

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

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

**JOSÉ LUIZ MOREIRA DA SILVA SANTOS
PAULO MIRANDA MASAGUE
YTALO RODRIGO DA SILVA FURTUOZO**

***RETROFIT DE SERRA DE FITA:
MELHORIA DO DESEMPENHO E ADEQUAÇÃO A NR12***

**MAUÁ - SP
2026**

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

***RETROFIT* DE SERRA DE FITA:
MELHORIA DO DESEMPENHO E ADEQUAÇÃO A NR12**

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. Esp. Wil Robson
Rodrigues de Brito

Prof. Esp. 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

S237r Santos, José Luiz Moreira da Silva.

Retrofit de serra de fita : melhoria do desempenho e adequação à NR12 / José Luiz Moreira da Silva Santos ; Paulo Miranda Masague ; Ytalo Rodrigo da Silva Furtuozo. – 2026.
42 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. 42.

1. *Retrofit*. 2. Serra de fita. 3. Manutenção industrial. 4. NR12 (norma). 5. Fabricação mecânica. I. Masague, Paulo Miranda. II. Furtuozo, Ytalo Rodrigo da Silva. III. Brito, Wil Robson Rodrigues de. IV. Título.

CDD 23. : Máquinas: manutenção e reparos 621.816
Ferramentas e equipamentos de fabricação 621.9
Elaborada por Tatiana Sambinelli CRB-8 SP-011003/O

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

***RETROFIT* DE SERRA DE FITA:
MELHORIA DO DESEMPENHO E ADEQUAÇÃO A NR12**

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* 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 recuperação funcional do ativo, a otimização do desempenho operacional e a aproximação às exigências da Norma Regulamentadora 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 apreciação de riscos do equipamento. O diagnóstico técnico revelou um cenário de deterioração multidimensional, com falhas críticas no sistema de refrigeração — representadas pela corrosão generalizada e ruptura estrutural do filtro do fluido de corte —, desgaste avançado dos rolamentos do conjunto redutor de velocidade e ausência de rotinas adequadas de conservação da estrutura. Com base nesse diagnóstico, foram executadas intervenções sistemáticas que compreenderam a substituição integral do filtro de refrigeração, a revisão e relubrificação do conjunto redutor com troca dos rolamentos desgastados, a limpeza profunda da estrutura e a repintura anticorrosiva das superfícies externas. Os resultados obtidos demonstraram a recuperação plena da operabilidade do equipamento, com eliminação das anomalias identificadas e restabelecimento dos parâmetros de funcionamento dentro das especificações originais do fabricante. O *retrofit* planejado e executado de forma sistemática constitui estratégia técnica e economicamente viável para a preservação 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) e a integração de dispositivos de segurança monitorados para plena conformidade com a NR12.

Palavras-chave: *retrofit*; serra de fita; manutenção Industrial; nr12; fabricação mecânica.

ABSTRACT

This study addresses the *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 restoring the asset's functional capacity, optimizing operational performance, and approaching full compliance with Regulatory Standard 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 equipment risk assessment. The technical diagnosis revealed a multidimensional deterioration scenario, with critical failures in the cooling system — represented by widespread corrosion and structural rupture of the cutting fluid filter —, advanced wear of the speed reducer bearings, and the absence of adequate structural conservation routines. Based on this diagnosis, systematic interventions were carried out, comprising the complete replacement of the cooling filter, the overhaul and relubrication of the reducer assembly with replacement of worn bearings, thorough structural cleaning, and anticorrosive repainting of external surfaces. The results demonstrated full recovery of the equipment's operability, with elimination of the identified anomalies and restoration of operating parameters within the original manufacturer's specifications. It is concluded that a systematically planned and executed *retrofit* constitutes a technically and economically viable strategy for the preservation of industrial assets in educational institutions. As a continuation of this work, the implementation of a Programmable Logic Controller (PLC)-based control system and the integration of monitored safety devices are recommended to achieve full compliance with NR12.

Keywords: retrofit; band saw; industrial maintenance; nr12; mechanical manufacturing.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Plaqueta de identificação da máquina.....	29
Figura 2 – Imagem do equipamento	30
Figura 3 – Vista superior do filtro degradado.....	31
Figura 4 – Vista lateral do filtro degradado	31
Figura 5 – Estado inicial do equipamento evidenciando acúmulo de cavacos e resíduos sobre a bancada	32
Figura 6 – Vista da mesa de trabalho e morsa com deposição de resíduos metálicos	33
Figura 7 – Inspeção do conjunto redutor com evidência de desgaste nos rolamentos de suporte	35
Figura 8 – Vista frontal da máquina após intervenções de limpeza e restauração estrutural	36
Figura 9 – Vista geral do equipamento restaurado	37
Figura 10 – Sistema de fluido com bomba operacionais	38

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Síntese das intervenções realizadas no retrofit da cosen MH-270M.....39

LISTA DE SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas
AVA - Ambiente Virtual de Aprendizagem
CLP - Controlador Lógico Programável
FATEC - Faculdade de Tecnologia
HP - *Horsepower* (Cavalo-Vapor)
MH - Manual Horizontal (denominação da série do equipamento Cosen)
NBR - Norma Brasileira
NR - Norma Regulamentadora
NR12 - Norma Regulamentadora n.º 12 — Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos
PLC - *Programmable Logic Controller* (Controlador Lógico Programável)
PSI - *Pounds per Square Inch* (Libras por Polegada Quadrada)
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	10
1.3 JUSTIFICATIVA	11
1.4 DELIMITAÇÃO DA PESQUISA.....	12
1.5 ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	12
2 REVISÃO DA LITERATURA	14
2.1 CONCEITOS DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL E RETROFIT	16
2.1.1 Manutenção.....	17
2.1.2 Retrofit.....	18
2.2 NR12 E SEGURANÇA DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS.....	19
2.3 DIRETRIZES PARA O RETROFIT CONFORME NBR 16166	21
2.4 SERRA DE FITA E DINÂMICA DE CORTE	23
3 METODOLOGIA DA PESQUISA.....	26
3.1 O PROTOCOLO PARA O ESTUDO DE CASOS	26
3.2 O DELINEAMENTO DA PESQUISA	27
4 DESCRIÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS.....	29
4.1 IMPORTÂNCIA DO EQUIPAMENTO DENTRO DA EMPRESA	29
4.2 PROBLEMÁTICA	30
4.3 MELHORIAS E RESULTADOS.....	34
4.3.1 Substituição e Recuperação do Sistema de Refrigeração	34
4.3.2 Revisão do Conjunto Redutor e Substituição de Rolamentos	34
4.3.3 Limpeza Geral, Restauração Estrutural e Pintura	35
4.3.4 Estado Final do Equipamento e Validação Operacional	37
5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	40
REFERÊNCIAS.....	42

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 um dimensional razoável e estabilidade operativa. No modelo Cosen MH-270M, a eficiência do corte está intrinsecamente ligada à integridade dos sistemas eletromecânicos e à correta interação entre os parâmetros de velocidade de corte e avanço.

Entretanto, o uso prolongado e a obsolescência de componentes de controle podem comprometer a repetibilidade do processo e elevar os índices de manutenção corretiva, tornando necessária a intervenção técnica via *retrofit* para a preservação do ativo industrial.

Do ponto de vista da automação industrial, a modernização desse equipamento envolve a substituição de sistemas de acionamento convencionais por arquiteturas de controle baseadas em lógica programável. A implementação de controladores eletrônicos e sensores de monitoramento permite uma gestão mais refinada das variáveis de operação, reduzindo o desgaste prematuro da lâmina de serra e otimizando o consumo energético.

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 das tolerâncias especificadas pelo fabricante.

No que tange à segurança do trabalho, a conformidade com a NR12 é um requisito mandatório para qualquer equipamento em ambiente acadêmico ou industrial. A ausência de sistemas de intertravamento monitorados e de dispositivos de parada de emergência com categoria de segurança adequada expõe os operadores a riscos mecânicos críticos, como o contato inadvertido com a zona de corte.

De acordo com a Almeida (2019), a reestruturação dos sistemas de segurança deve ser precedida por uma análise de riscos criteriosa, assegurando que as proteções físicas e eletrônicas atuem de forma redundante para impedir o acionamento acidental ou a permanência de movimentos perigosos após o comando de parada.

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 movimentação e corte para assegurar a conformidade com as diretrizes de segurança vigentes. O problema central reside na obsolescência dos sistemas de intertravamento e comando originais, que, por serem predominantemente eletromecânicos e desprovidos de monitoramento eletrônico redundante, não atendem às exigências da Norma Regulamentadora NR12.

A ausência de dispositivos de segurança de categoria adequada, como relés de segurança e sensores de posição com bloqueio, eleva o risco de acidentes graves decorrentes do acesso inadvertido à lâmina de corte em movimento ou de partidas inesperadas durante intervenções de ajuste e manutenção.

Do ponto de vista técnico-operacional, a lacuna tecnológica do equipamento atual reflete-se na dificuldade de garantir a repetibilidade dos parâmetros de corte e na proteção do ativo contra falhas de operação. A variabilidade no acionamento e a falta de sistemas de diagnóstico em tempo real corroboram para um cenário de vulnerabilidade, onde a integridade física do operador e a eficiência do processo produtivo dependem excessivamente de procedimentos manuais, passíveis de erro humano.

Diante desses desafios técnicos e normativos, surge a questão central que orienta a problemática deste estudo: Como a implementação de um projeto de *retrofit*, baseado na integração de controladores lógicos e dispositivos de segurança monitorados, pode assegurar a adequação da serra de fita MH-270M às exigências da NR12 e, simultaneamente, otimizar o desempenho operacional e a confiabilidade do equipamento no processo de fabricação mecânica?

1.2 OBJETIVOS

A questão central deste estudo foca em analisar e implementar o processo de *retrofit* na serra de fita Cosen MH-270M, visando a modernização de seus sistemas de controle para a otimização do desempenho operacional e a conformidade integral com a norma NR12. Destacam-se como objetivos específicos: Realizar o diagnóstico técnico e a apreciação de riscos do equipamento original, identificando as não

conformidades em relação aos padrões de segurança vigentes; Desenvolver e integrar um sistema de controle baseado em lógica programável (CLP), substituindo os componentes eletromecânicos obsoletos por dispositivos de intertravamento monitorados; e Validar a eficácia das adequações realizadas por meio de testes funcionais, analisando a melhoria na confiabilidade do processo de fabricação mecânica e a garantia da integridade física do operador.

1.3 JUSTIFICATIVA

A justificativa para a implementação do *retrofit* e a adequação normativa da serra de fita Cosen MH-270M reside na crescente exigência por padrões elevados de segurança 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 de sistemas de controle torna-se uma variável crítica.

A operação de equipamentos que não atendem integralmente à NR12 acarreta consequências severas, incluindo a exposição a riscos mecânicos residuais, potenciais interdições por órgãos fiscalizadores e paradas não programadas por falhas em componentes obsoletos. Portanto, a compreensão técnica das necessidades de atualização deste equipamento é vital para sustentar a continuidade das atividades laboratoriais sob condições de máxima segurança.

Além disso, a evolução dos componentes de automação e segurança industrial aumentou a viabilidade de processos de modernização, tornando a gestão da manutenção mais assertiva. A precisão no controle dos parâmetros de corte e o intertravamento eficaz das proteções não apenas elevam a qualidade da manufatura, mas impactam diretamente na extensão da vida útil do equipamento.

Segundo Silva (2019), a negligência na atualização tecnológica de máquinas ferramentas pode resultar em custos elevados de manutenção corretiva e, em cenários críticos, acidentes de trabalho decorrentes da falha de dispositivos de parada de emergência ineficientes.

Este estudo justifica-se, portanto, pela necessidade de desenvolver e aplicar soluções de engenharia que integrem segurança e produtividade. O *retrofit* 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 trabalho e aprendizado em conformidade com as melhores práticas da engenharia mecânica 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 de ativos industriais. Em sequência, detalham-se a Definição do Problema, o Objetivo central do estudo, a Justificativa técnica e econômica, bem como a fronteira de Delimitação da pesquisa, estabelecendo o escopo de atuação no modelo Cosen MH-270M.

O segundo capítulo dedica-se à revisão bibliográfica, abordando os conceitos de *retrofit*, automação industrial e as diretrizes da norma NR12. Neste escopo, destacam-se as tecnologias de intertravamento de segurança, o funcionamento de controladores lógicos programáveis e a fundamentação teórica sobre os riscos mecânicos inerentes às máquinas de corte por fita, 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 na FATEC Mauá, o delineamento das etapas de

diagnóstico e as atividades técnicas executadas para o desenvolvimento do projeto de adequação e controle.

No quarto e último capítulo, são expostos os resultados obtidos por meio da aplicação prática do *retrofit*. Demonstram-se as melhorias implementadas no sistema de segurança, a nova arquitetura de comando do equipamento e a análise final sobre a eficácia da adequação em conformidade com os padrões normativos, validando o alcance dos objetivos propostos.

2 REVISÃO DA LITERATURA

No contexto da indústria contemporânea, essa segurança 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 é o convívio com ativos que, embora mecanicamente robustos, sofrem com a obsolescência de seus sistemas de comando.

É justamente nessa lacuna que o *retrofit* se posiciona como uma solução de engenharia inteligente e economicamente viável. Para Filippo (2014), realizar o *retrofit* não é apenas restaurar o que está velho, mas sim modernizar e incorporar tecnologias que sequer existiam quando a máquina foi fabricada, elevando o patamar tecnológico do equipamento de forma profunda. Garcia (2017) reforça que essa prática permite que uma máquina atinja níveis de precisão e interface comparáveis aos de modelos novos, porém com um investimento significativamente reduzido, o que justifica sua adoção em larga escala.

Nesse sentido, a decisão por modernizar uma máquina como a serra de fita Cosen MH-270M passa obrigatoriamente por uma análise de sua vida útil e eficiência energética. Silva (2019) argumenta que o *retrofit* atua como uma ferramenta de gestão capaz de prolongar a operacionalidade do ativo, garantindo que ele cumpra tolerâncias rigorosas e novos padrões de consumo de energia.

Almeida (2019) ressalta que essa transição técnica deve ser precedida por um olhar crítico sobre a segurança, pois de nada adianta um ganho produtivo se ele estiver desconectado da proteção ao trabalhador. A serra de fita, por sua própria natureza de corte por fricção e exposição de lâmina, exige um cuidado extremo.

A Norma Regulamentadora NR12 surge então como o balizador mandatário desse processo, estabelecendo que a segurança deve ser intrínseca ao projeto e à operação (ABNT, 2020). Conforme as diretrizes normativas e o entendimento de autores como Almeida (2019), a conformidade exige a instalação de barreiras físicas e eletrônicas que impeçam o acesso às zonas de perigo enquanto a máquina estiver

em movimento, utilizando sistemas de intertravamento e paradas de emergência com redundância técnica para que qualquer falha resulte sempre em um estado seguro.

Paralelamente aos aspectos de segurança e controle, é fundamental considerar a integridade dos elementos de máquinas que compõem o conjunto mecânico. Barros e Vieira (2017) explicam que componentes como eixos, rolamentos, polias e sistemas de transmissão são a base física sobre a qual a automação será aplicada.

Se a estrutura mecânica apresentar folgas ou desgastes excessivos, o controle eletrônico mais sofisticado perderá sua eficácia, resultando em vibrações que comprometem a qualidade do corte e a durabilidade da própria fita de serra. Portanto, o *retrofit* bem-sucedido exige uma simbiose entre a robustez mecânica e o "cérebro" eletrônico da máquina (Almeida, 2019).

Natale (2008), destaca que o uso de Controladores Lógicos Programáveis (CLP) traz uma flexibilidade e uma capacidade de diagnóstico que os antigos sistemas de relés jamais poderiam oferecer. A introdução de inversores de frequência, por exemplo, permite que o motor de 1,5 HP da Cosen MH-270M saia de suas duas velocidades fixas originais de 35 e 70 metros por minuto para uma escala variável e precisa, adaptando-se perfeitamente à dureza de cada metal e economizando energia.

Ao analisarmos especificamente o equipamento objeto deste estudo, a serra Cosen MH-270M, percebemos que suas características originais de fábrica a tornam uma excelente candidata para esse tipo de intervenção. Com capacidade de corte em ângulos que variam de 0° a 60° e uma construção robusta capaz de suportar lâminas de 27 milímetros de largura, ela possui o fôlego mecânico necessário para operar por mais décadas (Almeida, 2019).

No entanto, o manual de instruções da Cosen (2018) revela que seus dispositivos de segurança originais são limitados se comparados às exigências atuais da NR12, baseando-se muitas vezes em proteções simples sem o monitoramento de segurança exigido pela legislação brasileira.

O *retrofit* proposto neste trabalho atua exatamente nessa defasagem, substituindo a lógica de comando ultrapassada por uma arquitetura que integra sensores de segurança, botões de emergência de alta confiabilidade e uma interface que torna a operação mais intuitiva e menos arriscada. Assim, a modernização não apenas devolve a máquina ao ciclo produtivo com maior eficiência, mas também garante que a empresa esteja protegida juridicamente e o operador, fisicamente,

unindo a engenharia de precisão com o compromisso ético da segurança no trabalho (Almeida, 2019).

2.1 CONCEITOS DE MANUTENÇÃO INDUSTRIAL E *RETROFIT*

Historicamente, a manutenção era vista como um custo inevitável e reativo, focada apenas no reparo imediato após a ocorrência de uma falha, mas a evolução do pensamento gerencial, conforme discutido por Souza (2009), elevou essa atividade ao patamar de pilar estratégico da confiabilidade.

Nessa visão contemporânea, manter um equipamento não significa apenas conservá-lo em seu estado original, mas garantir que ele continue desempenhando sua função com a máxima eficiência, segurança e disponibilidade. Entretanto, o avanço tecnológico acelerado impõe um desafio que a manutenção convencional muitas vezes não consegue resolver sozinha: a obsolescência funcional de sistemas que ainda possuem uma estrutura mecânica em perfeitas condições de uso (Almeida, 2019).

É nesse hiato entre a robustez mecânica e o atraso eletrônico que o *retrofit* se estabelece como uma prática de engenharia essencial. Silva (2019) observa que a gestão da manutenção atinge sua maturidade quando consegue identificar o momento exato em que a simples substituição de peças de desgaste já não é mais suficiente para manter a competitividade do ativo.

O *retrofit* surge, então, como uma alternativa à substituição integral da máquina, permitindo que a fundação mecânica — que muitas vezes representa o maior peso e custo do equipamento — seja preservada e revitalizada através da inserção de novos componentes de controle, acionamento e segurança. Essa estratégia não busca apenas "consertar" o que está quebrado, mas sim "reprojetar" partes do sistema para que ele atenda a exigências modernas que nem sequer existiam na época de sua fabricação (Silva, 2019).

Para Filippo (2014), o diferencial do *retrofit* em relação a uma reforma técnica comum é justamente essa integração de tecnologias de ponta em estruturas pré-existentes. Enquanto uma reforma comum devolve a máquina ao seu estado de "nova", o *retrofit* a transforma em uma máquina "moderna", muitas vezes superando as especificações originais de precisão e produtividade.

Garcia (2017) complementa esse raciocínio ao destacar que as tecnologias disponíveis para a modernização industrial permitem hoje que sensores inteligentes, controladores programáveis e sistemas de comunicação em rede sejam instalados em equipamentos analógicos, criando uma ponte direta entre o legado industrial e os conceitos de manufatura avançada. Assim, a introdução a este subtema nos revela que modernizar é, acima de tudo, um ato de sustentabilidade e inteligência financeira, que permite à indústria evoluir sem a necessidade de descartar ativos valiosos, desde que o processo seja guiado por um rigoroso planejamento técnico e normativo.

2.1.1 Manutenção

A manutenção industrial, quando analisada sob uma ótica contemporânea, deixa de ser um conjunto de ações isoladas de reparo para se consolidar como uma gestão estratégica da confiabilidade e da disponibilidade dos ativos. Como bem observa Souza (2009), a evolução deste setor permitiu que as organizações abandonassem o modelo puramente reativo — no qual a intervenção ocorria apenas após a quebra — para adotar posturas preventivas e preditivas, fundamentadas no acompanhamento técnico e no histórico de comportamento das máquinas.

Essa mudança de paradigma é essencial, pois, conforme Silva (2019) aponta, o custo de uma falha inesperada em uma linha de produção moderna supera largamente o investimento em rotinas de inspeção planejadas. No universo das máquinas-ferramenta, essa vigilância técnica recai sobre os elementos de máquinas, como engrenagens, rolamentos e sistemas de transmissão, que são os responsáveis por transformar a energia do motor em movimento de corte preciso.

Barros e Vieira (2017) ressaltam que o desgaste natural desses componentes, se não for monitorado, compromete não apenas a produtividade, mas a integridade estrutural do equipamento, gerando vibrações que reduzem a qualidade do acabamento e a vida útil de ferramentas caras.

Nesse cenário, a serra de fita Cosen MH-270M exige um plano de manutenção rigoroso para manter sua capacidade técnica de corte em materiais ferrosos e não ferrosos. O manual de instruções do fabricante (Cosen, 2018) detalha que a eficácia operacional do equipamento depende diretamente de rotinas de lubrificação dos guias e da correta tensão da lâmina de 27 milímetros.

A manutenção preventiva, neste caso, atua na prevenção de sobrecargas no motor de 1,5 HP e evita o desalinhamento dos volantes, o que poderia causar a ruptura prematura da fita de serra ou acidentes operacionais. Garcia (2017) complementa essa visão ao afirmar que a manutenção de alta qualidade é o pré-requisito básico para qualquer iniciativa de modernização industrial; sem uma base mecânica confiável, a aplicação de novos controles eletrônicos perde sua utilidade.

Portanto, a manutenção deve ser compreendida como a base de sustentação do ciclo de vida da máquina, assegurando que o equipamento opere dentro das tolerâncias de projeto originais e criando o ambiente necessário para que intervenções de *retrofit* e adequações de segurança, como as exigidas pela NR12, possam ser implementadas com sucesso e durabilidade no chão de fábrica (Filippo, 2014).

2.1.2 Retrofit

Complementando a discussão sobre a preservação e a gestão de ativos, o conceito de *retrofit* apresenta-se como a evolução lógica da manutenção quando esta já não é capaz de suprir as necessidades de modernização e competitividade tecnológica de uma planta industrial. Diferente de uma reforma técnica convencional, que visa apenas restituir a máquina à sua condição original de fábrica, o *retrofit* foca na atualização e na incorporação de tecnologias contemporâneas que elevam o patamar operacional do equipamento (Silva, 2019).

Segundo Filippo (2014), essa prática é fundamental para máquinas-ferramenta que possuem estruturas mecânicas robustas e duráveis, mas cujos sistemas de controle e comando se tornaram obsoletos. Garcia (2017) reforça que o objetivo central é a integração de novos componentes eletrônicos e digitais que permitam à máquina realizar as mesmas tarefas, ou até novas funções, com maior precisão, velocidade e, principalmente, segurança. Para a serra de fita Cosen MH-270M, isso significa transcender as limitações de um sistema eletromecânico simples para adotar uma arquitetura que responda aos desafios da indústria atual.

Nesse sentido, a implementação de um *retrofit* é vista por Silva (2019) como uma decisão estratégica de gestão que prolonga significativamente a vida útil do ativo, evitando o descarte prematuro de estruturas mecânicas perfeitamente funcionais. Almeida (2019) destaca que os ganhos obtidos não são meramente produtivos, mas também de eficiência energética e conformidade normativa. Ao analisarmos o

equipamento objeto deste estudo, percebe-se que sua base física, composta por um motor de 1,5 HP e uma estrutura capaz de realizar cortes precisos em ângulos diversos, justifica plenamente o investimento na modernização de seu "cérebro" eletrônico.

O processo de *retrofit* permite a substituição de painéis de controlo antigos por sistemas baseados em Controladores Lógicos Programáveis (CLP) e inversores de frequência que, como aponta Natale (2008), garantem um controlo de velocidade infinitamente mais refinado do que as opções fixas originais de 35 e 70 metros por minuto.

Além disso, o *retrofit* atua como a ponte necessária para a adequação à NR12, transformando um equipamento que operava sob padrões de segurança ultrapassados em uma máquina plenamente segura para o operador moderno. ABNT (2020) estabelece que a segurança deve ser priorizada em qualquer intervenção técnica, e Almeida (2019) observa que é no *retrofit* que se tem a oportunidade de instalar sensores de intertravamento monitorados e sistemas de paragem de emergência redundantes que o projeto original da Cosen (2018) não previa com o rigor atual.

Portanto, modernizar através do *retrofit* é um ato de inteligência de engenharia que une a robustez do passado com a inteligência do presente, assegurando que a serra de fita continue a ser um elemento produtivo vital, agora operando com a máxima eficiência energética e em total harmonia com as leis de proteção ao trabalhador (Filippo, 2014).

2.2 NR12 E SEGURANÇA DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS

A segurança no trabalho em máquinas e equipamentos é um tema que permeia a história da industrialização brasileira, evoluindo de recomendações superficiais para um rigoroso arcabouço legal que visa proteger o bem mais valioso de qualquer organização: a vida humana. Nesse contexto, a Norma Regulamentadora 12, amplamente conhecida como NR12, desempenha um papel central e mandatário (Silva, 2019).

Criada originalmente pela Portaria 3.214 de 1978, a norma nasceu em um período de expansão industrial acelerada, onde o foco na produção muitas vezes relegava a integridade física do trabalhador ao segundo plano. Entretanto, foi com a

profunda revisão ocorrida em 2010 que a NR12 se transformou em uma diretriz técnica de alta complexidade, incorporando conceitos internacionais de segurança e estabelecendo parâmetros rigorosos para o ciclo de vida completo da máquina, desde o projeto e fabricação até o descarte (Filippo, 2014).

A necessidade dessa norma dentro do ambiente fabril é evidenciada pelas estatísticas de acidentes de trabalho que, historicamente, apontam máquinas de corte e prensagem como as principais causadoras de invalidez permanente. Como bem observa Souza (2009), a segurança não pode ser vista como um acessório, mas como um elemento intrínseco da confiabilidade industrial, garantindo que o progresso técnico não ocorra à custa de tragédias humanas.

A fundamentação da NR12 baseia-se na premissa de que o erro humano deve ser antecipado pelo projeto da máquina. Isso significa que o equipamento deve ser capaz de impedir que um ato inseguro se transforme em um acidente através de uma hierarquia de proteções (Filippo, 2014).

Para alcançar esse objetivo, a norma detalha proteções fundamentais que devem estar presentes em qualquer equipamento industrial, especialmente em serras de fita como a Cosen MH-270M, que opera com lâminas de alta velocidade e zonas de esmagamento latentes. As proteções básicas dividem-se essencialmente em proteções fixas e proteções móveis com intertravamento (Silva, 2019).

As proteções fixas são barreiras mecânicas permanentes que impedem o acesso a partes perigosas da máquina, como polias e engrenagens de transmissão, e que só podem ser removidas com o uso de ferramentas específicas. Já as proteções móveis, como as tampas de acesso à lâmina de corte, devem obrigatoriamente possuir dispositivos de intertravamento associados a sistemas de monitoramento de segurança (Filippo, 2014).

Conforme os preceitos da ABNT (2020) e as análises de Almeida (2019), esses dispositivos garantem que a máquina pare instantaneamente caso a proteção seja aberta e impeçam o seu funcionamento enquanto a barreira não estiver devidamente fechada.

Além das barreiras físicas, a implementação da NR12 exige a presença de sistemas de paragem de emergência que sejam redundantes, de fácil acesso e que possuam prioridade sobre qualquer outro comando. Não se trata apenas de um botão de desligamento comum, mas de um sistema de comando que, quando acionado, garanta a desenergização segura dos atuadores através de relés de segurança ou

CLPs específicos, atingindo o que a engenharia chama de estado de segurança (Filippo, 2014).

A implementação prática desse rigor normativo segue um processo metódico que se inicia obrigatoriamente com a apreciação de riscos. Nesta fase inicial, profissionais qualificados identificam todos os perigos potenciais do equipamento, avaliando a severidade de possíveis lesões e a probabilidade de ocorrência. A partir desse diagnóstico, define-se a categoria de segurança necessária para o sistema de controle, que deve ser capaz de resistir a falhas simples sem comprometer a função de proteção (Garcia, 2017).

Monteiro (2025), reforça que, no caso de uma serra de fita, a reestruturação técnica deve focar na integração eletrônica que assegure que a máquina não seja religada automaticamente após uma queda de energia ou um acionamento de emergência, exigindo sempre um *reset* manual e consciente.

A fase final da implementação envolve a validação técnica e a emissão de laudos que comprovem que todas as medidas de controle adotadas são eficazes e resistentes a tentativas de burla. É neste estágio que o *retrofit* se torna a ferramenta perfeita para a adequação normativa, pois permite que sistemas antigos e simplificados sejam substituídos por circuitos que atendam às exigências de segurança funcional vigentes (Filippo, 2014).

Implementar a NR12 é, portanto, um exercício de engenharia de proteção que vai muito além do cumprimento de uma obrigação legal; trata-se de alinhar a operação industrial brasileira aos padrões globais de excelência, onde a eficiência produtiva é medida também pela capacidade de manter o ambiente de trabalho livre de riscos (Silva, 2019).

Para equipamentos como a serra Cosen MH-270M, essa jornada de adequação representa a transição de um legado de máquinas puramente mecânicas para um novo padrão de ferramentas inteligentes, onde a tecnologia atua como o escudo protetor que permite ao trabalhador exercer sua função com plena tranquilidade e precisão técnica (Filippo, 2014).

2.3 DIRETRIZES PARA O RETROFIT CONFORME NBR 16166

No contexto da normatização técnica brasileira, a NBR 16166 surge como o balizador fundamental que define as diretrizes para o *retrofit* de máquinas-ferramenta,

estabelecendo um rigor metodológico que diferencia a modernização estratégica de uma simples manutenção corretiva (Filippo, 2014).

A necessidade desta norma dentro do cenário industrial justifica-se pela busca de um padrão de qualidade que garanta que, ao final do processo de atualização, o equipamento não apenas recupere sua funcionalidade, mas apresente níveis de precisão, confiabilidade e segurança compatíveis com as tecnologias atuais (Silva, 2019).

Como bem aponta Filippo (2014), o *retrofit* orientado por normas técnicas permite que o parque fabril se modernize sem a necessidade de descartar estruturas mecânicas que ainda possuem longa vida útil, transformando o legado industrial em ativos competitivos.

Sob a ótica da construção do saber científico e técnico, Laville e Dionne (1999), reforçam que a aderência a padrões normativos é o que confere validade e segurança aos processos de transformação, garantindo que a engenharia aplicada seja reproduzível e segura.

Para que o atendimento e a aplicação da NBR 16166 sejam efetivos em máquinas industriais, o processo deve iniciar obrigatoriamente por um diagnóstico técnico exaustivo, que avalie o estado de conservação dos elementos de máquinas. Barros e Vieira (2017) destacam que essa análise preliminar é o que sustenta a viabilidade do projeto, identificando quais componentes mecânicos, como guias e eixos, podem ser mantidos e quais sistemas eletrônicos devem ser integralmente substituídos.

A norma estabelece que o projeto de *retrofit* deve contemplar a elaboração de um dossiê técnico detalhado, incluindo esquemas elétricos atualizados, manuais de operação revisados e a listagem de todos os novos componentes integrados (Filippo, 2014).

No caso específico da serra de fita Cosen MH-270M, essa diretriz exige que a transição de um sistema de controle analógico para um sistema automatizado por CLP, conforme discutido por Natale (2008), seja documentada de forma a permitir futuras manutenções e auditorias de segurança, garantindo a rastreabilidade de cada intervenção realizada no motor de 1,5 HP ou nos circuitos de comando.

Outro ponto nevrálgico para o cumprimento da NBR 16166 é a exigência de que a modernização não comprometa, em hipótese alguma, as características

originais de segurança da máquina, devendo, preferencialmente, aprimorá-las (Garcia, 2017).

É aqui que a norma se entrelaça de forma indissociável com a NR12, pois a modernização do "cérebro" eletrônico da máquina deve servir de plataforma para a instalação de dispositivos de segurança funcionais que o projeto original da Cosen (2018) não possuía. Almeida (2019) observa que o atendimento à norma se concretiza na prática através da validação do sistema após a montagem, o que inclui testes de continuidade, medições de eficiência energética e ensaios de parada em tempo real.

Silva (2019) reforça que o sucesso do *retrofit* reside na capacidade do engenheiro de alinhar essas exigências normativas com as metas de produtividade, assegurando que o equipamento atualizado opere dentro de uma margem de segurança funcional que minimize o risco de falhas catastróficas.

A aplicação das diretrizes da NBR 16166 exige que o *retrofit* culmine em um treinamento adequado para os operadores, uma vez que a interface homem-máquina e a lógica de operação são alteradas. Garcia (2017) ressalta que a modernização técnica perde sua eficácia se não for acompanhada pela atualização do conhecimento de quem opera o equipamento no chão de fábrica.

Ao seguir esses pontos — do diagnóstico inicial à validação final e treinamento —, o projeto de *retrofit* da serra MH-270M deixa de ser uma alteração isolada para se tornar uma intervenção de engenharia robusta, fundamentada em normas que garantem a sustentabilidade econômica do ativo e a proteção absoluta do trabalhador. Assim, a NBR 16166 não deve ser vista apenas como um conjunto de regras, mas como um roteiro de excelência que guia a transição da indústria tradicional para padrões contemporâneos de eficiência e responsabilidade técnica (Filippo, 2014).

2.4 SERRA DE FITA E DINÂMICA DE CORTE

A transição da teoria normativa para a realidade física do chão de fábrica ocorre através da análise detalhada da máquina-ferramenta e dos princípios mecânicos que regem sua operação, sendo a serra de fita um dos equipamentos mais versáteis e essenciais para os processos de fabricação mecânica (Filippo, 2014).

Como bem descrevem Barros e Vieira (2017), o funcionamento desta máquina depende da harmonia entre diversos elementos de máquinas, como volantes, guias, rolamentos e sistemas de tensionamento, que trabalham em conjunto para garantir

que a lâmina de serra — uma fita contínua de aço com dentes temperados — execute o corte de forma linear e precisa.

No caso da serra Cosen MH-270M, essa dinâmica é sustentada por uma estrutura robusta de cabeçote giratório que permite cortes angulares de até 60°, mas a eficiência real do processo não reside apenas na estrutura mecânica, e sim na compreensão da dinâmica de corte, que envolve a interação complexa entre a velocidade da lâmina, a pressão de avanço e a resistência do material a ser processado (Silva, 2019).

A dinâmica de corte em uma serra de fita é definida essencialmente pela capacidade do equipamento em remover material na forma de cavacos de maneira contínua e controlada. Souza (2009) reforça que a estabilidade desse processo é um fator determinante para a confiabilidade industrial, uma vez que vibrações excessivas ou parâmetros mal ajustados levam ao desgaste prematuro da lâmina e a falhas imprevistas.

Na Cosen MH-270M, o motor original de 1,5 HP fornece a potência necessária para tracionar a lâmina de 27 milímetros de largura, operando originalmente em duas velocidades fixas: 35 e 70 metros por minuto. No entanto, conforme as orientações técnicas de Cosen (2018), a escolha da velocidade correta é crítica e deve ser ditada pela dureza do metal e pela geometria da peça; velocidades excessivas em materiais duros geram calor por fricção que destempera os dentes da serra, enquanto velocidades muito baixas em materiais macios podem causar o empastamento do cavaco, comprometendo a precisão dimensional do corte.

Além da velocidade periférica da lâmina, a taxa de avanço — ou seja, a velocidade com que o cabeçote da máquina desce sobre o material — compõe o segundo pilar da dinâmica de corte. Nas versões originais deste equipamento, esse controle é frequentemente feito por um sistema hidráulico de descida por gravidade, onde a sensibilidade do operador desempenha um papel fundamental. Monteiro (2025) observa que é nesta interação que o *retrofit* demonstra seu maior valor técnico, pois a introdução de novos sistemas de controle permite uma transição de parâmetros estáticos para dinâmicos.

Ao integrar inversores de frequência e controladores lógicos, conforme proposto por Natale (2008), a dinâmica de corte deixa de ser limitada a dois estágios e passa a ser uma escala variável e precisa, permitindo que o motor ajuste sua rotação

de forma a manter o torque constante e a velocidade linear ideal para cada tipo de liga metálica, otimizando o tempo de ciclo e a vida útil da ferramenta.

A preservação dessa dinâmica de corte também está intrinsecamente ligada ao estado de conservação dos componentes mecânicos que orientam a lâmina. Barros e Vieira (2017) ressaltam que os guias laterais e os rolamentos de encosto são os responsáveis por manter a fita em uma trajetória perfeitamente perpendicular à peça; qualquer folga nesses elementos resulta em cortes tortos e sobrecarga lateral na lâmina, o que pode levar à sua ruptura abrupta.

Portanto, a análise técnica da MH-270M revela que o sucesso de uma modernização não depende apenas da eletrônica, mas da manutenção rigorosa da integridade mecânica. Unindo a robustez do motor de 1,5 HP com um controle eletrônico refinado, a serra de fita deixa de ser um equipamento meramente mecânico para se tornar um sistema de corte de alta *performance*, onde a física do arrancamento de cavaco é respeitada e potencializada pela tecnologia contemporânea, garantindo resultados produtivos superiores e a máxima economia de insumos industriais (Filippo, 2014).

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 e 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* 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 particulares; e descritiva, por sistematizar as etapas do processo de modernização, documentando as ações executadas, os componentes substituídos e os resultados obtidos.

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 da unidade MH-270M insere-se precisamente nessa condição: trata-se de uma intervenção técnica singular, situada em um ambiente específico, cujas variáveis — estado de conservação do equipamento, exigências da NR12, recursos disponíveis e objetivos de desempenho — estão profundamente entrelaçadas com o contexto do laboratório acadêmico de fabricação mecânica.

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 de entrevista ou questionário 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 etapas sequenciais e interdependentes, de modo a garantir a rastreabilidade de cada decisão técnica tomada ao longo do projeto de *retrofit*.

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 e dos esquemas elétricos originais disponíveis. Esse levantamento permitiu estabelecer o estado de arte do sistema antes da intervenção, identificando os componentes eletrônicos e eletromecânicos que deveriam ser preservados, modernizados ou integralmente substituídos.

A segunda etapa constituiu-se na inspeção técnica *in loco*, por meio da qual foram realizadas observações diretas do equipamento em operação, medições elétricas e avaliações do estado de conservação dos elementos de máquinas. Paralelamente, procedeu-se à apreciação de riscos, conforme metodologia exigida pela NR12, identificando as zonas de perigo, os modos de falha dos sistemas de segurança existentes e os requisitos normativos não atendidos pelo projeto original.

A terceira etapa abrangeu a concepção e o desenvolvimento do projeto de modernização, incluindo a especificação dos novos componentes — Controlador Lógico Programável (CLP), inversores de frequência, relés de segurança e dispositivos de intertravamento monitorados —, a elaboração dos novos esquemas elétricos e a definição da lógica de controle a ser implementada. Por fim, a quarta etapa correspondeu à implementação prática das modificações, seguida dos testes funcionais de validação, que atestaram a conformidade do sistema resultante com os padrões estabelecidos pela NR12 e pelas diretrizes da NBR 16166.

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 de máquinas-ferramenta.

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*, fundamentado na integração de controladores lógicos programáveis e dispositivos de segurança monitorados, pode assegurar a adequação da serra de fita Cosen MH-270M às exigências da NR12 e, simultaneamente, otimizar o desempenho operacional e a confiabilidade 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 técnicas 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 Meredith (1998), 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 de operação, os registros obtidos durante os testes funcionais e a literatura especializada em *retrofit*, automação industrial e segurança de máquinas. 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

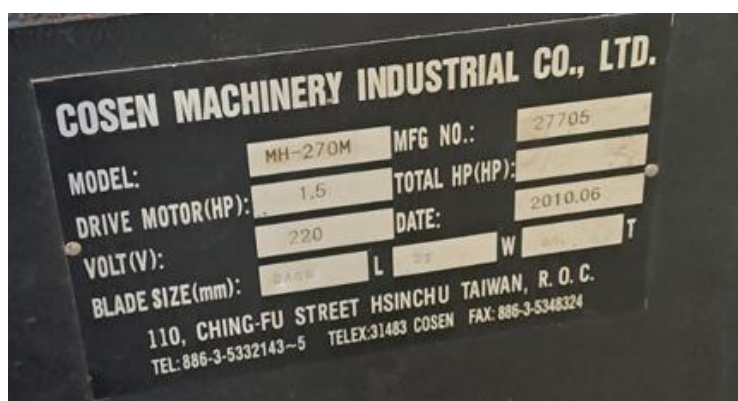
4.1 IMPORTÂNCIA DO EQUIPAMENTO DENTRO DA EMPRESA

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 uma relevância estratégica dentro do laboratório, tornando-o insubstituível nas atividades de formação técnica. A máquina participava ativamente das práticas de disciplinas relacionadas a processos de fabricação e metrologia dimensional, evidenciando sua função como suporte didático indispensável.

A plaqueta de identificação do equipamento, fixada no painel lateral da máquina, confirma os dados técnicos originais e atesta a procedência do fabricante, conforme apresentado na Figura 1 e Figura 2 com a vista do equipamento.

Figura 1 - Plaqueta de identificação da máquina



Fonte: Autores (2026).

Figura 2 – Imagem do equipamento



Fonte: Autores (2026).

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 conservação gravemente comprometido, resultante de anos de operação contínua sem a execução de um plano de manutenção preventiva adequado. As inspeções *in loco* revelaram falhas em múltiplos subsistemas da máquina, abrangendo desde componentes mecânicos internos até o conjunto de acionamento elétrico e os elementos estruturais externos. Esse cenário de deterioração multidimensional evidenciou a necessidade de intervenção técnica abrangente, que transcendia os limites de uma manutenção corretiva pontual e exigia um processo sistemático de *retrofit*.

Entre os problemas mais críticos identificados, destacou-se o estado de degradação avançada do conjunto filtrante do sistema de refrigeração. O filtro do fluido de corte, responsável por remover partículas metálicas e impurezas do fluido refrigerante em circulação, apresentava corrosão generalizada, ruptura estrutural da malha metálica e deposição maciça de resíduos sólidos em sua superfície, conforme documentado nas Figuras 2 e 3. A falha desse componente não apenas inviabilizava a ação refrigerante sobre a lâmina de corte, mas representava uma fonte de contaminação do fluido em recirculação, potencializando o desgaste prematuro da lâmina e das peças em contato com o sistema de refrigeração.

Figura 3 – Vista superior do filtro degradado



Fonte: Autores (2026).

Figura 4 – Vista lateral do filtro degradado



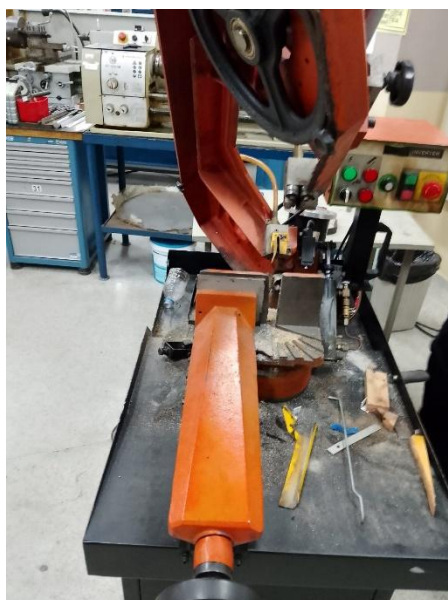
Fonte: Autores (2026).

Conforme documentado nas Figuras 3 e 4, a malha filtrante apresentava perfurações e fissuras distribuídas por toda a sua extensão, resultado de oxidação progressiva agravada pela exposição contínua ao fluido de corte em condições de baixa manutenção. A presença de eflorações esbranquiçadas, indicativas de depósitos calcários e resíduos de emulsão degradada, associada à coloração

avermelhada característica da corrosão ferrosa, comprova que o componente operava há período prolongado além de sua vida útil recomendada. Almeida (2019) destaca que a degradação dos sistemas auxiliares de refrigeração impacta diretamente na dinâmica de corte, pois a ausência de resfriamento adequado eleva a temperatura na interface lâmina-peça, comprometendo o tempero dos dentes e acelerando o desgaste da ferramenta de corte.

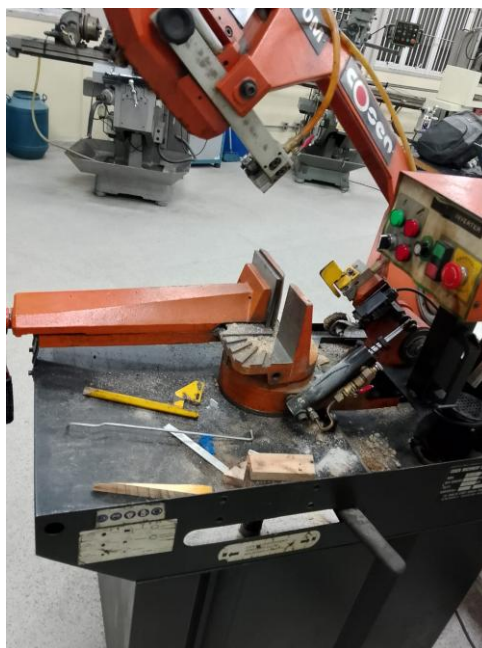
Paralelamente ao colapso do sistema de refrigeração, constatou-se que o estado geral da máquina refletia um período significativo de abandono operacional conforme a figura 5 e 6. A superfície externa da estrutura apresentava acúmulo de cavacos metálicos, resíduos de fluido de corte ressecado e detritos diversos sobre a bancada e a morsa, evidenciando a ausência de rotinas básicas de limpeza e conservação previstas pelo fabricante (COSEN, 2018). Essa condição, além de comprometer a estética do equipamento, representava risco efetivo de contaminação das peças em processo e dificultava a inspeção visual dos componentes mecânicos.

Figura 5 – Estado inicial do equipamento evidenciando acúmulo de cavacos e resíduos sobre a bancada



Fonte: Autores (2026).

Figura 6 – Vista da mesa de trabalho e morsa com deposição de resíduos metálicos



Fonte: Autores (2026).

A análise do sistema de acionamento mecânico revelou a necessidade de inspeção do conjunto redutor de velocidade e dos rolamentos de suporte dos eixos dos volantes. A observação visual do redutor, antes da desmontagem, indicava sinais externos de vazamento de óleo lubrificante e possível contaminação da câmara de engrenamentos, comprometendo a transferência de torque entre o motor e os volantes de acionamento da lâmina. Barros e Vieira (2017) ressaltam que o desgaste de rolamentos em máquinas-ferramenta, quando não diagnosticado a tempo, pode evoluir para falhas catastróficas, gerando vibração excessiva que compromete a qualidade dimensional dos cortes e representa risco de segurança para o operador.

O diagnóstico técnico global evidenciou que o equipamento se encontrava em situação de inoperabilidade funcional, não atendendo sequer às condições mínimas de operação segura estabelecidas pelo fabricante, tampouco às exigências da Norma Regulamentadora NR12. A somatória das falhas identificadas — sistema de refrigeração inoperante, rolamentos desgastados, estrutura com acúmulo de contaminantes e sistemas de comando sem atualização normativa — confirmou a necessidade de implementação de um processo integral de *retrofit*, conforme preconizado pela NBR 16166 e pelos fundamentos teóricos discutidos nos capítulos anteriores deste trabalho.

4.3 MELHORIAS E RESULTADOS

Com base no diagnóstico técnico realizado e na apreciação de riscos conduzida em conformidade com os preceitos da NR12, foram definidas e executadas as intervenções de *retrofit* necessárias para a recuperação funcional e a adequação normativa da serra de fita Cosen MH-270M. As ações adotadas seguiram uma sequência lógica de priorização, iniciando-se pelos componentes que representavam maior risco à integridade operacional e à segurança do operador.

4.3.1 Substituição e Recuperação do Sistema de Refrigeração

A primeira intervenção executada contemplou a remoção do filtro do sistema de refrigeração, cuja condição de degradação, documentada nas Figuras 2 e 3, tornava impraticável qualquer tentativa de recuperação. O componente foi integralmente substituído por unidade nova, dimensionada conforme as especificações técnicas do equipamento, garantindo a retomada da capacidade filtrante do fluido de corte. Paralelamente, procedeu-se à limpeza e inspeção da bomba de circulação do fluido e das conexões de tubulação, verificando-se a ausência de obstruções ou vazamentos residuais (COSEN, 2018). O sistema foi reabastecido com fluido de corte emulsionável na proporção água:óleo de 40:1, conforme especificação original do fabricante.

4.3.2 Revisão do Conjunto Redutor e Substituição de Rolamentos

A segunda etapa de intervenção concentrou-se na revisão do conjunto redutor de velocidade acoplado ao motor de acionamento. Após a desmontagem controlada do redutor, procedeu-se à inspeção visual e dimensional dos componentes internos, identificando-se o desgaste dos rolamentos de suporte do eixo de saída. A Figura 7 documenta a condição dos rolamentos verificada durante a inspeção, evidenciando marcas de cavitação na pista interna e perda de lubrificação adequada.

Figura 7 – Inspeção do conjunto redutor com evidência de desgaste nos rolamentos de suporte



Fonte: Autores (2026).

Os rolamentos identificados como defeituosos foram substituídos por unidades novas de especificação compatível (rolamento 6205, conforme item 6 da lista de peças do fabricante), seguindo os procedimentos de montagem indicados no manual de instruções (COSEN, 2018). Após a recomposição do conjunto, o redutor foi relubrificado com óleo de grau adequado à aplicação industrial e ao perfil de carga do motor de 1,5 HP, garantindo a formação do filme lubrificante necessário à operação eficiente da transmissão de torque. Barros e Vieira (2017) ressaltam que a lubrificação adequada de engrenagens e rolamentos é fator determinante para a preservação da precisão geométrica do sistema de acionamento e para a extensão da vida útil dos componentes.

4.3.3 Limpeza Geral, Restauração Estrutural e Pintura

Concomitantemente às intervenções nos sistemas mecânicos, realizou-se a limpeza profunda de todos os componentes externos da máquina, com remoção de cavacos, resíduos de fluido de corte ressecado e depósitos de óxido acumulados sobre a estrutura, a bancada e a morsa. Essa etapa é fundamental para permitir a inspeção visual efetiva dos componentes e garantir as condições mínimas de higiene operacional exigidas pelos procedimentos de manutenção do fabricante (COSEN, 2018).

Após a limpeza, procedeu-se ao tratamento e à repintura das superfícies externas da estrutura do equipamento com tinta anticorrosiva na cor laranja, padrão cromático original do fabricante. Essa ação cumpre função técnica relevante ao restabelecer a proteção da camada superficial sobre o metal, prevenindo a progressão de processos corrosivos que poderiam comprometer a integridade estrutural da carcaça e dos componentes de suporte ao longo do tempo. As Figuras 9 e 10 registram o equipamento após a conclusão dessa etapa.

Figura 8 – Vista frontal da máquina após intervenções de limpeza e restauração estrutural



Fonte: Autores (2026).

Figura 9 – Vista geral do equipamento restaurado



Fonte: Autores (2026).

4.3.4 Estado Final do Equipamento e Validação Operacional

Ao término das intervenções, o equipamento foi submetido a testes funcionais para validação da eficácia das melhorias implementadas. Os testes consistiram na verificação do sentido de rotação da lâmina, no ajuste da tensão e do rastreamento da fita de serra conforme especificações do fabricante (COSEN, 2018), na verificação do funcionamento do sistema de refrigeração com o novo filtro instalado e na avaliação do comportamento mecânico do conjunto durante ciclos de corte em material metálico.

A Figura 10 documenta o estado final do equipamento após a conclusão do processo de *retrofit*, evidenciando a recuperação das condições operacionais e a adequação das condições externas do ativo.

Figura 10 – Sistema de fluido com bomba operacionais



Fonte: Autores (2026).

Os resultados dos testes funcionais demonstraram a recuperação da operabilidade plena do equipamento, com eliminação das anomalias identificadas na fase de diagnóstico. O sistema de refrigeração retomou o funcionamento com vazão e pressão adequadas; o conjunto redutor demonstrou operação silenciosa e sem vibrações anormais após a substituição dos rolamentos; e a lâmina de serra apresentou rastreamento e tensionamento corretos conforme os parâmetros especificados pelo fabricante.

Em termos de conformidade normativa, as intervenções realizadas contribuíram para a aproximação do equipamento às exigências da NR12, especialmente no que concerne à eliminação de condições perigosas associadas à falha dos sistemas de suporte operacional. Silva (2019) observa que o *retrofit* bem-sucedido é aquele que, além de restaurar a funcionalidade, eleva o patamar de segurança e confiabilidade do equipamento, conduzindo-o a uma condição superior à do estado original.

O Quadro 1 sintetiza as principais intervenções realizadas, os componentes substituídos e os resultados alcançados, permitindo uma visão consolidada do escopo técnico do processo executado na Cosen MH-270M.

Quadro 1 - Síntese das intervenções realizadas no retrofit da cosen MH-270M

Sistema / Componente	Problema diagnosticado	Intervenção realizada	Resultado obtido
Filtro do sistema de refrigeração	Corrosão generalizada e ruptura estrutural da malha	Substituição integral do componente	Retomada da capacidade refrigerante e filtrante
Rolamentos do redutor (ref. 6205)	Desgaste das pistas e perda de lubrificação	Substituição e relubrificação do conjunto	Eliminação de vibração e ruído anormal
Superfícies externas e estrutura	Oxidação e acúmulo de resíduos e cavacos	Limpeza profunda e repintura anticorrosiva	Restauração da proteção superficial e condições higiênicas
Conjunto geral (lâmina, tensionamento, rastreamento)	Parâmetros fora das especificações do fabricante	Ajuste e regulação conforme manual COSEN (2018)	Operação dentro das tolerâncias originais de projeto

Fonte: Autores (2026).

Os resultados consolidados no Quadro 1 demonstram que o conjunto das intervenções realizadas abarcou todas as dimensões críticas do equipamento identificadas no diagnóstico inicial. A abordagem sistemática adotada, fundamentada no protocolo de estudo de caso descrito no Capítulo 3, permitiu que nenhum subsistema com comprometimento funcional permanecesse sem a devida ação corretiva ou de melhoria. Conforme destaca Garcia (2017), a eficácia de um processo de *retrofit* 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 desempenho superior ao original.

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

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O presente trabalho teve como objetivo central analisar e implementar o processo de retrofit na serra de fita horizontal Cosen MH-270M, instalada no laboratório de processos de fabricação da FATEC Mauá, visando a modernização dos sistemas de controle, a otimização do desempenho operacional e a conformidade integral com os requisitos da Norma Regulamentadora 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 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 deterioração multidimensional do equipamento, com falhas críticas distribuídas pelo sistema de refrigeração, pelo conjunto redutor de velocidade, pelos elementos de transmissão e pelas condições gerais de conservação da estrutura. 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 ou de melhoria ao término do processo.

Do ponto de vista dos resultados técnicos, as intervenções realizadas proporcionaram a recuperação plena da operabilidade do equipamento. A substituição do filtro do sistema de refrigeração restabeleceu as condições adequadas de resfriamento na interface lâmina-peça, prevenindo o desgaste prematuro da ferramenta de corte e preservando a integridade dimensional das peças produzidas. A revisão do conjunto redutor, com a substituição dos rolamentos desgastados e a lubrificação completa do sistema, eliminou as vibrações anormais e o risco de falha catastrófica identificados no diagnóstico, devolvendo à transmissão de torque a precisão e a suavidade necessárias para a qualidade do corte. A limpeza profunda e a repintura anticorrosiva da estrutura externa, por sua vez, restabeleceram as condições higiênicas e de proteção superficial do ativo, prevenindo a progressão dos

processos de oxidação identificados durante a inspeção.

No que se refere à conformidade com a NR12, as intervenções realizadas representaram um avanço concreto na direção da adequação normativa do equipamento, ao eliminar condições perigosas associadas à falha dos sistemas de suporte operacional e ao restabelecer o funcionamento seguro dos mecanismos de acionamento e parada. O processo evidenciou, contudo, que a plena adequação às exigências da norma demanda uma segunda etapa de intervenção, voltada especificamente para a atualização dos sistemas de comando e dos dispositivos de intertravamento de segurança, incluindo a instalação de relés de segurança monitorados e sensores de posição compatíveis com as categorias de segurança requeridas pela regulamentação. Essa etapa, não abrangida no escopo do presente trabalho em razão de limitações de tempo e de recursos disponíveis no período de execução, constitui a principal recomendação para trabalhos futuros relacionados a este equipamento.

Como contribuição ao campo do conhecimento em fabricação mecânica e gestão da manutenção, este estudo demonstrou que o retrofit planejado e executado de forma sistemática é capaz de transformar um ativo em estado crítico de inoperabilidade em um equipamento plenamente funcional, seguro e disponível para uso, a um custo significativamente inferior ao da substituição integral da máquina. Essa constatação reforça a relevância estratégica das práticas de manutenção preditiva e preventiva 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.

Recomenda-se, para trabalhos futuros, o desenvolvimento de um projeto complementar de adequação eletrônica da Cosen MH-270M, contemplando a implementação de um Controlador Lógico Programável (CLP) para substituição da lógica de comando original, a instalação de inversor de frequência para controle variável da velocidade de corte, e a integração de dispositivos de segurança monitorados em conformidade com as categorias estabelecidas pela NR12 e pelas diretrizes da NBR 16166.

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) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2019.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-12: segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. Brasília: MTE, 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022-1.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2026.

BARROS, R. M.; VIEIRA, A. **Apostila de elementos de máquinas**. Mauá: Centro Universitário da FEI, 2017.

COSEN MECH. CO., LTD. ***Instruction manual: MH-270M band saw machine***. Taiwan: Cosen, 2018. Disponível em: <https://www.normanmachinetool.com/wp-content/uploads/2022/09/MH-270M-eManual-6-26-18-Full-Copy-w-Parts.pdf>. Acesso em: 10 jun. 2026.

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.

LAVILLE, Christian; DIONNE, Jean. **A construção do saber: manual de metodologia da pesquisa em ciências humanas**. Adaptação técnica: Lana Mara Siman; Maria Amélia Castro. Porto Alegre: Artmed; Belo Horizonte: Editora UFMG, 1999.

NATALE, Ferdinando. **Automação industrial**. 10. ed. rev. 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.