

INTELIGÊNCIA ARTIFICIAL APLICADA NO DIAGNÓSTICO E PREDIÇÃO DE FALHAS EM SISTEMAS AUTOMOTIVOS: TÉCNICAS, APLICAÇÕES E OPORTUNIDADES

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLIED IN THE DIAGNOSIS AND PREDICTION OF FAILURES IN AUTOMOTIVE SYSTEMS: TECHNIQUES, APPLICATIONS, AND OPPORTUNITIES

Lucas E. Lima Costa^{1, i}
Guilherme Matioli^{2, ii}
Antonio Luiz Barbosa dos Santos^{3, iii}
Mauricio Gayubas^{4, iv}

RESUMO

A crescente complexidade da tecnologia automotiva exige soluções inteligentes para o diagnóstico e a manutenção eficiente de seus sistemas. Este trabalho investiga o uso de inteligência artificial (IA) no diagnóstico e previsão de falhas em sistemas automotivos, por meio de revisão sistemática da literatura. Os resultados indicam que algoritmos de IA, frequentemente integrados a tecnologias da Indústria 4.0, alcançam acurácias superiores a 96% na detecção de falhas, empregando técnicas de *machine learning* e processamento de sinais. A adoção da IA viabiliza a transição de manutenções corretivas para preditivas, resultando em significativa redução de custos e aumento da segurança operacional. Contudo, desafios persistem, especialmente na detecção de falhas incipientes e na padronização de metodologias. Estas lacunas representam importantes oportunidades para futuros avanços e a expansão das aplicações da IA para outros segmentos da cadeia automotiva.

Palavras-chave: Inteligência Artificial; Manutenção Preditiva; Diagnóstico Automotivo, Falhas Automotivas.

ABSTRACT

The increasing complexity of automotive technology demands intelligent solutions for the efficient diagnosis and maintenance of its systems. This work investigates the use of artificial intelligence (AI) in the diagnosis and prediction of failures in automotive systems, through a systematic literature review. The results indicate that AI algorithms, frequently integrated with Industry 4.0 technologies, achieve accuracy exceeding 96% in fault detection, employing machine learning techniques and signal processing. The adoption of AI enables the transition from corrective to predictive maintenance, resulting in significant cost reduction and increased operational safety. However, challenges persist, especially in the detection of incipient failures and the standardization of methodologies. These gaps represent important opportunities for future advancements and the expansion of AI applications to other segments of the

¹ Graduando em Sistemas Automotivos na Faculdade SENAI de Tecnologia Conde José Vicente de Azevedo. E-mail: lucas.elcosta@gmail.com

² Professor de Sistemas Automotivos na Faculdade SENAI de Tecnologia Conde José Vicente de Azevedo. E-mail: guilherme.matioli@sp.senai.br

³ Professor de Sistemas Automotivos na Faculdade SENAI de Tecnologia Conde José Vicente de Azevedo. E-mail: antonio.barbosa@sp.senai.br

⁴ Docente e Mestre em Administração em Gestão Ambiental e Sustentabilidade no Centro Universitário SENAI – Campus Ipiranga. E-mail: mauricio.gayubas@sp.senai.br

automotive supply chain.

Keywords: Artificial Intelligence; Predictive Maintenance; Automotive Diagnostics; Automotive Failures.

1 INTRODUÇÃO

A evolução da tecnologia automotiva tem tornado os veículos mais seguros e conectado, gerando milhares de dados por segundo. Nesse cenário, a Inteligência Artificial (IA) destaca-se como ferramenta essencial para otimizar diagnósticos e manutenções, elevando a eficiência e a confiabilidade (OLIVEIRA et al., 2024).

A IA, por meio de técnicas como *machine learning* e internet das coisas (IoT), possibilita a análise de grandes volumes de dados veiculares, identificando padrões e correlações complexas que viabilizam diagnósticos precisos e preditivos. O uso de processamento em nuvem reduz a necessidade de *hardware* embarcado, permitindo sistemas mais leves e integrados (GOMES, 2010).

Tradicionalmente, a análise de falhas é realizada via OBD-II (*On-Board Diagnostics II*), que gera códigos indicativos de anomalias. Hoje, modelos de IA, combinados a sensores avançados, ampliam essa função, possibilitando desde ações autônomas até a previsão da vida útil de componentes (OLIVEIRA et al., 2024).

A aplicação de IA em diagnósticos preditivos tem revolucionado a manutenção automotiva pela agilidade e assertividade na detecção de falhas, otimizando processos, evitando paradas não programadas e prolongando a vida útil dos sistemas (OLIVEIRA et al., 2024).

Este trabalho investiga metodologias de IA aplicadas ao diagnóstico, predição e análise de falhas automotivas, identificando lacunas de pesquisa e avaliando sua arquitetura, eficácia e potencial transformador na manutenção veicular.

1.1 Problema de pesquisa

Diante desse contexto, torna-se relevante a identificação das principais técnicas de inteligência artificial utilizadas na manutenção para predição de falhas nos diferentes sistemas automotivos

1.2 Objetivo(s)

Investigar a aplicação da inteligência artificial na manutenção automotiva, no diagnóstico e predição de falhas em sistemas veiculares.

1.3 Justificativa

A inteligência artificial é essencial para transformar a manutenção automotiva de um modelo reativo para preditivo, permitindo identificar falhas antes que ocorram, reduzir custos operacionais e aumentar a confiabilidade dos veículos. Elevar a compreensão e a divulgação do tema é fundamentais para o avanço do setor automotivo.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Modelos de inteligência artificial são representações matemáticas e computacionais capazes de realizar tarefas cognitivas a partir do aprendizado com dados, identificando padrões complexos e generalizando para novas situações (MAHESH, 2019).

O *machine learning* permite que sistemas aprendam padrões a partir de dados, sem programação explícita, utilizando conjuntos de treinamento e teste. Durante o treinamento, algoritmos ajustam parâmetros internos para minimizar erros e melhorar a capacidade de generalização, identificando relações complexas mesmo em dados não lineares (MAHESH, 2019).

Árvores de decisão estruturam escolhas e resultados em formato hierárquico, onde nós representam atributos e ramos indicam valores ou condições, permitindo classificação e tomada de decisão de forma interpretável (MAHESH, 2019).

Redes neurais artificiais processam informações de forma inspirada no sistema nervoso humano, sendo compostas por neurônios artificiais interconectados. Sua principal vantagem é a capacidade de aprendizado automático, ajustando conexões internas durante o treinamento para reconhecer padrões e adaptar-se a novos dados (MAHESH, 2019).

3 METODOLOGIA

A presente pesquisa adotou uma abordagem bibliográfica sistemática, focando no diagnóstico e manutenção automotiva com a aplicação de inteligência artificial. A busca foi realizada em bases de dados científicas e acadêmicas de alto impacto, incluindo IEEE Xplore, Web of Science e Scopus. Para a recuperação dos artigos, empregou-se a seguinte *string* de busca: ("Artificial Intelligence" OR "AI" OR "Machine Learning" OR "Deep Learning"), ("automotive maintenance" OR "vehicle diagnostics" OR "predictive maintenance") e ("fault detection" OR "failure prediction" OR "anomaly detection"). Os resultados obtidos foram submetidos a um processo de triagem e seleção, avaliando-se a relevância e aderência ao tema proposto. Priorizou-se a inclusão de estudos que detalhassem as metodologias empregadas e a aplicação de modelos de inteligência artificial em sistemas veiculares e seus componentes."

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Abaixo são apresentados exemplos de aplicação de IA na predição e diagnóstico de falhas automotivos. A figura 1 auxilia a visualizar o sistema automotivo a qual cada técnica foi utilizada.

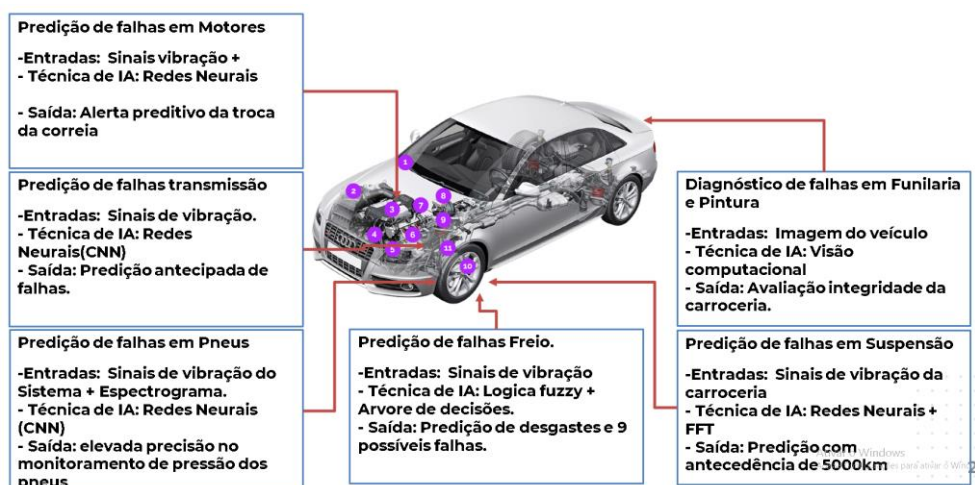


Figura 1 – Técnicas de IA aplicadas aos sistemas automotivos

Fonte: Autor

4.1 Sistema de Freio

Marimuthu et al. (2022) propõem diagnóstico de falhas em freios hidráulicos em três etapas: extração, seleção e classificação de características. Sinais de vibração foram coletados por acelerômetros, simulando sete condições de falha. Histogramas (H1–H70) capturaram padrões estatísticos; a seleção via árvore de decisão identificou bins mais relevantes, e a classificação foi feita por lógica *fuzzy*. O modelo atingiu 96,91% de acurácia em 550 instâncias, destacando robustez, simplicidade de interpretação e potencial para integração em OBD.

4.2 Sistema de Suspensão

Kokane e Sivakumar (2019) apresentam sistema que integra IoT, aprendizado de máquina e processamento de sinais para monitoramento da suspensão. A análise de vibrações (0–100 Hz) via FFT, técnicas PCA/LDA e utilização de modelo pré-treinados, permitiu classificar falhas e transmitir dados em tempo real por V2X. O método detectou folgas, degradação de amortecedores, fadiga de molas e danos estruturais, demonstrando eficácia para um amplo espectro de intensidade de falhas.

4.3 Pneus

Vasan et al. (2023) desenvolveram sistema de monitoramento de pneus com sensores e redes neurais convolucionais (AlexNet, VGG-16, GoogLeNet e ResNet-50). Sinais de vibração do cubo da roda foram convertidos em gráficos radar para classificação de condições como subpressão, sobrepressão e perfuração. A solução oferece alertas em tempo real e supera limitações de sistemas indiretos, garantindo confiabilidade em diferentes condições de condução.

4.4 Motores a combustão

Khazaee et al. (2020) propõem diagnóstico de falhas em motores a combustão via análise acústica, usando microfones e técnica híbrida de wavelet packet. Nove condições operacionais, incluindo falhas mecânicas e eletrônicas, foram simuladas. Uma rede neural convolucional (CNN) classificou os estados com método não invasivo, reduzindo influência de ruídos externos e facilitando aplicação em campo.

4.5 Sistema de Transmissão

Zakaria, Elias e Mounira (2022) apresentam diagnóstico de falhas em caixas de câmbio com redes neurais convolucionais (CNN) a partir de sinais de vibração. Nove condições, cada uma em cinco níveis de severidade, foram analisadas. O método permite detecção precoce de defeitos críticos, contribuindo para manutenção preditiva e aumento da confiabilidade dos componentes.

5 CONCLUSÃO

A aplicação de inteligência artificial no diagnóstico e monitoramento de freios, suspensão, pneus, motores e transmissões mostrou elevada precisão, detecção precoce de falhas e potencial de integração a sistemas embarcados. As técnicas implementadas permitiram a manutenção preditiva, redução de custos e maior confiabilidade veicular. Contudo, identificam-se lacunas em estudos de condições extremas de operação, detecção de falhas incipientes e padronização de metodologias, abrindo oportunidades para pesquisas que explorem sensores mais sensíveis, integração com outras tecnologias da indústria 4.0. Além disso, sua utilização no setor de pós-venda é pouco explorada.

REFERÊNCIAS

- GOMES, D. D. S.; GOMES, S. Inteligência Artificial: conceitos e aplicações. Revista Olhar Científico – Faculdades Associadas de Ariquemes, v. 1, n. 2, p. 234, 2010.
- KHAZAEI, Meghdad; BANAKAR, Ahmad; GHOBADIAN, Barat; MIRSALEM, Mostafa Agha; MINAEI, Saeid. Remaining useful life (RUL) prediction of internal combustion engine timing belt based on vibration signals and artificial neural network. Neural Computing and Applications, v. 33, n. 13, p. 7635–7650, jul. 2021. DOI: <https://doi.org/10.1007/s00521-020-05520-3>.
- KOKANE, P.; SIVAKUMAR, P. B. Online model for suspension faults diagnostics using IoT and analytics. ICANI-2018. Advances in Intelligent Systems and Computing, p. 145–154, 2019
- MAHESH, Batta. Machine Learning Algorithms – A Review. International Journal of Science and Research (IJSR), v. 9, 2019. DOI: 10.21275/ART20203995.
- MARIMUTHU, A. M. T.; RAKKIYANNAN, J.; JAKKAMPUTI, L.; VAITHIYANATHAN, S.; GNANASEKARAN, S. Vibration-based fault diagnosis study on a hydraulic brake system using fuzzy logic with histogram features. Structural Durability & Health Monitoring, v. 16, n. 4, p. 383–396, 2022.
- OLIVEIRA, Vitor Furlan de; MATIOLLI, Guilherme; BORDIN JÚNIOR, Cláudio José; GASPARI, Ricardo; LINS, Rômulo Gonçalves. Digital twin and cyber-physical system integration in commercial vehicles: latest concepts, challenges and opportunities. IEEE Transactions on Intelligent Vehicles, v. 9, n. 4, p. 4804-4819, 2024. DOI: <https://doi.org/10.1109/TIV.2024.3350787>.
- VASAN, V.; SRIDHARAN, N. V.; SREELATHA, A. P.; VAITHIYANATHAN, S. Tire condition monitoring using transfer learning-based deep neural network approach. Sensors, v. 23, n. 4, p. 2177, 2023. DOI: 10.3390/s23042177.
- ZAKARIA, Miloudi; ELIAS, Hadjadj Aoul; MOUNIRA, Djemai. Gearbox fault diagnosis optimization using conventional neural networks and machine learning methods. International Journal of Mechatronics and Applied Mechanics, n. 12, p. 41-46, 2022.

SOBRE O(S)AUTOR(ES)

i LUCAS E. LIMA COSTA

Foto

Cursando Graduação em Sistemas Automotivos pela Faculdade SENAI de Tecnologia (2026). Tem experiência na área de pós-vendas do setor automotivo

ii NOME DO AUTOR (Autor 2)



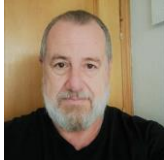
Possui graduação em Mecatrônica (2019) e Mestrado (2023) em Energia, ambos pela Universidade Federal do ABC. Atualmente é professor da Faculdade Senai de Tecnologia e pesquisador em IA aplicado ao setor automotivo. Tem experiência na área de Engenharia, com ênfase em Mecatrônica aplicada ao veículo.

iii ANTONIO LUIZ BARBOSA DOS SANTOS



Possui mestrado profissional em Engenharia Automotiva pela USP (2008) e experiência profissional na área de Engenharia de Produção e Automobilística, com foco em gerenciamento de projetos e desenvolvimento de produtos. Atualmente é professor na graduação e pós-graduação da Faculdade Senai de Tecnologia. <https://orcid.org/0000-0001-8016-6841>

iv **MAURICIO GAYUBAS**



Possui graduação em Engenharia Elétrica, pós-graduações em Marketing, Docência e Mobilidade Sustentável, além de Mestrado em Gestão Ambiental e Sustentabilidade. Doutorando em Administração pela ESPM. Atua há mais de 30 anos na gestão comercial e treinamentos técnicos em empresas multinacionais na América Latina.