

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE MAUÁ**

**FACULDADE DE TECNOLOGIA DE MAUÁ
CURSO DE TECNOLOGIA DE FABRICAÇÃO MECÂNICA**

**FLÁVIO PEREIRA DE SOUZA
LUIS FERNANDO GOMES PARMEZANI
THIAGO REAIS CONCEIÇÃO**

***RETROFIT* DE SERRA DE FITA:
MELHORIA DO DESEMPENHO E ADEQUAÇÃO A NR10**

**MAUÁ
2026**

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE MAUÁ**

***RETROFIT DE SERRA DE FITA:*
MELHORIA DO DESEMPENHO E ADEQUAÇÃO A NR10**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)
apresentado à FATEC Mauá, como parte dos
requisitos para obtenção do Título de Tecnólogo
em fabricação mecânica.

Orientador(a): Prof. Dr. Wil Robson Rodrigues de
Brito

Prof. Dr. Wil Robson Rodrigues de Brito

Autorizo a reprodução e a divulgação deste trabalho, no todo ou em parte, por qualquer meio convencional ou eletrônico, exclusivamente para fins de estudo e pesquisa, desde que a fonte seja citada.

Catálogo-na-Publicação – Biblioteca Fatec Mauá

621.816

S729r Souza, Flavio Pereira de.

Retrofit de serra de fita : melhoria do desempenho e adequação a NR10 / Flavio Pereira de Souza ; Luis Fernando Gomes Parmezani ; Thiago Reis Conceição. – 2026.
54 p. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Esp. Wil Robson Rodrigues de Brito.

Trabalho de conclusão de curso (Curso Superior de Tecnologia em Fabricação Mecânica) – Faculdade de Tecnologia de Mauá.

Referências: p. 53-54.

1. Retrofit elétrico. 2. Serra de fita. 3. Segurança elétrica. 4. NR10 (norma). 5. NR12 (norma). 6. Fabricação mecânica. I. Parmezani, Luis Fernando Gomes. II. Conceição, Thiago Reis. III. Brito, Wil Robson Rodrigues de. IV. Título.

CDD 23. : Máquinas: manutenção e reparos 621.816

Instalações elétricas 621.31924

Elaborada por Tatiana Sambinelli CRB-8 SP-011003/O

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE MAUÁ**

**FLÁVIO PEREIRA DE SOUZA
LUIS FERNANDO GOMES PARMEZANI
THIAGO REAIS CONCEIÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado
à FATEC Mauá, como parte dos requisitos para
obtenção do Título de Tecnólogo em Fabricação
Mecânica.

Aprovação em: Data.

Prof.(a) Esp. Wil Robson Rodrigues de Brito
Orientador
FATEC Mauá

Prof.(a) Dr. Carlos Fernandes da Silva
Avaliador
FATEC Mauá

Prof.(a) Me. Leandro da Silva Oliveira
Avaliador
FATEC Mauá

RESUMO

O presente trabalho aborda o processo de *retrofit* elétrico aplicado à serra de fita horizontal Cosen MH-270M, equipamento instalado no laboratório de processos de fabricação da Faculdade de Tecnologia de Mauá (FATEC Mauá), com o objetivo de promover a modernização dos sistemas de acionamento e comando, a adequação às exigências da Norma Regulamentadora NR10 e a implementação dos requisitos elétricos de segurança funcional previstos na NR12. A pesquisa caracterizou-se como de natureza aplicada, com abordagem qualitativa e delineamento de estudo de caso único, conduzido a partir de inspeção técnica *in loco*, análise documental do manual do fabricante e levantamento sistemático de riscos elétricos do equipamento. O diagnóstico técnico revelou um cenário de obsolescência elétrica multidimensional, com não conformidades críticas distribuídas por todos os subsistemas elétricos da máquina, abrangendo a ausência de disjuntor exclusivo no circuito de alimentação, a inexistência de chave seccionadora com bloqueio para aplicação do procedimento *LOTO*, a continuidade de aterramento comprometida por conexões deterioradas, a ausência de identificação padronizada dos condutores no interior do painel de comando, o capacitor do motor auxiliar com especificação incompatível e a inexistência de circuito de parada de emergência com categoria de segurança definida. Com base nesse diagnóstico, foram executadas intervenções sistemáticas que compreenderam a substituição do motor principal com verificação de isolamento, a substituição do capacitor da bomba auxiliar com medição de corrente e rotação em regime, a instalação de disjuntor exclusivo e chave seccionadora com bloqueio *LOTO*, a reestruturação do sistema de aterramento com verificação instrumentada de continuidade, a reorganização e reidentificação dos condutores do painel conforme a NBR 5410, a instalação de relé de segurança monitorado para a função de parada de emergência e a elaboração do diagrama elétrico atualizado do equipamento. Os resultados obtidos demonstraram a recuperação plena da conformidade elétrica do equipamento, com eliminação de todas as não conformidades identificadas e atendimento integral aos requisitos da NR10 e aos requisitos elétricos de segurança funcional da NR12. Conclui-se que o *retrofit* elétrico planejado e executado de forma sistemática constitui estratégia técnica e economicamente viável para a preservação e modernização de ativos industriais em instituições de ensino, sendo recomendada, como continuidade deste trabalho, a implementação de um sistema de controle baseado em Controlador Lógico Programável (CLP), a instalação de inversor de frequência para controle variável da velocidade de corte e a extensão da metodologia aplicada aos demais equipamentos do laboratório de fabricação da FATEC Mauá.

Palavras-chave: *retrofit* elétrico; serra de fita; segurança elétrica; nr10; nr12; fabricação mecânica.

ABSTRACT

This study addresses the electrical retrofit process applied to the Cosen MH-270M horizontal band saw machine, installed in the manufacturing processes laboratory of the Faculdade de Tecnologia de Mauá (FATEC Mauá), with the aim of modernizing the drive and control systems, ensuring compliance with Regulatory Standard NR10, and implementing the electrical functional safety requirements set forth in NR12. The research was characterized as applied in nature, with a qualitative approach and a single case study design, conducted through on-site technical inspection, documentary analysis of the manufacturer's manual, and systematic electrical risk assessment of the equipment. The technical diagnosis revealed a multidimensional electrical obsolescence scenario, with critical non-conformities distributed across all electrical subsystems of the machine, encompassing the absence of a dedicated circuit breaker in the power supply circuit, the lack of a lockable disconnecting switch for the application of the LOTO procedure, compromised grounding continuity due to deteriorated connections, the absence of standardized conductor identification inside the control panel, an auxiliary motor capacitor with incompatible specifications, and the lack of an emergency stop circuit with a defined safety category. Based on this diagnosis, systematic interventions were carried out, comprising the replacement of the main motor with insulation resistance verification, the replacement of the auxiliary pump capacitor with current and speed measurements under steady-state conditions, the installation of a dedicated circuit breaker and a LOTO-compatible lockable disconnecting switch, the restructuring of the grounding system with instrumented continuity verification, the reorganization and reidentification of panel conductors in accordance with NBR 5410, the installation of a monitored safety relay for the emergency stop function, and the elaboration of an updated electrical diagram of the equipment. The results demonstrated full recovery of the equipment's electrical compliance, with elimination of all identified non-conformities and complete adherence to the requirements of NR10 and the electrical functional safety requirements of NR12. It is concluded that a systematically planned and executed electrical retrofit constitutes a technically and economically viable strategy for the preservation and modernization of industrial assets in educational institutions. As a continuation of this work, the implementation of a Programmable Logic Controller (PLC)-based control system, the installation of a variable frequency drive for cutting speed control, and the extension of the applied methodology to the remaining equipment in the FATEC Mauá manufacturing laboratory are recommended.

Keywords: electrical retrofit; band saw; electrical safety; nr10; nr12; mechanical manufacturing.

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Intervenções realizadas...	65
--	-----------

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Motor que foi substituído da serra.....	37
Figura 2 - Ligação do motor	38
Figura 3 - Capacitor da bomba.....	39
Figura 4 - Medição da corrente da bomba	40
Figura 5 - Instalação da bomba.....	40
Figura 6 - Medição do RPM da bomba	41
Figura 7 - Instalação da serra em um disjuntor separado	42
Figura 8 - Instalação da chave seletora lockout tagout	42
Figura 9 - Chave seletora lockout tagout	43
Figura 10 - Pannel antes do relé de segurança NR12.....	43
Figura 11 - Pannel com relé NR12.....	44
Figura 12 - Diagrama do relé de segurança NR12	45
Figura 13 - Diagrama elétrico.....	45

LISTA DE SIGLAS

ABNT — Associação Brasileira de Normas Técnicas

CLP — Controlador Lógico Programável

FATEC — Faculdade de Tecnologia

HP — Horsepower (Cavalo-Vapor)

LOTO — Lockout/Tagout (Bloqueio e Sinalização)

MH — Manual Horizontal (denominação da série do equipamento Cosen)

mA — Miliampère (unidade de medida de corrente elétrica)

NBR — Norma Brasileira

NR — Norma Regulamentadora

NR10 — Norma Regulamentadora n.º 10 — Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade

NR12 — Norma Regulamentadora n.º 12 — Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos

PLC — Programmable Logic Controller (Controlador Lógico Programável)

RPM — Rotações Por Minuto

TCC — Trabalho de Conclusão de Curso

TPI — Teeth Per Inch (Dentes por Polegada)

V — Volt (unidade de tensão elétrica)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA.....	10
1.2 OBJETIVOS	11
1.3 JUSTIFICATIVA.....	11
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA	12
1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	13
2 REVISÃO DA LITERATURA.....	15
2.1 CONCEITOS DE RETROFIT EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS.....	16
2.2 NR10: SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE...	18
2.3 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E SECCIONAMENTO CONFORME NBR 5410 E NR10	20
2.4 RISCOS ELÉTRICOS EM MÁQUINAS-FERRAMENTA E MEDIDAS DE CONTROLE.....	23
2.5 SERRA DE FITA E DINÂMICA DE CORTE.....	25
3 METODOLOGIA DA PESQUISA	28
3.1 O PROTOCOLO PARA O ESTUDO DE CASOS	29
3.2 O DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	30
4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS	32
4.1 IMPORTÂNCIA DO EQUIPAMENTO DENTRO DA EMPRESA	33
4.2 PROBLEMÁTICA.....	34
4.3 MELHORIAS E RESULTADOS	36
4.3.1 Substituição do Motor Principal	36
4.3.2 Substituição e Verificação do Capacitor da Bomba Auxiliar	38
4.3.3 Instalação do Disjuntor Exclusivo e da Chave Seccionadora LOTO	41
4.3.4 Modernização do Painel de Comando e Instalação do Relé de Segurança	43
4.3.5 Elaboração do Diagrama Elétrico Atualizado	45
4.3.6 Estado Final do Equipamento e Validação Operacional.....	46
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	50
REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

O processo de corte em metais por meio de serras de fita horizontais é uma etapa fundamental na cadeia de fabricação mecânica, exigindo precisão dimensional e estabilidade operativa. No modelo Cosen MH-270M, essa estabilidade depende diretamente da integridade de sua infraestrutura elétrica e de comando. Entretanto, o desgaste natural de componentes e a obsolescência dos circuitos de potência e controle podem comprometer não apenas a repetibilidade do processo, mas também a integridade dos operadores frente a riscos elétricos, tornando o *retrofit* elétrico uma intervenção essencial para a preservação do ativo e segurança laboral.

Sob a ótica da automação e das instalações industriais, a modernização deste equipamento envolve a reestruturação dos painéis de comando e a substituição de sistemas de acionamento obsoletos por arquiteturas baseadas em lógica programável. A implementação de controladores eletrônicos e o redimensionamento de dispositivos de proteção permitem uma gestão mais refinada das variáveis de operação, otimizando o consumo energético e aumentando a confiabilidade dos circuitos. Conforme destaca Filippo (2014), o *retrofit* não se limita à restauração funcional, mas busca incorporar tecnologias contemporâneas que elevam o patamar tecnológico da máquina, garantindo que o equipamento opere dentro dos padrões técnicos exigidos.

No que tange à segurança em eletricidade, a conformidade com a NR10 é um requisito mandatório para garantir a proteção contra choques elétricos e arcos de falta em ambientes industriais e acadêmicos. A ausência de sistemas de aterramento eficazes, falta de seccionamento adequado e a presença de fiação exposta sem a devida sinalização expõem operadores e mantenedores a riscos críticos de eletrocussão.

De acordo com Creder (2022), a proteção contra contatos diretos e indiretos é fundamental para mitigar os efeitos fisiológicos da eletricidade no corpo humano. Portanto, a reestruturação dos sistemas elétricos da MH-270M deve ser acompanhada por medidas preventivas de controle do risco elétrico, assegurando que as proteções físicas e eletrônicas atuem de forma redundante para impedir o contato inadvertido com partes vivas e garantir a segurança nas intervenções de manutenção.

1.1 DEFINIÇÃO DO PROBLEMA

A operação de serras de fita horizontais em ambientes de manufatura e ensino técnico, como o caso da unidade Cosen MH-270M, demanda um controle rigoroso sobre os sistemas de potência e comando para assegurar a conformidade com as diretrizes de segurança vigentes. O problema central reside na obsolescência da infraestrutura elétrica original que, por possuir componentes de manobra desgastados e ausência de dispositivos de proteção modernos, não atende às exigências da Norma Regulamentadora NR10.

A ausência de dispositivos de seccionamento adequados, a falta de proteção contra contatos diretos (como barreiras em partes vivas no painel) e a inexistência de sistemas de aterramento devidamente monitorados elevam o risco de acidentes críticos, como choques elétricos, arcos de falta e curtos-circuitos durante as intervenções de operação e manutenção.

A falta de identificação padronizada dos condutores e a inexistência de um diagrama unifilar atualizado dificultam o diagnóstico de falhas, expondo o mantenedor a riscos desnecessários por desconhecimento da real condição de energização do ativo. Do ponto de vista técnico-operacional, a lacuna tecnológica dos componentes elétricos reflete-se na instabilidade do acionamento dos motores e na vulnerabilidade do sistema contra sobretensões.

A dependência de componentes eletromecânicos antigos, sem sistemas de monitoramento térmico ou eletrônico em tempo real, corrobora para um cenário de baixa confiabilidade, onde a integridade física do colaborador e a continuidade do processo produtivo são ameaçadas por falhas de isolamento ou aquecimentos excessivos passíveis de causar incêndios.

Diante desses desafios técnicos e normativos, surge a questão central que orienta a problemática deste estudo: Como a implementação de um projeto de *retrofit* elétrico, baseado na substituição de componentes obsoletos e na integração de dispositivos de proteção e seccionamento, pode assegurar a adequação da serra de fita MH-270M às exigências da NR10 e, simultaneamente, garantir a segurança do mantenedor e a confiabilidade elétrica do equipamento no processo de fabricação mecânica?

1.2 OBJETIVOS

A questão central deste estudo foca em analisar e implementar o processo de *retrofit* elétrico na serra de fita Cosen MH-270M, visando a modernização de seus sistemas de acionamento e comando para a otimização da confiabilidade operativa e a conformidade integral com a norma NR10. Objetivos Específicos:

- a) Realizar o diagnóstico técnico e o levantamento de riscos elétricos do equipamento original, identificando as não conformidades em relação aos requisitos de segurança em instalações e serviços em eletricidade estabelecidos pela NR10.
- b) Projetar e modernizar o painel de comando, substituindo componentes de potência e controle obsoletos por dispositivos que assegurem o seccionamento seguro, proteção contra sobrecorrentes e mitigação de riscos de contato direto e indireto.
- c) Implementar sinalização e bloqueios de segurança (*LOTO*), garantindo que as intervenções de manutenção ocorram com o equipamento devidamente desenergizado e sinalizado conforme as exigências normativas.
- d) Validar a eficácia das adequações por meio de testes de continuidade de aterramento, resistência de isolamento e ensaios funcionais, analisando a melhoria na estabilidade do sistema elétrico e a garantia da integridade física do mantenedor e operador.

1.3 JUSTIFICATIVA

A justificativa para a implementação do *retrofit* elétrico e a adequação normativa da serra de fita Cosen MH-270M reside na crescente exigência por padrões elevados de segurança em eletricidade e eficiência operacional nos processos de fabricação mecânica. À medida que as instituições de ensino e indústrias buscam otimizar o uso de seus ativos e garantir a integridade dos colaboradores, a modernização dos sistemas de potência e comando torna-se uma variável crítica para mitigar riscos de falhas catastróficas.

A operação de equipamentos que não atendem integralmente à NR10 acarreta consequências severas, incluindo a exposição de alunos e técnicos a riscos de choque elétrico por contato direto ou indireto, arcos de falta e potenciais incêndios originados por sobrecargas em condutores obsoletos. Além dos riscos humanos, a não

conformidade pode resultar em interdições por órgãos fiscalizadores e paradas não programadas decorrentes da instabilidade de componentes eletromecânicos que já ultrapassaram seu ciclo de vida útil. Portanto, a compreensão técnica das necessidades de atualização elétrica deste equipamento é vital para sustentar a continuidade das atividades laboratoriais sob condições de máxima segurança e controle.

Além disso, a evolução tecnológica dos dispositivos de proteção industrial, como disjuntores-motor, contadores de alta performance e sistemas de aterramento monitorados, aumentou a viabilidade de processos de modernização, tornando a gestão da manutenção mais assertiva e preditiva. A precisão no controle dos motores e o seccionamento eficaz da energia não apenas elevam a qualidade da manufatura, mas impactam diretamente na extensão da vida útil do ativo. Segundo Mamede Filho (2023), o correto dimensionamento e a modernização das instalações elétricas industriais são fundamentais para evitar quedas de tensão e garantir a estabilidade operativa de máquinas-ferramenta.

Silva (2019) destaca que a negligência na atualização tecnológica pode resultar em custos elevados de manutenção corretiva e acidentes de trabalho graves. No âmbito elétrico, Kindermann (1995) reforça que a ausência de dispositivos de proteção adequados e de uma sinalização de advertência clara é um dos principais fatores de risco em intervenções técnicas.

Este estudo justifica-se, portanto, pela necessidade de desenvolver e aplicar soluções de engenharia que integrem segurança elétrica e produtividade. O *retrofit* elétrico da unidade MH-270M não apenas contribuirá para a melhoria das práticas de manutenção e fabricação dentro da FATEC Mauá, mas servirá como um modelo prático de aplicação das normas regulamentadoras, promovendo um ambiente de aprendizado em conformidade com as melhores práticas da engenharia contemporânea.

1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA

A delimitação do presente trabalho abrange o laboratório de processos de fabricação da Faculdade de Tecnologia (FATEC) de Mauá, situada na região do Grande ABC, estado de São Paulo. O objeto de investigação restringe-se ao processo

de adequação técnica e normativa de uma serra de fita horizontal, modelo Cosen MH-270M.

A análise concentra-se na interseção entre a automação industrial e a segurança do trabalho, utilizando como base os requisitos da norma NR12 e as diretrizes de *retrofit* para máquinas operatrizes. O estudo prioriza a substituição dos sistemas obsoletos e dispositivos de intertravamento de segurança, limitando-se às intervenções necessárias para garantir a integridade operacional e a conformidade legal do equipamento dentro do contexto acadêmico e de manufatura mecânica regional.

1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

No primeiro capítulo, apresenta-se a contextualização do tema, fundamentada na necessidade de modernização tecnológica e *retrofit* elétrico de ativos industriais. Em sequência, detalham-se a Definição do Problema, o Objetivo central do estudo, a Justificativa técnica e a fronteira de Delimitação da pesquisa, estabelecendo o escopo de atuação voltado à infraestrutura elétrica do modelo Cosen MH-270M.

O segundo capítulo dedica-se à revisão bibliográfica, abordando os conceitos de *retrofit* elétrico, automação industrial e as diretrizes da norma NR10. Neste escopo, destacam-se os dispositivos de seccionamento e proteção, o funcionamento de controladores lógicos programáveis (CLP) aplicados ao comando de motores e a fundamentação teórica sobre os riscos elétricos (choque elétrico e arcos de falta) inerentes ao manuseio e manutenção de máquinas operatrizes, consolidando a base de conhecimento necessária para a intervenção proposta.

Prossegue-se, no terceiro capítulo, com a descrição da metodologia empregada neste trabalho. Apresenta-se a natureza da pesquisa, o objeto do estudo de caso prático realizado no laboratório da FATEC Mauá, o delineamento das etapas de diagnóstico elétrico e as atividades técnicas executadas para o desenvolvimento do projeto de adequação e controle do sistema de potência.

No quarto e último capítulo, são expostos os resultados obtidos por meio da aplicação prática do *retrofit* elétrico. Demonstram-se as melhorias implementadas na integridade do painel, a nova arquitetura de comando do equipamento e a

análise final sobre a eficácia da adequação em conformidade com os padrões da NR10, validando a segurança do ativo e o alcance dos objetivos propostos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

No contexto da indústria contemporânea, a segurança elétrica e o rigor técnico tornam-se indispensáveis, pois a competitividade atual não tolera mais a ineficiência ou o descaso com a integridade humana. Ao observarmos o cenário das máquinas-ferramenta, percebe-se que a gestão da manutenção deixou de ser um simples setor de reparos emergenciais para se tornar um pilar estratégico de confiabilidade (Almeida, 2019).

Souza (2009) esclarece que a manutenção moderna deve garantir que o equipamento opere em sua plenitude, mas a realidade de muitas fábricas e laboratórios é o convívio com ativos que, embora mecanicamente robustos, sofrem com a obsolescência de seus sistemas elétricos de comando e proteção. É justamente nessa lacuna que o *retrofit* elétrico se posiciona como uma solução de engenharia inteligente e economicamente viável.

Para Filippo (2014), realizar o *retrofit* não é apenas restaurar o que está deteriorado, mas modernizar e incorporar tecnologias que sequer existiam quando a máquina foi fabricada, elevando o patamar de segurança e controle do equipamento de forma profunda. Garcia (2017) reforça que essa prática permite que uma máquina alcance níveis de proteção e confiabilidade elétrica comparáveis aos de modelos novos, porém com um investimento significativamente reduzido.

Nesse sentido, a decisão por modernizar o sistema elétrico de uma máquina como a serra de fita Cosen MH-270M passa obrigatoriamente por uma análise crítica de sua infraestrutura de potência e comando. Silva (2019) argumenta que o *retrofit* elétrico atua como uma ferramenta de gestão capaz de prolongar a operacionalidade do ativo, garantindo que ele cumpra os padrões de segurança exigidos pela legislação vigente e as tolerâncias operacionais definidas pelo fabricante.

Almeida (2019) ressalta que essa transição técnica deve ser precedida por um olhar criterioso sobre os riscos elétricos presentes, pois de nada adianta um ganho produtivo desconectado da proteção ao trabalhador. A serra de fita, por sua natureza de operação com motores elétricos em ambiente de manufatura, exige atenção especial à integridade dos circuitos de potência, ao aterramento das massas metálicas e à eficácia dos dispositivos de seccionamento e parada de emergência.

A Norma Regulamentadora NR10 surge, então, como o balizador mandatório desse processo, estabelecendo que a segurança elétrica deve ser intrínseca ao

projeto e à operação de qualquer equipamento em ambiente industrial ou acadêmico (Brasil, 2022). De forma complementar, a NR12 impõe requisitos funcionais aos sistemas de comando e segurança das máquinas, determinando que os dispositivos de parada de emergência e intertravamento operem com categoria de desempenho compatível com os riscos identificados na apreciação de riscos do equipamento.

Paralelamente aos aspectos normativos, é fundamental considerar a integridade dos componentes elétricos que compõem o sistema de acionamento. Creder (2022) explica que elementos como condutores, dispositivos de proteção, contadores e o próprio sistema de aterramento são a base sobre a qual qualquer modernização será aplicada. Se a infraestrutura elétrica apresentar isolação degradada, dimensionamentos incorretos ou aterramentos ineficazes, os controles mais sofisticados perderão sua eficácia, comprometendo a segurança do operador e a estabilidade do processo.

Mamede Filho (2023) destaca que o uso de disjuntores corretamente dimensionados, associado a um sistema de aterramento verificado por medição instrumentada, traz uma capacidade de proteção e um nível de segurança que os antigos sistemas baseados apenas em fusíveis jamais poderiam oferecer. Kindermann (1995) reforça que o aterramento elétrico eficaz é, na prática, o elemento que transforma uma instalação tecnicamente funcional em uma instalação genuinamente segura, pois é ele que garante a atuação dos dispositivos de proteção em caso de falha de isolação.

Ao analisarmos especificamente o equipamento objeto deste estudo, percebe-se que suas características elétricas originais de fábrica o tornam uma candidata relevante para esse tipo de intervenção. Com motor de acionamento de 1,5 HP, circuito de comando com transformador dedicado e bomba auxiliar de fluido de corte, a Cosen MH-270M possui a estrutura necessária para receber uma modernização elétrica completa (Cosen, 2018). Entretanto, o painel de comando original revela dispositivos de proteção subdimensionados, ausência de seccionamento com bloqueio e circuito de emergência sem categoria de segurança definida, configurando um cenário de não conformidade com as exigências normativas atuais.

2.1 CONCEITOS DE *RETROFIT* EM SISTEMAS ELÉTRICOS INDUSTRIAIS

A modernização de ativos industriais, quando analisada sob o prisma da engenharia elétrica, transcende o simples ato de substituir componentes desgastados por outros de mesma especificação. O *retrofit* elétrico representa a atualização sistemática dos sistemas de potência e controle de um equipamento, incorporando tecnologias e arquiteturas de comando que não integravam o projeto original de fábrica (Filippo, 2014).

Essa distinção é fundamental: enquanto a manutenção corretiva visa restaurar o estado anterior de funcionamento, o *retrofit* elétrico objetiva elevar o equipamento a um patamar tecnológico superior, alinhando-o às demandas normativas e produtivas do cenário industrial contemporâneo. Silva (2019) observa que essa decisão é, antes de tudo, uma decisão de gestão de ativos, fundamentada na análise do custo-benefício entre a modernização e a substituição integral da máquina.

Em máquinas-ferramenta como a serra de fita Cosen MH-270M, cuja estrutura mecânica apresenta longa vida útil residual, o investimento na atualização elétrica revela-se economicamente racional. A maior parte do valor do ativo reside na robustez da estrutura e dos elementos de transmissão, e não nos componentes de controle e acionamento, que são justamente os que se tornam obsoletos com maior rapidez (Silva, 2019).

Souza (2009) complementa esse raciocínio ao destacar que a confiabilidade industrial moderna não pode ser dissociada da integridade elétrica dos sistemas de acionamento. Falhas nos circuitos de potência e comando respondem por parcela expressiva das paradas não programadas em ambientes de manufatura, tornando a atualização desses sistemas uma medida tanto de segurança quanto de eficiência produtiva.

Do ponto de vista técnico, o *retrofit* elétrico industrial abrange um conjunto de intervenções que podem incluir a substituição de painéis de comando eletromecânicos por arquiteturas baseadas em Controladores Lógicos Programáveis (CLP), o redimensionamento dos dispositivos de proteção contra sobrecorrentes e a reestruturação do sistema de aterramento (Natale, 2008). A implementação de bloqueios de segurança compatíveis com os requisitos normativos vigentes integra obrigatoriamente esse escopo.

Garcia (2017) ressalta que a eficácia de um projeto de *retrofit* elétrico está diretamente relacionada ao rigor do diagnóstico que o antecede. Apenas o conhecimento preciso do estado atual dos circuitos permite definir quais intervenções

são estritamente necessárias e quais representam melhorias adicionais de desempenho, evitando tanto a subestimação quanto o superdimensionamento das ações corretivas.

Historicamente, a manutenção industrial evoluiu de um modelo predominantemente reativo para abordagens preventivas e preditivas, sustentadas pelo monitoramento contínuo do comportamento dos ativos. Souza (2009) descreve essa transição como uma mudança de paradigma que alterou profundamente a forma como as organizações encaram o ciclo de vida de seus equipamentos.

Nesse contexto evolutivo, o *retrofit* elétrico posiciona-se como etapa seguinte e natural: quando as rotinas de manutenção preventiva já não são suficientes para garantir a conformidade normativa e a competitividade tecnológica do ativo, a modernização planejada de seus sistemas elétricos torna-se a alternativa mais eficiente e sustentável (Filippo, 2014). Garcia (2017) reforça que sensores de monitoramento, controladores programáveis e sistemas de proteção com autodiagnóstico podem ser instalados em equipamentos analógicos, criando uma ponte entre o legado industrial e a manufatura avançada.

No contexto específico deste estudo, a obsolescência elétrica da Cosen MH-270M manifesta-se em múltiplas dimensões: ausência de dispositivos de seccionamento com bloqueio dedicado, circuito de aterramento sem verificação instrumentada de continuidade, identificação de condutores não padronizada e sistema de parada de emergência sem categoria de segurança definida. A lacuna entre essa arquitetura original e os requisitos normativos vigentes é o fundamento técnico que direciona o processo de *retrofit* elétrico objeto deste trabalho (Almeida, 2019).

2.2 NR10: SEGURANÇA EM INSTALAÇÕES E SERVIÇOS EM ELETRICIDADE

A Norma Regulamentadora NR10, originalmente instituída pela Portaria 3.214 de 1978 e profundamente revisada pela Portaria 598 de 2004 e atualizações subsequentes, constitui o principal instrumento legal brasileiro para a proteção de trabalhadores que atuam em instalações elétricas e na realização de serviços com eletricidade. Sua fundamentação técnica apoia-se na premissa de que o risco elétrico deve ser eliminado ou controlado na origem, priorizando medidas de proteção intrínseca do sistema em detrimento dos equipamentos de proteção individual (Brasil,

2022).

Para Creder (2022), a magnitude dos riscos elétricos em ambientes industriais justifica plenamente o rigor normativo da NR10. O contato de um ser humano com partes energizadas de um circuito pode resultar em consequências que variam desde queimaduras superficiais até parada cardiorrespiratória, a depender da intensidade da corrente que percorre o corpo, do caminho percorrido por ela e do tempo de exposição ao agente elétrico.

A norma organiza suas exigências a partir de uma hierarquia de medidas de controle, na qual a eliminação do risco ocupa o nível mais elevado, seguida pela sua redução por meio de proteções coletivas e, por último, pela proteção residual oferecida pelos equipamentos de proteção individual. Essa estrutura hierárquica orienta diretamente as decisões técnicas de qualquer projeto de *retrofit* elétrico, determinando a ordem de prioridade das intervenções a serem realizadas (Brasil, 2022).

Entre as exigências fundamentais da NR10, destacam-se a obrigatoriedade de aterramento eficaz de todas as massas metálicas e partes condutoras acessíveis da instalação, o uso de dispositivos de seccionamento e bloqueio que garantam o estado de zero energia durante intervenções de manutenção e a identificação padronizada de condutores e componentes elétricos por meio de cores e simbologia normativa (Brasil, 2022). Mamede Filho (2023) destaca que, em ambientes de ensino técnico, essas exigências adquirem relevância ainda maior, pois o público exposto inclui estudantes em formação, potencialmente menos familiarizados com os riscos inerentes ao ambiente elétrico industrial.

A norma estabelece ainda que qualquer intervenção em instalações elétricas deve ser precedida pela adoção de procedimentos de bloqueio e sinalização, reconhecidos internacionalmente pelo acrônimo *LOTO* — do inglês Lockout/Tagout. Esse procedimento assegura que o equipamento permaneça no estado de zero energia durante toda a duração da manutenção, impedindo que qualquer trabalhador o reenergize inadvertidamente enquanto outro colaborador encontra-se exposto à zona de risco (Kindermann, 1995).

A instalação de uma chave seccionadora com trava na alimentação da serra de fita Cosen MH-270M representa, portanto, não apenas uma melhoria técnica pontual, mas a concretização de um requisito normativo mandatório que antes estava ausente no equipamento. Kindermann (1995) observa que a ausência desse dispositivo em máquinas industriais é uma das não conformidades mais recorrentes identificadas em

auditorias de segurança elétrica, especialmente em equipamentos com projeto original anterior às revisões normativas da NR10.

A NR10 exige também a elaboração e manutenção de documentação técnica atualizada, incluindo diagramas unifilares, esquemas de comando e prontos das instalações elétricas. Mamede Filho (2023) reforça que essa documentação não é um requisito meramente burocrático, mas um instrumento técnico essencial para a segurança das intervenções de manutenção, pois permite ao técnico conhecer previamente a real condição de energização de cada parte do circuito antes de qualquer contato físico com o equipamento.

No contexto da Cosen MH-270M, a inexistência de um diagrama elétrico atualizado que reflita as condições reais do circuito após anos de uso e eventuais intervenções anteriores constitui uma não conformidade direta com esse requisito da NR10. A elaboração do diagrama elétrico atualizado, contemplando o circuito de potência, o circuito de comando e o sistema de aterramento, integra obrigatoriamente o escopo do *retrofit* elétrico proposto neste trabalho (Brasil, 2022).

A NR10 determina que os trabalhadores que atuam em instalações elétricas devem possuir qualificação, habilitação ou capacitação específica compatível com as atividades que realizam. Silva (2019) observa que essa exigência reforça a responsabilidade das instituições de ensino técnico em garantir que os laboratórios operem com equipamentos em conformidade normativa, pois a exposição de estudantes a instalações elétricas irregulares configura não apenas uma violação legal, mas uma falha ética no processo de formação profissional.

2.3 DISPOSITIVOS DE PROTEÇÃO E SECCIONAMENTO CONFORME NBR 5410 E NR10

A NBR 5410, norma brasileira que regulamenta as instalações elétricas de baixa tensão, estabelece o conjunto de diretrizes técnicas que fundamenta o dimensionamento e a seleção dos dispositivos de proteção e seccionamento aplicáveis aos circuitos elétricos industriais. Em conjunto com a NR10, ela compõe o arcabouço normativo que deve orientar qualquer projeto de modernização elétrica em máquinas-ferramenta, como o *retrofit* da Cosen MH-270M (ABNT, 2004).

Mamede Filho (2023) ressalta que a correta aplicação dessas normas exige que o projetista domine não apenas os critérios de dimensionamento de condutores e

dispositivos de proteção, mas também os princípios de coordenação e seletividade entre eles. Dessa forma, uma falha localizada resulta na abertura do dispositivo mais próximo da falta, sem propagar o desligamento para circuitos saudáveis, preservando a continuidade operacional das demais máquinas do laboratório.

Os dispositivos de seccionamento constituem elementos fundamentais no contexto da segurança elétrica, pois são eles que permitem isolar eletricamente um circuito ou equipamento da fonte de energia, criando as condições necessárias para a realização de intervenções de manutenção em segurança. A NBR 5410 classifica esses dispositivos em distintas categorias, das quais se destacam, para o contexto deste estudo, o disjuntor termomagnético e a chave seccionadora rotativa com bloqueio por cadeado (ABNT, 2004).

O disjuntor termomagnético, além da função de seccionamento, acumula a proteção contra sobrecorrentes — tanto por sobrecarga quanto por curto-circuito —, configurando-se como o dispositivo de proteção por excelência em instalações industriais de baixa tensão. Creder (2022) explica que o elemento bimetálico responde às sobrecargas de forma temporizada, enquanto o elemento magnético atua de forma instantânea diante de correntes de curto-circuito, garantindo respostas adequadas a cada natureza de falha.

Para o acionamento de motores elétricos, a NBR 5410 orienta o uso de disjuntores com curva de disparo específica para essa aplicação, denominada curva D, cujos tempos de atuação são calibrados para suportar a elevada corrente de partida característica desses equipamentos sem desligar prematuramente o circuito (ABNT, 2004). Mamede Filho (2023) observa que o uso de um disjuntor com curva inadequada é uma das causas mais frequentes de desligamentos intempestivos em circuitos de acionamento de motores industriais, gerando interrupções desnecessárias do processo produtivo.

A chave seccionadora rotativa com bloqueio por cadeado cumpre função distinta e complementar à do disjuntor. Sua finalidade primária não é a proteção contra falhas elétricas, mas o seccionamento visível e bloqueável do circuito, permitindo que o técnico de manutenção aplique o procedimento *LOTO* com a garantia física de que o equipamento não poderá ser reenergizado por terceiros durante a intervenção (Kindermann, 1995). A NR10 determina que esse dispositivo deve estar posicionado de forma acessível ao operador e identificado com sinalização padronizada (Brasil, 2022).

No contexto específico da Cosen MH-270M, a instalação de um disjuntor exclusivo no circuito de alimentação da máquina, associado à chave seccionadora com bloqueio, representa a implementação simultânea da proteção elétrica dedicada e do seccionamento seguro exigido pela NR10. Creder (2022) destaca que a ausência de um disjuntor exclusivo por máquina — situação em que múltiplos equipamentos compartilham um único dispositivo de proteção — é uma não conformidade grave, pois impede a seletividade do sistema e dificulta o isolamento individual de cada ativo durante a manutenção.

O sistema de aterramento constitui outro elemento central no arcabouço normativo da NBR 5410 e da NR10. A norma determina que todas as massas condutoras acessíveis de uma instalação — incluindo as carcaças metálicas de motores, transformadores e painéis — devem ser interligadas ao eletrodo de aterramento por meio de condutores de proteção devidamente dimensionados e identificados pela coloração verde-amarelo (ABNT, 2004). Kindermann (1995) explica que essa medida garante que, em caso de falha de isolamento, a corrente de falta percorra o caminho de menor impedância em direção à terra, desviando do corpo humano e provocando a atuação dos dispositivos de proteção.

A verificação da continuidade e da resistência do sistema de aterramento por meio de medições instrumentadas constitui etapa obrigatória na validação de qualquer intervenção elétrica realizada em conformidade com a NR10. Mamede Filho (2023) reforça que um aterramento tecnicamente correto no projeto, mas com conexões físicas deterioradas ou condutores de proteção interrompidos, oferece proteção nula ao trabalhador, tornando a medição de continuidade não uma formalidade, mas uma verificação crítica de segurança.

A identificação e organização dos condutores no interior do painel de comando complementam o conjunto de requisitos da NBR 5410 aplicáveis ao *retrofit* da MH-270M. A norma estabelece cores específicas para cada função do condutor — fase, neutro, proteção e comando —, cuja observância é indispensável para que qualquer técnico que intervenha no equipamento compreenda imediatamente a função de cada elemento do circuito, reduzindo o risco de manobras incorretas em partes energizadas (ABNT, 2004).

2.4 RISCOS ELÉTRICOS EM MÁQUINAS-FERRAMENTA E MEDIDAS DE CONTROLE

A análise dos riscos elétricos em máquinas-ferramenta de pequeno e médio porte, categoria na qual se enquadra a serra de fita Cosen MH-270M, revela um conjunto de perigos que, embora frequentemente subestimados em ambientes de ensino técnico, possuem potencial de causar lesões graves e irreversíveis. Creder (2022) identifica quatro categorias principais de riscos elétricos em equipamentos industriais de baixa tensão: o contato direto com partes vivas do circuito, o contato indireto com massas acidentalmente energizadas, os arcos elétricos gerados por curtos-circuitos e os incêndios originados pelo aquecimento excessivo de condutores com isolamento degradada.

O contato direto ocorre quando o trabalhador toca fisicamente uma parte viva do circuito, como um terminal de borne, um barramento ou um condutor desencapado. No interior do painel de comando da MH-270M, essa situação pode se apresentar durante intervenções de ajuste ou manutenção realizadas sem a prévia adoção dos procedimentos de bloqueio estabelecidos pela NR10. Kindermann (1995) observa que a ausência de barreiras físicas segregando as partes vivas no interior do painel é uma não conformidade recorrente em equipamentos com projeto anterior às revisões normativas vigentes.

O contato indireto, por sua vez, está associado à possibilidade de falha da isolamento dos enrolamentos do motor ou dos condutores de alimentação, resultando na energização acidental da carcaça metálica do equipamento. Nessa situação, qualquer operador que toque a estrutura metálica da máquina enquanto simultaneamente contata um ponto de referência de terra torna-se o caminho de menor impedância para a corrente de falta, sofrendo choque elétrico de intensidade proporcional à tensão de toque existente (Mamede Filho, 2023).

Os efeitos fisiológicos da corrente elétrica sobre o corpo humano variam em função da intensidade, do trajeto percorrido e do tempo de exposição. Creder (2022) destaca que correntes a partir de 10 mA já podem provocar contrações musculares involuntárias que impedem o trabalhador de se soltar da parte energizada, enquanto correntes acima de 50 mA, percorrendo o trajeto mão-pé por tempo superior a um segundo, são potencialmente letais por fibrilação ventricular. Esses valores reforçam

a criticidade de qualquer não conformidade elétrica em ambientes onde há contato frequente de pessoas com equipamentos industriais.

O arco elétrico representa outra categoria de risco de elevada severidade, gerado quando a corrente de curto-circuito ioniza o ar entre dois condutores energizados, produzindo um plasma de temperatura extremamente elevada. Mamede Filho (2023) explica que a energia liberada por um arco elétrico em instalações industriais de baixa tensão pode causar queimaduras graves a distâncias de até um metro do ponto de ocorrência, mesmo sem contato direto com as partes energizadas. A ausência de disjuntor exclusivo com capacidade de interrupção adequada à corrente de curto-circuito disponível na instalação agrava consideravelmente esse risco.

O risco de incêndio de origem elétrica está presente sempre que condutores operam com correntes superiores às suas capacidades nominais de condução, elevando a temperatura da isolação até o ponto de degradação ou ignição. Silva (2019) observa que esse cenário é particularmente provável em instalações antigas, nas quais condutores originalmente dimensionados para uma carga específica passaram a alimentar equipamentos com demanda superior, sem que os dispositivos de proteção tenham sido recalibrados ou substituídos. A presença de cavacos metálicos e fluido de corte no entorno da MH-270M agrava ainda mais esse risco, pois esses resíduos podem atuar como combustível ou como caminho condutor de fuga de corrente.

As medidas de controle para os riscos identificados organizam-se, conforme a hierarquia da NR10, em três níveis complementares. O primeiro nível, de eliminação, é alcançado pela instalação de disjuntor exclusivo no circuito de alimentação, que impede a energização do equipamento por fontes não controladas. O segundo nível, de redução, é obtido pela instalação da chave seccionadora com bloqueio por cadeado, pela reorganização e identificação dos condutores no interior do painel e pela instalação de barreiras nos terminais energizados (Brasil, 2022).

O terceiro nível, de proteção residual, é garantido pela sinalização de advertência no painel, pelos procedimentos *LOTO* documentados e pela capacitação dos usuários do laboratório conforme os requisitos de qualificação estabelecidos pela NR10. Kindermann (1995) reforça que nenhum desses três níveis é suficiente isoladamente, sendo a eficácia da proteção resultado da aplicação simultânea e integrada de todas as medidas previstas, formando camadas sobrepostas de defesa que reduzem progressivamente a probabilidade de ocorrência de um acidente.

A apreciação de riscos elétricos deve, portanto, anteceder obrigatoriamente qualquer intervenção de *retrofit* em máquinas industriais. Almeida (2019) destaca que esse levantamento sistemático não apenas orienta tecnicamente as prioridades de intervenção, mas também documenta o estado de risco anterior às melhorias, permitindo a comparação objetiva entre as condições de segurança antes e após a modernização elétrica do equipamento.

2.5 SERRA DE FITA E DINÂMICA DE CORTE

A transição da fundamentação normativa e técnica para a realidade operacional do equipamento passa pela compreensão das características específicas da serra de fita horizontal e de como sua arquitetura elétrica original condiciona os riscos identificados. A Cosen MH-270M é um equipamento de corte por fita contínua, projetado para o seccionamento de materiais metálicos ferrosos e não ferrosos, cujo funcionamento depende do acionamento de dois motores elétricos distintos: o motor principal de 1,5 HP, responsável pela tração da lâmina de serra, e o motor auxiliar da bomba de fluido de corte, que garante o resfriamento e a lubrificação da zona de corte (Cosen, 2018).

O circuito elétrico original do equipamento foi concebido com uma arquitetura de comando eletromecânica clássica, na qual a lógica de operação é implementada por meio de relés de comando e contadores de potência. O acionamento do motor principal é realizado por um contator de corrente adequada à potência do motor, controlado por um circuito de comando alimentado por tensão reduzida através de transformador dedicado. A proteção contra sobrecarga fica a cargo do relé bimetálico integrado ao contator (Cosen, 2018).

Barros e Vieira (2017) ressaltam que a dinâmica de partida de motores de indução utilizados em máquinas-ferramenta de pequeno porte, como o motor de 1,5 HP da MH-270M, caracteriza-se por uma corrente de partida tipicamente seis a sete vezes superior à corrente nominal de operação. Esse fenômeno impõe exigências específicas sobre os dispositivos de proteção e acionamento, que devem ser dimensionados para suportar esse pico transitório sem atuar indevidamente, mas sem deixar de proteger o motor em caso de sobrecarga real.

O capacitor de partida e funcionamento, componente presente no circuito elétrico da bomba auxiliar da MH-270M, desempenha papel determinante no

desempenho do motor monofásico dessa aplicação. Sua função é criar o deslocamento de fase necessário para gerar o campo magnético rotativo que produz o torque de partida do motor. A substituição desse componente, quando necessária, exige que o novo elemento seja dimensionado de acordo com as especificações elétricas originais — tensão de trabalho, capacitância nominal e fator de tolerância —, sob pena de comprometer o torque de partida ou provocar aquecimento excessivo dos enrolamentos (Creder, 2022).

A dinâmica de corte da serra de fita é definida pela capacidade do equipamento em remover material de forma contínua e controlada, processo que depende diretamente da estabilidade do fornecimento de energia elétrica ao motor principal. Souza (2009) reforça que variações de tensão na alimentação do motor, causadas por quedas de tensão em condutores subdimensionados ou por dispositivos de proteção com contatos oxidados, resultam em instabilidade do torque entregue à lâmina, comprometendo a qualidade dimensional do corte e acelerando o desgaste da ferramenta.

A velocidade periférica da lâmina, determinada pela rotação do motor e pela relação de transmissão do conjunto redutor, é o parâmetro central da dinâmica de corte. Na Cosen MH-270M, o motor original opera em duas velocidades fixas de 35 e 70 metros por minuto, selecionadas manualmente pelo operador conforme o material a ser cortado (Cosen, 2018). Natale (2008) observa que a introdução de um inversor de frequência nesse circuito permitiria uma regulação contínua e precisa da velocidade, adaptando o equipamento a uma gama muito mais ampla de materiais e condições de corte, com ganhos diretos na vida útil da lâmina e na qualidade do produto final.

No que se refere à segurança elétrica específica do processo de corte, a NR12 determina que os sistemas de comando de máquinas desta categoria devem possuir dispositivos de parada de emergência de fácil acesso ao operador, com categoria de desempenho compatível com os riscos identificados na apreciação de riscos do equipamento. Almeida (2019) observa que a integração entre os requisitos elétricos da NR10 e os requisitos funcionais de segurança da NR12 é o desafio central de qualquer projeto de *retrofit* elétrico em máquinas industriais, pois as duas normas, embora complementares, possuem escopos distintos que exigem do projetista uma visão sistêmica e integrada.

O relé de segurança monitorado, instalado no painel de comando da MH-270M como parte do *retrofit* elétrico proposto, atua como o elemento de *interface* entre o botão de parada de emergência e o circuito de acionamento do motor. Esse dispositivo monitora continuamente a integridade do circuito de segurança e garante que, diante de qualquer falha — seja no botão, nos condutores de ligação ou no próprio relé —, o resultado seja sempre a desenergização segura do contator principal (Brasil, 2022). Garcia (2017) destaca que essa redundância funcional é o que diferencia um sistema de segurança monitorado de um simples botão de desligamento convencional, elevando a confiabilidade da função de parada a um nível compatível com as exigências normativas atuais.

A compreensão integrada da dinâmica de corte, da arquitetura elétrica original e dos requisitos normativos aplicáveis revela, portanto, que o *retrofit* elétrico da Cosen MH-270M não é uma intervenção isolada em um componente específico, mas uma modernização sistêmica que abrange desde o circuito de alimentação até o sistema de segurança funcional. Filippo (2014) conclui que é justamente essa abrangência sistêmica que distingue um *retrofit* tecnicamente consistente de uma simples troca de peças, garantindo que o equipamento resultante opere com segurança, confiabilidade e conformidade normativa plenas.

3 METODOLOGIA DA PESQUISA

A escolha da metodologia de pesquisa é determinada, fundamentalmente, pelo objetivo que se pretende alcançar com o estudo. Silva e Menezes (2000) propõem quatro critérios para a classificação das pesquisas: natureza, abordagem do problema, objetivos e procedimentos técnicos adotados. Com base nesses critérios, a presente investigação enquadra-se como de natureza aplicada, pois tem como finalidade a geração de conhecimento destinado à solução de um problema concreto — a modernização elétrica e a adequação normativa de uma máquina-ferramenta em operação no laboratório de fabricação da FATEC Mauá.

Quanto à abordagem do problema, adota-se a perspectiva qualitativa, visto que a análise não se restringe à mensuração de variáveis isoladas, mas busca compreender o conjunto de relações técnicas, normativas e operacionais que envolvem o processo de *retrofit* elétrico da serra de fita Cosen MH-270M. Conforme Gil (2010), essa abordagem é adequada quando se pretende interpretar fenômenos a partir de seu contexto real de ocorrência, privilegiando a profundidade analítica em detrimento da extensão amostral.

Do ponto de vista dos objetivos, a pesquisa caracteriza-se como exploratória e descritiva. Exploratória, por abordar uma intervenção técnica específica sobre um equipamento com características elétricas particulares; e descritiva, por sistematizar as etapas do processo de modernização, documentando as ações executadas, os componentes substituídos e os resultados obtidos nas verificações e ensaios realizados ao término das intervenções (Gil, 2010).

No que se refere aos procedimentos técnicos, opta-se pelo método do Estudo de Caso, estratégia que, segundo Yin (2006), é especialmente indicada quando se deseja investigar um fenômeno contemporâneo em seu contexto real, sobretudo quando as fronteiras entre o fenômeno e o contexto não são claramente definidas. A modernização elétrica da unidade MH-270M insere-se precisamente nessa condição: trata-se de uma intervenção técnica singular, situada em um ambiente específico, cujas variáveis estão profundamente entrelaçadas com o contexto do laboratório acadêmico de fabricação mecânica.

Laville e Dionne (1999) reforçam que a aderência a padrões metodológicos bem definidos é o que confere validade e reprodutibilidade aos processos de transformação técnica, garantindo que a engenharia aplicada seja documentada de

forma suficientemente clara para orientar intervenções similares em outros contextos. Essa premissa orienta diretamente a estrutura deste trabalho, que busca registrar cada decisão técnica com o nível de detalhe necessário para que o processo seja compreendido e replicado.

3.1 O PROTOCOLO PARA O ESTUDO DE CASOS

O protocolo de estudo de caso constitui-se como o instrumento que confere rigor e sistematicidade à coleta de dados, diferenciando-se de um simples roteiro por abranger, de forma integrada, os procedimentos de investigação, as normas a serem observadas e os critérios de registro e análise das informações obtidas (Yin, 2006). Para a presente pesquisa, esse protocolo foi estruturado em quatro etapas sequenciais e interdependentes, de modo a garantir a rastreabilidade de cada decisão técnica tomada ao longo do projeto de *retrofit* elétrico.

A primeira etapa compreendeu o levantamento documental do equipamento, com a análise do manual de instruções do fabricante (Cosen, 2018), dos registros históricos de manutenção disponíveis e dos esquemas elétricos originais. Esse levantamento permitiu estabelecer o estado da arte do sistema elétrico antes da intervenção, identificando os componentes que deveriam ser preservados, modernizados ou integralmente substituídos, e serviu como base para a elaboração do diagrama elétrico atualizado do equipamento.

A segunda etapa constituiu-se na inspeção técnica *in loco*, por meio da qual foram realizadas observações diretas do equipamento, medições elétricas de resistência de isolamento e continuidade de aterramento, além de avaliações do estado de conservação dos componentes do painel de comando. Paralelamente, procedeu-se ao levantamento de riscos elétricos, conforme a metodologia exigida pela NR10, identificando as partes vivas expostas, os modos de falha dos dispositivos de proteção existentes e os requisitos normativos não atendidos pelo projeto original (Brasil, 2022).

A terceira etapa abrangeu a concepção e o desenvolvimento do projeto de modernização elétrica, incluindo a especificação dos novos componentes — disjuntor exclusivo, chave seccionadora com bloqueio *LOTO*, relé de segurança monitorado, capacitor de substituição e condutores de proteção —, a elaboração dos novos esquemas elétricos e a definição da lógica de comando a ser implementada no painel atualizado. Por fim, a quarta etapa correspondeu à implementação prática das

modificações, seguida dos ensaios funcionais de validação, que atestaram a conformidade do sistema resultante com os padrões estabelecidos pela NR10 e pelos requisitos elétricos da NR12.

Conforme preconiza Yin (2006), a existência de um protocolo bem definido não apenas aumenta a confiabilidade da pesquisa, mas também permite que terceiros compreendam e eventualmente reproduzam as condições do estudo em outros contextos similares, contribuindo para a consolidação do conhecimento na área de modernização elétrica de máquinas-ferramenta em ambientes de ensino técnico e superior.

3.2 O DELINEAMENTO DA PESQUISA

O delineamento da presente pesquisa parte da questão central que motivou este estudo: como a implementação de um projeto de *retrofit* elétrico, fundamentado na substituição de componentes obsoletos e na integração de dispositivos de proteção e seccionamento monitorados, pode assegurar a adequação da serra de fita Cosen MH-270M às exigências da NR10 e, simultaneamente, garantir a segurança do mantenedor e a confiabilidade elétrica do equipamento no processo de fabricação mecânica?

Para responder a essa questão, o estudo de caso único foi conduzido no laboratório de processos de fabricação da FATEC Mauá, onde o objeto de pesquisa encontra-se em operação regular. A escolha do estudo de caso único justifica-se pela singularidade e pelo caráter revelador da situação investigada: trata-se de um equipamento com características elétricas específicas, inserido em um contexto normativo e operacional bem delimitado, o que confere à análise um potencial significativo de aprofundamento (Gil, 2010).

A fundamentação teórica construída ao longo da revisão bibliográfica desempenhou papel estruturante em todas as fases do estudo, orientando tanto a análise diagnóstica quanto as escolhas técnicas realizadas durante o processo de modernização. Conforme observa Yin (2006), uma teoria consistente não apenas norteia a coleta e a interpretação dos dados, mas também amplia a capacidade de generalização analítica dos resultados, possibilitando que as conclusões obtidas em um caso específico iluminem situações semelhantes em outros contextos industriais ou acadêmicos.

Os dados foram obtidos a partir de múltiplas fontes de evidência, estratégia que, segundo Laville e Dionne (1999), contribui para a triangulação das informações e para a robustez das conclusões. Entre as fontes utilizadas destacam-se a documentação técnica do fabricante, a observação direta das condições do painel elétrico, os registros obtidos durante os ensaios de medição e os testes funcionais realizados após as intervenções. Essa combinação de fontes permitiu que o fenômeno investigado fosse analisado em suas dimensões técnica, normativa e operacional, respondendo de forma abrangente à questão de pesquisa proposta.

4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS

Com base no protocolo de estudo de caso descrito no capítulo anterior, as etapas de diagnóstico, planejamento e execução das intervenções de *retrofit* elétrico foram conduzidas de forma sequencial e documentada, permitindo a análise sistemática dos resultados obtidos em cada fase do processo. A abordagem adotada privilegiou a rastreabilidade das decisões técnicas, assegurando que cada intervenção realizada pudesse ser diretamente relacionada a uma não conformidade identificada no diagnóstico inicial ou a um requisito normativo específico da NR10 e da NR12 (Brasil, 2022).

O diagnóstico técnico conduzido na fase inicial do estudo revelou um cenário de obsolescência elétrica multidimensional, com não conformidades distribuídas pelo circuito de alimentação, pelo painel de comando, pelo sistema de aterramento e pelos dispositivos de segurança do equipamento. Almeida (2019) destaca que a identificação sistemática dessas não conformidades, precedendo qualquer intervenção, é o elemento que diferencia um *retrofit* tecnicamente consistente de uma modernização parcial e potencialmente ineficaz.

A somatória das falhas identificadas — ausência de disjuntor exclusivo, inexistência de chave seccionadora com bloqueio, sistema de aterramento sem continuidade verificada, painel sem identificação padronizada de condutores e circuito de parada de emergência sem categoria de segurança definida — confirmou a necessidade de implementação de um processo integral de *retrofit* elétrico, conforme preconizado pela NBR 5410 e pelos fundamentos teóricos discutidos nos capítulos anteriores deste trabalho.

As intervenções realizadas seguiram uma sequência lógica de priorização, iniciando-se pelos componentes que representavam maior risco imediato à integridade do operador e do mantenedor, avançando progressivamente para as adequações de desempenho e conformidade normativa. Garcia (2017) ressalta que essa hierarquização é essencial em projetos de *retrofit* elétrico executados em ambientes acadêmicos em operação, nos quais a disponibilidade do equipamento e a segurança dos usuários precisam ser gerenciadas simultaneamente ao longo de todo o processo de modernização.

Os resultados obtidos são apresentados nas seções seguintes, organizados por subsistema intervencionado, de forma a permitir a compreensão clara do escopo

de cada ação realizada, dos componentes envolvidos e das melhorias concretas alcançadas em termos de segurança elétrica e conformidade normativa.

4.1 IMPORTÂNCIA DO EQUIPAMENTO DENTRO DA EMPRESA

A serra de fita horizontal modelo Cosen MH-270M, fabricada pela Cosen Machinery Industrial Co., Ltd. e instalada no laboratório de processos de fabricação da FATEC Mauá, representa um dos principais ativos da infraestrutura de ensino prático do curso de Tecnologia em Fabricação Mecânica. O equipamento, com número de fabricação 27705 e data de produção junho de 2010, opera sob tensão de 220 V e dispõe de motor de acionamento de 1,5 HP, sendo projetado para realizar cortes precisos em materiais metálicos ferrosos e não ferrosos, com capacidade de secção de até 220 mm em corte a 0° e lâmina de 27 x 0,9 x 2.465 mm (Cosen, 2018).

No contexto acadêmico, a máquina integra atividades práticas de usinagem e fabricação, sendo utilizada rotineiramente por alunos e docentes para a obtenção de corpos de prova, preparação de peças para processos subsequentes e demonstrações de técnicas de corte. Sua versatilidade — decorrente da capacidade de ajuste angular do cabeçote de 0° a 60° — confere ao equipamento relevância estratégica dentro do laboratório, tornando-o insubstituível nas atividades de formação técnica.

Do ponto de vista elétrico, a máquina possui dois circuitos de acionamento distintos: o circuito principal, responsável pelo motor de tração da lâmina de 1,5 HP, e o circuito auxiliar, que alimenta a bomba de fluido de corte. Ambos os circuitos são comandados a partir de um painel de controle integrado à estrutura da máquina, alimentado por tensão de 220 V proveniente do quadro de distribuição geral do laboratório (Cosen, 2018). Essa configuração de duplo acionamento elétrico torna o equipamento um objeto de estudo especialmente relevante para a aplicação dos conceitos de proteção e seccionamento previstos na NR10 e na NBR 5410.

A relevância do equipamento dentro do laboratório vai além de sua função operacional imediata. Por tratar-se de uma máquina com motor elétrico, painel de comando, sistema de aterramento e dispositivos de segurança, a Cosen MH-270M constitui um objeto didático completo para a demonstração prática dos conceitos de segurança elétrica industrial. Mamede Filho (2023) observa que a exposição de estudantes a equipamentos em conformidade normativa é, em si mesma, um

instrumento pedagógico de formação, pois permite que os futuros profissionais internalizem as boas práticas de segurança elétrica a partir de experiências concretas no ambiente de laboratório.

A indisponibilidade do equipamento, decorrente de falhas elétricas ou de interdições por não conformidade normativa, impacta diretamente a continuidade das atividades práticas de múltiplas disciplinas do curso. Silva (2019) argumenta que a gestão estratégica da manutenção em instituições de ensino técnico deve considerar não apenas o custo direto das intervenções, mas também o custo pedagógico da indisponibilidade dos equipamentos, que se traduz em lacunas na formação prática dos estudantes e na redução da qualidade do ensino oferecido.

A plaqueta de identificação do equipamento, fixada no painel lateral da máquina, confirma os dados técnicos originais e atesta a procedência do fabricante, constituindo o ponto de partida para a elaboração do diagnóstico elétrico e para a especificação dos componentes utilizados no processo de *retrofit*. Esses dados, associados ao manual de instruções original (Cosen, 2018), forneceram a base técnica necessária para o correto dimensionamento dos dispositivos de proteção e seccionamento instalados ao longo do processo de modernização elétrica documentado nas seções seguintes.

4.2 PROBLEMÁTICA

Ao dar início ao diagnóstico técnico do equipamento, verificou-se que a serra de fita Cosen MH-270M apresentava um estado de conformidade elétrica gravemente comprometido, resultante de anos de operação contínua sem a execução de um plano de manutenção preventiva adequado e sem atualizações normativas compatíveis com as revisões da NR10 ocorridas após a data de fabricação do equipamento. As inspeções *in loco* revelaram não conformidades em múltiplos subsistemas elétricos da máquina, abrangendo desde o circuito de alimentação até os dispositivos de segurança do painel de comando.

Entre os problemas identificados, destacou-se, em primeiro lugar, a ausência de um disjuntor exclusivo dedicado ao equipamento no quadro de distribuição do laboratório. A máquina era alimentada por um circuito compartilhado com outros equipamentos, sem dispositivo de proteção individual contra sobrecorrentes dimensionado especificamente para as características do motor de 1,5 HP da MH-

270M. Mamede Filho (2023) ressalta que essa condição compromete integralmente a seletividade do sistema de proteção, tornando impossível o isolamento individual da máquina em caso de falha elétrica sem a interrupção simultânea de outros equipamentos do laboratório.

A inexistência de uma chave seccionadora com bloqueio por cadeado na alimentação da máquina configurou a segunda não conformidade crítica identificada. Sem esse dispositivo, qualquer intervenção de manutenção no equipamento ficava condicionada exclusivamente ao desligamento do disjuntor geral do quadro, sem qualquer mecanismo físico que impedisse sua religação inadvertida por terceiros durante a execução dos serviços. Kindermann (1995) observa que essa condição representa uma violação direta dos requisitos de bloqueio e sinalização estabelecidos pela NR10, expondo o mantenedor a risco grave de reenergização acidental do circuito.

O sistema de aterramento do equipamento apresentava continuidade comprometida, com o condutor de proteção apresentando sinais visíveis de deterioração nas conexões entre a carcaça do motor e o barramento de terra do painel. Kindermann (1995) explica que um aterramento com conexões oxidadas ou condutores de seção insuficiente oferece proteção praticamente nula ao operador em caso de falha de isolamento, pois a elevada resistência de terra impede a atuação dos dispositivos de proteção contra sobrecorrentes dentro do tempo necessário para evitar uma tensão de toque perigosa.

O interior do painel de comando revelou condutores sem identificação padronizada por cores, com múltiplos condutores de diferentes funções — fase, neutro e comando — apresentando coloração idêntica ou incompatível com os padrões da NBR 5410. Creder (2022) destaca que a ausência de identificação padronizada é um fator de risco significativo durante intervenções de manutenção, pois obriga o técnico a rastrear manualmente cada condutor antes de qualquer manobra, aumentando o tempo de exposição ao risco elétrico e a probabilidade de conexões incorretas durante a remontagem do circuito.

O motor auxiliar da bomba de fluido de corte apresentava o capacitor de partida e funcionamento com especificações incompatíveis com as exigências do motor, evidenciando uma substituição anterior realizada sem o devido critério técnico. Creder (2022) alerta que o uso de capacitor com capacitância ou tensão de trabalho inadequadas compromete o torque de partida do motor monofásico, provoca

aquecimento excessivo dos enrolamentos e reduz significativamente a vida útil do componente, podendo evoluir para falha catastrófica com risco de incêndio no painel de comando.

O circuito de parada de emergência original do equipamento era composto por um simples botão de desligamento sem categoria de segurança definida, sem monitoramento da integridade do circuito e sem relé de segurança dedicado. Almeida (2019) observa que esse tipo de sistema, embora funcional em condições normais de operação, não oferece qualquer garantia de atuação em caso de falha do próprio botão ou dos condutores de ligação, não atendendo, portanto, aos requisitos mínimos de segurança funcional estabelecidos pela NR12 para equipamentos desta categoria.

O diagnóstico técnico global evidenciou que o equipamento se encontrava em situação de não conformidade elétrica abrangente, não atendendo às condições mínimas de segurança estabelecidas pela NR10 nem aos requisitos funcionais de segurança da NR12. A somatória das falhas identificadas confirmou a necessidade de implementação de um processo integral de *retrofit* elétrico, com intervenções sistêmicas que abrangessem simultaneamente o circuito de alimentação, o sistema de aterramento, o painel de comando e os dispositivos de segurança do equipamento, conforme detalhado nas seções seguintes (Brasil, 2022).

4.3 MELHORIAS E RESULTADOS

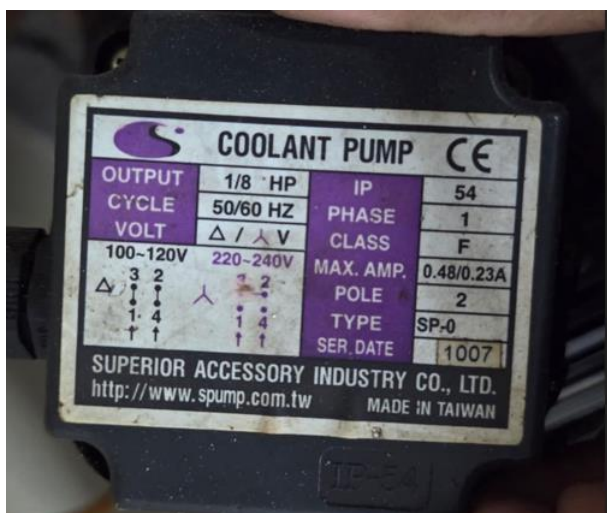
Com base no diagnóstico técnico realizado e no levantamento de riscos elétricos conduzido em conformidade com os preceitos da NR10, foram definidas e executadas as intervenções de *retrofit* elétrico necessárias para a recuperação da conformidade normativa e a modernização do sistema de acionamento e segurança da serra de fita Cosen MH-270M. As ações adotadas seguiram uma sequência lógica de priorização, iniciando-se pelos componentes que representavam maior risco imediato à integridade do operador e do mantenedor, avançando progressivamente para as adequações de desempenho e conformidade funcional.

4.3.1 Substituição do Motor Principal

A primeira intervenção executada contemplou a inspeção e substituição da bomba de lubrificação. A análise das condições elétricas

do motor original evidenciou degradação dos enrolamentos e resistência de isolamento abaixo dos valores mínimos aceitáveis pela NBR 5410 conforme pode ser observado na figura 1, comprometendo a segurança da operação e a estabilidade do torque entregue à lâmina. O motor foi substituído por unidade nova de especificação compatível com os requisitos originais do fabricante, garantindo a retomada das condições nominais de operação do circuito de potência principal (Cosen, 2018).

Figura 1 - Bomba que foi substituído da serra



Fonte: Autores (2026).

Após a instalação do novo motor, procedeu-se à verificação da ligação elétrica dos enrolamentos conforme a figura 2, confirmando-se a compatibilidade com a tensão de alimentação de 220 V disponível na instalação do laboratório. Creder (2022) destaca que a correta identificação dos terminais do motor e a verificação do sentido de rotação antes da partida são procedimentos indispensáveis na instalação de qualquer motor elétrico industrial, prevenindo danos aos enrolamentos e aos elementos de transmissão mecânica acoplados ao eixo.

Figura 2 - Ligação do motor



Fonte: Autores (2026).

4.3.2 Substituição e Verificação do Capacitor da Bomba Auxiliar

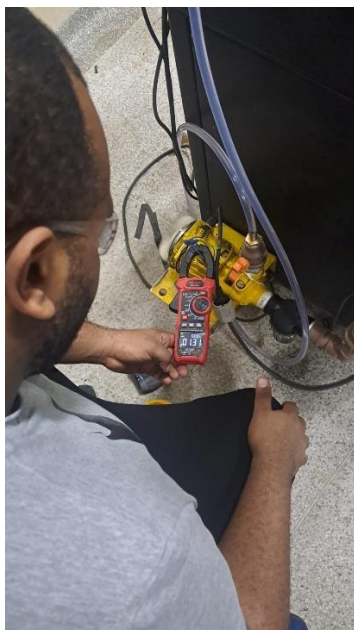
A segunda etapa de intervenção concentrou-se no circuito elétrico da bomba de fluido de corte, cujo motor monofásico apresentava o capacitor de partida e funcionamento com especificações incompatíveis com as exigências do motor conforme a figura 3. O componente foi removido e substituído por unidade nova com capacitância e tensão de trabalho compatíveis com as especificações técnicas do motor auxiliar, eliminando o risco de aquecimento excessivo dos enrolamentos e restabelecendo o torque de partida adequado ao acionamento da bomba (Creder, 2022).

Figura 3 - Capacitor da bomba

Fonte: Autores (2026).

Após a substituição do capacitor, procedeu-se à medição da corrente de operação da bomba em regime permanente, verificando-se a aderência do valor obtido à corrente nominal especificada pelo fabricante do motor auxiliar conforme a figura 4. Mamede Filho (2023) reforça que a medição de corrente em regime permanente é o ensaio mais direto para confirmar o correto dimensionamento do capacitor em motores monofásicos, pois valores de corrente superiores ao nominal indicam desequilíbrio no circuito de fase auxiliar, comprometendo a eficiência e a vida útil do motor.

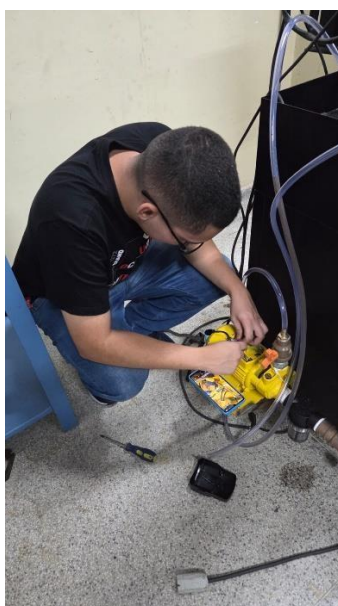
Figura 4 - Medição da corrente da bomba



Fonte: Autores (2026).

Em seguida, realizou-se a instalação completa da bomba no sistema de fluido de corte, com verificação do funcionamento em regime e medição da rotação por meio de tacômetro, confirmando-se a compatibilidade entre a velocidade de operação e as especificações de vazão do sistema de refrigeração do equipamento (Cosen, 2018) conforme figura 5 e 6.

Figura 5 - Instalação da bomba



Fonte: Autores (2026).

Figura 6 - Medição do RPM da bomba



Fonte: Autores (2026).

4.3.3 Instalação do Disjuntor Exclusivo e da Chave Seccionadora *LOTO*

A terceira etapa de intervenção concentrou-se na adequação do circuito de alimentação da máquina aos requisitos de proteção e seccionamento estabelecidos pela NBR 5410 e pela NR10 conforme a figura 7. Foi instalado um disjuntor termomagnético exclusivo, com curva de disparo adequada às características do motor principal de 1,5 HP, no quadro de distribuição do laboratório, garantindo a proteção individual do equipamento contra sobrecorrentes e possibilitando o isolamento elétrico da máquina sem interrupção dos demais circuitos do laboratório (ABNT, 2004).

Figura 7 - Instalação da serra em um disjuntor separado



Fonte: Autores (2026).

Paralelamente, foi instalada uma chave seccionadora rotativa com bloqueio por cadeado na alimentação da máquina, posicionada de forma acessível ao operador e identificada com sinalização padronizada conforme os requisitos da NR10 conforme figura 8 e 9. Esse dispositivo permite a aplicação do procedimento *LOTO* de forma segura e eficaz, garantindo que o equipamento permaneça no estado de zero energia durante toda a duração de qualquer intervenção de manutenção (Kindermann, 1995).

Figura 8 - Instalação da chave seletora lockout tagout



Fonte: Autores (2026).

Figura 9 - Chave seletora lockout tagout



Fonte: Autores (2026).

4.3.4 Modernização do Painel de Comando e Instalação do Relé de Segurança

A quarta etapa de intervenção abrangeu a modernização interna do painel de comando do equipamento, com a reorganização e reidentificação de todos os condutores conforme os padrões cromáticos estabelecidos pela NBR 5410, a substituição de componentes de manobra com desgaste avançado e a instalação do relé de segurança monitorado para a função de parada de emergência, em conformidade com os requisitos funcionais de segurança da NR12 (Brasil, 2022) conforme figura 10.

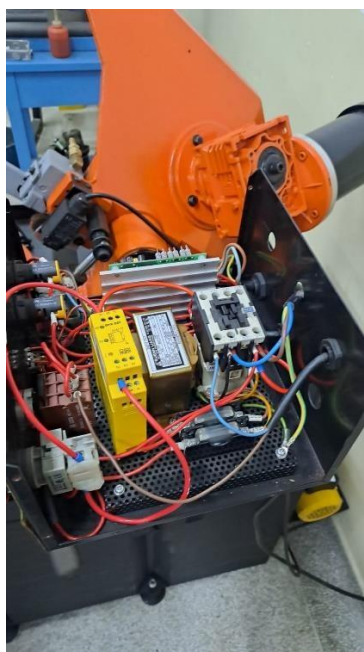
Figura 10 - Painel antes do relé de segurança NR12



Fonte: Autores (2026).

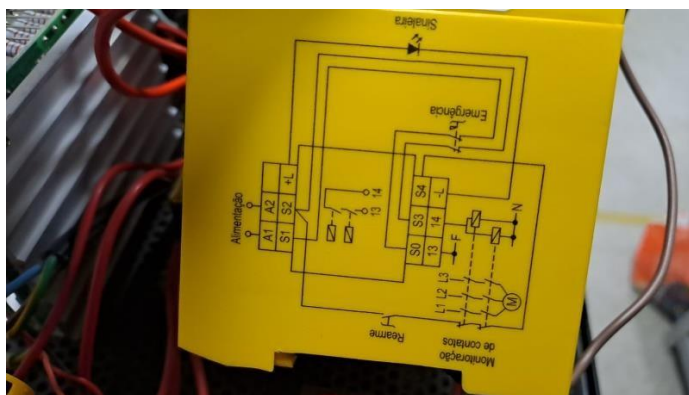
O relé de segurança monitorado foi instalado e configurado de acordo com o diagrama elétrico elaborado durante a fase de projeto do *retrofit*, integrando o botão de parada de emergência ao circuito de acionamento do contator principal conforme a figura 11. O dispositivo monitora continuamente a integridade do circuito de segurança, garantindo que qualquer falha — seja no botão, nos condutores de ligação ou no próprio relé — resulte na desenergização segura do contator principal e na imobilização imediata da lâmina de serra (Almeida, 2019).

Figura 11 - Pannel com relé NR12



Fonte: Autores (2026).

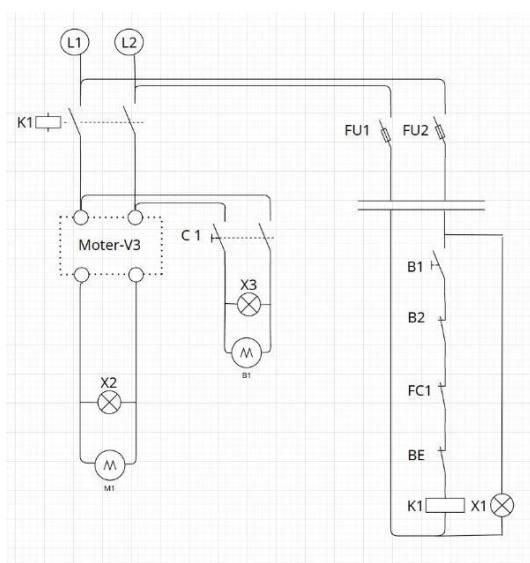
O diagrama do relé de segurança, elaborado durante a fase de projeto e utilizado como referência para a execução das ligações, documenta a arquitetura do circuito de segurança implementado, indicando os terminais de entrada do botão de emergência, os contatos de saída para o contator principal e os contatos de monitoramento de realimentação conforme figura 12. Garcia (2017) destaca que a documentação do circuito de segurança é um requisito normativo e um instrumento técnico indispensável para a realização de futuras manutenções e auditorias de conformidade no equipamento.

Figura 12 - Diagrama do relé de segurança NR12

Fonte: Autores (2026).

4.3.5 Elaboração do Diagrama Elétrico Atualizado

A quinta e última etapa do processo de *retrofit* elétrico correspondeu à elaboração do diagrama elétrico atualizado do equipamento, contemplando o circuito de potência, o circuito de comando, o sistema de aterramento e o circuito de segurança implementado conforme figura 13. Mamede Filho (2023) reforça que a documentação técnica atualizada não é um requisito meramente burocrático, mas um instrumento de segurança essencial que permite ao técnico de manutenção conhecer previamente a real condição de energização de cada parte do circuito antes de qualquer intervenção física no equipamento.

Figura 13 - Diagrama elétrico

Fonte: Autores (2026).

O diagrama elaborado registra todos os componentes instalados durante o *retrofit*, suas especificações técnicas, as referências de identificação adotadas para os condutores e os pontos de medição utilizados nos ensaios de validação. Esse documento passa a integrar o prontuário técnico do equipamento, disponível no laboratório para consulta pelos técnicos de manutenção e pelos docentes responsáveis pelas atividades práticas, atendendo ao requisito de documentação técnica atualizada estabelecido pela NR10 (Brasil, 2022).

4.3.6 Estado Final do Equipamento e Validação Operacional

Ao término das intervenções, o equipamento foi submetido a um conjunto de ensaios funcionais para validação da eficácia das melhorias implementadas. Os ensaios realizados seguiram a sequência recomendada pela NR10 para a verificação de instalações elétricas após intervenções de modernização, abrangendo medições instrumentadas de resistência de isolamento, continuidade do sistema de aterramento e verificação funcional de todos os dispositivos de proteção e segurança instalados (Brasil, 2022).

A medição de resistência de isolamento dos enrolamentos do motor principal e dos condutores de alimentação confirmou valores dentro dos limites mínimos estabelecidos pela NBR 5410, atestando a integridade dielétrica do circuito de potência após a substituição do motor e a reorganização dos condutores no interior do painel. Mamede Filho (2023) reforça que essa medição é indispensável após qualquer intervenção em circuitos de potência, pois valores de isolamento abaixo do mínimo aceitável indicam risco iminente de falha e de energização acidental das massas metálicas do equipamento.

A verificação da continuidade do sistema de aterramento, realizada com medidor de baixa resistência entre a carcaça do motor, o painel de comando e o barramento de terra da instalação, confirmou a eficácia das conexões estabelecidas durante o *retrofit*. Kindermann (1995) destaca que a continuidade do aterramento, verificada por medição instrumentada e não apenas por inspeção visual, é o único método confiável para atestar que o sistema de proteção contra contatos indiretos funcionará corretamente em caso de falha de isolamento no equipamento.

O ensaio funcional do relé de segurança monitorado consistiu na simulação de todas as condições de falha previstas no projeto do circuito de segurança: acionamento do botão de emergência, interrupção proposital dos condutores de entrada do relé e tentativa de religamento sem a devida reposição do circuito. Em todas as situações simuladas, o relé respondeu conforme o esperado, mantendo os contatos de saída abertos e impedindo o reenergização do contator principal até a reposição manual e consciente do circuito de segurança (Almeida, 2019).

A verificação funcional da chave seccionadora com bloqueio confirmou a eficácia do dispositivo na interrupção visível e bloqueável do circuito de alimentação, com o cadeado aplicado impedindo fisicamente o retorno da chave à posição ligada. Kindermann (1995) observa que o teste funcional do dispositivo *LOTO* deve ser realizado com o circuito energizado, verificando-se não apenas o bloqueio mecânico, mas também a ausência de tensão nos terminais de saída da chave após o seccionamento, por meio de medição com voltímetro calibrado.

O sistema de bombeamento do fluido de corte foi testado em regime contínuo, confirmando-se a operação estável do motor auxiliar com o novo capacitor instalado, a ausência de aquecimento excessivo após ciclo prolongado de funcionamento e a vazão adequada do fluido sobre a zona de corte. Creder (2022) reforça que o teste em regime prolongado é especialmente importante em motores monofásicos com capacitor, pois eventuais problemas de dimensionamento do componente manifestam-se pelo aquecimento progressivo dos enrolamentos, detectável apenas após um período de operação contínua suficiente para estabilizar a temperatura do motor.

Os resultados consolidados dos ensaios de validação demonstraram a recuperação da conformidade elétrica plena do equipamento, com eliminação de todas as não conformidades identificadas na fase de diagnóstico. O Quadro 1 sintetiza as principais intervenções realizadas, os componentes substituídos e os resultados alcançados nos ensaios de validação, permitindo uma visão consolidada do escopo técnico do processo executado na Cosen MH-270M.

Quadro 1 – Intervenções realizadas

Sistema / Componente	Problema diagnosticado	Intervenção realizada	Resultado obtido

Motor principal de acionamento	Degradação dos enrolamentos e resistência de isolamento abaixo do valor mínimo aceitável	Substituição integral do motor por unidade nova de especificação compatível	Retomada das condições nominais de operação e isolamento dentro dos limites da NBR 5410
Capacitor do motor auxiliar da bomba	Capacitância e tensão de trabalho incompatíveis com as especificações do motor monofásico	Substituição por capacitor CBB60 de especificação compatível com o motor auxiliar	Eliminação do aquecimento excessivo e restabelecimento do torque de partida adequado
Circuito de alimentação — proteção individual	Ausência de disjuntor exclusivo dedicado ao equipamento; circuito compartilhado com outras máquinas	Instalação de disjuntor termomagnético exclusivo com curva de disparo adequada ao motor de 1,5 HP	Proteção individual contra sobrecorrentes e possibilidade de isolamento seletivo do equipamento
Circuito de alimentação — seccionamento	Inexistência de chave seccionadora com bloqueio por cadeado na alimentação da máquina	Instalação de chave seccionadora rotativa com bloqueio <i>LOTO</i> identificada com sinalização padronizada	Conformidade com os requisitos de bloqueio e sinalização da NR10; eliminação do risco de reenergização acidental
Sistema de aterramento	Continuidade comprometida com conexões oxidadas entre carcaça do motor e barramento de terra	Reestruturação das conexões de aterramento com condutores novos identificados em verde-amarelo e verificação por medição instrumentada	Continuidade de aterramento confirmada por ensaio; proteção eficaz contra contatos indiretos restabelecida
Painel de comando — identificação de condutores	Condutores sem identificação padronizada por cores, com funções distintas apresentando coloração idêntica	Reorganização e reidentificação de todos os condutores conforme padrão cromático da NBR 5410	Conformidade com a NBR 5410; redução do risco de manobras incorretas durante intervenções de manutenção
Sistema de parada de emergência	Botão de desligamento simples sem categoria de segurança definida e sem	Instalação de relé de segurança monitorado integrado	Função de parada de emergência com monitoramento contínuo

	monitoramento de integridade do circuito	ao circuito de acionamento do contator principal	do circuito; conformidade com os requisitos funcionais de segurança da NR12
Documentação técnica	Inexistência de diagrama elétrico atualizado refletindo as condições reais do circuito	Elaboração do diagrama elétrico completo contemplando circuito de potência, comando, aterramento e segurança	Atendimento ao requisito de documentação técnica atualizada da NR10; prontuário do equipamento estabelecido

Fonte: Autores (2026).

Os resultados consolidados demonstram que o conjunto das intervenções realizadas abarcou todas as dimensões críticas do sistema elétrico do equipamento identificadas no diagnóstico inicial. Conforme destaca Garcia (2017), a eficácia de um processo de *retrofit* elétrico é proporcional à abrangência e à profundidade do diagnóstico que o precede: quanto mais completo o levantamento das não conformidades, maior a probabilidade de que a modernização conduza o ativo a um patamar de segurança e desempenho superior ao original.

Dessa forma, o equipamento pôde ser devolvido ao laboratório de fabricação da FATEC Mauá em condições plenas de operação elétrica segura, restabelecendo sua disponibilidade para as atividades didáticas e de pesquisa em conformidade com os requisitos da NR10 e da NR12. A experiência acumulada neste processo evidencia que a gestão estratégica da manutenção elétrica, aliada ao planejamento técnico rigoroso das intervenções de modernização, representa o caminho mais eficiente e sustentável para a preservação do patrimônio tecnológico das instituições de ensino técnico e superior (Silva, 2019).

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho teve como objetivo central analisar e implementar o processo de *retrofit* elétrico na serra de fita horizontal Cosen MH-270M, instalada no laboratório de processos de fabricação da FATEC Mauá, visando a modernização dos sistemas de acionamento e comando, a adequação às exigências da Norma Regulamentadora NR10 e a implementação dos requisitos elétricos de segurança funcional previstos na NR12. A análise dos resultados obtidos ao longo das etapas de diagnóstico, planejamento e execução das intervenções permite afirmar que os objetivos propostos foram alcançados de forma satisfatória, consolidando o *retrofit* elétrico como uma estratégia técnica e economicamente viável para a preservação e modernização de ativos industriais em ambientes acadêmicos.

O diagnóstico técnico conduzido na fase inicial do estudo revelou um cenário de obsolescência elétrica multidimensional, com não conformidades distribuídas por todos os subsistemas elétricos do equipamento. A identificação sistemática dessas não conformidades, por meio do protocolo de estudo de caso adotado, permitiu a elaboração de um plano de intervenção ordenado por grau de criticidade, no qual cada ação foi precedida de análise técnica e embasada nas especificações do fabricante e nas diretrizes normativas vigentes. Essa abordagem metodológica demonstrou-se eficaz ao garantir que nenhum subsistema comprometido permanecesse sem a devida ação corretiva ao término do processo (Garcia, 2017).

Do ponto de vista dos resultados técnicos, as intervenções realizadas proporcionaram a recuperação plena da conformidade elétrica do equipamento. A substituição do motor principal restabeleceu as condições nominais de operação do circuito de potência, com resistência de isolamento verificada dentro dos limites mínimos da NBR 5410. A substituição do capacitor do motor auxiliar eliminou o risco de aquecimento excessivo dos enrolamentos da bomba de fluido de corte, restabelecendo o torque de partida adequado e a estabilidade operacional do circuito auxiliar (Creder, 2022).

A instalação do disjuntor exclusivo e da chave seccionadora com bloqueio *LOTO* representou a concretização dos requisitos de proteção individual e seccionamento seguro estabelecidos pela NR10 e pela NBR 5410, eliminando as condições de risco associadas ao circuito de alimentação compartilhado e à ausência de mecanismo físico de bloqueio contra reenergização acidental durante intervenções

de manutenção. Kindermann (1995) observa que essas duas medidas, quando implementadas em conjunto, formam a base mínima indispensável para a segurança elétrica de qualquer máquina industrial em ambiente de ensino técnico.

A reestruturação do sistema de aterramento, com a substituição dos condutores de proteção deteriorados e a verificação instrumentada da continuidade entre a carcaça do motor, o painel de comando e o barramento de terra da instalação, restabeleceu a proteção eficaz contra contatos indiretos, garantindo que eventuais falhas de isolamento resultem na atuação dos dispositivos de proteção e não na energização das massas metálicas acessíveis ao operador. Mamede Filho (2023) reforça que essa é a medida de maior impacto na redução do risco de choque elétrico em ambientes industriais, pois atua diretamente sobre a consequência mais grave de uma falha de isolamento.

A instalação do relé de segurança monitorado para a função de parada de emergência representou o avanço mais significativo em termos de segurança funcional, elevando o circuito de parada do equipamento de um simples botão de desligamento sem categoria definida para um sistema com monitoramento contínuo de integridade, compatível com os requisitos da NR12. Almeida (2019) destaca que essa modernização é o elemento que diferencia um *retrofit* elétrico de uma simples manutenção corretiva, pois incorpora ao equipamento uma tecnologia de segurança que não existia em seu projeto original de fábrica.

No que se refere à conformidade normativa, as intervenções realizadas conduziram o equipamento a um estado de plena adequação às exigências da NR10, com a eliminação de todas as não conformidades identificadas no diagnóstico inicial. A elaboração do diagrama elétrico atualizado e a constituição do prontuário técnico do equipamento completaram o conjunto de requisitos documentais exigidos pela norma, garantindo que as condições de segurança implementadas sejam mantidas ao longo do ciclo de vida do ativo por meio de intervenções de manutenção tecnicamente fundamentadas (Brasil, 2022).

Como contribuição ao campo do conhecimento em fabricação mecânica e segurança elétrica industrial, este estudo demonstrou que o *retrofit* elétrico planejado e executado de forma sistemática é capaz de transformar um equipamento em estado crítico de não conformidade normativa em uma máquina plenamente segura, documentada e disponível para uso, a um custo significativamente inferior ao da substituição integral do ativo. Essa constatação reforça a relevância estratégica das

práticas de manutenção elétrica preventiva e do planejamento de adequações normativas no prolongamento da vida útil de equipamentos de laboratório, especialmente em instituições de ensino público, onde os recursos são limitados e a continuidade das atividades práticas é essencial para a formação técnica de qualidade (Silva, 2019).

Recomenda-se, para trabalhos futuros, o desenvolvimento de um projeto complementar de automação da Cosen MH-270M, contemplando a implementação de um Controlador Lógico Programável (CLP) para substituição da lógica de comando eletromecânica original, a instalação de inversor de frequência para controle variável da velocidade de corte e a integração de sensores de monitoramento de corrente e temperatura para a implementação de manutenção preditiva baseada em condição. Recomenda-se ainda a extensão da metodologia aplicada neste trabalho aos demais equipamentos do laboratório de fabricação da FATEC Mauá, promovendo a adequação normativa sistemática do parque de máquinas da instituição e consolidando um ambiente de ensino prático em plena conformidade com as melhores práticas da engenharia elétrica industrial contemporânea.

REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Luís Fernando. **Estudo e Implementação de Retrofit em Máquinas para Aumento de Eficiência Energética e Segurança**. 2019. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- BARROS, R. M.; VIEIRA, A. **Apostila de elementos de máquinas**. São Bernardo do Campo: Centro Universitário da FEI, 2017.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 10: Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade**. Brasília, DF: MTE, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs/nr-10>. Acesso em: 11 jun. 2026.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 12: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Brasília, DF: MTE, 2023. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/acesso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/ctpp-nrs/normas-regulamentadoras-nrs/nr-12>. Acesso em: 11 jun. 2026.
- COSEN MECH. CO., LTD. **Instruction Manual: MH-270M Band Saw Machine**. Taiwan: Cosen, 2018.
- CREDER, Hélio. **Instalações Elétricas**. 17. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2022.
- FILIPPO, R. G. **Retrofitting de máquinas-ferramenta: conceitos e aplicações**. São Paulo: Érica, 2014.
- GARCIA, Maria Helena. **Tecnologias para a Modernização e Retrofit de Máquinas Industriais**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2017.
- GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- KINDERMANN, Geraldo; CAMPAGNOLO, Jorge Mário. **Aterramento Elétrico**. 4. ed. Porto Alegre: Sagra Luzzatto, 1995.
- LAVILLE, Christian; DIONNE, Jean. A. **A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas**. Rev. técnica Lana Mara Siman e Maria Amélia Castro. Belo Horizonte: UFMG, 1999.
- MAMEDE FILHO, João. **Instalações Elétricas Industriais**. 10. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2023.
- NATALE, Ferdinando. **Automação Industrial**. 10. ed. São Paulo: Érica, 2008.

SILVA, José Carlos da. **Gestão da Manutenção e Retrofit de Equipamentos Industriais**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

SOUZA, G. F. M. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009.

YIN, Robert K. **Estudo de caso: planejamento e métodos**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.