



MANUTENÇÃO PREDITIVA ACESSÍVEL EM ALTA TENSÃO: UM MODELO DE MONITORAMENTO ELÉTRICO PARA OFICINAS INDEPENDENTES DE VEÍCULOS ELÉTRICOS E HÍBRIDOS

ACCESSIBLE PREDICTIVE MAINTENANCE IN HIGH VOLTAGE: AN ELECTRICAL MONITORING MODEL FOR INDEPENDENT WORKSHOPS OF ELECTRIC AND HYBRID VEHICLES

MANTENIMIENTO PREDICTIVO ACCESIBLE EN ALTA TENSIÓN: UN MODELO DE MONITORIZACIÓN ELÉCTRICA PARA TALLERES INDEPENDIENTES DE VEHÍCULOS ELÉCTRICOS E HÍBRIDOS



<https://doi.org/10.56238/levv16n49-121>

Data de submissão: 05/05/2025

Data de publicação: 05/06/2025

Jonathan Monteiro Kreski

Técnico em Mecânica Automotiva (com ênfase em elétrica e injeção eletrônica)

Instituição: SENAI “João Martins Coube”

Endereço: São Paulo, Brasil

E-mail: kreski6@hotmail.com

RESUMO

Propõe-se um modelo teórico, simples, escalável e aplicável de manutenção preditiva para sistemas de alta tensão de veículos elétricos (EVs) e híbridos (HEVs), adaptado à realidade de oficinas independentes e centros de formação. O modelo combina três frentes: observação eletrônica estruturada (o que o veículo declara), verificação elétrica essencial e segura (o que a eletricidade comprova) e indicadores de degradação de baixo custo e fácil instrumentação (o que antecipa falhas), essas frentes estão alinhadas às normas de segurança e recarga e à literatura sobre diagnóstico, envelhecimento e gestão térmica de baterias e acionamentos. O objetivo é traduzir padrões normativos e conceitos acadêmicos em um roteiro claro para prevenir falhas, melhorar a qualidade do serviço e padronizar decisões técnicas, dispensando o uso de equipamentos sofisticados.

Palavras-chave: Veículos Elétricos. Híbridos. Manutenção Preditiva. Alta Tensão. Bateria de Tração. Inversor. Normas Técnicas.

ABSTRACT

This paper proposes a simple, scalable predictive-maintenance model for high-voltage (HV) systems in electric and hybrid vehicles, tailored to the constraints of independent workshops and training centers. The framework integrates three complementary pillars: (i) structured electronic observability—leveraging what the vehicle reports (e.g., BMS/inverter telemetry via standard diagnostics); (ii) essential, safety-compliant electrical verification—confirming what the electricity proves through de-energized insulation checks and non-invasive measurements; and (iii) low-cost degradation indicators—anticipating failures with features derived from battery aging, power-electronics stress, and thermal behavior. The model translates safety and charging standards and current academic evidence into reproducible shop-floor routines that prioritize risk mitigation, technician safety, and instrument affordability. It outlines data acquisition, feature extraction, and rule-based/

lightweight decision stages to support proactive scheduling, consistent technical judgments, and higher service quality without reliance on proprietary or sophisticated equipment. The approach also provides a didactic pathway for workforce development, enabling systematic training aligned with best practices and compliance requirements.

Keywords: Electric Vehicles. Hybrid Vehicles. Predictive Maintenance. High Voltage. Traction Battery. Inverter. Technical Standards.

RESUMEN

Este artículo propone un modelo teórico simple, escalable y aplicable para el mantenimiento predictivo de sistemas de alta tensión en vehículos eléctricos (VE) e híbridos (VEH), adaptado a la realidad de talleres independientes y centros de formación. El modelo combina tres frentes: observación electrónica estructurada (lo que declara el vehículo), verificación eléctrica esencial y segura (lo que demuestra la electricidad) e indicadores de degradación de bajo coste y fácil instrumentación (que anticipan fallos). Estos frentes se alinean con los estándares de seguridad y recarga, así como con la literatura sobre diagnóstico, envejecimiento y gestión térmica de baterías y variadores. El objetivo es traducir las normas y los conceptos académicos en una hoja de ruta clara para prevenir fallos, mejorar la calidad del servicio y estandarizar las decisiones técnicas, eliminando la necesidad de equipos sofisticados.

Palabras clave: Vehículos Eléctricos. Híbridos. Mantenimiento Predictivo. Alta Tensión. Batería de Tracción. Inversor. Normas Técnicas.

1 INTRODUÇÃO

A eletrificação reposicionou o trabalho das oficinas no encontro entre eletrônica de potência, software embarcado e segurança elétrica. Em veículos elétricos (EVs) e híbridos (HEVs), a condição de “saúde” do trem de força resulta da interação dinâmica entre a bateria de tração e seu sistema de gerenciamento (*BMS, battery management system*), o inversor que comanda o motor elétrico, o carregador a bordo que negocia a recarga com a infraestrutura externa, o conversor DC/DC que sustenta o circuito auxiliar de 12 V e o sistema de arrefecimento que mantém todo o conjunto em regime térmico seguro. Quando um desses blocos se afasta do esperado, o efeito raramente é local: ele reverbera nos limites que o BMS impõe, nas estratégias de proteção do inversor, no comportamento do circuito de 12 V sob carga e até na forma como o veículo aceita — ou rejeita — a energia da rede.

Nesse contexto, falar em manutenção preditiva de alta tensão não é repetir jargões industriais, mas estruturar uma observabilidade suficiente para antecipar desvios sem recorrer a laboratórios caros. O desafio cotidiano das oficinas independentes não é a falta de dados, e sim a falta de organização e consistência desses dados em um roteiro previsível. O veículo já fornece indicadores valiosos — códigos de falha, tensões, correntes, temperaturas, estados de contadores, eventos de recarga —; porém eles precisam ser lidos sempre do mesmo modo, sob condições comparáveis, e confrontados com evidências elétricas simples e seguras (como o ensaio de isolamento entre bateria e carroceria, a leitura do tempo e da queda de tensão na pré-carga e a integridade do intertravamento de alta tensão). Quando essas informações passam a ser registradas com consistência temporal e interpretadas à luz do comportamento térmico e do sistema de 12 V, deixam de ser ruído e se transformam em sinais de tendência — exatamente o que a preditiva exige.

Há, ainda, um contexto regulatório e técnico que precisa caber na realidade da oficina. Normas de proteção elétrica veicular definem o que é operação segura e como aferi-la; padrões de recarga e conectividade estabelecem papéis do veículo e da estação, conectores e sequências de comunicação; referências de diagnóstico eletrônico dão a gramática para a conversa com os módulos. Trazer esse arcabouço normativo para a prática diária significa traduzi-lo em procedimentos estáveis, instrumentos com categoria de segurança adequada, registros que preservem contexto e condição de medição e uma linguagem técnica que qualquer membro da equipe consiga aplicar.

Este artigo responde a essa lacuna propondo um modelo didático e acessível de manutenção preditiva orientado a sistemas de alta tensão em EVs e HEVs. A contribuição está menos em “descobrir variáveis novas” e mais em organizar e encadear o que já existe — informações que o veículo declara, verificações elétricas essenciais e indicadores de degradação de baixo custo — em uma sequência clara, palatável e ensinável, capaz de reduzir incerteza, padronizar decisões e diminuir retorno por mesma causa, mesmo em ambientes sem telemetria proprietária ou equipamentos avançados.

2 FUNDAMENTOS

A fundamentação de um modelo preditivo acessível, aplicável e replicável em oficinas reside em quatro pilares que se inter-relacionam de forma a se fortalecer mutuamente: segurança e isolamento, recarga e conectividade, diagnóstico eletrônico estruturado e envelhecimento térmico-eletroquímico. Subsequentemente, cada pilar é aprofundado em uma prosa contínua, com a elucidação dos termos técnicos na primeira ocorrência, visando preservar a fluidez da leitura.

2.1 SEGURANÇA E ISOLAMENTO

Tudo começa por segurança em alta tensão. Antes de qualquer verificação, o veículo deve ser desenergizado de forma controlada (*LOTO* — *lockout/tagout*), com EPI e EPC adequados e instrumentos de medição cuja categoria de segurança (CAT) corresponda ao ponto de teste. O passo que libera o restante do raciocínio é o ensaio de isolamento entre a bateria de tração e a carroceria. Essa medição, feita com megôhmetro na tensão especificada pelo fabricante, diferencia defeitos verdadeiramente elétricos (umidade em chicote, dano de isolamento, trilhas de fuga) de efeitos colaterais que surgem como alarmes em módulos eletrônicos. Em paralelo, o intertravamento de alta tensão — *HVIL* (*High-Voltage Interlock Loop*) — precisa estar íntegro: é o circuito que impede a operação do sistema quando tampas ou conectores de alta tensão estão abertos. Sua falha reproduz sintomas de “recusa de tração” ou “falha de recarga”. Por fim, contadores (os disjuntores principais da bateria) e pré-carga merecem atenção porque deixam “assinaturas” claras: tempos de equalização e quedas de tensão fora do esperado sugerem contato soldado, resistor degradado ou comando inconsistente. Sem esses fundamentos, qualquer leitura de tela vira palpite; com eles, o restante das decisões passa a ter lastro físico.

2.2 RECARGA E CONECTIVIDADE

Muitos problemas que aparentam vir do veículo na verdade se originam no elo com a infraestrutura de recarga. Nas recargas em corrente alternada (AC), o diálogo entre veículo e estação ocorre por um sinal piloto que autoriza níveis de corrente e verifica condições de segurança; conectores gastos, cabos danificados ou oxidação por umidade introduzem instabilidades que o veículo interpreta como falha. Nas recargas em corrente contínua (DC), além da integridade mecânica e elétrica do conector, entram em jogo sequências de comunicação e condições térmicas que limitam a potência. Compreender “quem faz o quê” desse diálogo — o papel do veículo, da estação e do conector — evita trocas desnecessárias de carregador a bordo. A regra prática é simples: inspecionar e testar o caminho externo (conector, cabo, aterramento, estação) antes de concluir que o defeito está no veículo; e, dentro do veículo, confirmar se a negociação de recarga está coerente com a corrente solicitada e a temperatura disponível para dissipação de calor.

2.3 DIAGNÓSTICO ELETRÔNICO ESTRUTURADO

O veículo declara muito do que está acontecendo por meio de códigos de falha e parâmetros em tempo real. Ler esses dados de modo estruturado — da bateria e seu sistema de gerenciamento (*BMS, Battery Management System*), do inversor, do carregador a bordo (*OBC, On-Board Charger*) e do conversor de 12 V (DC/DC) — organiza o raciocínio e aponta o subsistema provável. Entretanto, a literatura é clara: a tela não substitui medição quando o tema é isolamento, pré-carga ou contadores. Também ajuda observar “quadros de congelamento” (dados capturados no instante da falha) e verificar coerência entre leituras — por exemplo, corrente liberada pela bateria versus limite térmico declarado; tensão do barramento principal versus estado de contadores. Vale lembrar: um sistema de 12 V fraco embaralha toda a comunicação: o DC/DC marginal derruba tensões de referência e acende alertas em cascata. Por isso, sempre que possível, validar o circuito de 12 V sob carga deve preceder conclusões sobre módulos “a jusante”.

2.4 ENVELHECIMENTO E CALOR

Quase todo “perdeu força” tem um componente de calor e envelhecimento de bateria. Com o tempo e o uso, cresce a resistência interna, surgem desequilíbrios entre módulos e a estimativa de estado de carga (*SOC*) perde precisão. Em esforço — subida longa, clima quente, recarga repetida em alta potência — a bateria e a eletrônica de potência entram em modos de proteção (redução de potência) para preservar a integridade. Em um modelo preditivo acessível, não é necessário abrir o *pack* nem usar laboratório: basta observar tendências. Três sinais de baixo custo ajudam muito: a resposta de tensão a correntes conhecidas (um proxy da impedância aparente do conjunto), a assimetria persistente entre módulos (quem sempre aquece mais ou carrega menos pede investigação) e o comportamento térmico em esforço (a temperatura volta ao patamar de repouso com a rapidez esperada?). Quando essas tendências são registradas com periodicidade e método, deixam de ser curiosidade e viram indicadores preditivos que orientam manutenção do arrefecimento, inspeção de chicotes e decisões sobre a saúde do sistema de alta tensão.

Em suma, segurança e isolamento bem aferidos abrem a porta; recarga e conectividade colocam o defeito no lugar certo; diagnóstico eletrônico estruturado dá rumo ao raciocínio; e tendências de envelhecimento e calor permitem agir antes que o sintoma evolua para pane. Essa é a espinha dorsal de um modelo preditivo cientificamente sólido e operacionalmente palatável para a rotina de oficina.

3 MODELO PROPOSTO DE MANUTENÇÃO PREDITIVA (POUCAS PEÇAS, ALTO IMPACTO)

O modelo organiza a rotina da oficina em três camadas interdependentes. Ele parte do que o veículo já “declara” por si, confirma o essencial com poucas medições elétricas seguras e, por fim,

observa tendências simples, mas reveladoras, capazes de indicar envelhecimento antes que surja a pane. A lógica é deliberadamente enxuta para caber na agenda de oficinas independentes, e suficientemente robusta para dialogar com normas e literatura técnica.

3.1 LEITURA ESTRUTURADA DE DADOS ELETRÔNICOS

A primeira camada transforma a leitura de códigos e parâmetros em série histórica. Em intervalos definidos por quilometragem, horas de uso ou ciclos de recarga, registra-se sempre da mesma forma: códigos ativos e históricos; tensão total da bateria; diferença de tensão entre módulos; temperaturas mínima e máxima do conjunto; estado dos contadores; corrente máxima que o sistema está liberando; condição do circuito de 12 V sob carga; e ocorrências de recarga rejeitada. A padronização é o ponto-chave: mesmos parâmetros, mesma ordem, mesmas condições (por exemplo, faixa de temperatura ambiente e estado de carga semelhante) reduzem ruído e permitem comparar o veículo consigo mesmo ao longo do tempo. Esse hábito simples já elimina grande parte do “achismo”: diante de um retorno por sintoma intermitente, a oficina dispõe de uma linha do tempo objetiva e rastreável, que orienta a decisão técnica com base em evidências.

3.2 VERIFICAÇÃO ELÉTRICA ESSENCIAL E SEGURA

A segunda camada dá lastro físico à narrativa eletrônica. Em intervalos maiores — ou sempre que a camada 1 indicar anomalia — realiza-se o ensaio de isolamento entre a bateria de tração e a carroceria, utilizando megôhmetro na tensão de teste recomendada pelo fabricante; verifica-se o comportamento da pré-carga e dos contadores, observando tempo de equalização e a queda de tensão; e confirma-se a integridade do intertravamento de alta tensão (o circuito que impede operação com tampas ou conectores abertos). Essas medições, quando executadas com procedimentos de segurança (desenergização controlada, EPI/EPC adequados e instrumentos com categoria de segurança correta), são rápidas, repetíveis e altamente conclusivas. Na prática, é aqui que se identificam, sem adivinhação, causas físicas concretas: isolamento marginal por umidade em chicote, resistor de pré-carga degradado ou contato soldado que explica a recusa de fechamento.

3.3 INDICADORES DE DEGRADAÇÃO DE BAIXO CUSTO

A terceira camada observa tendências associadas ao envelhecimento, sem abrir o pacote de baterias nem recorrer a laboratório. Três sinais bastam: a resposta de tensão a correntes conhecidas (um “*proxy*” da impedância aparente do conjunto); a assimetria persistente entre módulos (aquele que sempre carrega menos ou aquece mais pede atenção) e o comportamento térmico em esforço (após uma subida ou uso intenso, a temperatura deve retornar ao patamar de repouso no ritmo esperado). Esses sinais não são “valores mágicos”: ganham significado quando analisados ao longo do tempo,

com as mesmas condições de leitura definidas na camada 1. Quando a tendência piora, a oficina não “descobre” a falha na emergência — planeja a intervenção (como revisar arrefecimento, inspecionar chicotes, reavaliar conectores de recarga) antes que o cliente fique a pé.

3.4 POR QUE A ARQUITETURA EM CAMADAS FUNCIONA

A sequência “o que o carro declara → o que a eletricidade comprova → o que está envelhecendo” cobre a maior parte das causas de indisponibilidade em *EVs* e *HEVs*: isolamento no limite, pré-carga/contatores degradados, circuito de 12 V fraco, conector de recarga instável e bateria aquecendo ou desequilibrando acima do normal. Ao mesmo tempo, a arquitetura preserva viabilidade prática: um scanner confiável, um megôhmetro com categoria adequada, um multímetro/pinza amperimétrica de qualidade e termometria simples bastam para implementar o ciclo completo. Nada aqui depende de equipamentos proprietários; depende de rotina, segurança e consistência.

Para que o modelo seja preditivo — e não apenas descritivo —, duas precauções completam o quadro. A primeira é controlar o contexto de medição: comparar leituras obtidas em faixas similares de temperatura ambiente e estado de carga, registrar tempo de repouso antes da leitura e, quando possível, repetir a coleta após eventos atípicos (chuva intensa, recarga rápida sequencial). A segunda é governar os registros: armazenar os dados com data, condições e uma síntese técnica curta (“isolamento estável”, “pré-carga lenta”, “módulo 7 aquece acima da média”). Esses metadados tornam a série histórica audível e rastreável, facilitam auditorias internas e aceleram o treinamento de novos técnicos. Assim, como supracitado, a preditiva deixa de ser um ideal abstrato e se torna uma capacidade organizacional concreta, fazendo com que a oficina passe a decidir com antecedência, diminuindo a repetição do trabalho que já foi realizado e comunicando valor ao cliente com base em evidências.

4 DIRETRIZES DE IMPLEMENTAÇÃO ACESSÍVEL (OFICINA & FORMAÇÃO)

A adoção do modelo preditivo começa encaixando a rotina no que já existe. Em vez de criar “dias de mutirão”, integre capturas curtas e regulares da Camada 1 aos serviços recorrentes — revisão periódica, troca de pneus, checagem de freios. Defina janelas previsíveis (estado de carga semelhante, faixa de temperatura ambiente, tempo mínimo de repouso antes da leitura) para que as medições sejam comparáveis ao longo do tempo. Para a Camada 2, reserve blocos mais longos e seguros, previamente agendados, quando a série histórica sinalizar anomalia ou quando o veículo passar por eventos atípicos (chuva intensa, múltiplas recargas rápidas em sequência). Assim, a preditiva deixa de competir com a operação e passa a andar junto com ela.

A seguridança é essencial em todos os procedimentos. Toda verificação que envolva alta tensão deve começar com desenergização controlada (*LOTO*), uso de EPI e EPC e checagem da categoria de segurança elétrica (*CAT*) dos instrumentos. O megôhmetro deve operar na tensão de teste especificada

para o pack e o osciloscópio, quando utilizado, precisa ter sondas apropriadas para alta tensão. Sem esses requisitos, não há preditiva: há risco e resultados pouco confiáveis. Padronize um *briefing* de segurança de dois minutos antes de cada intervenção *HV*; ele reduz erros e dá à equipe linguagem comum.

A memória técnica da oficina nasce do registro bem-feito. Todo atendimento deve gerar um resumo datado, com condição ambiente, parâmetros lidos, medições executadas e uma frase de julgamento técnico — “isolamento estável”, “pré-carga lenta”, “módulo 7 aquece acima da média”. Com o tempo, esse acervo se torna linha do tempo por veículo e material didático para treinar novos técnicos. Use modelos fixos (mesmos campos, mesma ordem) e anexos simples: captura dos parâmetros relevantes, fotografia do conector, gráfico de temperatura quando fizer sentido. A governança de dados é parte da qualidade: nomeie arquivos de modo consistente, defina responsáveis pela revisão e estabeleça periodicidade (por exemplo, amostra quinzenal de casos para auditoria interna).

A comunicação com o cliente deve mostrar tendência, não jargão. Um gráfico simples da diferença de tensão entre módulos a cada visita, ou da temperatura máxima sob esforço antes e depois de uma correção, explica por que você recomenda revisar o arrefecimento ou inspecionar conectores. Isso ancora decisões em evidência e reduz disputas sobre “troca por tentativa”. Sempre que possível, entregue um resumo visual de uma página com a situação atual, tendência e recomendação objetiva (“monitorar”, “intervir”, “testar novamente em 60 dias”).

Por fim, trate a implementação como processo de aprendizagem. Comece com instrumentação mínima (scanner confiável, megôhmetro com CAT adequada, multímetro/pinza de qualidade e termometria simples) e um roteiro curto; depois, evolua para exercícios dirigidos — medir isolamento após chuva, observar pré-carga em veículos de arquiteturas diferentes, comparar comportamento térmico antes/depois de sangria do sistema. Para saber se a preditiva está se consolidando, acompanhe indicadores simples: número de atendimentos com registro completo, proporção de casos com julgamento técnico claro, quantidade de retornos pelo mesmo sintoma e tempo médio até a decisão. Essas não são metas de apresentação, e sim bússolas internas para aproximar a prática diária da promessa teórica da manutenção preditiva.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo organizou, em linguagem direta e aplicável, um modelo preditivo acessível para sistemas de alta tensão em veículos elétricos e híbridos, ancorado em referências consolidadas e pensado para oficinas independentes. A proposta se apoia em três camadas que se reforçam: observabilidade estruturada (o que o veículo declara), verificação elétrica essencial e segura (o que a eletricidade comprova) e indicadores simples de envelhecimento observados em tendência (o que

antecipa a falha). Ao traduzir normas e conceitos em uma sequência clara, o modelo reduz a dependência de equipamentos proprietários e transforma dados dispersos em sinais de decisão.

O primeiro ganho é de segurança e clareza técnica. Colocar o ensaio de isolamento, a pré-carga e os contadores como “porta de entrada” dá lastro físico às leituras eletrônicas e evita trocas por tentativa. O segundo ganho é de qualidade do serviço: registros padronizados e comparáveis ao longo do tempo criam uma linha do tempo por veículo, facilitam a comunicação com o cliente e servem de base para formação de novos técnicos. O terceiro ganho é de prevenção: acompanhar, de modo econômico, a assimetria entre módulos, a resposta de tensão a correntes conhecidas e o comportamento térmico em esforço permite agir antes da pane, planejando intervenções com previsibilidade.

Fica explícito que manutenção preditiva não é um “pacote de ferramentas”, mas um modo de trabalhar. Sem desenergização adequada, EPI/EPC corretos e instrumentos com categoria de segurança compatível, não há preditiva — há risco. Sem padronização de parâmetros, condições de leitura e sínteses técnicas curtas, não há aprendizado — há ruído. Quando esses fundamentos entram na rotina, a oficina evita retrabalho e ancora recomendações em evidência compreensível.

Por fim, o texto delineou uma agenda de pesquisa realista para transformar a proposta em protocolo comparável entre oficinas: listas mínimas de parâmetros por arquitetura, janelas de medição que controlem temperatura ambiente, validadores de assimetria inicial, métricas econômicas simples e a ponte, entre gestão térmica e vida útil. Essa agenda não substitui a prática; ela a qualifica. Ao aproximar teoria, norma e chão de oficina, o setor ganha um caminho progressivo para elevar segurança, confiabilidade e valor entregue no atendimento a EVs e HEVs — mesmo quando os recursos são limitados.



REFERÊNCIAS

- ISO. ISO 6469-3:2021 — Electrically propelled road vehicles — Safety specifications — Part 3: Electrical safety. Geneva: International Organization for Standardization, 2021.
- ISO. ISO 17409:2020 — Electrically propelled road vehicles — Conductive power transfer — Safety requirements. Geneva: International Organization for Standardization, 2020.
- IEC. IEC 61557-8:2014 — Electrical safety in low voltage distribution systems — Equipment for testing, measuring or monitoring of protective measures — Part 8: Insulation monitoring devices for IT systems. Geneva: International Electrotechnical Commission, 2014.
- ISO. ISO 26262 — Road vehicles — Functional safety. 2nd ed. Geneva: International Organization for Standardization, 2018. (*Série multipartes; ex.: ISO 26262-1:2018 — Part 1: Vocabulary*).
- SAE INTERNATIONAL. SAE J1979-2:2021 — E/E Diagnostic Test Modes — OBD on UDS. Warrendale, PA: SAE International, 2021.
- SAE INTERNATIONAL. SAE J2990:2019 — Hybrid and EV First and Second Responder Recommended Practice. Warrendale, PA: SAE International, 2019.
- NHTSA. Emergency Response Guides database (BEV/HEV/PHEV/FCEV). Washington, DC: National Highway Traffic Safety Administration, 2025.
- NFPA. NFPA 70E:2024 — Standard for Electrical Safety in the Workplace. Quincy, MA: National Fire Protection Association, 2024.
- SU, L. State-of-health estimation of lithium-ion batteries: A comprehensive literature review. *Energy Conversion and Economics*, 2024. doi:10.1049/enc2.12125.
- LI, M. *et al.* State of Health Estimation and Battery Management: A Review of Health Indicators, Models and Machine Learning. *Materials (Basel)*, v. 18, n. 1, art. 145, 2025. doi:10.3390/ma18010145.
- KO, Y. *et al.* Current signature identification and analysis for demagnetization fault diagnosis of permanent magnet synchronous motors. *Mechanical Systems and Signal Processing*, v. 214, 111377, 2024.
- XU, X.; QIAO, X.; ZHANG, N.; FENG, J.; WANG, X. Review of intelligent fault diagnosis for permanent magnet synchronous motors in electric vehicles. *Advances in Mechanical Engineering*, v. 12, n. 7, 2020. doi:10.1177/1687814020944323.
- THEKEMURIYIL, T.; ROHNER, J. D.; MINAMISAWA, R. A. Machine learning-based prediction of on-state voltage for real-time health monitoring of IGBT. *Power Electronic Devices and Components*, v. 6, 2023.
- FÖBBE, F. Power Devices Health Condition Monitoring: A Review of Recent Papers. *PHM Society European Conference*, v. 6, n. 1, p. 15, 2021. doi:10.36001/phme.2021.v6i1.2808.