protocolo da RSL



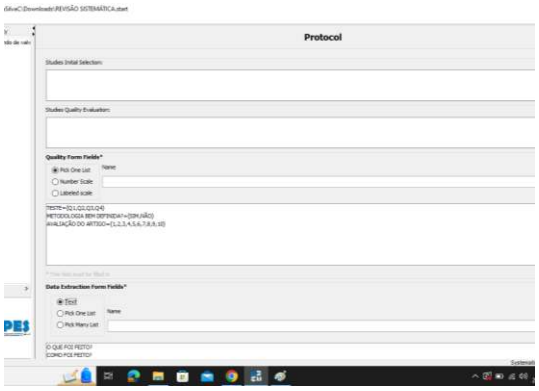
A) Questão principal e palavras chaves



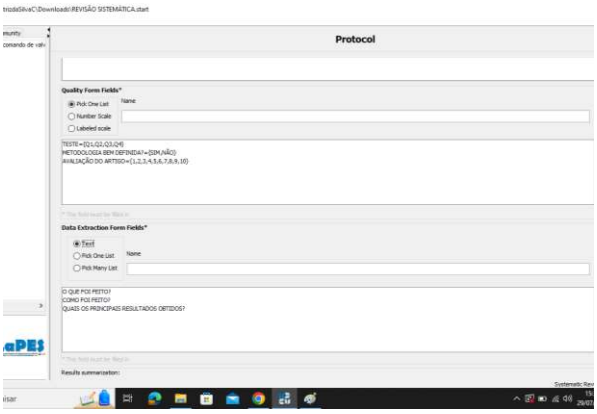
B) Fontes e Adicionar base de dados



C) Critérios



D) Qualidade



E) Campos de extração
Fonte: Autores.

2.4. Processamento dos artigos

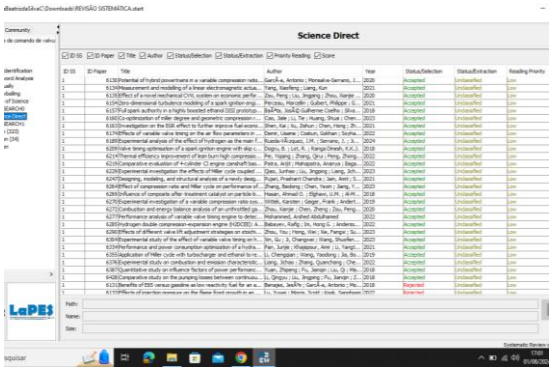
Utilizando a *String* de busca que foram formadas é realizado a pesquisa de artigos nas bases de dados após é feito o *download* desses arquivos com extensão ".bib" ou ".ris", a análise ocorreu utilizando a *Virtual Private Network*(VPN) da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", que proporciona acesso a rede Eduroam, que através de convênios disponibiliza o acesso a periódicos, artigos, revistas e outras bases de divulgação científica exclusiva para

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

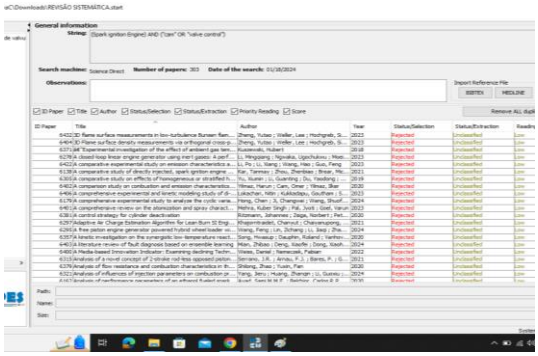
assinantes, depois de todos os arquivos serem salvos em um computador local ou com acesso ao VPN, se faz a inserção destes arquivos no *software* StArt como mostra a (Figura 4A), visto que as bases de dados apresentadas são as inseridas no protocolo inicial (Figura 4B), basta clicar com o botão direito do *mouse* e selecionar a opção "*Add search session*" (Figura 4A), assim será aberta uma sequência de janelas que devem ser preenchidas com a *String* de busca criada (Figura 4B). Observações pertinentes à busca e finalização com uma caixa de diálogo são necessárias para abrir a janela de carregar o arquivo (Figura 4C), selecionando o formato da extensão que o ele foi salvo, depois de escolher o arquivo, pode-se optar pela marcação automática de entradas duplicadas, será demonstrado um *pop-up* de sucesso para os arquivos carregados, caso exista duplicidade pode-se removê-las clicando no botão "*Remove ALL duplicate papers*" (Figura 4C).

Figura 4: Inserção de arquivo contendo referências bibliográficas no StArt

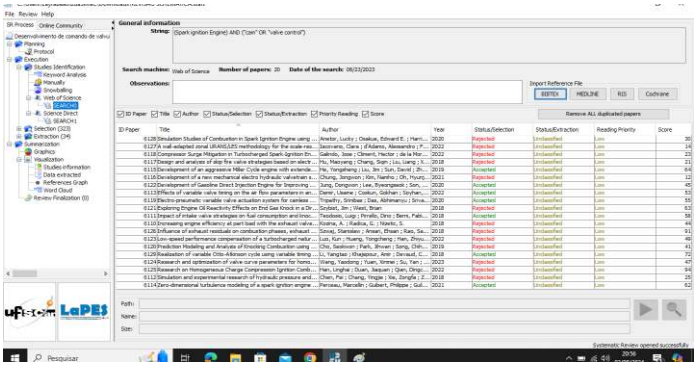
Fonte: Autores.

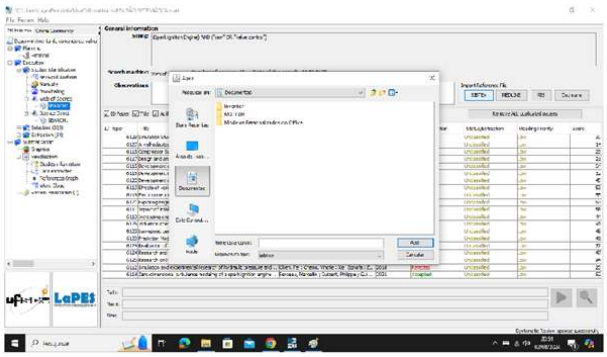


A) Adição de novo arquivo



B) Inserção da String de busca





C) Interface de seleção do arquivo "bib" ou "ris"

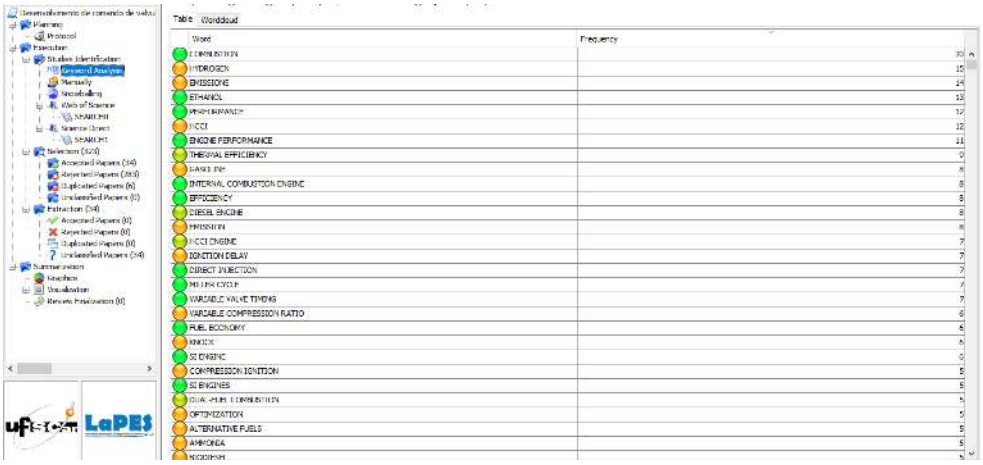
Fonte: Autores

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

Ao se inserir todos os arquivos no *software*, é possível observar a regularidade com que algumas palavras são apresentadas, a (Figura 5) ilustra uma análise das palavras chaves que foram inseridas no protocolo na parte inicial, a partir das cores o *software* demonstra as similaridades com as palavras chaves que foram adicionadas no protocolo sendo laranjas para distintas verde para iguais e amarelas para semelhantes.

Ressaltando o terceiro critério de exclusão, que utiliza a ferramenta do *software* StArt, conforme mostra a (Figura 6), para fazer recortes e selecionar os artigos seguindo as palavras chaves de entrada do protocolo, sua divisão é feita por pontuação, este procedimento deve ser realizado somente depois da inserção de todos os arquivos no software. Os quadrantes são divididos por segmentos, podendo eliminar os quadrantes inferiores por terem indícios de menor aceitação às questões principais da busca.

Figura 5: Análise da frequência das palavras das referências bibliográficas



Fonte: Autores.

Figura 6: Geração de quadrantes e exclusão dos inferiores



Fonte: Autores.

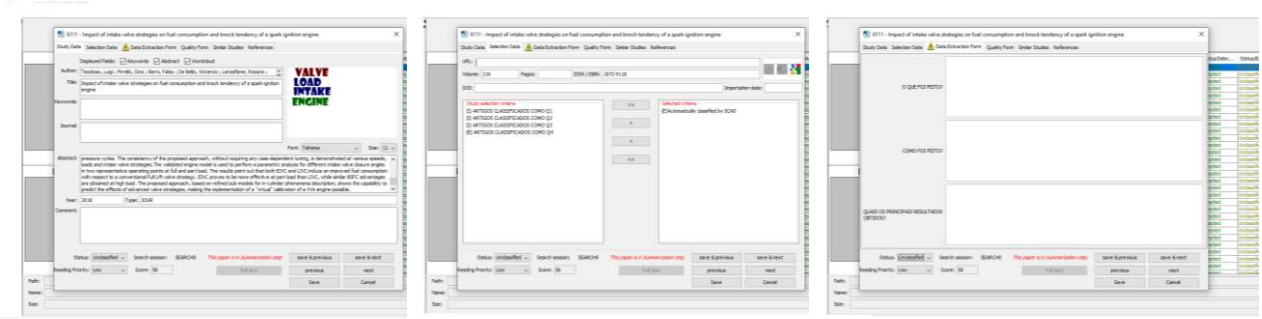
Então se faz um sequenciamento de pontuação(score) de cada artigo para ser feita a leitura entre o título e resumos, observando se eles atendem algum dos critérios de inclusão ou exclusão adicionados no protocolo, pode se consultar os resumos com um duplo clique esquerdo no artigo

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

(Figura 7A), os classificando (Figura 7B) e levando para a etapa de extração, onde é executada a leitura completa do artigo e preenchimento dos campos de interesse para a construção da pesquisa e definindo se ele irá ser utilizado no relatório final (Figura 7C).

O *software* permite que seja gerado um arquivo com extensão ".xlsx" obtendo todos os dados extraídos dos artigos, para isso deve ir à opção de menu superior em geração de relatório e escolher os filtros desejados (Figura 8) podendo escolher também o local onde será salvo o arquivo.

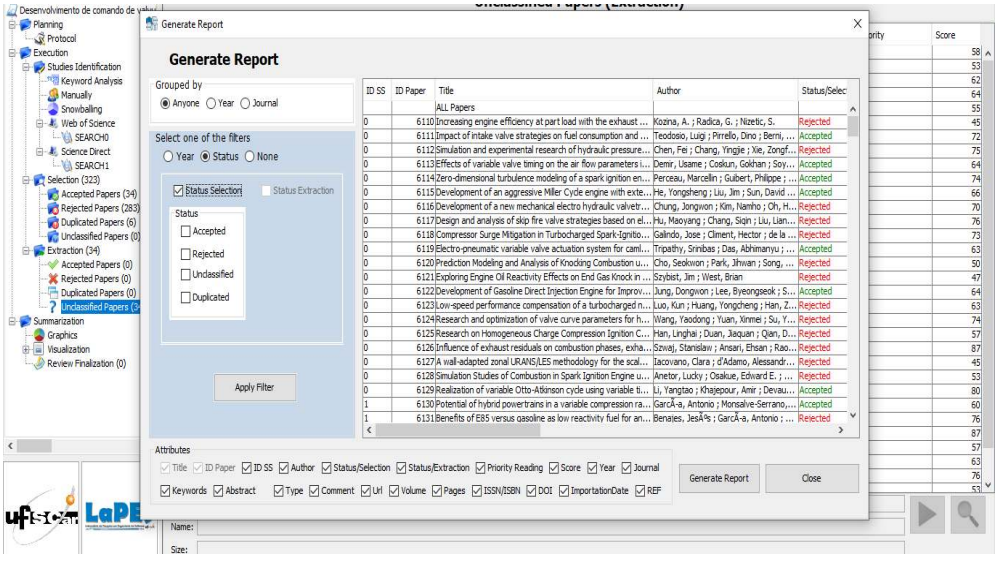
Figura 7: Avaliação individual e extração de dados



A) Consulta ao resumo B) Atribuição dos critérios C) Extração dos dados dos artigos

Fonte: Autores.

Figura 8: Geração de relatório ".xlsx"



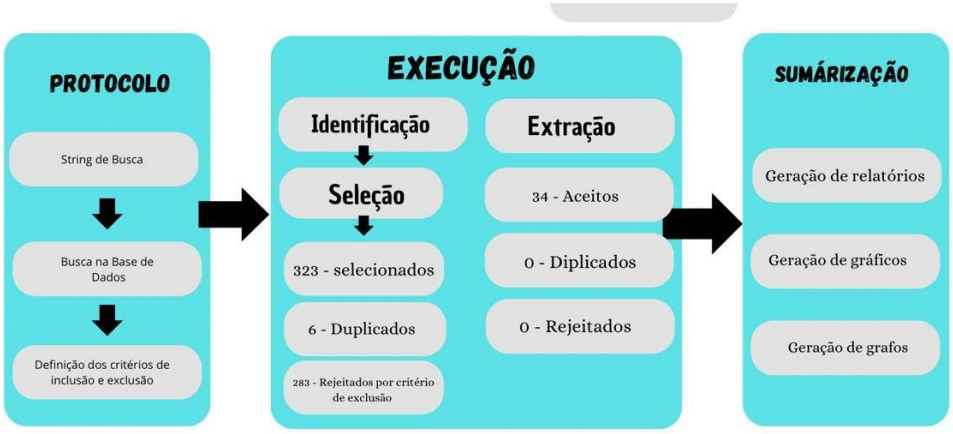
Fonte: Autores.

A Figura 9 ilustra o organograma do *software* onde é possível observar como são organizados os blocos de funções do StArt, podem ser seguidos em ordem ou por seguimento do protocolo, ele pode ser ajustado cuidadosamente ao longo do processo para ter melhores resultados,

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

essa imagem detalha o quantitativo de artigos classificado em cada parte do processo da RSL deste trabalho.

Figura 9: Organograma do *software* StArt

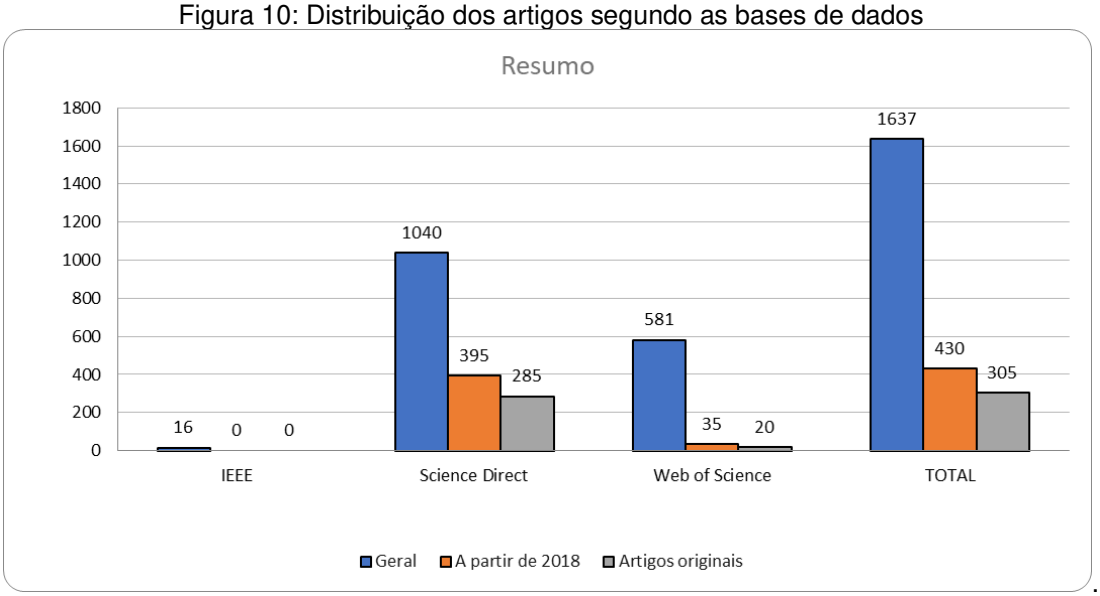


Fonte: Autores.

3. RESULTADO E DISCUSSÕES

A (Figura 10) apresenta um gráfico da distribuição dos artigos segundo as bases de dados pesquisadas, cada coluna apresenta a quantidade de artigos relacionados a *string* de pesquisa foram encontrados. Analisando a (Figura 10) também é possível ver que a predominância de artigos relacionados com a pesquisa, foram desenvolvidos em maior escala a partir de 2018.

Figura 10: Distribuição dos artigos segundo as bases de dados

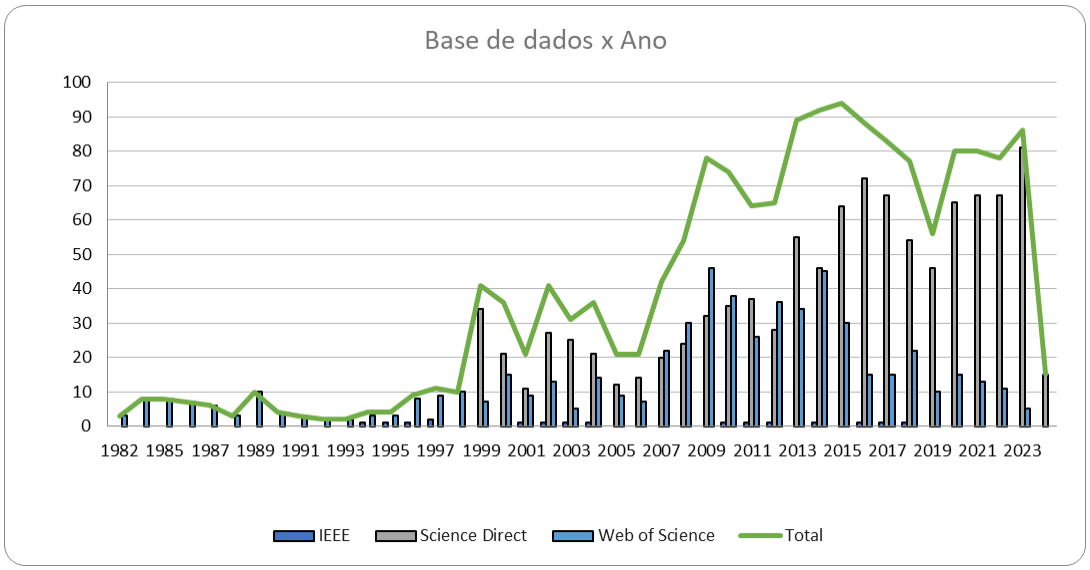


Fonte: Autores.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

Com o intuito de dar início a RSL, através da *string* de busca apresentada foram realizadas buscas em três bases de dados, IEEE, Science Direct e Web of Science. Decorrente das buscas, foram identificados os seguintes resultados (Figura 11).

Figura 11: Quantidade de publicações durante os anos



Fonte: Autores.

Para ter a seleção das pesquisas com dados mais atualizados de cada base de dados foi determinado um intervalo de tempo entre o ano de 2018 até o ano de 2024, pois como os motores de combustão interna sofrem evolução constante, os motores de 10 anos atrás são modelos ultrapassados considerando as tecnologias empregadas nos modelos atuais. Os textos selecionados totalizaram 305 arquivos conforme representado na Tabela 1, onde se tem a quantidade de artigos selecionados em cada base de dados.

Tabela 1 - Quantitativos de artigos adquiridos nas bases de dados

Base de Dados	Geral	A partir de 2018	Artigos Originais
Science Direct	1019	374	285
Web of Science	586	76	20
TOTAL	1605	450	305

Fonte: Autores.

Posteriormente, aos processos de filtragem (seleção e extração) foram obtidos 32 artigos que melhor se relacionavam com o objetivo do trabalho realizado. Tendo em vista esses artigos extraídos do *software* StArt é gerada uma nuvem de palavras-chaves que estão apresentadas na Figura 12.

Por fim, foi realizado o resumo dos 32 artigos extraídos, apresentando seus objetivos, metodologia e resultados obtidos.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

O estudo corporativo investigou as perdas de bombeamento em motores CVVL e VVT por meio de teste de bancada, analisando a influência dos sistemas de levantamento de válvulas variável na eficiência térmica e no desempenho do motor. Os resultados destacaram que o motor CVVL apresentou menores perdas de bombeamento em comparação com o VVT, devido às diferenças nas estratégias de controle de tempo e levantamento de válvulas, indicando um potencial de redução para mais de 20% no BSFC e fornecendo *insights* valiosos para a otimização da eficiência e economia de combustível em motores a gasolina (Li *et al.*, 2018A).

Figura 12: Nuvem de palavras



Fonte: Autores.

Neste estudo sobre os motores de válvulas de tempo variável (VVT), foi proposta uma abordagem para detectar os sinais de VVT do motor, os fatores de influência no desempenho de potência foram quantitativamente estudados e uma equação governante para IMEP dos motores VVT foi derivada, mostrando que o IMEP é proporcional ao volume efetivo do cilindro no momento do fechamento da válvula de admissão e inversamente proporcional à RGF, com os resultados calculados em concordância com os dados experimentais, fornecendo uma base teórica para otimizar o desempenho de potência dos motores VVT (Yuan *et al.*, 2018).

O estudo comparou o impacto das estratégias de válvulas de admissão (EIVC e LIVC) no desempenho de um motor de ignição por faísca turboalimentado pequeno, focando na redução do consumo de combustível. Uma abordagem hierárquica 1D/3D foi seguida para ajustar e validar o submodelo de turbulência adotado. Simulações preliminares em condições motrizes foram realizadas em diferentes pontos de operação. Análises 3D CFD de um cilindro único com diferentes estratégias de válvulas foram conduzidas, mostrando que tanto o EIVC quanto o LIVC melhoraram o consumo de combustível em relação à estratégia convencional de levantamento completo da válvula. O EIVC foi

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

mais eficaz em carga parcial, enquanto o LIVC apresentou vantagens semelhantes em carga alta (Teodosio *et al*., 2018).

O estudo realizado por Dogru *et al*., (2018) abordou a otimização do tempo de ignição e do avanço da faísca em um motor a gasolina, utilizando estratégias de interpolação 2D e modelagem de dois estágios para alcançar o avanço ideal da centelha de ignição para a potência alvo do motor. A pesquisa empregou a modelagem de um motor a gasolina naturalmente aspirado, considerando parâmetros como tempo de ignição, avanço da centelha de ignição e ângulo da válvula do acelerador, e utilizou estratégias de otimização numérica e interpolação 2D. Os resultados mostraram que a estratégia de dois estágios permitiu alcançar o ponto de melhor desempenho do motor, reduzindo o consumo de combustível e mantendo as emissões dentro dos limites aceitáveis, com uma mudança significativa na pressão do cilindro no momento da ignição, de 13, 19 bar para 12, 37 bar, indicando um processo de combustão mais lento. A otimização do avanço da faísca foi obtida através de uma tabela de interpolação 2D, dependendo das condições de pressão média no cilindro e velocidade do motor, resultando em simulações de modelo de estado estacionário. A estratégia de dois estágios permitiu manipular os parâmetros de ângulo da válvula do acelerador e tempo de ignição para obter o melhor avanço da faísca próximo ao PMS para a mesma potência alvo do motor, demonstrando a eficácia do método proposto (Dogru *et al*., 2018).

O estudo em questão abordou a avaliação do impacto de um catalisador composto de pós-tratamento na redução das emissões de hidrocarbonetos policíclicos aromáticos (HPAs) ligados a partículas, provenientes de motores a gasolina operando em modos de ignição por compressão controlada homogênea (HCCI) e por ignição por centelha (SI). Por meio da utilização de um motor de pesquisa HCCI/SI em diversas condições de carga e combustível, amostras das emissões foram coletadas do motor e do escapamento para posterior análise das concentrações de HPAs. Os resultados indicaram variações significativas nas concentrações de HPAs conforme as condições de operação do motor, sendo observadas concentrações mais elevadas no modo SI em comparação com o HCCI. A eficiência de conversão do catalisador foi meticulosamente medida, evidenciando uma variação de acordo com o tipo e o número de anéis cíclicos presentes nos HPAs. Em certas condições, a eficiência de conversão alcançou até 92%, destacando-se uma melhoria significativa na presença de hidrogênio, que foi capaz de aumentar a eficiência de conversão em até 20%, especialmente para espécies de naftaleno. Esses resultados demonstram não apenas a eficácia do catalisador composto na redução das emissões de HPAs, mas também o potencial de melhorias adicionais por meio de estratégias de adição de hidrogênio (Hasan *et al*., 2018).

O trabalho apresenta a realização de um ciclo Otto-Atkinson variável por meio de um sistema hidráulico de temporização variável, visando investigar suas características de desempenho e eficiência em comparação com os ciclos convencionais. O método envolveu o desenvolvimento de um sistema de atuação de válvula hidráulica flexível, utilizando técnicas de modelagem e simulação computacional para análise do desempenho em diferentes condições operacionais. Esse sistema foi

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

implementado em um motor a gasolina para avaliar sua eficácia em controlar o tempo variável e otimizar a eficiência do motor. Os resultados demonstraram uma melhoria significativa, com redução média de 15% no consumo de combustível, aumento de 10% na potência do motor e uma redução de aproximadamente 20% nas emissões de poluentes, destacando os benefícios do ciclo variável e da tecnologia de atuação de válvula implementada (Li *et al.*, 2018b).

Este estudo propôs uma técnica de combustão para um motor turboalimentado de 1.0 litro com injeção direta de etanol, visando alcançar os limites de eficiência de conversão de combustível. Para isso, foram empregadas diversas estratégias de calibração, incluindo preparação homogênea da mistura, uso de injeção dividida e adoção de injeção de água para mitigar qualquer fenômeno de combustão anormal e alcançar plena autoridade de ignição. Além disso, foi realizada uma abordagem numérica por meio de um modelo 1D (GT-Power ™) para prever a eficiência de conversão de combustível do motor e investigar sua potência em altas rotações. Os resultados experimentais demonstraram uma capacidade de downsizing de até 65%, alcançando uma eficiência de conversão de combustível de até 43,0% com a estratégia de injeção de água. Os resultados numéricos mostraram a possibilidade de alcançar até 45,5% de eficiência de conversão de combustível por meio de melhorias no *turbo-matching.* Esses resultados destacam o potencial de técnicas de injeção de água para melhorar a eficiência de conversão de combustível em motores de combustão interna (Baêta *et al*., 2018).

No artigo, os pesquisadores desenvolveram um motor a gasolina Miller com características avançadas, como combustão estequiométrica, alta taxa de expansão e um sistema de turbocompressor de dois estágios. A inovação principal foi a implementação de um comando de válvulas de admissão tardia (LIVC) com duração mais longa, que, juntamente com o turbocompressor, permitiu ao motor alcançar uma pressão média efetiva de freio (BMEP) máxima significativa. Os testes dinamométricos revelaram que o motor Miller agressivo obteve uma redução média de consumo de combustível específico de freio (BSFC) superior a 6% em comparação com o motor base, demonstrando uma melhoria na eficiência do combustível, especialmente em condições de carga leve, sem risco de detonação (He *et al*., 2019).

Para este trabalho, foi realizada uma investigação experimental de um sistema de taxa de compressão variável aplicado a um motor a gasolina de um carro de passageiros. Os testes foram conduzidos em pontos de operação estacionários, ajustando manualmente os valores da ECU, exceto a duração da injeção, que foi controlada em malha fechada. O sistema de taxa de compressão variável de 2 estágios foi implementado no motor, com medições de torque, pressão e outros parâmetros. Os testes foram realizados em diferentes condições de carga e velocidade, utilizando gasolina padrão europeia RON 95 e óleo sintético SAE 5W30. Os resultados mostraram melhorias significativas na eficiência energética e no consumo de combustível em diferentes condições de operação, com redução de até 4% no consumo de combustível em carga parcial (Wittek *et al*., 2019).

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

O estudo investigou os efeitos da aplicação do ciclo Miller em motores a diesel na redução de óxidos de nitrogênio (NOx) e outras emissões particuladas. Utilizando simulações computacionais e experimentos práticos em um motor a diesel de um cilindro, foram analisadas as emissões sob diferentes condições de carga e configurações do sistema de alimentação, incluindo variações entre Diesel, Miller e Miller com turboalimentação. Os resultados revelaram que o ciclo Miller, combinado com turboalimentação e etanol como combustível substituto, resultou em reduções significativas nas emissões de NOx, com uma redução de 4,53% a 5,06% em comparação com o ciclo Miller com turboalimentação utilizando diesel. Além disso, o etanol como combustível substituto proporcionou uma redução adicional nas emissões de NOx, variando de 6,5% a 9,5%, dependendo da carga do motor. No entanto, o ciclo Miller demonstrou produzir uma quantidade ligeiramente maior de emissões particuladas em comparação com o ciclo Diesel, enquanto o ciclo Miller com turboalimentação resultou em emissões de particulado ainda menores (Chengqian *et al.*, 2019).

O estudo investigou a combustão e o balanço energético de um motor a gasolina sem estrangulamento com um trem de válvulas de levante variável, utilizando modelos de simulação unidimensional e CFD. A calibração do modelo foi realizada com dados experimentais, resultando em uma boa concordância entre os resultados simulados e os dados reais. Os resultados mostraram uma redução nas perdas mecânicas e uma melhoria na eficiência térmica do freio, destacando a eficácia do sistema de válvulas variáveis na otimização do desempenho do motor em baixas cargas (Zhou *et al.*, 2020).

O estudo abordou a melhoria no consumo de combustível em um motor sem comando de válvulas convencional, por meio da operação desacelerada. Foi desenvolvido um sistema de atuação de válvulas eletropneumáticas variável para integrar e modificar o motor convencional em um motor sem comando de válvulas, visando reduzir as perdas de bombeamento e o consumo específico de combustível. O sistema de atuação de válvulas eletropneumáticas variável foi implementado em um motor de pesquisa de ignição por centelha de cilindro único, removendo o comando de válvulas convencional. Um atuador pneumático de dupla ação foi utilizado para controlar o movimento da válvula de admissão, permitindo a variação dos tempos e elevações das válvulas de admissão. Os resultados mostraram que a operação desacelerada no motor sem comando de válvulas reduziu significativamente as perdas de bombeamento em baixas velocidades do motor e cargas baixas, resultando em uma redução no consumo específico de combustível. A eficiência do consumo de combustível foi melhorada em até 11,2% em comparação com o motor convencional, demonstrando os benefícios do uso do sistema de atuação de válvulas eletropneumáticas variável (Tripathy *et al.*, 2020).

Neste estudo, foi desenvolvido um motor de injeção direta de gasolina com o objetivo de melhorar a eficiência térmica do freio (BTE) em mais de 44%. Para atingir esse objetivo, foram adotadas várias estratégias, incluindo o uso de ignição de duas velas, ciclos de Atkinson e sistemas híbridos leves de 12V e 48V. Utilizando simulações computacionais e experimentos, diferentes

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

configurações foram avaliadas, incluindo variações nos sistemas de ignição, taxas de recirculação de gases de escape (EGR) e tempos de abertura das válvulas de admissão e escape. Os resultados indicaram que o uso de ignição de duas velas resultou em uma redução significativa no consumo específico de combustível (BSFC) em comparação com a ignição de uma vela, enquanto o emprego de um *supercharger* eletrônico permitiu alcançar pressões de admissão mais altas, reduzindo as perdas de bombeamento e aumentando a eficiência térmica. Os melhores resultados foram obtidos com um sistema híbrido de 48V e ciclo de Atkinson, alcançando uma eficiência térmica de mais de 44% em condições específicas de operação (Jung *et al*., 2020).

O estudo investigou o potencial da tecnologia de relação de compressão variável (VCR) em diferentes plataformas de veículos elétricos híbridos, comparando seu desempenho com motores de relação de compressão fixa tradicionais sob a norma europeia atual (WLTP). Os resultados revelaram que o sistema VCR permitiu melhorias significativas no consumo de combustível, com uma média de 3% em *powertrains* convencionais, 8% em híbridos leves e 17% em híbridos completos. Além disso, o método de controle baseado em regras demonstrou eficácia na determinação dos modos operacionais híbridos, proporcionando melhorias adicionais no consumo de combustível para os veículos híbridos. As análises também indicaram que os veículos híbridos equipados com o sistema VCR apresentaram emissões mais baixas em comparação com as normas regulatórias, com todas as variantes híbridas apresentando emissões de partículas dentro dos limites permitidos. Esses resultados destacam o potencial da tecnologia híbrida combinada com o sistema VCR para reduzir tanto a poluição local quanto global, apontando para a necessidade de avanços adicionais na calibração dos motores de combustão interna para atender às metas futuras de emissões de CO2 (García *et al*., 2020).

O estudo investigou o desempenho econômico de um motor de ignição por centelha turboalimentado usando um novo sistema CVVL mecânico, operando com uma mistura de gasolina e etanol. Foram realizados testes de bancada do motor e simulações numéricas para comparar o desempenho do motor original com o motor equipado com o sistema CVVL proposto. Os testes mostraram uma redução significativa na pressão média efetiva indicada (PMEP) em velocidades de rotação de 1500, 2000 e 3000 rpm, com o motor CVVL apresentando uma redução de 23%, 25% e 22%, respectivamente, em comparação com o motor original. Além disso, observou-se uma melhoria na economia de combustível em cargas baixas a médias, com uma redução de 14% e 11% na BSFC em 2000 e 3000 rpm, respectivamente. No entanto, em cargas mais altas, o sistema CVVL teve pouco benefício na economia de combustível. A otimização do controle variável do tempo de abertura das válvulas de admissão (VVT) mostrou uma redução adicional de 1% a 2% no consumo de combustível em condições de baixa velocidade e carga (Zou *et al*., 2020).

O artigo discute o desenvolvimento de um trem de válvulas sem comando para motores de ignição por centelha, utilizando um atuador eletromagnético linear. O sistema proposto visa melhorar a eficiência, torque e reduzir emissões ao permitir ajustes contínuos no tempo e na elevação das

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

válvulas, independentemente do movimento dos pistões. Um modelo de motor de combustão interna de um cilindro foi construído para avaliar os benefícios de operar sem borboleta, e um sensor de posição de atuador linear de baixo custo (LAPS) foi desenvolvido para detectar o levantamento das válvulas. Os resultados mostram que o uso do trem de válvulas sem comando pode aumentar a eficiência geral do motor para 38,2% e o torque máximo em 5 Nm em comparação com um motor convencional com borboleta, sob condições de carga total. O artigo também destaca a necessidade de um sistema de controle preciso e rápido sem o uso de sensores de posição das válvulas para reduzir custos. A pesquisa foi financiada pela Universidade de Sussex e os resultados indicam um caminho promissor para o desenvolvimento futuro de trens de válvulas sem comando para motores de ignição por centelha a baixo custo (Yang *et al*., 2021).

No trabalho apresentado, foi desenvolvido um sistema de acionamento de válvulas variáveis hidráulicas (HVVA) que ajusta continuamente o tempo e a abertura das válvulas do motor. Foi criado um modelo de simulação detalhado para analisar a relação entre a pressão hidráulica, a abertura das válvulas do motor e o consumo de energia. A otimização do sistema HVVA foi realizada usando um algoritmo de recozimento simulado modificado, resultando na redução do consumo de energia, melhoria da eficiência volumétrica do motor e controle da velocidade de fechamento das válvulas. Os resultados mostraram que a velocidade da bomba e a pressão de alívio ótimas variam com a velocidade do motor, trazendo melhorias significativas no desempenho do sistema (Pan *et al*., 2021).

O estudo abordou o desenvolvimento de um modelo de turbulência de zero dimensões para analisar o ciclo Miller em um motor de ignição por centelha, levando em consideração as mudanças na turbulência provocadas pelo sistema de temporização das válvulas variável (VVT). O método adotado envolveu a utilização do *software* MATLAB e a aplicação de um modelo K-ε para estimar a turbulência ao longo do ciclo de combustão. Os resultados obtidos revelaram que a eficiência indicada do ciclo Miller pode atingir até 44%, e a introdução do sistema VVT pode resultar em melhorias na eficiência global do motor em até 1% em uma ampla gama de cargas. Esses resultados destacam os benefícios potenciais da implementação do ciclo Miller e do sistema VVT na otimização da eficiência dos motores de ignição por centelha (Perceau *et al*., 2021).

O artigo aborda o projeto, modelagem e análise estrutural de um novo eixo de comando de válvulas de duplo lobo para um motor de ar comprimido de dois tempos. O objetivo principal é reduzir a dependência de combustíveis líquidos à base de petróleo, buscando alternativas mais sustentáveis e eficientes. O novo eixo de comando de válvulas foi projetado com dois lobos simétricos em ambas as válvulas de admissão e escape, permitindo a abertura das válvulas em momentos específicos. Em termos do processo de implementação, o motor original foi modificado para operar com ar comprimido, e o novo eixo de comando de válvulas foi projetado para abrir as válvulas em tempos adequados. A modelagem e análise estrutural foram realizadas utilizando *software* como SOLIDWORKS 2020 e ANSYS 2020. Os resultados da análise estrutural incluíram uma deformação total máxima de 5,72 x 10-4 mm e um valor máximo de estresse equivalente de 31,17 MPa no eixo

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

de comando de válvulas. Em resumo, as modificações no eixo de comando de válvulas permitiram a conversão bem-sucedida de um motor de quatro tempos para um motor de dois tempos operando com ar comprimido. Os resultados da análise estrutural demonstraram a viabilidade e eficácia do novo *design* em termos de deformação e estresse suportável pelo eixo de comando de válvulas (Pujari *et al*., 2021).

Este estudo investigou o efeito da recirculação dos gases de escape (EGR) para melhorar ainda mais a economia de combustível e as emissões em um motor de ciclo Miller turboalimentado. Foi realizado um redesenho do perfil do pistão e do comando de admissão para um motor GDI turboalimentado, a fim de realizar o ciclo Miller com alta taxa de compressão. O experimento foi conduzido em um motor de injeção direta turboalimentado de 1,5 L e 4 cilindros, com medições de pressão dentro do cilindro para comparar os ciclos de trabalho Miller e Otto. Além disso, foi introduzido EGR resfriado de baixa pressão para estudar seu efeito adicional no ciclo Miller. As análises mostraram que o motor com ciclo Miller e EGR resfriado de baixa pressão apresentou melhor economia de combustível e emissões de NOx em comparação com um motor Otto em diversas condições de operação. Os resultados fornecem evidências sólidas do potencial do ciclo Miller e do EGR para melhorar a eficiência e reduzir as emissões em motores turboalimentados (Shen *et al*., 2021).

O artigo aborda o desenvolvimento de um motor de combustão interna de hidrogênio (H2DCEE) que visa alcançar uma eficiência térmica de freio (BTE) superior a 60%. Utilizando um conceito inovador de dupla compressão-expansão (DCEE) e injeção direta de alta pressão (HPDI), o estudo emprega simulações 3D CFD e 1D GT-Power para prever o desempenho do motor. As modificações sistemáticas no design e nas condições operacionais, como a adição de um queimador catalítico e a desumidificação do EGR, resultaram em um aumento significativo da BTE, atingindo um pico de 60,3%, demonstrando a viabilidade do motor H2DCEE como uma alternativa eficiente e de baixa emissão (Babayev *et al*., 2022).

No estudo "*Thermal efficiency improvement of lean burn high compression ratio engine coupled with water direct injection*", foi realizado um ensaio para investigar a eficiência térmica de um motor de combustão interna de queima magra com alta taxa de compressão, utilizando injeção direta de água. O ensaio envolveu a avaliação do potencial da injeção direta de água na supressão da detonação, com ajustes no ponto de injeção de gasolina e água, além do ponto de ignição. Os resultados demonstraram uma significativa redução na detonação, avanço do ponto de melhor torque, redução do consumo específico de combustível, diminuição das emissões de CO e hidrocarbonetos não queimados, bem como um aumento na pressão média efetiva indicada e na eficiência térmica indicada em condições de queima enxuta. Esses resultados destacam o potencial da injeção direta de água para melhorar a eficiência e reduzir as emissões em motores de alta taxa de compressão operando em modo de queima pobre (Pei *et al*., 2022).

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

O estudo utilizou um motor de ignição por centelha de cilindro único Honda GX 390 e um sistema de válvula eletromecânica para investigar os efeitos do ajuste variável de tempo das válvulas. Foram realizados experimentos sob condições de velocidade constante e sem combustão, com medições de massa de ar de admissão, pressão no cilindro, temperatura dos coletores de admissão e escape. Além disso, simulações CFD foram conduzidas com um modelo 3D do motor, incluindo geometrias internas dos cilindros, portas de admissão e escape, e movimento das válvulas. A otimização da malha, a validação dos resultados experimentais com os simulados e a análise paramétrica dos tempos de abertura das válvulas foram realizadas para avaliar a eficiência volumétrica em diferentes rotações do motor. Os resultados mostraram que a eficiência volumétrica variou de cerca de 62% em 1600 RPM para aproximadamente 90% em média em 2400 RPM, com o melhor desempenho em torno de 2800 RPM. Além disso, a pressão no cilindro variou com a rotação do motor, mostrando aumento significativo na pressão durante o processo de sobreposição das válvulas (Demir *et al*., 2022).

O estudo realizado consistiu em uma avaliação comparativa do eixo de comando de um motor de ignição por compressão de quatro cilindros, utilizando análise de elementos finitos (FEA) com diferentes composições de compósitos de matriz metálica. O objetivo foi comparar o desempenho de um eixo de comando feito de ferro fundido com diferentes materiais compósitos de matriz metálica. Foram realizadas análises estáticas e modais usando o software ANSYS para avaliar o comportamento mecânico e as propriedades de vibração dos diferentes materiais. Os resultados indicaram que o compósito AlSiC 20% foi considerado o material mais adequado para a produção de eixos de comando, devido ao seu comportamento semelhante ao ferro fundido, beneficiando motores de maior deslocamento. Além disso, o estudo concluiu que os compósitos de matriz metálica apresentam potencial como alternativa viável ao ferro fundido para eixos de comando, com possibilidade de redução de peso e desempenho aprimorado. A análise modal revelou que o compósito AlSiC 40% é mais suscetível à deformações vibratórias, enquanto o AlSiC 30% e o AlSiC 20% também mostraram comportamento mecânico semelhante. Em resumo, o estudo forneceu uma análise abrangente do desempenho de diferentes materiais para eixos de comando de motores de ignição por compressão, destacando o potencial dos compósitos de matriz metálica como alternativa viável (Patra *et al*., 2022).

O estudo analisou o desempenho de um motor de controle de tempo de válvula variável para detectar falhas no motor, identificando cinco movimentos mecânicos controlados pelos VVTs e diagnosticando problemas nas câmaras de combustão por meio de testes acústicos. Foram utilizados testes baseados em ruído para registrar os sons do motor de um carro Dodge Journey, com análise dos dados feita no MATLAB usando a Transformada de Hilbert-Huang. Os resultados mostraram uma relação entre o ruído registrado e o torque de saída do motor, com mudanças nas frequências da IMF I1 em resposta ao aumento gradual da passagem de ar do carro, enquanto as IMFs I2, I3 e I4

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

permaneceram estáveis, indicando estabilidade em certas condições do sistema de ar (Mohammed *et al.*, 2022).

O estudo investigou o impacto do ciclo Miller com válvula de admissão assíncrona em um motor a gasolina turboalimentado de injeção direta, comparando-o com o ciclo Otto. Os testes foram realizados em um motor de quatro cilindros turboalimentado, com a operação do ciclo Miller LIVC e a comparação entre pistões de diferentes taxas de compressão geométrica. O experimento envolveu a substituição do pistão original com taxa de compressão de 10:1 por um pistão com taxa de compressão de 12.5:1, além da utilização de um mecanismo de válvula de admissão assíncrona. Os testes foram conduzidos em diferentes condições de carga e velocidade, analisando a eficiência de combustão, consumo de combustível e emissões gasosas. Os resultados demonstraram que o ciclo Miller reduziu a duração da combustão em 20%, diminuindo a variação do ciclo de combustão em 15% onde reduziu as perdas por bombeamento em 10% em comparação com o ciclo Otto. Além disso, o ciclo Miller apresentou uma redução de 5% no consumo específico de combustível e uma melhoria de 10% na resistência à detonação. Houve um aumento de 8% nas emissões de CO e THC em cargas baixas, mas uma redução de 12% em cargas altas, enquanto as emissões de NOx diminuíram em 15% em cargas baixas e altas, mas aumentaram em 5% em cargas médias em comparação com o ciclo Otto (Liang *et al.,* 2022).

O estudo aborda a otimização do grau Miller e da taxa de compressão geométrica em motores geradores de gás natural de grande diâmetro, utilizando modelos inovadores de detonação e aprendizado de máquina. A pesquisa visa desenvolver um modelo preditivo de detonação para melhorar a eficiência e o desempenho do motor, considerando a natureza estocástica do fenômeno da detonação. Utilizando algoritmos genéticos em conjunto com o aprendizado de máquina, os resultados co-otimizados mostram uma redução significativa na temperatura dos gases de escape e um aumento na eficiência térmica indicada, sem comprometer a potência do motor e as emissões de NOx (Cao *et al*., 2023).

Neste estudo, foi realizado um experimento para investigar os efeitos de diferentes estratégias de ajuste do levantamento das válvulas em um motor alimentado com misturas de metanol/gasolina. Utilizando um sistema VVA mecânico-hidráulico, foram analisados os impactos no desempenho do motor sob combustão estequiométrica e queima magra. Os resultados mostraram que a redução do levantamento das válvulas resultou em um processo de combustão mais longo, com melhorias no desempenho econômico e nas emissões de NOx e CO. Estratégias ótimas de ajuste das válvulas variaram de acordo com o tipo de combustível, com melhorias de até 6.8% no ESFC. A abertura antecipada da válvula de admissão foi destacada como promissora para melhorar o desempenho do motor em condições de queima magra, ampliando os limites de eficiência e reduzindo emissões (Zhou *et al*., 2023).

Este trabalho investigou o impacto do aumento da taxa de compressão e da implementação do ciclo Miller em um motor a etanol sob cargas médias e baixas. Através de um experimento em três

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

etapas, que incluiu a medição de pressão do cilindro, consumo de combustível e emissões, foi observado que a adoção do ciclo Miller em um motor com taxa de compressão de 12:1 resultou em uma significativa redução no consumo específico de combustível e melhoria na eficiência térmica, especialmente em cargas mais baixas. Além disso, as emissões de NOx foram reduzidas devido à menor temperatura de combustão durante o ciclo Miller. Esses resultados destacam o potencial do aumento da eficiência e redução de emissões ao combinar uma alta taxa de compressão com o ciclo Miller em motores a metanol (Zhang *et al.*, 2023).

Um estudo experimental foi conduzido para investigar o efeito do ajuste do tempo de abertura das válvulas em um motor Miller utilizando amônia enriquecida com hidrogênio. O objetivo era analisar o desempenho do motor sob diferentes configurações de tempo de abertura da válvula de admissão e seus impactos na eficiência e estabilidade da combustão. O estudo buscou compreender como as variações no tempo de abertura da válvula afetam a operação do motor e a eficiência energética do sistema. Para realizar o experimento, um motor de ignição por centelha de quatro tempos com quatro cilindros foi modificado para permitir o fornecimento de amônia e hidrogênio como combustíveis. Um sistema de controle do motor foi desenvolvido para ajustar o tempo de ignição, a abertura da válvula de aceleração, a largura do pulso de injeção e o tempo de injeção dos injetores de amônia e hidrogênio. Diferentes configurações de tempo de abertura da válvula de admissão foram testadas, mantendo constante a relação ar-combustível e a fração de energia fornecida pela amônia. Os resultados mostraram que ao avançar o tempo de abertura da válvula de admissão, houve uma deterioração na estabilidade da combustão, prolongamento do período de desenvolvimento da chama e aumento na variação cíclica. Além disso, a eficiência térmica do freio diminuiu rapidamente. Por outro lado, ao retardar o tempo de abertura da válvula em 25◦CA, observou-se um aumento significativo na pressão média efetiva indicada (IMEP) e na pressão média efetiva no freio (BMEP), comparado aos valores mínimos. Em resumo, o estudo indicou que o ciclo Miller em um motor a amônia/hidrogênio não é adequado para a estratégia de abertura precoce da válvula de admissão, demonstrando a importância do ajuste adequado do tempo de abertura das válvulas para otimizar o desempenho do motor (Xin *et al.*, 2023).

O estudo investigou os efeitos do ciclo Miller combinado com válvulas de admissão assíncronas (AIVMC) em um motor de ignição por centelha (SI). Foi proposta a AIVMC por meio de um comando de válvulas composto por válvulas de admissão fixas e variáveis. Os experimentos foram conduzidos em diferentes condições de carga e rotação do motor, variando o ângulo de espaçamento das válvulas de admissão. Os resultados mostraram que a aplicação da AIVMC reduziu significativamente as variações ciclo a ciclo da pressão média efetiva de bombeamento (COV IMEP), sendo 1.45% e 2.79% com um ângulo de espaçamento de válvula de admissão de 90° CA e 50° CA sob baixa carga, respectivamente. Além disso, a AIVMC com um ângulo de espaçamento de 90° CA resultou em uma alta taxa de expansão efetiva (EER) de 13.0 sob uma condição de operação de 2600 rpm e 8 bar, representando um aumento de 26.2% e 36.8% em comparação com AIVMC de 50°

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

CA e OC, respectivamente. O consumo específico de combustível (BSFC) também foi mais baixo com a AIVMC em baixas cargas. Em resumo, a aplicação da AIVMC com um amplo ângulo de espaçamento das válvulas de admissão mostrou-se promissora para reduzir as CCVs e melhorar o desempenho do motor SI (Qiao *et al*., 2023).

Este estudo abordou a utilização de extrato de *Phoenix dactylifera* como combustível verde para nanoestruturas, investigando seu armazenamento eletroquímico de hidrogênio e eficiência coulombiana. Foram revisados diversos artigos sobre motores a combustão interna movidos a hidrogênio, desempenho do motor, características de combustão, emissões e motores de duplo combustível. Investigou-se os efeitos do uso de hidrogênio como combustível principal em um motor a combustão interna, demonstrando que as emissões de NOx aumentam com a taxa de compressão e a participação de energia do hidrogênio, sendo reduzidas com a injeção de água. A combinação de injeção de água com redução da taxa de compressão e início da injeção pode levar a uma redução nas emissões de NOx, aumento da eficiência e maior potência do motor. A injeção de água reduziu as emissões de NOx e a eficiência, atrasou o início da combustão e teve um impacto mínimo na pressão máxima. A adição de hidrogênio reduz a formação de NOx devido à sua combustão rápida e altas temperaturas no cilindro, enquanto a injeção de água reduz as emissões de NOx ao diminuir a temperatura de combustão e absorver energia durante a mudança de fase (Rueda-Vaizquez *et al*., 2024).

4. CONSIDERAÇÕES

A implementação de um sistema de comando de válvulas com controle eletrônico contínuo de intervalo de abertura representa um avanço no desempenho dos motores de ignição por centelha. A integração de tecnologias eletrônicas permite maior precisão no controle das válvulas, que possibilita respostas mais rápidas às variações operacionais do motor. Isso resulta em uma operação mais suave, eficiente e flexível que os sistemas mecânicos tradicionais não conseguem oferecer.

A possibilidade de calibrar os intervalos de abertura das válvulas com base em dados em tempo real abre novas oportunidades para a personalização, melhoria do funcionamento do motor e também contribui para a redução de emissões poluentes e o consumo de combustível, tornando-o mais sustentável.

Entretanto, é fundamental considerar os desafios associados à implementação deste sistema, como a necessidade de robustez nos componentes eletrônicos e a integração com os sistemas existentes do motor.

Por fim, ao considerar as tendências da atualidade em engenharia automotiva e as crescentes exigências por soluções sustentáveis, é claro que sistemas como este representam uma inovação técnica, mas também um passo importante em direção a um futuro mais sustentável na mobilidade. A continuidade das pesquisas e inovações nesta área é essencial para garantir a

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

viabilidade econômica e técnica do projeto, além de promover um avanço contínuo na eficiência dos motores.

REFERÊNCIAS

BABAYEV, Rafig; IM, Hong G.; ANDERSSON, Arne; JOHANSSON, Bengt. Hydrogen double compression-expansion engine (H2DCEE): A sustainable internal combustion engine with 60%+ brake thermal efficiency potential at 45 bar BMEP. **Energy Conversion and Management**, v. 264, p. 115698, 15 jul. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2022.115698.

BAÊTA, José Guilherme Coelho; SILVA, Thiago R. V.; NETTO, Nilton A. D.; MALAQUIAS, Augusto C. T.; RODRIGUES FILHO, Fernando Antonio; PONTOPPIDAN, Michael. Full spark authority in a highly boosted ethanol DISI prototype engine. **Applied Thermal Engineering**, v. 139, p. 35–46, 5 jul. 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.04.112.

CAO, Jiale; LI, Tie; HUANG, Shuai; CHEN, Run; LI, Shiyan; KUANG, Min; YANG, Rundai; HUANG, Yating. Co-optimization of miller degree and geometric compression ratio of a large-bore natural gas generator engine with novel Knock models and machine learning. **Applied Energy**, v. 352, 15 dez. 2023, p. 121957. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2023.121957.

CHEN, Bin; ZHANG, Li; HAN, Jinlin; ZHANG, Qing. A combination of electric supercharger and Miller Cycle in a gasoline engine to improve thermal efficiency without performance degradation. **Case Studies in Thermal Engineering**, v. 14, p. 100429, 1 set. 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.csite.2019.100429.

CHENGQIAN, Li; WANG, Yaodong; JIA, Boru; ROSKILLY, Tony. Application of Miller Cycle with turbocharger and ethanol to reduce NOx and particulates emissions from diesel engine – a numerical approach with model validations. **Applied Thermal Engineering**, v. 150, 5 mar. 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2019.01.056.

CONFORTO, E. C.; AMARAL, D. C.; SILVA, S. L. Roteiro para revisão bibliográfica sistemática: aplicação no desenvolvimento de produtos e gerenciamento de projetos. **8º Congresso Brasileiro de Gestão de Desenvolvimento de Produto - CBGDP 2011**, 2011. p. 12.

DEMIR, Usame; COSKUN, Gokhan; SOYHAN, Hakan S.; TURKCAN, Ali; ALPTEKIN, Ertan; CANAKCI, Mustafa. Effects of variable valve timing on the air flow parameters in an electromechanical valve mechanism – A cfd study. **Fuel**, v. 308, p. 121956, 15 jan. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2021.121956.

DIESELNET. **Motores de ciclo Miller**: Guia de tecnologia Dieselnet. [S. l.]: Dieselnet, dez. 2019. Disponível em: https ://dieselnet .com /tech /engine_miller -cycle .php .

DOGRU, B.; LOT, R.; RANGA DINESH, K. K. J. Valve timing optimisation of a spark ignition engine with skip cycle strategy. **Energy Conversion and Management**, v. 173, p. 95–112, 1 out. 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2018.07.064.

GARCÍA, Antonio; MONSALVE-SERRANO, Javier; MARTÍNEZ-BOGGIO, Santiago; WITTEK, Karsten. Potential of hybrid powertrains in a variable compression ratio downsized turbocharged VVA Spark Ignition engine. **Energy**, v. 195, p. 117039, 15 mar. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.117039.

HASAN, Ahmad O.; ELGHAWI, U. M.; AL-MUHTASEB, Ala'a H.; ABU-JRAI, A.; AL-RAWASHDEH, Hany; TSOLAKIS, A. Influence of composite after-treatment catalyst on particle-bound polycyclic

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

aromatic hydrocarbons–vapor-phase emitted from modern advanced GDI engines. **Fuel**, v. 222, p. 424–33, jun. 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2018.02.114.

HE, Yongsheng; LIU, Jim; SUN, David; ZHU, Bin. Development of an aggressive Miller Cycle engine with extended Late-Intake-Valve-Closing and a two-stage turbocharger. **Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part D: Journal of Automobile Engineering**, v. 233, n. 2, p. 413–26, 1 fev. 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1177/0954407017745220.

JUNG, Dongwon; LEE, Byeongseok; SON, Jinwook; WOO, Soohyung; KIM, Youngnam. Development of Gasoline Direct Injection Engine for Improving Brake Thermal Efficiency Over 44%. **Journal of Engineering for Gas Turbines and Power**, v. 142, n. 101005, 24 set. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1115/1.4048152.

LAPES - LABORATÓRIO DE PESQUISA EM ENGENHARIA DE SOFTWARE. **Tools**. [S. l.]: Lapes, 2025. Disponível em: https://www.lapes.ufscar.br/resources/tools.

LI, Qingyu; LIU, Jingping; FU, Jianqin; ZHOU, Xianjie; LIAO, Cheng. Comparative study on the pumping losses between continuous variable valve lift (CVVL) engine and variable valve timing (VVT) engine. **Applied Thermal Engineering**, v. 137, p. 710–20, 5 jun. 2018a. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2018.04.017.

LI, Yangtao; KHAJEPOUR, Amir; DEVAUD, Cécile. Realization of variable Otto-Atkinson cycle using variable timing hydraulic actuated valve train for performance and efficiency improvements in unthrottled gasoline engines. **Applied Energy**, v. 222, p. 199–215, 15 jul. 2018b. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.04.012.

LIANG, Jichao; ZHANG, Quanchang; CHEN, Zheng; QIAO, Junhao; JIA, Dongdong; WANG, Rumin; MA, Qixin; SHEN, Dazi. Experimental study on combustion and emission characteristics of LIVC Miller cycle with asynchronous intake valves. **Fuel**, v. 329, p. 125377, 1 dez. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.125377.

MILLER, Atkinson; ATKINSON; BUDACK. Conhece os ciclos de combustão? **Revista Turbo**, 25 jun. 2024. Disponível em: https ://www .turbo .pt /ciclo -miller -atkinson -budack /#:~:text =Estes %20motores %20caraterizam %2Dse %20por ,efici %C3 %AAncia %20em %20detrimento %20da %20pot %C3 %AAncia .

MOHAMMED, Arshed Abdulhamed. Performance analysis of variable valve timing engine to detect some engine faults by using Hilbert Huang transform. **Applied Acoustics**, v. 194, p. 108775, 15 jun. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apacoust.2022.108775.

PABOCAR, AMP. **O que é motor do ciclo Otto**: Auto Mecânica e Elétrica. [S. l.]: Pabocar, maio 2020. Disponível em: https ://pabocar .com .br /glossario /o -que -e -motor -de -ciclo -otto /#:~:text =O %20motor %20de %20ciclo %20Otto %20 %C3 %A9 %20conhecido %20por %20sua %20alta ,um %20melhor %20aproveitamento %20do %20combust %C3 %ADvel .

PAN, Junjie; KHAJEPOUR, Amir; LI, Yangtao; YANG, Jing; LIU, Weiqiang. Performance and power consumption optimization of a hydraulic variable valve actuation system. **Mechatronics**, v. 73, p. 102479, 1 fev. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2020.102479.

PATRA, Arijit; MAHAPATRA, Ananya; BAGAL, Dilip Kumar; BARUA, Abhishek; JEET, Siddharth; PATNAIK, Dulu. Comparative evaluation of 4-cylinder CI engine camshaft based on FEA using different composition of metal matrix composite. **2nd International Conference on Functional Material, Manufacturing and Performances (ICFMMP-2021)**, v. 50, p. 692–99, 1 jan. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.04.477.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

PEI, Yiqiang; ZHANG, Qirui; PENG, Zhong; AN, Yanzhao; SHI, Hao; QIN, Jing; ZHANG, Bin; ZHANG, Zhiyong; GAO, Dingwei. Thermal efficiency improvement of lean burn high compression ratio engine coupled with water direct injection. **Energy Conversion and Management**, v. 251, p. 114969, 1 jan. 2022. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2021.114969.

PERCEAU, Marcellin; GUIBERT, Philippe; STÉPHANE, Guilain. Zero-dimensional turbulence modeling of a spark ignition engine in a Miller cycle «Dethrottling» approach using a variable valve timing system. **Applied Thermal Engineering**, v. 199, p. 117535, 25 nov. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2021.117535.

PUJARI, Prashant Chandra; JAIN, Amit; NATH, Devang S.; KUMAR, Naveen. Designing, modeling, and structural analysis of a newly designed double lobe camshaft for a two-stroke compressed air engine. **3rd International Conference on Advances in Mechanical Engineering and Nanotechnology**, v. 47, p. 3392–99, 1 jan. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.07.277.

QIAO, Junhao; LIU, Jingping; LIANG, Jichao; JIA, Dongdong; WANG, Rumin; SHEN, Dazi; DUAN, Xiongbo. Experimental investigation the effects of Miller cycle coupled with asynchronous intake valves on cycle-to-cycle variations and performance of the SI engine. **Energy**, v. 263, p. 125868, 15 jan. 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.energy.2022.125868.

RUEDA-VÁIZQUEZ, J. M.; SERRANO, J.; JIMÉNEZ-ESPADAFOR, F. J.; DORADO, M. P. Experimental analysis of the effect of hydrogen as the main fuel on the performance and emissions of a modified compression ignition engine with water injection and compression ratio reduction. **Applied Thermal Engineering**, v. 238, p. 121933, 1 fev. 2024. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121933.

SHEN, Kai; XU, Zishun; CHEN, Hong; ZHANG, Zhendong. Investigation on the EGR effect to further improve fuel economy and emissions effect of Miller cycle turbocharged engine. **Energy**, v. 215, p. 119116, 15 jan. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.energy.2020.119116.

TEODOSIO, Luigi; PIRRELLO, Dino; BERNI, Fabio; DE BELLIS, Vincenzo; LANZAFAME, Rosario; D'ADAMO, Alessandro. Impact of intake valve strategies on fuel consumption and knock tendency of a spark ignition engine. **Applied Energy**, v. 216, p. 91–104, 15 abr. 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.02.032.

TRIPATHY, Srinibas; DAS, Abhimanyu; SRIVASTAVA, Dhananjay Kumar. Electro-pneumatic variable valve actuation system for camless engine: Part II-fuel consumption improvement through un-throttled operation. **Energy**, v. 193, p. 116741, 15 fev. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.116741..

WEBSTER, J.; WATSON, J. T. Analyzing the past to prepare for the future: writing a literature review. **MIS Quarterly & The Society for Information Management**, v. 26, n. 2, p. 13–23, 2002.

WITTEK, Karsten; GEIGER, Frank; ANDERT, Jakob; MARTINS, Mario; COGO, Vitor; LANZANOVA, Thompson. Experimental investigation of a variable compression ratio system applied to a gasoline passenger car engine. **Energy Conversion and Management**, v. 183, p. 753–63, 1 mar. 2019. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.enconman.2019.01.037..

XIN, Gu; JI, Changwei; WANG, Shuofeng; HONG, Chen; MENG, Hao; YANG, Jinxin; SU, Fangxu. Experimental study of the effect of variable valve timing on hydrogen-enriched ammonia engine. **Fuel**, v. 344, p. 128131, 15 jul. 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128131.

RECIMA21 - REVISTA CIENTÍFICA MULTIDISCIPLINAR
ISSN 2675-6218

YANG, Xiaofeng; LIANG, Kun. Measurement and modelling of a linear electromagnetic actuator driven camless valve train for spark ignition IC engines under full load condition. **Mechatronics**, v. 77, p. 102604, 1 ago. 2021. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.mechatronics.2021.102604.

YUAN, Zhipeng; FU, Jianqin; LIU, Qi; MA, Yinjie; ZHAN, Zhangsong. Quantitative study on influence factors of power performance of variable valve timing (VVT) engines and correction of its governing equation. **Energy**, v. 157, p. 314–26, 15 ago. 2018. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.energy.2018.05.135.

ZHANG, Beidong; CHEN, Yexin; JIANG, Yankun; LU, Wei; LIU, Wangbin. Effect of compression ratio and Miller cycle on performance of methanol engine under medium and low loads. **Fuel**, v. 351, p. 128985., 1 nov. 2023; Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2023.128985.

ZHOU, Xianjie; CHEN, Zheng; ZOU, Peng; LIU, Jingping; DUAN, Xiongbo; QIN, Tao; ZHANG, Shiheng; SHEN, Dazi. Combustion and energy balance analysis of an unthrottled gasoline engine equipped with innovative variable valvetrain. **Applied Energy**, v. 268, p. 115051, 15 jun. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2020.115051.

ZHOU, You; HONG, Wei; XIE, Fangxi; SU, Yan; WANG, Zhongshu; LIU, Yu. Effects of different valve lift adjustment strategies on stoichiometric combustion and lean burn of engine fueled with methanol/gasoline blending. **Fuel**, v. 339, p. 126934, 1 maio 2023. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2022.126934.

ZOU, Peng; LIU, Jingping; ZHOU, Xianjie; CHEN, Zheng; LUO, Baojun; SHEN, Dazi; DUAN, Xiongbo; FU, Jianqin. Effect of a novel mechanical CVVL system on economic performance of a turbocharged spark-ignition engine fuelled with gasoline and ethanol blend. **Fuel**, v. 263, p. 116697, 1 mar. 2020. Disponível em: https://doi.org/10.1016/j.fuel.2019.116697.