

Manutenção Preventiva E Diagnóstico De Falhas Em Sistemas Eletrônicos

Douglas Fernandes Sodré

Independent Researcher, Electronic Systems and Maintenance, Brazil

RESUMO: Este artigo analisa a integração entre manutenção preventiva e diagnóstico de falhas em sistemas eletrônicos, com ênfase em fontes de alimentação, placas de circuito impresso e módulos de controle. O objetivo é discutir critérios para selecionar intervenções e organizar a investigação de defeitos, considerando os mecanismos de degradação, a criticidade funcional e a qualidade das medições. Adota-se abordagem qualitativa, de natureza teórica, exploratória e descritiva, mediante revisão bibliográfica narrativa de publicações científicas e documentação técnica institucional. A análise distingue manutenção programada, manutenção baseada na condição e prognóstico, e examina como inspeções, ensaios elétricos e registros operacionais podem apoiar decisões de manutenção. Como contribuição analítica, propõe-se um procedimento de diagnóstico organizado por hipóteses, evidências e validação funcional, além de critérios para o acompanhamento de intervenções. A discussão indica que a periodicidade das atividades deve ser definida segundo o contexto de operação e os modos de falha relevantes, evitando substituições indiscriminadas. Conclui-se que a integração entre prevenção, diagnóstico e documentação pode favorecer a continuidade operacional, desde que as intervenções sejam tecnicamente justificadas e seus resultados sejam verificados. Por seu caráter bibliográfico, o estudo não estima ganhos quantitativos de confiabilidade ou redução de custos

Palavras-chave: Manutenção preventiva; Diagnóstico de falhas; Sistemas eletrônicos; Confiabilidade; Monitoramento de condição.

Date of Submission: 05-10-2026

Date of Acceptance: 16-10-2026

I.INTRODUÇÃO

Sistemas eletrônicos integram funções de alimentação, processamento, comunicação e controle em equipamentos industriais e dispositivos de uso cotidiano. Uma falha em um desses subsistemas pode interromper o funcionamento do conjunto, ainda que a maior parte dos componentes permaneça operacional. Por essa razão, a manutenção precisa considerar a função exigida do equipamento e as condições nas quais essa função deve ser executada, além da condição física de componentes individuais.

Um problema recorrente na manutenção é a adoção de intervenções periódicas sem relação explícita com os defeitos que se pretende evitar. A troca de uma placa pode restabelecer temporariamente a operação, mas não esclarece, por si só, se o problema se originou na alimentação externa, na dissipação térmica ou em uma interação entre módulos. A investigação de falhas precisa produzir uma explicação verificável para orientar a correção e a prevenção de recorrências.

A literatura de manutenção centrada na confiabilidade relaciona a seleção de tarefas às funções do equipamento e às consequências dos modos de falha (NASA, 2008). No campo eletrônico, Kumar e Pecht (2010) discutem modelos de diagnóstico e prognóstico cuja adequação depende do ambiente de aplicação. Esses trabalhos oferecem fundamentos complementares: a decisão sobre o que preservar deve preceder a escolha das variáveis e dos métodos utilizados para acompanhar o sistema.

Diante desse contexto, formula-se a seguinte questão: como integrar atividades preventivas e procedimentos de diagnóstico para apoiar decisões tecnicamente justificadas em sistemas eletrônicos? O objetivo geral é analisar essa integração. Os objetivos específicos são distinguir estratégias de manutenção, examinar mecanismos e manifestações de falha, discutir recursos de inspeção e medição e apresentar uma proposta de organização do diagnóstico e dos registros de manutenção.

O estudo concentra-se em fontes de alimentação, placas de circuito impresso e módulos de controle, sem pretender abranger todos os equipamentos eletrônicos. Sua contribuição é uma síntese aplicada à organização do trabalho de manutenção. As recomendações apresentadas dependem de adaptação ao projeto, às instruções do fabricante e às condições efetivas de utilização.

II.METODOLOGIA

A pesquisa adota abordagem qualitativa, de natureza teórica, com objetivos exploratórios e descritivos. O procedimento utilizado é uma revisão bibliográfica narrativa, destinada a reunir conceitos e argumentos técnicos sobre manutenção, diagnóstico e monitoramento de sistemas eletrônicos. Não se trata de revisão sistemática, estudo de campo ou ensaio de laboratório.

O levantamento foi realizado em outubro de 2026, por meio de buscas na web e consulta a repositórios institucionais, páginas de fabricantes e publicações científicas de acesso público. Utilizaram-se combinações das expressões “preventive maintenance”, “fault diagnosis”, “electronics prognostics”, “electrolytic capacitor degradation” e “power supply measurements”. Foram consultados materiais da NASA, do National Institute of Standards and Technology, da University of Maryland, do arXiv, da EOS/ESD Association e de fabricantes de componentes e instrumentos.

A seleção foi intencional e considerou pertinência ao tema, identificação de autoria ou responsabilidade institucional e possibilidade de verificar o conteúdo consultado. Publicações científicas sustentam a discussão de modelos e limitações; documentos institucionais apoiam os conceitos de manutenção; notas de aplicação oferecem exemplos de características de componentes e cuidados de medição. O corpus final reúne oito fontes, publicadas entre 2008 e 2024 ou sem data editorial explícita, listadas nas referências. A versão de 2024 do trabalho de Zhu et al. foi utilizada como preprint, sem atribuir a ela dados bibliográficos de uma edição posterior.

A análise organizou o material em cinco eixos: estratégias de manutenção; mecanismos de degradação; instrumentos de diagnóstico; monitoramento e prognóstico; e organização das intervenções. Compararam-se as finalidades dos métodos, os requisitos de informação e seus limites de aplicação. A partir dessa comparação, elaborou-se uma proposta de procedimento de diagnóstico e de acompanhamento documental. Essa proposta constitui uma contribuição analítica do presente artigo e não foi validada experimentalmente.

O método não inclui metanálise, estimativa de efeito ou contagem exaustiva da produção científica. A seleção narrativa pode omitir estudos relevantes, e resultados obtidos em componentes específicos não são automaticamente transferíveis ao sistema completo. As conclusões devem, portanto, ser interpretadas como uma síntese conceitual e uma base para investigações aplicadas.

III.RESULTADOS E DISCUSSÕES

A síntese do material consultado permite distinguir duas decisões que frequentemente se confundem na prática: escolher uma estratégia de manutenção e selecionar um método de investigação. A primeira estabelece quando e por que intervir; a segunda busca determinar o que está alterado e quais evidências justificam uma ação. A articulação entre ambas orienta a discussão a seguir.

Os resultados apresentados nesta seção correspondem à interpretação da literatura e à proposta de organização desenvolvida no estudo. Não representam medições de equipamentos, comparação de grupos ou demonstração de aumento de vida útil. O principal argumento é que a utilidade de uma intervenção depende de sua relação com um mecanismo de falha plausível e com um critério de aceitação verificável.

1. Estratégias de manutenção em sistemas eletrônicos

As estratégias de manutenção em sistemas eletrônicos orientam a escolha do momento e dos critérios para intervir em um equipamento. Essa escolha deve considerar a função desempenhada, as condições de operação e as consequências de uma eventual falha. A manutenção centrada na confiabilidade oferece uma base para esse planejamento ao relacionar as tarefas de manutenção aos modos de falha e aos requisitos funcionais do sistema (NASA, 2008).

A manutenção pode ser realizada após a ocorrência de uma falha, conforme uma programação previamente estabelecida ou a partir de informações sobre a condição do equipamento. Essas abordagens apresentam diferentes requisitos de aplicação e podem ser combinadas em um mesmo sistema. A seleção depende da possibilidade de detectar a degradação, da disponibilidade de dados e da viabilidade técnica da intervenção (ZHU et al., 2024).

Em sistemas eletrônicos, o planejamento precisa considerar tanto os componentes quanto suas interações. Uma alteração na alimentação, por exemplo, pode comprometer o funcionamento de módulos de processamento e controle. Assim, a definição das atividades de manutenção deve partir da compreensão do sistema e dos mecanismos que podem provocar a perda de sua função, evitando intervenções periódicas sem justificativa técnica.

Nesse contexto, os próximos subtópicos discutem as diferenças entre manutenção preventiva e corretiva e os critérios de criticidade que orientam a seleção das intervenções.

1.1 Manutenção preventiva e manutenção corretiva

A manutenção corretiva atua após a identificação de uma falha que exige restauração da função. A manutenção preventiva programada estabelece intervenções por tempo de serviço, calendário ou ciclos de utilização. A manutenção baseada na condição, por sua vez, vincula a ação a informações sobre o estado do equipamento. Essa distinção ajuda a evitar que toda inspeção periódica seja tratada como substituição obrigatória de componentes (ZHU et al., 2024).

Em uma proposta aplicada a sistemas eletrônicos, atividades preventivas podem incluir verificação do sistema de ventilação, inspeção de conexões acessíveis e conferência de parâmetros de operação. Cada atividade precisa indicar qual alteração pretende detectar ou evitar. A recomendação de limpeza, por exemplo, deve considerar a exposição real à contaminação e a compatibilidade do procedimento com os materiais, sem estabelecer um intervalo universal para todos os equipamentos.

O reparo também fornece informações para a prevenção. Quando uma falha é registrada apenas como “placa substituída”, perde-se a oportunidade de reconhecer condições associadas ao evento. Recomenda-se documentar o sintoma, o componente ou módulo afetado, as condições de operação e o resultado da verificação posterior. Esse registro permite distinguir reparos independentes de uma recorrência relacionada à mesma causa.

1.2 Criticidade e justificativa das intervenções

A manutenção centrada na confiabilidade parte da função exigida, dos modos de falha e de suas consequências para selecionar tarefas adequadas (NASA, 2008). Aplicado ao recorte deste artigo, esse princípio implica avaliar de forma diferente uma falha que apenas reduz uma indicação visual e outra que compromete uma função de proteção. A criticidade precisa refletir o contexto operacional do sistema.

Propõe-se que o planejamento registre a consequência funcional de cada falha relevante, a existência de meios de detecção e a possibilidade de intervenção antes da perda da função. Quando não há indicador confiável de degradação, a aquisição de dados adicionais não garante uma previsão útil. Nesses casos, a decisão precisa considerar outras medidas de projeto ou operação, além da manutenção.

Intervenções frequentes também consomem recursos e introduzem possibilidades de erro de montagem ou configuração. Por isso, a revisão de um plano deve verificar se cada tarefa tem finalidade definida e se existe evidência para manter sua frequência. O critério defendido neste estudo é a pertinência técnica da ação, e não o número de atividades executadas.

2. Mecanismos de degradação e manifestações de falha

A análise de falhas em sistemas eletrônicos exige distinguir o mecanismo de degradação da manifestação observada durante o funcionamento. O mecanismo corresponde ao processo que altera a condição de um componente ou de uma conexão; a manifestação é o desvio percebido no equipamento, como instabilidade, reinicialização ou perda de uma função. Essa distinção orienta o diagnóstico, pois um mesmo sintoma pode estar associado a diferentes causas (KUMAR; PECHT, 2010).

Nos componentes de alimentação, a degradação pode envolver alterações graduais de parâmetros elétricos. Estudos sobre capacitores eletrolíticos demonstram a possibilidade de acompanhar essas mudanças para avaliar sua condição e estimar a evolução do desempenho (CELAYA et al., 2012). A interpretação dessas alterações deve considerar as características do componente e as condições de utilização, evitando generalizações entre equipamentos distintos.

Além do envelhecimento dos componentes, o diagnóstico precisa examinar as condições térmicas, as interfaces entre módulos e os possíveis danos decorrentes do manuseio. A temperatura interna influencia a vida útil de capacitores eletrolíticos, enquanto descargas eletrostáticas podem comprometer dispositivos sensíveis durante intervenções técnicas (TDK, 2023; EOS/ESD ASSOCIATION, s.d.).

Compreender esses processos permite formular hipóteses de diagnóstico e selecionar atividades preventivas relacionadas às causas possíveis da falha. Os subtópicos seguintes examinam as condições térmicas, as falhas intermitentes e as descargas eletrostáticas, considerando suas implicações para a manutenção de sistemas eletrônicos.

2.1 Condições térmicas e componentes de alimentação

A temperatura de operação é uma variável importante na avaliação de capacitores eletrolíticos. A documentação da TDK (2023) relaciona a vida útil desses componentes à temperatura interna e discute o aquecimento associado às perdas sob corrente de ondulação. A referência trata de uma aplicação específica em carregadores embarcados, razão pela qual seus valores e soluções construtivas não devem ser generalizados para qualquer fonte.

Celaya et al. (2012) apresentam uma metodologia de prognóstico de capacitores baseada em modelo de degradação e dados de envelhecimento acelerado sob estresse elétrico. O estudo exemplifica a possibilidade de acompanhar alterações de desempenho de um componente. Seus resultados, entretanto, não autorizam estabelecer um prazo único de substituição para capacitores empregados em circuitos e regimes distintos.

Como interpretação aplicada, recomenda-se registrar a carga e a condição térmica junto das medições de uma fonte. A comparação entre ensaios realizados em estados operacionais diferentes pode produzir uma falsa percepção de degradação. Uma anomalia de alimentação deve ser examinada no conjunto formado por fonte, carga e ambiente, antes de atribuir o problema a um único componente.

2.2 Falhas intermitentes e interfaces entre módulos

Falhas intermitentes exigem descrição do evento que permita orientar tentativas de reprodução. Neste artigo, propõe-se registrar se a ocorrência depende da partida, de uma mudança de carga, do tempo de funcionamento ou de uma interação com outro módulo. Esses dados delimitam hipóteses e ajudam a escolher o momento em que uma medição pode capturar o desvio.

Um sintoma não identifica necessariamente sua origem. Reinicializações, por exemplo, podem levar à investigação da alimentação, do sinal de reset ou do comportamento do software. A escolha entre essas hipóteses exige evidências adicionais. O diagnóstico deve evitar transformar uma associação temporal em conclusão causal antes de verificar as interfaces envolvidas.

Também se recomenda diferenciar ausência de reprodução e ausência de defeito. Um equipamento que funciona durante uma observação breve pode não ter sido submetido às condições que desencadearam o evento. O relatório deve registrar o tempo de observação e as condições testadas, delimitando o alcance da conclusão.

2.3 Descargas eletrostáticas durante intervenções

A EOS/ESD Association (s.d.) descreve como descargas eletrostáticas podem danificar dispositivos sensíveis por transferência de carga a partir de pessoas, ferramentas ou outros objetos. A associação distingue danos que provocam falha imediata de alterações que podem comprometer o componente sem manifestação imediata. O manuseio é, portanto, uma etapa relevante para a preservação do equipamento.

Na organização da manutenção, propõe-se incluir a verificação das condições de proteção eletrostática antes de manipular placas e componentes sensíveis. Os recursos utilizados devem ser adequados ao ambiente de trabalho e às especificações do produto. Essa medida precisa coexistir com os procedimentos de segurança elétrica, respeitando a condição de energização e os riscos presentes em cada tarefa.

3. Métodos e instrumentos para o diagnóstico

O diagnóstico de falhas em sistemas eletrônicos consiste na investigação de desvios de funcionamento para identificar o subsistema afetado e determinar suas possíveis causas. Esse processo exige relacionar os sintomas observados às condições de operação e às informações obtidas por inspeções e testes. A seleção dos métodos deve considerar a arquitetura do equipamento, a natureza da falha e a disponibilidade de dados para sua análise (KUMAR; PECHT, 2010).

A investigação começa pela caracterização do comportamento esperado e pela descrição do problema apresentado. A inspeção visual pode revelar indícios que orientam os testes, mas precisa ser complementada por verificações capazes de confirmar ou descartar as hipóteses formuladas. Dessa forma, o diagnóstico deve estabelecer uma relação verificável entre o desvio identificado e a intervenção proposta.

Os instrumentos de medição permitem examinar aspectos distintos do funcionamento do circuito. Enquanto o multímetro auxilia na verificação de grandezas elétricas, o osciloscópio permite observar sua variação ao longo do tempo. A confiabilidade dessas informações depende da escolha das sondas, das conexões e das configurações de aquisição, que podem influenciar o resultado da medição (TEKTRONIX, s.d.).

A interpretação dos resultados deve considerar as especificações do equipamento e as condições em que os testes foram realizados. A combinação entre inspeção, medições elétricas e observação térmica fornece evidências para orientar a correção. Após a intervenção, a validação funcional deve verificar se o equipamento voltou a atender aos requisitos que motivaram o diagnóstico.

3.1 Inspeção e formulação de hipóteses

A proposta de diagnóstico começa pela identificação do equipamento, da versão de hardware e da configuração utilizada. Em seguida, registra-se o comportamento esperado e a descrição do desvio observado. Essa comparação define a falha funcional que será investigada e evita que uma característica normal de operação seja classificada como defeito.

A inspeção visual pode orientar a seleção dos pontos de teste, mas seus achados devem ser tratados como indícios. Uma alteração aparente em um componente exige verificação da relação entre esse componente e o sintoma. Do mesmo modo, a ausência de sinais visuais não encerra a investigação de alterações elétricas ou funcionais.

Sugere-se elaborar poucas hipóteses iniciais e indicar, para cada uma, uma observação capaz de confirmá-la ou enfraquecê-la. Em uma falha de partida, por exemplo, a hipótese de alimentação insuficiente requer observar a alimentação durante a tentativa de inicialização. A formulação explícita do teste torna a investigação mais auditável e reduz a substituição de módulos por tentativa.

3.2 Medições elétricas e qualidade da aquisição

O multímetro e o osciloscópio respondem a perguntas diferentes. Uma leitura estável de tensão contínua não descreve necessariamente a presença de transientes ou ondulação. A nota de aplicação da Tektronix (s.d.) discute como a escolha de sondas, a conexão e a atenuação influenciam medições de tensão em conversores de potência. Uma aquisição inadequada pode confundir características do instrumento com o comportamento do circuito.

Na interpretação proposta, todo registro de forma de onda deve incluir o ponto de teste, a referência utilizada, a configuração da sonda e a condição de carga. Em medições flutuantes, a conexão de referência exige avaliação específica e recursos apropriados; a documentação da Tektronix (s.d.) aborda a utilização de sondas diferenciais nesse contexto. A adequação da medição precisa ser estabelecida antes da interpretação do sinal.

Um resultado também depende de um critério de comparação. Recomenda-se utilizar especificações do fabricante, documentação do projeto ou uma condição de referência previamente caracterizada. Quando não há limite de aceitação conhecido, o relatório deve descrever o desvio observado sem converter arbitrariamente a diferença em diagnóstico definitivo.

3.3 Verificação térmica e validação funcional

Neste estudo, a observação térmica é proposta como informação complementar à medição elétrica. Temperaturas devem ser comparadas em condições equivalentes de carga, ventilação e tempo de estabilização. Um ponto mais quente pode orientar uma hipótese, mas não determina isoladamente se o aquecimento representa operação prevista ou defeito.

A validação funcional verifica se a intervenção restabeleceu o requisito que motivou o atendimento. O teste deve reproduzir, quando viável, as condições associadas à falha e observar efeitos sobre outros subsistemas. Substituir uma peça e constatar que o equipamento liga demonstra apenas uma parte do funcionamento; o critério de liberação precisa refletir as funções relevantes.

Recomenda-se encerrar o atendimento com a identificação da hipótese confirmada, da ação realizada e do resultado do teste. Se a causa permanece incerta, essa incerteza deve constar no registro. A diferença entre reparo confirmado e correção provisória é necessária para orientar o acompanhamento posterior.

4. Seleção de variáveis e interpretação de tendências

Monitorar a condição significa observar indicadores associados ao estado do sistema; diagnosticar significa interpretar alterações e localizar uma falha; prognosticar envolve estimar a evolução futura da degradação. Kumar e Pecht (2010) discutem a seleção de modelos de gestão da saúde de sistemas eletrônicos segundo requisitos de aplicação. A escolha do modelo exige compatibilidade com os dados e com o nível de conhecimento disponível sobre o sistema.

Como proposta para o recorte analisado, o monitoramento deve começar por variáveis que tenham uma relação técnica explícita com o problema investigado. Temperatura, estabilidade da alimentação e contagem de eventos podem ser úteis em contextos diferentes. A coleta de muitos sinais sem hipótese de interpretação aumenta o volume de dados, mas não estabelece automaticamente uma base de decisão.

Uma tendência deve ser avaliada considerando mudanças de utilização. Se um equipamento passa a operar com carga maior, uma alteração térmica não demonstra necessariamente envelhecimento. Propõe-se separar os registros por regime de operação e verificar a consistência dos sensores antes de definir alertas. A linha de base precisa representar o funcionamento conhecido do equipamento em condições documentadas.

4.1 Modelos preditivos e limites de aplicação

Zhu et al. (2024) revisam arquiteturas e métodos de manutenção preditiva, incluindo aprendizado de máquina e aprendizado profundo. A diversidade de métodos não dispensa a avaliação de sua utilidade para uma decisão

concreta. Um modelo que classifica anomalias precisa demonstrar desempenho em condições representativas da aplicação, além de produzir resultados interpretáveis para a manutenção.

Vogl, Weiss e Helu (2016) destacam a importância de verificação, validação e avaliação de custo-benefício em sistemas de diagnóstico e prognóstico para manufatura. No presente artigo, interpreta-se esse ponto como uma exigência de separar desenvolvimento e aplicação: desempenho obtido em um conjunto de dados não comprova, por si só, a eficácia operacional de uma rotina de manutenção.

Recomenda-se que a adoção de um modelo considere a disponibilidade de histórico, a qualidade dos rótulos de falha e as consequências de alarmes incorretos. Falsos positivos podem gerar intervenções desnecessárias; falsos negativos podem deixar de sinalizar um desvio relevante. A decisão sobre limiares deve considerar essas consequências e prever revisão quando o equipamento ou seu regime de utilização mudar.

5. *Proposta de procedimento de manutenção*

A partir da síntese bibliográfica, propõe-se organizar a manutenção em um ciclo que começa na definição da função e termina na atualização do histórico. O Quadro 1 apresenta as etapas e os registros correspondentes. O procedimento é uma elaboração do presente estudo e requer validação em aplicações reais antes de ser utilizado como rotina institucional.

As etapas possuem uma dependência lógica: o sintoma orienta as hipóteses, as hipóteses orientam os testes e os testes justificam a intervenção. Uma ação preventiva decorrente do atendimento deve abordar a causa identificada ou uma condição que contribuiu para o evento. Quando a investigação permanece inconclusiva, a medida indicada pode ser ampliar o acompanhamento, em vez de fixar uma troca periódica sem fundamento.

Etapas	Finalidade	Registro mínimo
Caracterização	Definir função e desvio observado	Identificação, configuração, sintoma e contexto
Planejamento	Selecionar hipóteses e testes	Hipótese, variável e critério de comparação
Inspeção e medição	Obter evidências do estado do sistema	Condições de teste, instrumentos e resultados
Decisão e intervenção	Relacionar a ação às evidências	Justificativa, componentes e alterações realizadas
Validação	Verificar a restauração da função	Requisitos testados e resultado da verificação
Atualização preventiva	Orientar o acompanhamento seguinte	Causa confirmada ou incerteza e tarefa proposta

Quadro 1 — Proposta de integração entre prevenção e diagnóstico

5.1. *Registros e avaliação dos resultados*

O registro de manutenção deve permitir reconstruir a decisão tomada. Propõe-se utilizar identificação única do equipamento e relacionar cada ocorrência ao histórico de funcionamento. É necessário distinguir o componente substituído da causa confirmada, pois o primeiro descreve uma ação, enquanto a segunda explica por que a falha ocorreu.

Para avaliar uma rotina aplicada, recomenda-se acompanhar a recorrência de falhas semelhantes, o tempo de indisponibilidade e a proporção de intervenções com validação funcional registrada. Cada indicador exige definição do período observado, da população de equipamentos e da forma de contagem. Comparações entre períodos precisam considerar diferenças de utilização e mudanças na composição do parque instalado.

A proposta não atribui ganhos numéricos a esses indicadores. Uma pesquisa posterior poderá comparar uma rotina inicial com o procedimento estruturado, registrando também custos e intervenções desnecessárias. Esse desenho permitiria avaliar se a melhoria dos registros e dos testes se traduz em resultados operacionais, em vez de presumir benefícios a partir da simples adoção do procedimento.

IV. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O artigo analisou a integração entre manutenção preventiva e diagnóstico de falhas em sistemas eletrônicos por meio de revisão bibliográfica narrativa. A discussão respondeu à questão de pesquisa ao propor que essa integração seja organizada pela relação entre função exigida, mecanismo de falha, evidência obtida e validação da intervenção.

A distinção entre manutenção programada, monitoramento de condição e prognóstico permite selecionar tarefas segundo sua finalidade. A análise também mostrou a necessidade de interpretar medições em condições documentadas e de evitar que um sintoma ou uma substituição de componente seja tratado como confirmação

automática da causa. Esses critérios sustentam o procedimento apresentado, cuja contribuição é tornar a decisão de manutenção rastreável.

Conclui-se que a prevenção pode ser aprimorada quando os resultados do diagnóstico alimentam o planejamento seguinte. A aplicação dessa relação depende da qualidade dos registros e da existência de critérios de aceitação adequados ao equipamento. O uso de modelos preditivos requer, adicionalmente, dados representativos e validação compatível com a decisão operacional.

As limitações decorrem do caráter narrativo da revisão e da ausência de testes de campo. Não foram demonstrados aumento de confiabilidade, extensão de vida útil ou redução de custos. Como continuidade, recomenda-se avaliar o procedimento em equipamentos definidos, com registro de falhas e condições de utilização, para verificar sua utilidade e ajustar os critérios de intervenção.

Referências Bibliográficas

- [1] CELAYA, Jose R.; KULKARNI, Chetan S.; BISWAS, Gautam; GOEBEL, Kai. Towards a model-based prognostics methodology for electrolytic capacitors: a case study based on electrical overstress accelerated aging. In: FIRST EUROPEAN CONFERENCE OF THE PROGNOSTICS AND HEALTH MANAGEMENT SOCIETY, 2012, Dresden. NASA Technical Reports Server, documento 20120016746, 2012. Disponível em: <https://ntrs.nasa.gov/citations/20120016746>. Acesso em: 8 out. 2026.
- [2] EOS/ESD ASSOCIATION. EOS/ESD fundamentals part 1: an introduction to ESD. [s.d.]. Disponível em: <https://www.esda.org/esd-overview/esd-fundamentals/part-1-an-introduction-to-esd/>. Acesso em: 8 out. 2026.
- [3] KUMAR, Sachin; PECHT, Michael. Modeling approaches for prognostics and health management of electronics. *International Journal of Performability Engineering*, v. 6, n. 5, p. 467–476, 2010. Disponível em: https://web.calce.umd.edu/articles/free/modeling_approaches_PHM.pdf. Acesso em: 8 out. 2026.
- [4] NASA. NASA reliability-centered maintenance guide for facilities and collateral equipment. Washington, DC: NASA, set. 2008. Disponível em: <https://www.nasa.gov/wp-content/uploads/2023/06/nasa-rcmguid.pdf>. Acesso em: 8 out. 2026.
- [5] TDK. Aluminum electrolytic capacitors for DC link in on-board charger applications. Application Note, mar. 2023. Disponível em: <https://product.tdk.com/en/techlibrary/applicationnote/aluminum-electrolytic-for-dc-link-in-on-board-charger.html>. Acesso em: 8 out. 2026.
- [6] TEKTRONIX. Probing techniques for accurate voltage measurements on power supplies with oscilloscopes. Application Note, [s.d.]. Disponível em: <https://www.tek.com/en/documents/application-note/probing-techniques-accurate-voltage-measurements-power-converters-oscillos>. Acesso em: 8 out. 2026.
- [7] VOGL, Gregory W.; WEISS, Brian A.; HELU, Moneer M. A review of diagnostic and prognostic capabilities and best practices for manufacturing. *Journal of Intelligent Manufacturing*, publicação online, 2016. DOI: 10.1007/s10845-016-1228-8. Disponível em: <https://www.nist.gov/publications/review-diagnostic-and-prognostic-capabilities-and-best-practices-manufacturing>. Acesso em: 8 out. 2026.
- [8] ZHU, Tianwen; RAN, Yongyi; ZHOU, Xin; WEN, Yonggang. A survey of predictive maintenance: systems, purposes and approaches. *arXiv*, versão 2, 22 mar. 2024. Preprint. DOI: 10.48550/arXiv.1912.07383. Disponível em: <https://arxiv.org/abs/1912.07383v2>. Acesso em: 8 out. 2026.