

INTERFERÊNCIAS, DISTÚRBIOS ELÉTRICOS EM MOTORES DE INDUÇÃO TRIFÁSICOS

Adrian Leite Bispo¹, Abraão Da Silva Souza², Louise Caroline Cupka Brathwaite Walters³, Luiz Henrique de Camargo Rochel⁴, Marlus Biela⁵, Fernando S. Smokovicz⁶

RESUMO

Neste trabalho abordamos a problemática sobre a queima de motores trifásicos em sistemas de refrigeração industrial, da empresa Eletrofrio. Ambientes com alta demanda de tecnologia, falhas elétricas representam risco significativo a continuidade operacional, podendo gerar perdas financeiras, perdas de produtos e prejuízos aos sistemas de controle. Dentro desse cenário, a ocorrência de distúrbios elétricos se destaca como uma das principais causas de falhas, exigindo análise mais profundas e com isso soluções mais técnicas e eficazes. O estudo se propõe em desenvolver uma solução de proteção elétrica capaz de mitigar essas falhas, indo além de simplesmente substituir componentes danificados. O objetivo geral é apresentar uma solução que aumente a confiabilidade e a segurança dos sistemas de refrigeração, sendo capaz de reduzir a incidência de queima de motores trifásico. Para alcançar o objetivo o trabalho foi estruturado em objetivos específicos que incluem, investigar as possíveis falhas, como variações de tensão, sobrecargas e problemas de qualidade de energia elétrica. Realizar análise teórica sobre as condições da rede elétrica e seu impacto nos equipamentos, avaliar as limitações das proteções atualmente utilizadas, além de propor melhorias técnicas capaz de prevenir ou minimizar os danos identificados. Adotou-se uma metodologia baseada em pesquisa de campo e pesquisa bibliográfica em sites como Google acadêmico e SciELO, nos permitindo uma análise prática e contextualizada da problemática. Com essa abordagem, temos as condições de uma melhor compreensão sobre as condições reais da operação, a fim de identificar falhas recorrentes e propor soluções alinhadas às necessidades da empresa.

Palavras-chave: Motores de indução trifásicos; Monitoramento de corrente; Proteção elétrica; CLP; Manutenção preditiva.

¹ Adrian Leite Bispo – Graduando do curso - Tecnologia em Automação Industrial - E-mail: adrianbispo@hotmail.com

² Abraão Da Silva Souza – Graduando do curso - Tecnologia em Automação Industrial - E-mail: abraaosouza621@gmail.com

³ Louise Caroline Cupka Brathwaite Walters – Graduando do curso - Tecnologia em Automação Industrial - E-mail: louisebwalters@gmail.com

⁴ Luiz Henrique de Camargo Rochel – Graduando do curso - Tecnologia em Automação Industrial - E-mail: Luizmac.lh@gmail.com

⁵ Marlus Biela – Graduando do curso - Tecnologia em Automação Industrial - E-mail: marlusbiela@bol.com.br

⁶ Fernando S. Smokovicz – Docente do curso - E-mail: fernando.smokovicz@sistemapiep.org.br

INTERFERENCE AND ELECTRICAL DISTURBANCES IN THREE-PHASE INDUCTION MOTORS

ABSTRACT

This paper addresses the issue of three-phase motor burnout in industrial refrigeration systems at the company Eletrofrio. In environments with high technological demand, electrical failures represent a significant risk to operational continuity, potentially causing financial losses, product losses, and damage to control systems. In this context, the occurrence of electrical disturbances stands out as one of the main causes of failures, requiring deeper analysis and more technical and effective solutions. The study aims to develop an electrical protection solution capable of mitigating these failures, going beyond simply replacing damaged components. The general objective is to present a solution that increases the reliability and safety of refrigeration systems, being capable of reducing the incidence of three-phase motor burnout. To achieve this objective, the work was structured around specific goals, including investigating possible failures such as voltage variations, overloads, and power quality problems. It also involves carrying out a theoretical analysis of the electrical network conditions and their impact on the equipment, evaluating the limitations of the protection systems currently used, and proposing technical improvements capable of preventing or minimizing the identified damages. The methodology adopted is based on field research and bibliographic research using sources such as Google Scholar and SciELO, allowing a practical and contextualized analysis of the problem. Through this approach, it is possible to achieve a better understanding of the real operating conditions in order to identify recurring failures and propose solutions aligned with the company's needs.

Keywords: Three-phase induction motors; Current monitoring; Electrical protection; PLC; Predictive maintenance.

1 INTRODUÇÃO

No atual panorama econômico globalizado, a automação industrial de grande porte desempenha um papel absolutamente vital na sustentabilidade e eficiência dos processos de engenharia térmica e conservação de ativos perecíveis. A estabilidade termodinâmica em plantas de distribuição logística e em redes de grande porte de supermercados depende intrinsecamente de sistemas robustos e ininterruptos de refrigeração industrial comercial. No centro dessas operações críticas encontram-se equipamentos de alta complexidade técnica desenvolvidos pela empresa Eletrofrio Refrigeração Ltda., uma organização industrial consolidada no cenário brasileiro há mais de cinco décadas e cuja infraestrutura fabril central localiza-se na Cidade Industrial de Curitiba (CIC). Os sistemas elétricos e térmicos integrados dessa natureza são constituídos por arranjos interdependentes de compressores alternativos ou de parafuso, condensadores evaporativos, redes de ventiladores axiais e sistemas eletrônicos de automação embarcada, cuja finalidade primária é a manutenção rigorosa das variáveis de temperatura para evitar perdas biológicas e contaminações sanitárias de alto custo financeiro.

A força motriz predominante em todas essas aplicações mecânicas fundamentais provém dos motores de indução trifásicos (MIT). Estas máquinas assíncronas rotativas são extensamente selecionadas pela engenharia industrial devido à sua notável robustez mecânica intrínseca, simplicidade operacional construtiva, ausência de escovas e escopo de manutenção simplificado sob condições nominais estáveis. Todavia, a operação contínua e ininterrupta em campo expõe rotineiramente esses enrolamentos estatóricos a condições operacionais severas de estresse dinâmico, incluindo ciclos repetitivos de partidas pesadas sob carga, flutuações severas nas demandas térmicas da planta e, fundamentalmente, severas instabilidades e anomalias térmicas oriundas do fornecimento de energia elétrica da rede de distribuição.

Historicamente, o monitoramento em campo dessas instalações industriais tem apontado um índice crítico e preocupante de falhas catastróficas associadas à queima de isolamento dos enrolamentos desses motores trifásicos. As consequências econômicas imediatas desses eventos transcendem significativamente o custo da

substituição ou do rebobinamento da máquina afetada, pois o colapso de um motor de compressor central interrompe de maneira imediata e irreversível a cadeia de frio essencial para a conservação. Essa descontinuidade operacional gera perdas em massa de produtos, interrupção das atividades comerciais dos estabelecimentos, penalidades fiscais e severos riscos sanitários aos consumidores. Adicionalmente, intervenções manuais subsequentes e não qualificadas por equipes de manutenção locais costumam agravar o problema original através de adulterações indevidas nos ajustes fixos dos dispositivos térmicos tradicionais e bypasses lógicos em disjuntores protetores.

Diante desse cenário complexo de distúrbios elétricos progressivos, transientes severos de rede e limitação física das abordagens tradicionais, o objetivo geral deste artigo científico consiste em propor o desenvolvimento e a implementação conceitual de uma camada adicional de proteção inteligente e monitoramento ativo e contínuo baseada na leitura em tempo real das correntes elétricas de fase de motores trifásicos acoplados a sistemas de compressores térmicos. Para a consolidação cabal desse propósito, este estudo delimitou como objetivos específicos a investigação pormenorizada das causas físicas e termodinâmicas que provocam a queima de enrolamentos, a análise teórica sistemática do impacto causado pela degradação da qualidade da energia elétrica, a avaliação crítica das deficiências e limites dos relés reativos convencionais de mercado, e o projeto detalhado de uma arquitetura de hardware e software programável utilizando Transformadores de Corrente (TCs) integrados a um Controlador Lógico Programável (CLP).

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O entendimento rigoroso dos fenômenos eletromagnéticos e térmicos que regem as máquinas assíncronas trifásicas constitui a base científica de sustentação deste artigo. O princípio de funcionamento do motor de indução assíncrono repousa integralmente na Lei da Indução de Faraday e nas interações de forças eletrodinâmicas nas ranhuras do estator. Quando o estator é adequadamente

alimentado por um sistema trifásico de tensões alternadas equilibradas e defasadas simetricamente no tempo pelo ângulo de 120 graus elétricos, estabelece-se um campo magnético girante uniforme cuja velocidade de rotação síncrona é determinada diretamente pela frequência elétrica da rede de alimentação e pelo número de polos magnéticos para os quais o motor foi projetado. Esse fluxo magnético variável atravessa o entreferro e corta os condutores do rotor que se encontram em curto-circuito, induzindo neles forças eletromotrizes intensas que dão origem a correntes induzidas e, por conseguinte, a campos magnéticos rotóricos. A interação entre o fluxo estatórico e o fluxo rotórico gera o torque eletromecânico necessário para rotacionar o eixo e acionar as pesadas cargas mecânicas de compressão de gases refrigerantes.

Contudo, o instante inicial de energização do motor assíncrono representa um período mecânico e térmico de extrema criticidade operacional. No exato instante da partida, com o rotor em estado de repouso absoluto, a força contraeletromotriz gerada internamente é nula, fazendo com que a máquina se comporte eletricamente como um transformador trifásico com o enrolamento secundário totalmente curto-circuitado. Esse fenômeno físico faz com que a corrente absorvida da rede elétrica nos momentos iniciais de aceleração atinja valores extremamente elevados, comumente variando de seis a oito vezes a magnitude de sua corrente nominal de placa. Em aplicações específicas de compressores industriais para engenharia térmica, nos quais a inércia mecânica inicial e a contrapressão gasosa nas câmaras de compressão impõem exigências adicionais de torque, esse pico transitório de corrente de partida pode assumir magnitudes substancialmente superiores, estendendo consideravelmente o tempo necessário para que a rotação da máquina alcance o regime permanente de operação estável.

De acordo com os preceitos normativos estabelecidos na NBR 5410, que regulamenta as instalações elétricas de baixa tensão no território brasileiro, a queda de tensão máxima tolerável nos terminais de um motor de indução durante o processo de partida não deve, sob hipótese alguma, ultrapassar o patamar rígido de 10% em relação à tensão nominal do sistema de alimentação. Todavia, a realidade física encontrada nas redes elétricas comerciais de supermercados e centros atacadistas frequentemente viola essas diretrizes normativas de segurança devido ao

acionamento simultâneo e desordenado de múltiplas cargas indutivas pesadas, à excessiva distância geométrica entre as centrais de compressores e as cabines de transformação primária, ou à utilização inadvertida de condutores com secção transversal subdimensionada. O torque gerado por um motor elétrico assíncrono exibe uma dependência direta e quadrática em relação à tensão elétrica aplicada aos seus terminais estatóricos; dessa forma, uma redução aparentemente sutil de apenas 10% na tensão efetiva da rede é fisicamente capaz de deflagrar uma perda imediata de aproximadamente 19% no torque útil disponível no eixo magnético da máquina. Sob condições de torque reduzido, o motor é incapaz de vencer com agilidade a resistência mecânica imposta pela carga frigorífica, prolongando o intervalo de tempo sob regime de alta corrente de partida e acelerando o processo de aquecimento joule nos enrolamentos.

O desequilíbrio térmico e elétrico provocado por anomalias na qualidade da energia elétrica é amplamente referenciado na literatura técnica como o principal vetor de falhas prematuras em condutores isolados. As conclusões científicas consolidadas por Severo (2020) elucidam que a ocorrência de um desequilíbrio de tensão sutil de meros 2% na entrada da rede de alimentação é termodinamicamente capaz de induzir um desequilíbrio severo e desproporcional de até 10% nas correntes elétricas efetivas que circulam pelas fases estatóricas do motor. Esse desbalanço acentuado rompe a simetria eletromagnética interna, originando componentes de corrente de sequência negativa que produzem um campo magnético girante oposto ao sentido de rotação útil do rotor. Este campo magnético reverso não contribui para a geração de torque útil, convertendo a energia elétrica excedente em forças de frenagem mecânica, vibrações de alta frequência, ruídos acústicos anômalos e, fundamentalmente, em severos gradientes de calor localizado que degradam as propriedades poliméricas do verniz isolante das espiras de cobre.

Além do desequilíbrio na frequência fundamental da rede, a proliferação em larga escala de cargas eletrônicas não lineares no ambiente industrial — tais como computadores industriais, sistemas complexos de iluminação baseados em diodos emissores de luz (LED), fontes chaveadas e conversores estáticos de potência instalados nos checkouts — introduz severas distorções harmônicas de tensão e

corrente ao longo de todo o sistema elétrico. Conforme investigado por Lima (2016), a superposição dessas correntes harmônicas de alta frequência sobre a onda senoidal pura de 60 Hz eleva substancialmente as perdas por efeito pelicular (skin effect) nos condutores e intensifica as perdas por correntes parasitas de Foucault e por histerese magnética no interior do núcleo de chapas de aço silício do estator. O resultado combinado desse fenômeno com os distúrbios transitórios de manobra da concessionária e surtos atmosféricos é o comprometimento gradual e irreversível da rigidez dielétrica do verniz isolante, favorecendo o surgimento de curtos-circuitos entre espiras vizinhas de uma mesma bobina ou falhas francas de isolamento para a carcaça metálica aterrada da máquina.

Para conter a evolução desses danos térmicos e garantir a integridade dos ativos industriais, a norma técnica internacional ANSI/IEEE C37.2 padroniza de maneira precisa as funções matemáticas de proteção aplicáveis aos sistemas elétricos de potência, atribuindo designações numéricas específicas para cada modalidade de falha monitorada. De acordo com as formulações de Bulgarelli (2006), a metodologia de proteção térmica idealizada para motores industriais de alta responsabilidade operacional não deve depender de atuações estáticas baseadas exclusivamente em limites fixos de corrente instantânea, mas deve modelar continuamente a temperatura interna dos enrolamentos através de algoritmos matemáticos baseados no histórico térmico e na integral de calor por efeito Joule, método padronizado pela Função ANSI 49 (Proteção Térmica por Imagem). A Tabela 1 sintetiza as principais funções analíticas normalizadas indispensáveis para a salvaguarda de motores de indução trifásicos.

Tabela 1 - Funções de Proteção ANSI/IEEE C37.2 aplicáveis a motores industriais

Função ANSI	Descrição Detalhada e Aplicabilidade Técnica da Função
27	Subtensão: Monitora a queda severa na tensão eficaz de linha, evitando a perda excessiva de torque útil e o consequente travamento ou prolongamento da partida do motor.

Função ANSI	Descrição Detalhada e Aplicabilidade Técnica da Função
37	Subcorrente: Detecta quedas bruscas na corrente de operação, indicativas de perda de carga mecânica, tais como quebra de correias ou falta de fluido refrigerante nas câmaras do compressor.
46	Desbalanço de Corrente: Mede a assimetria geométrica entre as correntes elétricas das três fases estatóricas, prevenindo o superaquecimento crítico induzido por correntes de sequência negativa.
49	Proteção Térmica por Imagem: Executa algoritmos preditivos recursivos baseados na relação Corrente x Tempo para simular computacionalmente a temperatura interna do cobre do estator.
50/51	Sobrecorrente Instantânea e Temporizada: Interrompe o circuito imediatamente em cenários de curto-circuito franco (50) ou atua de forma temporizada inversa (51) contra sobrecargas prolongadas.

Fonte: Adaptado pelos autores de IEEE C37.2 (2026).

3 METODOLOGIA

Para a consecução dos objetivos delineados, este trabalho adotou as premissas de uma pesquisa aplicada com abordagem eminentemente qualitativa e caráter predominantemente exploratório, operacionalizada por intermédio de um estudo de caso aprofundado na planta de engenharia de automação e painéis da empresa Eletrofrio Refrigeração Ltda. O delineamento metodológico foi rigorosamente estruturado em quatro etapas procedimentais complementares: a realização de diagnóstico técnico in loco, a condução de entrevistas informais estruturadas com especialistas da engenharia térmica, o levantamento bibliográfico sistemático e a análise técnica minuciosa dos projetos e esquemas elétricos das unidades condensadoras sob análise.

A etapa primária de coleta de dados em campo realizou-se por meio de uma visita técnica agendada às instalações industriais da fábrica da Eletrofrio localizada na Cidade Industrial de Curitiba (CIC), em 16 de março de 2026. Durante a estada na planta, obtiveram-se dados empíricos e relatos técnicos fundamentais através do

acompanhamento de rotinas e de entrevistas de caráter informal técnico com o corpo de especialistas seniores da empresa, englobando a Supervisora de Projetos Elétricos Deise Krupa, o projetista Bruno e o gerente de engenharia Robson Marson. As interações técnicas focaram no mapeamento do histórico de falhas reportadas pelas assistências técnicas autorizadas em campo e na inspeção física direta dos componentes de proteção de prateleira usualmente integrados aos quadros elétricos de comando padrão. Complementarmente, em 01 de abril de 2026, uma rodada adicional de discussões técnicas foi conduzida nas dependências acadêmicas da unidade de ensino do UniSenai CIC, visando consolidar as hipóteses elétricas formuladas e correlacioná-las com a literatura científica de qualidade de energia elétrica disponível nos repositórios digitais do Google Acadêmico e da rede SciELO.

Com o intuito de transpor o diagnóstico subjetivo inicial para uma estrutura de engenharia analítica robusta, a equipe técnica de pesquisadores aplicou de forma sistemática a ferramenta de gestão de qualidade dos "5 Porquês". Esta metodologia analítica permitiu rastrear os nexos de causalidade sucessiva que conectam o sintoma final visível em campo — a destruição física por queima térmica dos enrolamentos estatóricos do compressor — à sua verdadeira causa raiz eletrônica e gerencial, evidenciando as severas limitações cinemáticas das soluções de proteção puramente analógicas e térmicas reativas tradicionalmente fornecidas pelo mercado.

4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A investigação empírica associada ao levantamento teórico revelou de maneira inequívoca que as arquiteturas de proteção elétrica convencionalmente aplicadas aos painéis elétricos das unidades de refrigeração industrial — baseadas primordialmente em disjuntores termomagnéticos fixos e relés térmicos bimetálicos de sobrecarga — demonstram total ineficácia na mitigação de falhas elétricas lentas, progressivas ou de caráter eminentemente transitório de alta frequência. Os relés térmicos bimetálicos convencionais operam com base na deflexão mecânica resultante da dilatação térmica diferenciada de duas lâminas metálicas distintas quando aquecidas pela passagem da corrente elétrica circulante. Devido à sua elevada inércia térmica

intrínseca, esses dispositivos mecânicos de prateleira requerem um tempo de atuação consideravelmente longo para desarmar o circuito em cenários de sobrecarga leve, sendo completamente incapazes de registrar ou reagir a transientes de tensão severos de milissegundos ou a desequilíbrios de fase intermitentes que operam logo abaixo de seu limiar de disparo mecânico, mas cujos efeitos térmicos cumulativos são suficientes para degradar irreparavelmente o polímero isolante do motor.

Para solucionar de maneira definitiva essa lacuna tecnológica identificada na planta da Eletrofrío, este estudo projetou uma arquitetura ativa de monitoramento digital inteligente baseada em instrumentação eletrônica de precisão integrada a um Controlador Lógico Programável (CLP). O arranjo físico proposto consiste no acoplamento de três Transformadores de Corrente (TCs) de núcleo aberto nas linhas de potência trifásicas (L1, L2, L3) que alimentam o estator do motor do compressor frigorífico. Estes sensores operam por indução eletromagnética proporcional, reduzindo as correntes de potência elevadas para magnitudes seguras e encaminhando os sinais resultantes a transdutores eletrônicos de condicionamento de sinal. Os transdutores convertem a corrente alternada proporcional medida em sinais de instrumentação analógicos padronizados na faixa eletrônica de 4 a 20 mA. Esta faixa de corrente analógica foi estrategicamente selecionada por sua alta imunidade intrínseca contra ruídos e interferências eletromagnéticas (EMI) geradas pelos chaveamentos elétricos de potência no ambiente fabril, transmitindo as informações com total integridade dielétrica até as portas de entrada analógicas do CLP.

A inovação técnica diferencial introduzida por esta arquitetura repousa na inclusão deliberada de um quarto Transformador de Corrente (TC) independente no circuito, dimensionado para uma escala e relação de transformação substancialmente superior à dos sensores principais e dedicado de maneira exclusiva ao registro dinâmico dos regimes transitórios severos de partida do compressor. Os três TCs principais são calibrados com alta resolução para monitorar as variações sutis em regime permanente da máquina; por consequência, o pico instantâneo de corrente de partida (de 6 a 8 vezes a corrente nominal) provocaria inevitavelmente o fenômeno de saturação magnética de seus núcleos de aço silício, distorcendo gravemente a forma

de onda do sinal de instrumentação e gerando leituras digitais completamente errôneas no CLP. O quarto TC, operando em uma faixa de saturação estendida, permite ao algoritmo lógico do CLP capturar e plotar digitalmente com precisão cirúrgica a curva dinâmica de partida da máquina. Com esses dados em tempo real, a lógica interna programada do CLP calcula a integral do tempo de aceleração versus corrente efetiva, tornando-se perfeitamente capaz de diferenciar uma partida pesada normal de uma condição anômala de rotor travado ou falha de fase inicial, comandando o bloqueio seguro do circuito instantaneamente antes do colapso térmico.

Toda a lógica de proteção preditiva foi estruturada por meio do processamento computacional contínuo desses canais analógicos. O CLP executa recursivamente um algoritmo de varredura que calcula instantaneamente o desbalanceamento percentual entre as correntes das fases L1, L2 e L3. Caso o desequilíbrio calculado ultrapasse o limite de segurança emulado com base nas curvas de Severo (2020), o CLP dispara uma rotina preventiva de contagem de tempo inverso, gerando alarmes preditivos via rede industrial de comunicação ou comandando a abertura imediata dos contadores principais se a assimetria colocar em iminente risco a integridade dielétrica do motor. Para viabilizar a implementação física e gerencial dessa solução inovadora nas linhas de painéis elétricos padrão da Eletrofrio, o planejamento tático do projeto foi estruturado detalhadamente seguindo os critérios objetivos da metodologia 5W2H, conforme sistematizado no Quadro 1.

Quadro 1 - Planejamento Estruturado 5W2H para o Sistema de Monitoramento CLP

Diretriz Analítica	Detalhamento Técnico e Operacional da Execução no Projeto
What (O quê?)	Desenvolvimento e integração de um sistema ativo de monitoramento dinâmico de corrente trifásica utilizando TCs instrumentados e algoritmos de proteção via lógica programável em CLP.
Why (Por quê?)	Para sanar as limitações físicas dos relés térmicos analógicos tradicionais, inserindo uma camada preditiva imune a saturações e apta a diagnosticar desequilíbrios sutis antes da queima.

Diretriz Analítica	Detalhamento Técnico e Operacional da Execução no Projeto
Who (Quem?)	A concepção e parametrização lógica a cargo da equipe de engenheiros e desenvolvedores da Eletrofrio associada ao corpo discente de Automação Industrial do UniSenai CIC.
Where (Onde?)	Montagem eletrotécnica realizada diretamente no interior dos painéis modulares de controle centrais que integram as unidades condensadoras industriais fornecidas aos clientes.
When (Quando?)	A execução seguirá o cronograma tático interno de engenharia da empresa, englobando fases sucessivas de simulação em bancada laboratorial, testes de transientes e validação de campo.
How (Como?)	Através da fixação dos TCs nas barras de alimentação, cabeamento blindado dos sinais de 4-20 mA até os cartões analógicos do CLP e programação das sub-rotinas de proteção ANSI.
How Much (Quanto?)	O custo estimado figura-se plenamente absorvível pelo orçamento corporativo de pesquisa, desenvolvimento e melhoria contínua da Eletrofrio, apresentando altíssimo retorno sobre o investimento.

Fonte: Autores (2026).

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A transição definitiva das abordagens clássicas de proteção elétrica puramente reativas para um ecossistema integrado de monitoramento digital inteligente atende com absoluta precisão às premissas tecnológicas e operacionais que fundamentam o advento da Indústria 4.0. O protótipo conceitual desenvolvido ao longo deste artigo científico demonstrou-se plenamente viável do ponto de vista de engenharia de hardware e promissor quanto à sua aplicabilidade prática em campo, logrando êxito na identificação matemática antecipada de anomalias operacionais de rede elétrica e distúrbios dinâmicos de partida substancialmente antes que os condutores do estator atinjam o limite térmico crítico destrutivo do verniz de isolamento. O armazenamento histórico continuado dos perfis de corrente gerados pelas rotinas lógicas do CLP estabelece uma ferramenta científica de alta Rastreabilidade técnica para as engenharias da Eletrofrio, blindando o projeto original contra intervenções mecânicas ou elétricas indevidas realizadas por pessoal local não qualificado.

Como recomendações e direcionamentos científicos para o prosseguimento e evolução deste projeto de pesquisa aplicada, sugere-se fortemente a integração física direta de sensores térmicos resistivos do tipo RTD (PT100) imersos diretamente no interior das ranhuras do estator durante o processo de fabricação dos motores, viabilizando a correlação matemática em tempo real entre a curva de elevação de corrente medida e a elevação térmica real do cobre. Adicionalmente, recomenda-se fortemente o desenvolvimento de telas gráficas dinâmicas de supervisão local por meio da incorporação de Interfaces Homem-Máquina (IHM) robustas ou sistemas supervisórios SCADA distribuídos via redes industriais de comunicação industrial, permitindo que as equipes técnicas locais visualizem relatórios de tendências históricas das correntes de partida e operem diagnósticos preventivos integrados de forma totalmente ágil e digital.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5410: Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.

BULGARELLI, Roberval. **Proteção térmica de motores de indução trifásicos industriais**. 2006. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3143/tde-01122006-134918/>>. Acesso em: 18 mai. 2026.

IEEE. **IEEE Standard Electrical Power System Device Function Numbers and Contact Designations - ANSI/IEEE C37.2**. New York: IEEE, 2008. Disponível em: <<https://standards.ieee.org/ieee/C37.2/4293/>>. Acesso em: 18 mai. 2026.

LIMA, Ênio Camilo de. **Diagnóstico de motores de indução trifásicos operando em redes desequilibradas e distorcidas**. 2016. Dissertação (Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2016.

PRAXEDES, Marcos Fernando. **A evolução dos sistemas de partida dos motores elétricos de indução trifásico**. 2011. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade São Francisco, Itatiba, 2011.

SEVERO, Dhébora Sayonara de Moraes. **Estudo da máquina de indução trifásica operando com tensões desequilibradas e distorcidas**. 2020. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2020.

WEG. **Danos em enrolamentos de motores trifásicos: guia de identificação.** Jaraguá do Sul: WEG, 2016. Disponível em: <<https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h0b/hbf/WEG-danos-em-enrolamentos-motores-trifasicos-50009255-brochure-portuguese-web.pdf>>. Acesso em: 18 mai. 2026.



Esta obra está licenciada com Licença Creative Commons Atribuição-Não Comercial 4.0 Internacional.
[Recebido/Received: Dezembro 18 2024; Aceito/Accepted: Janeiro 29, 2025]