

Uso de sensores na admissão de ar em motores a combustão interna: revisão sistemática da literatura

Use of sensors in the intake of air in internal combustion engines: systematic review of the literature

Uso de sensores en la admisión de aire en motores de combustión interna: revisión sistemática de la literatura

Recebido: 29/08/2022 | Revisado: 19/09/2022 | Aceitado: 22/09/2022 | Publicado: 29/09/2022

Thiago Santana Aranha

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3174-1330>
Centro Universitário Católico Salesiano Auxilium, Brasil
E-mail: thiagosantana@unisalesiano.com.br

Natália de Lima Batista

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9866-8994>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: natalia.batista@unesp.com.br

Mariana Matulovic da Silva Rodrigues

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6626-4621>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: kassandra.oliveira@unesp.br

Mario Mollo Neto

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-8341-4190>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: mario.mollo@unesp.br

Kassandra Sussi Mustafé Oliveira

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5311-5667>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: kassandra.oliveira@unesp.br

Flávio José de Oliveira Morais

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7638-1984>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: flavio.morais@unesp.br

Paulo Sérgio Barbosa dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8211-3882>
Universidade Estadual Paulista, Brasil
E-mail: paulo.sb.santos@unesp.br

Resumo

Devido ao contato constante com a terra, muitos maquinários agrícolas que possuem motores diesel, apresentam problemas em seu desempenho devido a entrada de partículas de poeira no sistema de admissão de ar. Esse trabalho propôs-se a realização de uma revisão sistemática da literatura quanto ao uso de sensores na solução de problemas de contaminação no sistema de admissão de ar em motores diesel. Os critérios de inclusão foram artigos completos e disponíveis, na língua inglesa e portuguesa, e que possuíam alguma aplicação quanto ao uso de sensores em motores diesel, ou que tratavam problemas na admissão de ar. Já os critérios de exclusão, foram os trabalhos que não se encaixavam nesses critérios de elegibilidade. Foram recuperados cerca de 2.414 artigos, dos quais 31 deles cumpriam os critérios de elegibilidade e foram aceitos para a leitura integral. Dada as limitações da pesquisa, tais como número reduzido de bases de dados utilizadas, restrição do idioma dos trabalhos, uma meta-análise não foi possível de ser conduzida, limitando a pesquisa a análises apenas qualitativas. No entanto, pôde-se notar algumas lacunas do conhecimento quanto a falta de trabalhos voltados para a solução da problemática levantada, bem como a falta de trabalhos ligados a temática em âmbito nacional.

Palavras-chave: Admissão de ar; Motor; Motores diesel; Poeira; Revisão sistemática.

Abstract

Due to the constant contact with the earth, many agricultural machineries that have diesel engines, have problems in their performance due to the entry of dust particles in the air intake system. This work aimed to carry out a systematic review of the literature regarding the use of sensors in solving contamination problems in the air intake system in diesel engines. The inclusion criteria were articles that were complete and available, in English and Portuguese, and that had

some application regarding the use of sensors in diesel engines, or that dealt with problems in air intake. The exclusion criteria, on the other hand, were the works that did not fit these eligibility criteria. Approximately 2,414 articles were retrieved, of which 31 met the eligibility criteria and were accepted for full reading. Given the limitations of the research, such as the reduced number of databases used, restriction of the language of the works, a meta-analysis was not possible to be conducted, limiting the research to only qualitative analyses. However, it was possible to notice some gaps in knowledge regarding the lack of works aimed at solving the problem raised, as well as the lack of works related to the theme at the national level.

Keywords: Air intake; Diesel engines; Dust. motor; Systematic review.

Resumen

Debido al constante contacto con la tierra, muchas maquinarias agrícolas que cuentan con motores diesel, presentan problemas en su desempeño por la entrada de partículas de polvo en el sistema de admisión de aire. Este trabajo tuvo como objetivo realizar una revisión sistemática de la literatura sobre el uso de sensores en la solución de problemas de contaminación en el sistema de admisión de aire en motores diésel. Los criterios de inclusión fueron artículos que estuvieran completos y disponibles, en inglés y portugués, y que tuvieran alguna aplicación en cuanto al uso de sensores en motores diesel, o que trataran problemas en la entrada de aire. Los criterios de exclusión, por otro lado, fueron las obras que no cumplieron con estos criterios de elegibilidad. Se recuperaron aproximadamente 2414 artículos, de los cuales 31 cumplieron con los criterios de elegibilidad y fueron aceptados para lectura completa. Dadas las limitaciones de la investigación, como el número reducido de bases de datos utilizadas, la restricción del idioma de los trabajos, no fue posible realizar un metanálisis, limitando la investigación a análisis cualitativos. Sin embargo, fue posible notar algunos vacíos de conocimiento en cuanto a la falta de trabajos dirigidos a la solución del problema planteado, así como la falta de trabajos relacionados con el tema a nivel nacional.

Palabras clave: Entrada de aire; Motor; Motores diésel; Polvo; Revisión sistemática.

1. Introdução

O motor a diesel foi patenteado em 1892 pelo engenheiro francês Rudolf Diesel, e desde então tem sido amplamente utilizado em diversas aplicações, principalmente em maquinários de uso agrícola. Devido ao alto rendimento que o motor apresenta, isso contribui para a diminuição de gastos, especialmente em combustível. Além disso, o motor proporciona uma maior duração do equipamento, e ainda possui baixos custos com manutenção fazendo com que esse tipo de motor seja uma preferência para o uso em veículos pesados (Rosa, 2014).

O lubrificante, utilizado nos motores Diesel, desempenham importantes funções tais como: amortecimento de choques e redução de ruídos (Tanaka, 2014); minimização do atrito entre peças proporcionando uma redução significativa do desgaste; diminuição do aquecimento dos componentes em atrito – absorção de calor; facilitação da partida em baixas temperaturas, redução da perda de pressão da câmara de combustão, vedando a folga dos anéis de segmento do pistão (Santos et al, 2014; Padovan & Anjos, 2012); formação de película lubrificante nas peças para proteção contra a corrosão e formação de depósitos, evitar a entrada de impurezas além de atuar como elemento de limpeza (Junqueira & Oliveira, 2013).

A manutenção preditiva por análise de óleo lubrificante, que tem como objetivo prevenir falhas por meio de acompanhamento e monitoramento de diversos parâmetros, o que permite maior disponibilidade do equipamento e redução dos custos relacionados à manutenção (Kardec & Nascif, 2010), e é realizada por meio de monitoramento das condições químicas e físicas do lubrificante, observando a presença de contaminação por moléculas de água e/ou presença de partículas na amostra (Santos et al., 2014).

Gasparini (1983) afirma que, apesar da análise periódica do óleo ser um dos melhores sistemas auxiliares para acompanhamento e controle dos equipamentos, não se deve esperar a eliminação de todos os problemas apenas com esse método. Em relação ao desgaste causado nos motores, (Kimura, 2010), em um estudo de análise de óleo lubrificante em motores diesel, cita a sílica – proveniente da contaminação por poeira – como uma das partículas de maior desgaste, que compromete a vida útil dos motores, com longos períodos de reparos e altíssimo custo.

Atualmente, a sílica é detectada apenas por meio de análise laboratorial do lubrificante, que leva cerca de 10 dias para entrega dos resultados, sendo que muitas vezes o motor pode falhar antes mesmo da chegada desses resultados, o que causa

prejuízos ao setor agroindustrial refletindo diretamente no custo da produção e no valor final da produção agrícola.

Embora o Brasil seja considerado um país agrícola, em buscas nas bases de dados contendo o a String de Busca sensor AND air AND “internal combustion engine” não recuperou trabalhos feitos no âmbito nacional, evidenciando a necessidade de realização de uma nova pesquisa afim de entender o Estado da Arte a respeito da aplicação de Instrumentação em máquinas agrícolas na solução de problemas como citado anteriormente.

Tendo em vista a importância da agricultura para a economia do país, e a contextualização da problemática, para tanto, o objetivo do presente trabalho foi de apresentar a evolução da literatura a respeito do uso de sensores em motores a combustão interna, como a Diesel, por meio de metodologia de revisão sistemática. Ao longo do trabalho são discutidos quais os tipos de sensores e tecnologias empregadas nas soluções de problemas relacionados a esses tipos de motores, os métodos utilizados, a distribuição geográfica dos trabalhos recuperados pela pesquisa, e os resultados obtidos por eles. Além disso, são apresentadas as lacunas encontradas no conhecimento, principalmente em relação ao uso de sensores em sistemas de admissão de ar desses motores, com recomendações para futuras investigações.

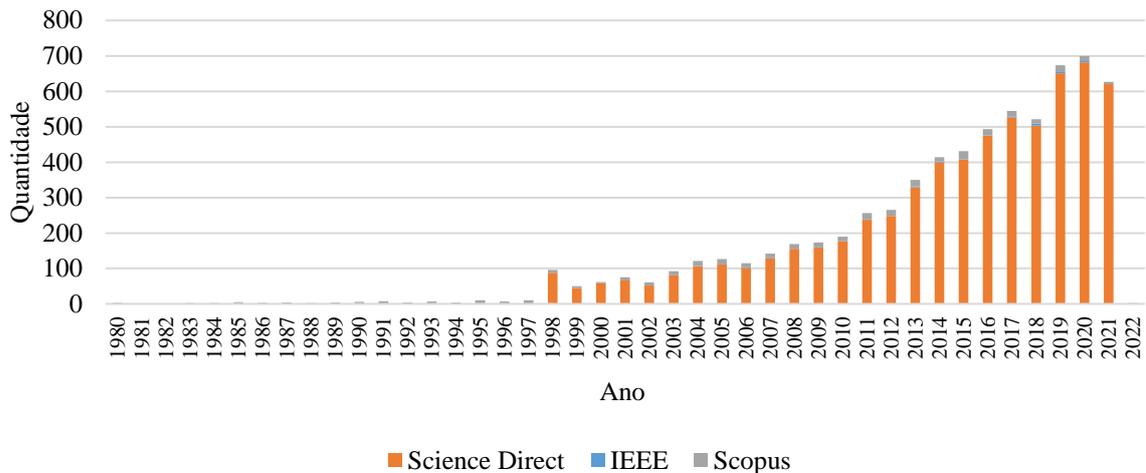
2. Metodologia

O óleo lubrificante é o elemento que mais afeta a vida útil de um motor, pois é o responsável pela lubrificação de várias peças do mecanismo e isso influencia no funcionamento e desgaste as peças. No entanto, quando o motor é contaminado por partículas de poeira (sílica), essas partículas afetam o funcionamento, pois interferem na viscosidade e na ação de promover a limpeza do motor. Funções estas que competem ao óleo lubrificante (Mello, 2015). Com isso faz-se necessário compreender as contaminações nos lubrificantes e as consequências nos motores, sendo assim, torna-se importante a realização de Revisão Sistemática da Literatura (RSL) acerca do tema para assim obter os resultados propostos.

Revisão Sistemática da Literatura é um método de estudo que aplica estratégias para, a partir de base de dados de arquivos relacionados ao tema, selecionar, analisar, avaliar e sintetizar os trabalhos para que se tenha um estudo consistente do tema e assim até mesmo definir direções para pesquisas futuras. Antes da realização de uma revisão sistemática, é necessário a criação de um protocolo de pesquisa. Recomenda-se que o protocolo seja registrado em alguma base de dados, estando disponível para outros pesquisadores, de modo que seja possível evitar o desperdício de tempo de outros pesquisadores ou grupos de revisões sistemáticas na realização de uma revisão que será ou que já esteja sendo conduzida, evitando assim a duplicidade de pesquisas que respondam a mesma pergunta. Além disso, também demonstra a transparência do estudo e permite a reprodutibilidade (Barbosa et al, 2019).

Para a realização desta RSL primeiramente realizou-se busca nas bases de dados IEEE Xplore, Science Direct e Scopus todos os trabalhos publicados nos últimos anos onde os resultados dessa busca está no gráfico 1. No gráfico pode-se notar como pesquisas relacionadas ao tema se desenvolveu de forma crescente sendo que no ano de 2021 houveram 700 publicações, maioria na base de dados Science Direct, evidenciando assim o interesse e a relevância em se estudar o tema.

Gráfico 1 - Trabalhos recuperados com a estratégia de busca nas três bases de dados desde o ano de 1980.



Fonte: Autores (2022).

No Gráfico 1 além de mostrar a quantidade de trabalhos publicados, também é possível visualizar como a quantidade de trabalhos publicados se desenvolveu de forma crescente a partir do ano 1998.

A partir dos dados foi realizado os processos de análise dos trabalhos, este processo de análise de desenvolveu em três etapas: entrada, processamento e saída. Para a concretização das etapas foi utilizado o software StArt (State of the Art through Systematic Review) que é um software gratuito, que foi desenvolvido no Laboratório de Pesquisa em Engenharia de Software da UfScar. O software StArt divide o estudo em três fases: protocolo, execução e sumarização e após completadas todas as fases tem-se os arquivos selecionados para continuidade da RSL.

O primeiro filtro utilizado para a pesquisa foi a inclusão de trabalhos recuperados a partir do ano de 2017. E em seguida, a seleção de apenas artigos originais para a realização de revisão sistemática. A Tabela 1 ilustra as quantidades encontradas em cada uma das bases, bem como a quantidade de artigos originais recuperados a partir do ano de 2017.

Tabela 1 - Resultados da aplicação da estratégia de busca nas bases de dados.

Bases de dados	Geral	A partir de 2017	Artigos originais
IEEE	40	16	0
Science Direct	6.409	2.985	2.382
Scopus	384	68	32
TOTAL	6.833	3.069	2.414

Fonte: Autores (2022).

A Figura 1 apresenta o fluxograma com a distribuição dos artigos por base de dados indicando o caminho da seleção onde se obteve o resultado dos trabalhos a serem utilizados para realização da RSL.

relatório contendo os autores, ano de publicação, título e síntese do estudo dos autores, bem como método e resultados obtidos estudo por estudo para que se possa realizar análise acerca dos estudos realizados do tema.

Dado o interesse inicial a respeito do uso de sensores aplicados em motores a combustão interna, principalmente na detecção de partículas de poeira, nota-se nos trabalhos apenas um artigo abordando a respeito dessa problemática, mais especificamente o trabalho de Maddineni, Das e Damodaran (2017), que realizaram uma comparação entre dois tipos de filtros, um tratado com óleo, e outro mais tradicional feito de fibra de papel. No entanto, não possui aplicação de sensores para a solução do problema.

Dos artigos estudados, cerca de 26 % tratam a respeito das emissões de gases do efeito estufa geradas pelos motores diesel, 16 % tratam a respeito da tolerância de falhas, outros 16 % tratam sobre calibração e performance do motor, 16 % tratam sobre liberação de calor e pressão no cilindro, 3 % trata sobre a questão da poeira na admissão de ar (mas sem aplicação de sensores), e cerca de 10 % tratam sobre outras abordagens como vibrações, poluição sonora, aplicações para contextos educacionais (não diretamente ligado aos motores), e cavitação.

Quadro 1 - Artigos selecionados para RSL.

Nº	Autor(es)	Título	Local	Proposta	Aplicação
1	Jatana, G. et al. (2017)	Design and development of a probe-based multiplexed multi-species absorption spectroscopy sensor for characterizing transient gas-parameter distributions in the intake system of I.C. engines	EUA	Uso de sensor de espectroscopia de absorção multiespécies multiplexado, baseado em sonda, utilizado para caracterização de distribuições de parâmetros de gases em sistemas de admissão de ar de motores a combustão interna.	Motores a combustão interna
2	Prima, E. C. et al. (2017)	Heat Transfer Lab Kit using Temperature Sensor based Arduino for Educational Purpose	Indonésia	Uso de kit de laboratório Arduino para medir transferências de calor.	Motores
3	Zhai, Y. et al. (2017)	A Soft Sensor-Based Fault-Tolerant Control on the Air Fuel Ratio of Spark-Ignition Engines	China, Tailândia	Um novo esquema para controle da relação ar/combustível foi proposta, usando redes neurais artificiais, baseando-se na detecção de falhas, promovendo um resultado satisfatório em relação ao desempenho do motor.	Motores de ignição por centelha
4	Wong, P. K. et al. (2017)	Efficient point-by-point engine calibration using machine learning and sequential design of experiment	China	De modo a diminuir os experimentos realizados para calibração de motores modernos, foi proposto uma abordagem de calibração ponto a ponto do motor, baseado em métodos de machine learning.	Motores
5	Cuyper, T. D. et al. (2017)	Evaluation of empirical heat transfer models using TFG heat flux sensors	Bélgica, Reino Unido	Avaliação da transferência de calor utilizando modelos de sensores de fluxo de calor dentro dos cilindros de motores.	Motores a combustão interna
6	Omar, F. K. et al. (2017)	Time and frequency analyses of dual-fuel engine block vibration	Emirados Árabes Unidos, Egito	Análises do tempo e frequência de motores, afim de investigar vibrações que ocorrem nesses tipos de motores. Comparações foram feitas em motores de combustível duplo, com motores a diesel, mostrando que motores com combustível-duplo apresentaram uma melhor performance mecânica devido a uma frequência de vibração mais baixa.	Motores Diesel
7	Zhang, M.; et al, (2017)	Acoustic wave propagation in a sensor port: Experimental measurements and	EUA	Medição de flutuações de pressão, por meio do uso de sensor, para detectar a propagação de ondas acústicas e com isso, realizar predições quanto a esse tipo de problema.	Motores

		analytical model predictions			
8	Dogru, B. et al. (2017)	Electronic measurement of weather conditions for an engine test room	Turquia	Uso de microcontrolador Arduino para medir as condições do clima em uma sala de experimentos, e aferir a influência dessas condições em testes de performance de motores a combustão interna.	Motores a combustão interna
9	Corsini, A. et al. (2017)	Internal Combustion Engine sensor network analysis using graph modeling	Itália	Implementação de método complexo da teoria de redes, afim de avaliar a performance de um motor a combustão interna, por meio de modelagem gráfica.	Motores a combustão interna
10	Siano, D. et al. (2017)	Diagnostic Process by using vibrational sensor for monitoring cavitation phenomena in a Gerotor pump used for automotive applications	Itália	Uso de sensores de vibração para monitorar o fenômeno de cavitação.	Indústria automobilística
11	Maddineni, A. K. et al. (2017)	Inhibition of particle bounce and re-entrainment using oil-treated filter media for automotive engine intake air filtration	Índia	Utilização de tratamento com óleo no meio filtrante, afim de diminuir a entrada de partículas que saltam para dentro do motor durante a admissão de ar, especialmente em veículos que estão em contato com o chão.	Motores Diesel/ Admissão de Ar
12	Bauke, S. et al. (2018)	Optical sensor system for time-resolved quantification of methane concentrations: Validation measurements in a rapid compression machine	Alemanha	Aplicação de um sistema de sensoriamento que pode servir como diagnóstico para detectar concentrações de metano em motores a combustão interna que utilizam esse gás como meio de reduzir as emissões e aumentar a eficiência desse tipo de motor.	Motores a combustão interna
13	León, P. G. et al. (2018)	Implementation of a fault tolerant system for the internal combustion engine's MAF sensor	México	Implementação de um sistema para detecção de falhas para um sensor de fluxo de massa de ar (MAF), em um motor a combustão interna.	Motores a combustão interna
14	Battista, D. D. et al. (2018)	Flow and thermal management of engine intake air for fuel and emissions saving	Itália	Um evaporador montado em paralelo com a unidade de refrigeração, foi colocado na linha de admissão de ar, afim de carregar ar refrigerado para reduzir a temperatura da admissão de ar do motor, desse modo, aumentando sua eficiência volumétrica, devido ao aumento da densidade do ar e o enchimento do cilindro.	Motores a combustão interna/ Admissão de ar de motores
15	CheN, X. et al. (2018)	Improvement of engine performance and emissions by biomass oil filter in diesel engine	China	Foi realizada uma comparação do uso de filtro óleo lubrificante de serragem modificado com os tradicionais filtros de fibras de papel, afim de diminuir as emissões dos motores diesel.	Motores Diesel
16	Sujesh, G. et al. (2018)	Modeling and control of diesel engines: A systematic review	Índia	Revisão sistemática realizada para entender as tentativas realizadas na literatura para implementação de melhorias nos motores diesel. O estudo mostrou, que nas últimas décadas, tem sido feito um esforço para aumentar o desempenho desses motores, como diminuindo os ruídos e suas emissões, bem como liberações de calor.	Motores Diesel
17	Athanasopoulou, A. et al. (2019)	What technology enabled services impact business models in the automotive industry? Na exploratory study	Holanda	Identificação de serviços automobilísticos que impactaram modelos de negócios dentro da indústria automobilística por meio de um estudo exploratório.	Indústria automobilística
18	Guardiola, C. et al. (2019)	Integration of intermittent measurements from in-cylinder pressure	Espanha, EUA	Criação de um algoritmo iterativo capaz de reduzir o número de operações, juntamente com um filtro adaptativo para identificar medidas defeituosas e um	Motores a combustão interna

		resonance in a multi-sensor mass flow estimator		filtro Kelman combinado com vários sensores e modelos. Desse modo, objetiva-se medir a ressonância da pressão do cilindro, mostrando uma potencial aplicação em condições reais de direção.	
19	Velmurugan, V. et al. (2019)	Prediction of noise, vibration and exhaust gas emission characteristics using palm oil in a four-stroke diesel	Índia	Uso de óleo de palma para diminuir a poluição sonora gerada em motores diesel.	Motores Diesel
20	Han, R. et al. (2020)	Virtual engine in-cylinder pressure sensor for automobiles and agricultural tractors	Alemanha	Uma estrutura virtual para estimar a pressão no cilindro foi construída no caminho de passagem do sinal de pressão no cilindro e o sinal de vibração, identificado no domínio do tempo. De modo a usar o sinal do cilindro de pressão como um importante parâmetro para aferir a alto desempenho de motores a combustão interna, especialmente em maquinários modernos agrícolas equipados com esses motores. A estrutura é baseada no filtro Kalman, o qual tem como entrada a vibração da estrutura do motor em funcionamento.	Motores a combustão interna
21	Nguyen, H. K. et al. (2020)	Simulation environment for analysis and controller design of diesel engines	Finlândia	Uso de técnica de modelo de caixa cinza que pode ser usada para prever a pressão nos cilindros e liberação de calor, fatores esses que diminuem o desempenho do motor, fazendo emitirem mais gases do efeito estufa.	Motores Diesel
22	Cao, J. et al. (2020)	Model based control with online automatic adaptation by neural network for advanced diesel combustion	Japão	Criação de um modelo online automático que se adapte às condições reais de direção, de modo a controlar motores diesel, baseado em redes neurais, e assim, melhorar o desempenho do motor.	Motores Diesel
23	Singh, V. et al. (2020)	A novel state and parameter estimation algorithm for spark ignition engine	Índia	Foi criado um novo método combinando o uso de filtros Kalman com o método dos Mínimos quadrados recursivos afim de estimar os parâmetros físicos na tentativa de solucionar problemas nos motores relacionados com controle de estimativas, de modo a os tornarem mais eficientes e menos poluentes.	Motores
24	Martínez, S. et al. (2020)	Model calibration and exergoeconomic optimization with NSGA-II applied to a residential cogeneration	Espanha	Considerando a alta eficiência do motor e emissões de gases nocivos mais baixas, foi proposto um modelo de micro-cogeneração baseado em combustão interna a gás natural.	Motores a combustão interna
25	Han, J. et al (2020)	Experimental investigation of ethanol/diesel dual-fuel combustion in a heavy-duty diesel engine	Holanda, Reino Unido, Alemanha, EUA	Uso de etanol da admissão de entrada, e diesel injetado diretamente no cilindro do motor pesado, possibilitando o funcionamento a combustível duplo, afim de melhorar o desempenho do motor e diminuir suas emissões de gases.	Motores Diesel
26	Li, Z. et al. (2020)	Control of intake boundary conditions for enabling clean combustion in a variable engine conditions under intelligent charge compression ignition (ICCI) mode	China	Criação de um modelo a combustível duplo denominado ignição por compressão de carga inteligente.	Motores Diesel
27	Shi, C. et al. (2020)	Comparative evaluation of intelligent regression	China	Criação de um modelo de regressão multiobjectivo que fornece insights na	Motor Rotativo Wankel

		algorithms for performance and emissions prediction of a hydrogen-enriched Wankel engine		relação matemática entre o desempenho do motor e os parâmetros de controle e operação, afim de regular as elevadas emissões e aumentar o desempenho do motor.	enriquecido com hidrogênio
28	Shahbaz, M. H. et al. (2021)	Design of active fault tolerant control system for air fuel ration control of internal combustion engines using artificial neural networks	Paquistão	Criação de um sistema de controle ativo para tolerância de falhas, baseado em Redes Neurais Artificiais, para o sistema de controle da relação ar X combustível, de modo a possibilitar a reabilitação de um motor de ignição por centelha.	Motores a combustão interna
29	Guan, J. et al. (2021)	Experimental and numerical research on the performance characteristics of OPLVCR engine based on the NSGA II algorithm using digital twins	China	Desenvolvimento gêmeos digitais (digital twins), utilizando o software GT-Power para motores com o mecanismo OPLVCR, afim de otimizar o consumo de combustível e diminuir emissões de gases do efeito estufa.'	Motores
30	Shi, H. et al. (2021)	Statistical study on engine knock oscillation and heat release using multiple spark plugs and pressure sensors	Arábia Saudita, China	Afim de investigar a flutuações induzidas por autoignição e liberação de calor, foi utilizado múltiplas correlações para avaliar a amplitude máxima de oscilação de pressão, construindo assim uma regressão linear múltipla para prevenção e validação dessas ocorrências.	Motores
31	Gelmini, S. et al. (2021)	Design and experimental validation of three-way catalyst age estimator and Fisher information analysis for optimal sensor selection	EUA	Um filtro de Kalman duplo foi desenvolvido e validado experimentalmente para estimar o armazenamento de oxigênio de catalisadores de três vias e a capacidade de armazenamento de oxigênio dependente da idade.	Motores a combustão interna

Fonte: Autores (2022).

Dos artigos estudados, cerca de 26 % tratam a respeito das emissões de gases do efeito estufa geradas pelos motores diesel, 16 % tratam a respeito da tolerância de falhas, outros 16 % tratam sobre calibração e performance do motor, 16 % tratam sobre liberação de calor e pressão no cilindro, 3 % trata sobre a questão da poeira na admissão de ar (mas sem aplicação de sensores), e cerca de 10 % tratam sobre outras abordagens como vibrações, poluição sonora, aplicações para contextos educacionais (não diretamente ligado aos motores), e cavitação.

Um destaque para o trabalho de Sujesh e Ramesh (2018), que realizaram uma revisão sistemática a respeito de modelagem e controle de motores diesel. Neste estudo, também foi identificado alguns dos métodos mais utilizados para melhoramento da performance desses motores. Tais como problemas de ruídos, emissões, vibrações, robustez e performance. Ainda destacam que a prevalência da existência desses problemas que ainda estão sem soluções práticas, apresentam indícios de lacunas no conhecimento, e são áreas que necessitam de mais investimentos em pesquisas.

Outro ponto importante e que merece destaque é o fato de não ter sido recuperados trabalhos feitos em território nacional, há uma prevalência de trabalhos realizados na China, EUA, Índia e Itália. Esses países foram destaques e apresentaram no mínimo três trabalhos em cada país. Isso indica a necessidade de maiores pesquisas no âmbito nacional, ainda mais sendo o Brasil, um país com forte economia agrícola. Além da origem desses trabalhos, as abordagens foram bastante voltadas em problemáticas levantadas por Sujesh e Ramesh (2018), havendo indícios de lacunas do conhecimento para aplicação de sensores na detecção de materiais particulados.

Esses indícios podem ser resultantes das limitações empregadas durante o delineamento da pesquisa, bem como limitações aplicadas no momento de processamento e seleção dos dados. Uma maior abrangência quanto à busca de diversos

tipos de estudos, a não-limitação quanto ao idioma dos trabalhos, análises quanto a indexação das bases de dados, pesquisas por termos mais utilizados na literatura, bem como o aumento de buscas em mais bases de dados poderia indicar resultados diferentes. Outro ponto que limitou o trabalho, foi a alta heterogeneidade entre os trabalhos recuperados e selecionados para a revisão.

Devido a tais diferenças foi impossível a realização de uma meta-análise para sumarização dos dados dos estudos e aferição matemática e estatística. Se o tipo de estudo, e tratamento for melhor definido, isso possibilitará análises mais profundas e quantificadas, como o nível de heterogeneidade nos usos de sensores para solucionar problemas, análises dos riscos de vieses e avaliação dos resultados obtidos pela revisão sistemática realizada.

4. Considerações Finais

Embora a revisão sistemática limitou-se na realização de uma análise mais qualitativa, não havendo a possibilidade de realização de uma meta-análise dos artigos recuperados, devido aos diferentes tipos de estudos e a não homogeneização de dados, ainda assim, foi possível notar indícios de algumas lacunas do conhecimento em relação ao uso de sensores para a solução de problemas ligados a motores diesel, em especial a entrada de poeira na admissão de ar desses motores.

Muitas abordagens adotadas nos estudos tratam de problemáticas ligadas à performance desses motores, problemas com vibrações, ruídos, liberação de calor, eficiência energética, pressão no cilindro, apenas 1 trabalho apresentou preocupação quanto à questão de da entrada de poeira na admissão de ar desses motores, no entanto sem o uso de sensores como proposta de solução. Mostrando indícios de lacunas do conhecimento.

Outro fator foi a falta de trabalhos recuperados em âmbito nacional, o que aumenta a necessidade de investimento em pesquisas para solução dessa problemática, visto a economia do país ser dependente da agricultura. Devido a isso, uma sugestão de trabalho futuro seria a realização de um estudo voltado para a aplicação de sensores na tentativa de solucionar a problemática que ainda é recorrente, e até mesmo a publicação de artigos científicos que possam servir como base para o desenvolvimento de trabalhos futuros voltados para preencher as lacunas no conhecimento quanto a aplicação de sensores na admissão de ar em motores diesel.

Referências

- Athanasopoulou, A., Reuver, M., Nikou, S., & Bouwman, H. (2019). What technology enabled services impact business models in the automotive industry? An exploratory study. *Futures*, 109, 73–83
- Barbosa, F. T., et al. (2019). Tutorial para execução de revisões sistemáticas e meta-análises com estudos de intervenção em anestesia. *Brazilian Journal of Anesthesiology*, 69(3), 299–306.
- Battista, D. D., Bartolomeo, D. M., & Cipollone, R. (2018). Flow and thermal management of engine intake air for fuel and emissions saving. *Energy Conversion and Management*, v. 173, p. 46–55, out. 2018.
- Bauke, S., Golibrzuch, Kai., Wackerbarth, H., Fendt, P., Zigan, L., Seefeldt, S., Thiele, O., & Berg, T. (2018). Optical sensor system for time-resolved quantification of methane concentrations: Validation measurements in a rapid compression machine. *Journal of Quantitative Spectroscopy and Radiative Transfer*. v. 210, p. 101–110.
- Cao, J., Kim, J., Takahashi, M., & Yamasaki, Y. (2020). Model Based Control with Online Automatic Adaptation by Neural Network for Advanced Diesel Combustion. *IFAC-PapersOnLine*. 53(2), 14040–14046.
- Chen, X., Wang, Z., Pan, S., & Pan, H. (2019). Improvement of engine performance and emissions by biomass oil filter in diesel engine. *Fuel*, v. 235, p. 603–609.
- Corsini, A., Bonacina, F., Feudo, S., Marchegiani, A., & Venturini, P. (2017). Internal Combustion Engine sensor network analysis using graph modeling. *Energy Procedia*, v. 126, p. 907–914.
- Cuyper, T., Chana, K., De Paepe, M., & Verhelst, S. (2017). Evaluation of empirical heat transfer models using TFG heat flux sensors. *Applied Thermal Engineering*, v. 118, p. 561–569.
- Dogru, B., & Ozdemir, M. M. (2017). Electronic measurement of weather conditions for an engine test room. *Journal of Thermal Engineering*, 3(4), 1328–1337.
- Galvão, T. F., & Pereira, M. G. (2015). Avaliação da qualidade da evidência de revisões sistemáticas. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 24(1), 775–778.

- Galvão, T. F., & Pereira, M. G. (2015) Redação, publicação e avaliação da qualidade da revisão sistemática. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 24(2), 333–334.
- Galvão, T. F., & Pereira, M. G. (2014). Revisões sistemáticas da literatura: passos para sua elaboração. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, 23(1), 183–184.
- Galvão, T. F., et al. (2021) Revisão Sistemática e Meta-análise. *Universidade Estadual de Campinas (Unicamp)*. Curso online. <https://www.coursera.org/>.
- Gasparini, C. T. (1983). Análises programadas de óleos lubrificantes como instrumento de manutenção preventiva. *Revista da Associação dos Técnicos Açucareiros e Alcoolheiros do Brasil*, p. 43-47.
- Gelmini, S., Hoffmann, M. A., & Onori, S. (2021). Design and experimental validation of three-way catalyst age estimator and Fisher information analysis for optimal sensor selection. *Control Engineering Practice*, v. 112, p. 104805.
- Gerhardt, T. E., & Silveira, D. T. (2009). *Métodos de Pesquisa*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre: Editora da UFRGS.
- Guan, J., Li, Y., Liu, J., Xiongbo, D., Shen, D., Jia, D., & Ku, C. (2021). Experimental and numerical research on the performance characteristics of OPLVCR engine based on the NSGA II algorithm using digital twins. *Energy Conversion and Management*, v. 236, p. 114052.
- Guardiola, C., Pla, B., Bares, P., & Jones, J. C. (2019) Guardiola, C. et al. Integration of intermittent measurement from in-cylinder pressure resonance in a multi-sensor mass flow estimator. *Mechanical Systems and Signal Processing*, v. 131, p. 152–165.
- Han, J., Somers, L. M. T., Cracknell, R., Joedicke, A., Wardle, R., & Mohan, V. (2020). Experimental investigation of ethanol/diesel dual-fuel combustion in a heavy-duty diesel engine. *Fuel*, v. 275, p. 117867.
- Han, R., Bohn, C., & Bauer, G (2020). Virtual Engine In-Cylinder Pressure Sensor for Automobiles and Agricultural Tractors. *IFAC-PapersOnLine*, 53(1), 543–548.
- Jatana, G., Geckler, S., Koeberlein, D., & Partridge, W., (2017). Design and development of a probe-based multiplexed multi-species absorption spectroscopy sensor for characterizing transient gas-parameter distributions in the intake systems of I.C. engines. *Sensors and Actuators B: Chemical*, v. 240, p. 1197–1204.
- Junqueira, R. A., & Oliveira, H. (2013). Manutenção de Colhedora de Cana-de-açúcar. *SENAR/SP*, São Paulo.
- Kardec, A., & Nascif J. (2009). Manutenção: função estratégica. (3ª ed.): *Qualitymark*: Petrobrás. 384 p.
- Kimura, R. K. (2010). *Uso da técnica de análise de óleo lubrificante em motores diesel estacionários, utilizando-se misturas de biodiesel e diferentes níveis de contaminação do lubrificante*. Dissertação (mestrado) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista. Ilha Solteira.
- León, P. G., Morales, J., Escobar J. R., Gómez, A. J. F., Lopez, L. G., & Torres, L (2018). Implementation of a fault tolerant system for the internal combustion engine's MAF sensor. *Measurement*, V. 122, p. 91-99.
- Li, Z., Zhang, Y., Huang, G., Zhao, W., He, Z., Qian, Y., & Lu, X., (2020). Control of intake boundary conditions for enabling clean combustion in variable engine conditions under intelligent charge compression ignition (ICCI) mode. *Applied Energy*, v. 274, p. 115297.
- Maddineni, A. K., Das, D., & Damodaran, R. M (2017). Inhibition of particle bounce and re-entrainment using oil-treated filter media for automotive engine intake air filtration. *Powder Technology*, v. 322, p. 369–377.
- Martínez, S., et al. Model calibration and exergoeconomic optimization with NSGA-II applied to a residential cogeneration. *Applied Thermal Engineering*, v. 169, p. 114916, mar. 2020.
- Mello, R. D. C. (2015). Manutenção do filtro de ar em máquinas agrícolas. *Revista Máquinas Cultivar*. Vol 157. <https://www.grupocultivar.com.br/revistas/201>.
- Nguyen, H., Zenger, K., & Storm, X. (2020). Simulation Environment for Analysis and Controller Design of Diesel Engines. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 13970–13975.
- Omar, F. K., Selim, M. Y. E., & Emam, S. A. (2017). Time and frequency analyses of dual-fuel engine block vibration. *Fuel*, v. 203, p. 884–893.
- Padovan, L. A., & Anjos, H. S. (2012). Manutenção de Tratores Agrícolas. *Senar/Sp*, 74p.
- Prima, E., Utari, S., Ramdani, R., Riska, E., Putri, R., & Darmawati, S. (2017). Heat Transfer Lab Kit using Temperature Sensor based Arduino TM for Educational Purpose. *Procedia Engineering*, v. 170, p. 536–540.
- Rosa, J. S. (2014). *Estudo de um motor ciclo diesel monocíclico bicomustível*. Dissertação (mestrado) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos. São Leopoldo.
- Santos, E. A., Soares, H. S., Silva, M.R., Rocha, T. A. F., & Fernandes, T. J. L. (2014) Lubrificantes: Uso correto. *Revista Cultivar Máquinas*. Nº143. p.28-31.
- Shahbaz, M. H., & Amin, A. A (2021). Design of Active Fault Tolerant Control System for Air Fuel Ratio Control of Internal Combustion Engines Using Artificial Neural Networks. *IEEE Access*, v. 9, p. 46022–46032.
- Shi, C., Ji, C., Wang, H., Wang, S., Yang, J., & Ge, Y., (2021). Comparative evaluation of intelligent regression algorithms for performance and emissions prediction of a hydrogen-enriched Wankel engine. *Fuel*, v. 290, p. 120005, abr.
- Shi, H., Uddeen, K., Pei, Y., & Johansson, B. (2021). Statistical study on engine knock oscillation and heat release using multiple spark plugs and pressure sensors. *Fuel*, v. 297, p. 120746.
- Siano, D., Frosina, E., & Senatore, A. (2017). Diagnostic Process by Using Vibrational Sensors for Monitoring Cavitation Phenomena in a Gerotor Pump Used for Automotive Applications. *Energy Procedia*, v. 126, p. 1115–1122, set. 2017.

- Singh, V., Pal, B., & Jain, T. (2020). A Novel State and Parameter Estimation Algorithm for Spark Ignition Engine. *IFAC-PapersOnLine*, 53(2), 13964–13969.
- Sujesh, G., & Ramesh, S. (2018). Modeling and control of diesel engines: A systematic review. *Alexandria Engineering Journal*, 57(4), 4033–4048.
- Tanaka, E. M., Padovan, L. A. P., & Viana, N. M. (2014). Manutenção de Colhedora Automotriz de café. *SENAR/ SP*, São Paulo. 90p.
- Velmurugan, V., kumar, C., Paramasivam, V., & Thanikaikarasan, S. (2019). Prediction of noise, vibration and exhaust gas emission characteristics using palm oil in a four-stroke diesel. *Materials Today: Proceedings*, v. 21, p. 896–901.
- Wong, P. K., Gao, X., Wong, K. I., & Vong, C. M. (2017). Efficient Point-by-point Engine Calibration using Machine Learning and Sequential Design of Experiment Strategies. *Journal of the Franklin Institute*. 355. 10.1016/j.jfranklin.2017.02.006.
- Zhai, Y. J., Yu, D., Qian, K. J., Lee, S., & Theera-Umpon, N. (2017). A Soft Sensor-Based Fault-Tolerant Control on the Air Fuel Ratio of Spark-Ignition Engines. *Energies*. 10. 131. 10.3390/en10010131.
- Zhang, M., Thompson, W., Frendi, A., & Casiano, M. (2017). Acoustic wave propagation in a sensor port: Experimental measurements and analytical model predictions. *Applied Acoustics*, v. 127, p. 1–14.