



**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA  
E TECNOLOGIA DO AMAZONAS  
CAMPUS MANAUS DISTRITO INDUSTRIAL  
TECNOLOGIA EM MECATRÔNICA INDUSTRIAL**



**ANTONIO MARCOS NAJAR MONTEIRO**

**INTEGRAÇÃO E REESTRUTURAÇÃO TÉCNICA DE NOVOS  
SISTEMAS DE CONTROLE E SEGURANÇA NA MÁQUINA DE SERRA  
FITA, EM CONFORMIDADE COM OS PADRÕES DA NR-12.**

**MANAUS - AM**

**2025**

**ANTONIO MARCOS NAJAR MONTEIRO**

**INTEGRAÇÃO E REESTRUTURAÇÃO TÉCNICA DE NOVOS SISTEMAS DE  
CONTROLE E SEGURANÇA NA MÁQUINA DE SERRA FITA, EM  
CONFORMIDADE COM OS PADRÕES DA NR-12.**

Trabalho de Conclusão de Curso  
apresentado ao Instituto Federal do  
Amazonas – IFAM como requisito para  
obtenção de título de Tecnólogo no curso  
de Tecnologia em Mecatrônica Industrial.

Orientador: Prof .Dr. Alyson de Jesus dos  
Santos

**MANAUS - AM**

**2025**

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

M775i Monteiro, Antonio Marcos Najar.  
Integração e reestruturação técnica de novos sistemas de controle e segurança na máquina de serra fita, em conformidade com os padrões da NR-12 / Antonio Marcos Najar Monteiro. — Manaus, 2025.  
81f.: il. color.

Monografia (Graduação) — Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas, *Campus* Manaus Distrito Industrial, Curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial, 2025.  
Orientador: Prof.º Alyson de Jesus dos Santos, Dr.

1. Mecatrônica Industrial. 2. Serra fita. 3. Retrovit. I. Santos, Alyson de Jesus dos. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas. III. Título.

CDD 629.892

Elaborada por Oziane Romualdo de Souza (CRB11/ nº 734).

**ANTONIO MARCOS NAJAR MONTEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Instituto Federal do Amazonas – IFAM como requisito para obtenção de título de Tecnólogo no curso de Tecnologia em Mecatrônica Industrial. campus Manaus distrito industrial

Este trabalho foi defendido e aprovado pela banca em 13/03/2025.

**BANCA EXAMINADORA**

Alyson de Jesus dos Santos

Prof .Dr.(Alyson de Jesus dos Santos)

filiações

Vitor Brengartner da Frota

Prof. Dr.(Vitor Brengartner da Frota)

filiações

Gabriel Pinheiro Compto

Prof. Msc.(Gabriel Pinheiro Compto)

filiações

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço, primeiramente, a Deus, o Deus de Abraão, que sempre iluminou meu caminho e foi a fonte de toda sabedoria e força, guiando meus passos e abençoando minha vida.

Dedico este trabalho à minha mãe, Waldecira Freitas, que, com amor e dedicação, foi meu alicerce e inspiração ao longo da vida; e à minha esposa, Adriane Printes, por ser uma companheira leal e conselheira sábia, tornando cada desafio mais leve ao longo dessa caminhada.

"Confie no Senhor de todo o seu coração e não se apoie em seu próprio entendimento."

**(Provérbios 3:5)**

## RESUMO

O processo de retrofit foi realizado em uma máquina serra adequada utilizada na remoção de rebarbas de alumínio após processo de injeção em molde, com o objetivo de melhorar a segurança, eficiência e conformidade com a norma NR12. Inicialmente, foi realizado um diagnóstico detalhado da máquina, identificando falhas estruturais, elétricas e operacionais que comprometiam a produtividade e representavam riscos às operadoras. Com base nessa análise, foram definidas melhorias como a substituição de componentes desgastados, reorganização do painel elétrico e implementação de dispositivos de segurança. A modernização da máquina permitiu uma operação mais segura e eficiente, diminuindo o risco de acidentes e aumentando a confiabilidade do equipamento. Além disso, o projeto contribuiu para a adequação às exigências normativas e para a otimização do consumo energético, tornando o equipamento mais sustentável e produtivo. Os resultados obtidos demonstram a importância do retrofit como uma solução viável para aprimoramento de máquinas industriais obsoletas, garantindo maior segurança e desempenho no ambiente de trabalho.

Palavras-chave: automação industrial; serra fita; retrofit.

## **ABSTRACT**

The retrofit process was carried out on a suitable band saw machine used for removing aluminum burrs after the mold injection process, aiming to improve safety, efficiency, and compliance with the NR12 standard. Initially, a detailed diagnosis of the machine was conducted, identifying structural, electrical, and operational failures that compromised productivity and posed risks to operators. Based on this analysis, improvements were defined, such as replacing worn-out components, reorganizing the electrical panel, and implementing safety devices. The modernization of the machine enabled safer and more efficient operation, reducing the risk of accidents and increasing equipment reliability. Additionally, the project contributed to compliance with regulatory requirements and the optimization of energy consumption, making the equipment more sustainable and productive. The results obtained demonstrate the importance of retrofitting as a viable solution for upgrading obsolete industrial machines, ensuring greater safety and performance in the workplace.

Keywords: industrial automation; band saw; retrofit

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Operação com a serra fita.....	14
Figura 2 – Máquina in loco.....	17
Figura 3 – Diagnóstico da máquina.....	19
Figura 4 – Lateral do painel de comando da máquina.....	26
Figura 5 – Painel após retrofit.....	27
Figura 6 - Frontal do painel elétrico.....	28
Figura 7 – Controlador.....	30
Figura 8 – Diagnóstico de vantagens do CLP.....	31
Figura 9 – Componentes do painel.....	33
Figura 10 – Painel antes do retrofit.....	35
Figura 11 – Configuração do CLP.....	37
Figura 12 – Instalação Trava magnética.....	40
Figura 13 – Trava magnética.....	41
Figura 14 – Descrição técnica da trava magnética.....	41
Figura 15 – Relé de velocidade zero.....	42
Figura 16 – Gráfico de aplicação do relé de velocidade.....	45
Figura 17 – Sensor de espectro.....	45
Figura 18 – Painel elétrico da máquina.....	46
Figura 19 – Instalação do CLP.....	48
Figura 21 – Instalação de sensor.....	49
Figura 22 – Confecção do Painel elétrico.....	50
Figura 23 – Fluxograma do projeto.....	51
Figura 24 - - Máquina pós retrofit.....	56
Figura 26 - Local do sensor de espectro.....	59

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
1.1 PROBLEMÁTICA.....	15
1.2. JUSTIFICATIVA.....	15
1.3. OBJETIVO GERAL.....	16
1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
1.5 METODOLOGIA.....	18
1.5.1 DIAGNÓSTICO DA MÁQUINA SERRA FITA ANTES DO RETROFIT.....	18
1.5.2. DEFINIÇÃO DAS MELHORIAS E PLANEJAMENTO DO RETROFIT.....	19
1.5.3. IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS NA MÁQUINA.....	19
1.5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E COMPARAÇÃO COM A MÁQUINA ORIGINAL.....	20
<b>2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA</b> .....	<b>21</b>
2.1 RETROFIT DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS.....	21
2.1.1 VANTAGENS DO RETROFIT.....	21
2.2 NORMAS REGULAMENTADORAS DE SEGURANÇA COM FOCO NA NR12.....	22
2.2.1 OBJETIVOS E PRINCÍPIOS DA NR12.....	23
2.2.2 APLICAÇÃO DA NR12 NO RETROFIT.....	23
2.3 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS (CLP).....	24
2.4.1 COMPONENTES PRINCIPAIS DE UM CLP.....	25
2.4.2 PROGRAMAÇÃO DE CLP E SOFTWARE UTILIZADO WORKS3.....	25
<b>3 PAINEL DE COMANDO COM O CLP</b> .....	<b>27</b>
3.1 PAINEL DE COMANDO E SUA FUNÇÃO NO PROCESSO DE AUTOMAÇÃO.....	27
3.1.2 MELHORIA DA SEGURANÇA COM O PAINEL DE COMANDO MODERNIZADO.....	28

3.2 PAPEL DO CLP NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL.....	29
3.2.1 PROGRAMAÇÃO DO CLP .....	31
3.3 DESAFIOS NA INTEGRAÇÃO DO PAINEL DE COMANDO COM O CLP NO RETROFIT .....	31
<b>4 PROPOSTA DE RETROFIT.....</b>	<b>32</b>
4.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA.....	33
4.1.2 AUSÊNCIA DE CONFORMIDADE COM NORMAS REGULAMENTADORAS .....	33
4.2 SOLUÇÃO PROPOSTA.....	<b>35</b>
4.2.1 IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP) .....	35
4.2.2 INSTALAÇÃO DE TRAVAS MAGNÉTICAS E RELÉ DE VELOCIDADE ZERO.....	38
4.2.6 REORGANIZAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DO PAINEL DE COMANDO.....	45
4.2.7 ADEQUAÇÃO ÀS NORMAS DE SEGURANÇA NR12.....	45
4.3 MECANISMOS DE IMPLEMENTAÇÃO.....	46
4.4 FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE RETROFIT .....	49
4.4.2 DESMONTAGEM E INSPEÇÃO.....	50
4.4.3 SUBSTITUIÇÃO DE COMPONENTES.....	50
4.4.4 INSTALAÇÃO DO CLP E RECONFIGURAÇÃO DO PAINEL DE COMANDO .....	50
4.4.5 PROGRAMAÇÃO DO CLP.....	51
4.4.6 TESTES E VALIDAÇÃO.....	51
4.4.7 ENTREGA FINAL DA MÁQUINA.....	51
4.6 ESQUEMA ELÉTRICO PARA O RETROFIT .....	53
<b>5 RESULTADOS OBTIDOS.....</b>	<b>56</b>
5.1 AVALIAÇÃO DAS MELHORIAS IMPLEMENTADAS.....	56
5.2 DESEMPENHO DA MÁQUINA APÓS O RETROFIT.....	57

5.3 IMPACTO NA SEGURANÇA OPERACIONAL.....	58
<b>6 ANÁLISE DOS RESULTADOS.....</b>	<b>60</b>
6.1 COMPARAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO ANTES E DEPOIS DO RETROFIT.....	61
6.2 IMPACTO NA SEGURANÇA E CONFORMIDADE COM NORMAS.....	63
6.3 OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA E CUSTOS COM PARADAS .....	65
6.4 BENEFÍCIOS A LONGO PRAZO.....	65
6.5 IMPACTO ECONÔMICO E RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO (ROI)....	66
6.5.1 AUMENTO DA PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE.....	66
6.5.2 RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO (ROI).....	66
6.7 DESAFIOS E OPORTUNIDADES DE MELHORIA.....	67
6.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA ANÁLISE.....	68
6.8.1 DESAFIOS SUPERADOS E OPORTUNIDADES DE MELHORIA.....	68
6.8.2 CONFORMIDADE COM NORMAS E IMPACTO NA SEGURANÇA.....	69
<b>7 CONCLUSÃO.....</b>	<b>69</b>
7.1 PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS.....	70
7.2 POSSÍVEIS MELHORIAS FUTURAS.....	73
7.3 CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	76

## 1 INTRODUÇÃO

A indústria moderna depende de máquinas para tornar a produção mais eficiente e econômica. Porém, com o avanço da tecnologia e normas de segurança mais rígidas, muitas máquinas antigas se tornam obsoletas e perigosas. A ausência de proteções, automação e componentes atualizados aumenta o risco de acidentes, afetando a segurança dos operadores e a produtividade das empresas.

Dentre os equipamentos industriais de alto risco, as máquinas serra fita são amplamente utilizadas para cortes e acabamento de peças metálicas, sendo

fundamentais em setores como metalurgia, fundição e manufatura. No entanto, quando não possuem dispositivos de segurança adequados, essas máquinas representam um grande perigo, pois operam com lâminas de alta velocidade e exigem a proximidade do operador para manuseio. Acidentes comuns nesse tipo de equipamento envolvem cortes severos, amputações e até lesões fatais, o que evidencia a necessidade de medidas preventivas.



Figura 1 – Operação com a serra fita

Fonte: Site ferrarinet (2025)

O retrofit surge como uma solução viável para adequar máquinas antigas às novas exigências de segurança e eficiência. Diferente da substituição completa do equipamento, o retrofit consiste na modernização de sistemas, substituição de componentes obsoletos e reorganização da estrutura elétrica e mecânica, mantendo a funcionalidade original da máquina, mas tornando-a mais segura e confiável. Esse

processo reduz custos, evita a necessidade de aquisição de novos equipamentos e permite a adaptação às Normas Regulamentadoras (NRs), especialmente à NR12, que estabelece diretrizes obrigatórias para a segurança de máquinas e equipamentos no Brasil.

## 1.1 PROBLEMÁTICA

Este trabalho aborda o retrofit de uma máquina serra fita utilizada para retirada de rebarba de peças cilíndricas de alumínio, oriundas de um processo de injeção. Essa máquina, por estar em operação há vários anos em atualizações, apresentava riscos constantes aos operadores devido à falta de dispositivos de segurança e ao painel elétrico desorganizado, o que poderia ocasionar falhas operacionais e acidentes graves. A modernização proposta neste estudo busca garantir a conformidade com a NR12, implementar proteções e reorganizar o painel elétrico, tornando a máquina mais eficiente e segura para os trabalhadores.

Dessa forma, este estudo se insere no contexto da automação industrial, segurança no trabalho e adequação de máquinas às normas vigentes, demonstrando como o retrofit pode ser uma alternativa viável para empresas que desejam modernizar seus equipamentos sem a necessidade de grandes investimentos em novas máquinas.

## 1.2. JUSTIFICATIVA

A segurança no ambiente industrial é um dos pilares fundamentais para garantir a integridade física dos trabalhadores e a eficiência dos processos produtivos. Máquinas e equipamentos desatualizados representam um risco constante, não apenas para os operadores diretos, mas para toda a cadeia produtiva, uma vez que acidentes podem resultar em afastamentos, aumento de custos com indenizações e até paralisação da linha de produção. Além disso, a modernização das máquinas está diretamente ligada ao avanço da automação industrial, um fator essencial para manter a competitividade no setor manufatureiro.

Na indústria brasileira, a Norma Regulamentadora NR12, estabelecida pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE), tem como objetivo garantir que máquinas

e equipamentos ofereçam condições seguras de operação, reduzindo ao máximo os riscos de acidentes. Essa norma exige a implementação de dispositivos de segurança, sistemas de intertravamento, proteção contra contatos acidentais e controles eficientes que impeçam operações inseguras. No entanto, muitas indústrias ainda operam com máquinas antigas que não foram projetadas para atender a esses requisitos, tornando urgente a necessidade de adequação por meio de retrofit.

O retrofit, se apresenta como uma solução economicamente viável para empresas que desejam atualizar seus equipamentos sem precisar substituí-los por versões mais modernas, que muitas vezes possuem alto custo de aquisição. A revitalização de uma máquina pode envolver a substituição de componentes antigos, reorganização do painel elétrico, implementação de novos sistemas de controle e automação, além da instalação de proteções mecânicas e sensores de segurança. Essas melhorias não apenas garantem conformidade com normas regulamentadoras, mas também aumentam a eficiência e a confiabilidade do equipamento, reduzindo o tempo de parada para manutenção corretiva e prevenindo falhas operacionais.

Além dos benefícios diretos relacionados à segurança dos trabalhadores, este estudo também contribui para a disseminação do conhecimento sobre retrofit no setor industrial, incentivando outras empresas a adotarem medidas semelhantes para a modernização de suas máquinas. Ao demonstrar na prática os desafios e soluções adotadas nesse projeto, este trabalho pode servir como referência para futuras adequações em máquinas similares, reforçando a importância de investimentos em segurança e automação.

### 1.3. OBJETIVO GERAL

O avanço da indústria moderna exige que máquinas e equipamentos operem de forma segura, eficiente e em conformidade com as normas regulamentadoras. No entanto, muitas empresas ainda utilizam máquinas antigas que, além de apresentarem baixo desempenho operacional, colocam em risco a integridade dos operadores devido à falta de dispositivos de segurança adequados. Diante desse cenário, este trabalho tem como objetivo geral analisar e descrever o processo de retrofit em uma máquina serra fita utilizada na remoção de rebarbas de peças

cilíndricas de alumínio, destacando as melhorias implementadas para garantir a segurança do operador e otimizar o desempenho do equipamento.

Objetivo geral, este estudo reforça a relevância do retrofit como uma alternativa viável para empresas que buscam modernizar suas operações de forma eficiente e segura. A implementação de medidas de segurança e automação não apenas reduz os índices de acidentes, mas também melhora a produtividade, garantindo maior competitividade no mercado industrial.



Figura 2 – Máquina in loco  
Fonte: Autor (2025)

#### 1.4 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Este estudo foi dividido em objetivos específicos que abrangem desde a identificação dos problemas iniciais até a análise dos resultados obtidos após a modernização. Dessa forma, busca-se não apenas documentar as modificações realizadas, mas também evidenciar os benefícios proporcionados pela atualização da máquina, tanto em termos de segurança quanto de eficiência operacional.

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- > Identificar os riscos e limitações da máquina original.
- > Definir e planejar as soluções de retrofit para a máquina.
- > Implementar dispositivos de segurança e automação conforme as exigências da NR12.

- Avaliar os resultados do retrofit em termos de segurança e eficiência operacional.
- Analisar a viabilidade econômica do retrofit em comparação com a aquisição de uma nova máquina.

## 1.5 METODOLOGIA

A metodologia teve como objetivo garantir uma abordagem clara, sistemática e detalhada do retrofit da máquina serra fita, desde a identificação dos problemas até a avaliação dos resultados obtidos. Para isso, utilizou-se uma combinação de pesquisa teórica, análise técnica da máquina, implementação das melhorias e avaliação prática dos impactos do retrofit.

### 1.5.1 DIAGNÓSTICO DA MÁQUINA SERRA FITA ANTES DO RETROFIT

Foi conduzida uma análise detalhada da máquina serra fita utilizada no processo de remoção de rebarbas de peças cilíndricas de alumínio. Essa análise envolveu a avaliação do estado dos componentes mecânicos, elétricos e de segurança, além da identificação de falhas operacionais que poderiam representar riscos aos operadores. Para isso, foram coletadas informações por meio de observações diretas, entrevistas com operadores e análise de registros de manutenção e incidentes anteriores.

#### DIAGNÓSTICO DA MÁQUINA



Figura 3 – Diagnóstico da máquina  
Fonte: Autor (2025)

Sistema Elétrico

- Painel Elétrico: Organização deficiente dos cabos, conexões expostas e componentes obsoletos.
- Botões e Comandos: Falta de botão de emergência e posicionamento inadequado dos controles.
- Sistema de Alimentação: Fios e conexões apresentavam sinais de superaquecimento e improvisações, elevando os riscos de curto-circuito.

### **Segurança Operacional**

- Ausência de Normas NR12: A máquina não atendia às exigências da norma NR12, não possuindo dispositivos de segurança como sensores, enclausuramento adequado e botoeiras de parada de emergência.
- Risco de Acidentes: Exposição excessiva da lâmina e ausência de dispositivos de proteção impediam a operação segura.
- Falta de treinamento: Os operadores não recebiam instrução adequada para manuseio seguro da máquina.

### **Eficiência e Produtividade**

- Baixa precisão no corte: o desalinhamento da lâmina e a vibração excessiva comprometiam a qualidade dos cortes.
- Frequentes paradas para manutenção: devido às falhas mecânicas e elétricas, a máquina apresentava alta taxa de inatividade.
- Consumo excessivo de energia: o motor operava com baixa eficiência, resultando em desperdício energético.
- 

#### **1.5.2. DEFINIÇÃO DAS MELHORIAS E PLANEJAMENTO DO RETROFIT**

A partir do diagnóstico inicial, foi elaborado um plano detalhado para a modernização da máquina serra fita, contemplando aspectos como substituição de componentes antigos, reorganização do painel elétrico, implementação de dispositivos de segurança e automação do processo.

#### **1.5.3. IMPLEMENTAÇÃO DAS MELHORIAS NA MÁQUINA**

- Após a fase de planejamento, deu-se início à implementação das melhorias propostas. Essa etapa incluiu:
- Substituição de componentes mecânicos e elétricos obsoletos;
- Organização e limpeza do painel elétrico, garantindo um layout mais seguro e funcional;
- Instalação de dispositivos de segurança, como botões de emergência, sensores de presença e barreiras físicas para evitar contato direto com a lâmina de corte;
- Integração de CLPs e IHMs, permitindo um controle mais eficiente e seguro da operação da máquina;
- Configuração e programação dos sistemas automatizados, assegurando que a máquina atendesse aos requisitos operacionais e de segurança exigidos pela NR12.
- Durante essa fase, foram realizadas verificações contínuas para garantir que cada modificação estivesse funcionando corretamente e que os novos dispositivos atendessem às exigências técnicas estabelecidas.

#### 1.5.4 ANÁLISE DOS RESULTADOS E COMPARAÇÃO COM A MÁQUINA ORIGINAL

Com base nos testes e observações realizadas, foi feita uma análise comparativa entre a máquina antes e depois do retrofit. Foram avaliados os seguintes aspectos:

- Redução do risco de acidentes e aumento da segurança operacional;
- Melhoria na eficiência do processo produtivo;
- Facilidade de operação e manutenção;
- Conformidade com as exigências da NR12;
- Custo-benefício do retrofit em relação à compra de uma nova máquina.

Essa etapa foi fundamental para comprovar a eficácia das modificações realizadas e fornecer uma visão clara dos ganhos proporcionados pelo retrofit.

## 2 - FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O objetivo é apresentar os conceitos que fundamentam o retrofit de máquinas industriais, com foco na melhoria da segurança e na modernização dos processos de controle e automação. A revisão aborda práticas de retrofit, normas de segurança como a NR12 e o uso de Controladores Lógicos Programáveis (CLP). Também explora as vantagens e desafios dessas soluções, convenientes de base para as mudanças feitas na máquina serra adequada.

## 2.1 RETROFIT DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS

O retrofit pode envolver diversas ações, como a substituição de componentes mecânicos e eletrônicos, a modernização dos sistemas de controle e automação, a implantação de novos recursos tecnológicos e a adequação do equipamento às normas de segurança e ergonomia vigentes. Este processo pode ser aplicado a diferentes tipos de máquinas e equipamentos, desde máquinas simples até sistemas industriais complexos, com o propósito de atender melhor às necessidades operacionais, otimização do consumo de energia e redução de custos com manutenção.

### 2.1.1 VANTAGENS DO RETROFIT

- O retrofit apresenta diversas vantagens quando comparado à compra de novos equipamentos. Entre os principais, destacam-se:
  - Redução de Custos: O retrofit pode ser uma solução mais econômica, já que a substituição de componentes específicos, como o sistema de controle ou motor, é mais barata do que adquirir uma máquina nova. Além disso, os custos operacionais podem ser reduzidos com a melhoria da eficiência energética e da automação.
  - Melhora na segurança: O retrofit possibilita a adequação às normas de segurança, como a NR12, que muitas vezes não são atendidas por máquinas antigas. A instalação de novos dispositivos de segurança, como

sensores, botões de emergência e proteções físicas, ajuda a prevenir acidentes e aumentar a segurança dos operadores.

- **Aumento da Eficiência e Desempenho:** A modernização dos sistemas de controle e automação permite uma otimização dos processos produtivos, resultando em melhor desempenho, maior precisão e menor taxa de falhas. Isso contribui diretamente para o aumento da produtividade e da qualidade do produto final
- **Prolongamento da Vida Útil:** O retrofit pode prolongar significativamente a vida útil de uma máquina, eliminando a necessidade de um investimento de capital elevado na compra de um equipamento novo. Ao realizar a substituição de partes críticas e melhorar os sistemas de controle, a máquina poderá continuar operando por muitos anos com um desempenho renovado.
- **Sustentabilidade:** Ao invés de descartar uma máquina antiga, o retrofit contribui para a sustentabilidade, uma vez que reduz o descarte de materiais e a produção de novos equipamentos, ajudando a diminuir o impacto ambiental.

O processo de retrofit também é fundamental para a segurança do trabalhador, especialmente em máquinas antigas que não atendem mais às normas de segurança atuais. Muitas máquinas industriais mais antigas não possuem sistemas de proteção adequados, como sensores de segurança, botões de emergência ou proteções físicas. Ao realizar o retrofit, é possível instalar esses dispositivos e tornar a máquina mais segura para os operadores.

No caso específico da máquina serra fita, que tem como função principal a retirada de vergalhões de alumínio, a segurança é um ponto crítico. A falta de proteções adequadas e o risco de acidentes devido a materiais pesados tornam o retrofit ainda mais necessário. Além disso, a norma NR12 exige que as máquinas possuam dispositivos que evitem o contato direto do operador com as partes móveis e controles de emergência eficazes. O retrofit visa atender a esses critérios, minimizando os riscos de acidentes.

## 2.2 NORMAS REGULAMENTADORAS DE SEGURANÇA COM FOCO NA NR12

As Normas Regulamentadoras (NRs) são um conjunto de diretrizes criadas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) com o objetivo de garantir a segurança e a saúde dos trabalhadores em suas atividades, especialmente nas indústrias. Estas normas abrangem uma série de aspectos relacionados ao ambiente de trabalho, equipamentos, máquinas e processos, com a finalidade de prevenir acidentes e doenças ocupacionais. Entre as diversas NRs, a NR12, que trata da segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, é uma das mais relevantes e possui grande impacto na operação de máquinas industriais.

A NR12 estabelece as condições mínimas de segurança que devem ser observadas nas máquinas e equipamentos utilizados no ambiente industrial. Ela abrange desde a fabricação e instalação até a manutenção e operacionalização dos equipamentos, e se aplica a todas as máquinas que envolvem risco para os trabalhadores. A aplicação da NR12 é essencial não apenas para a proteção dos trabalhadores, mas também para assegurar que as máquinas atendam a padrões de segurança, promovendo um ambiente de trabalho mais saudável e seguro.

### 2.2.1 OBJETIVOS E PRINCÍPIOS DA NR12

O objetivo principal da NR12 é garantir a segurança dos trabalhadores ao interagir com máquinas e equipamentos industriais, prevenindo acidentes e promovendo condições adequadas de trabalho. A norma aborda diversos aspectos essenciais para garantir a proteção dos operadores, desde a instalação até a manutenção das máquinas. Para isso, a NR12 define requisitos para a construção, proteção e uso de máquinas, destacando a importância de dispositivos de segurança e controles de acesso.

### 2.2.2 APLICAÇÃO DA NR12 NO RETROFIT

Quando se realiza um retrofit em uma máquina industrial, como no caso da serra fita, é imprescindível garantir que todas as exigências da NR12 sejam atendidas. O retrofit pode ser uma oportunidade para adequar o equipamento às normas de segurança mais recentes, substituindo componentes obsoletos e adicionando

dispositivos de proteção que não estavam presentes na máquina original.

No caso específico da serra fita, é essencial que durante o retrofit sejam instalados dispositivos de segurança adequados, como sensores de proximidade, botões de emergência, painéis de controle de segurança e proteções móveis para evitar o contato do operador com as lâminas da serra ou com outras partes perigosas da máquina. Além disso, o sistema de controle da máquina deve ser revisado e atualizado, de modo a garantir que ele esteja em conformidade com as normas de segurança e que tenha redundâncias e controles de emergência eficazes.

É importante também realizar um treinamento adequado para os operadores da máquina, garantindo que eles compreendam como usar corretamente os novos dispositivos de segurança e que saibam como agir em situações de emergência.

### 2.3 CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMÁVEIS (CLP)

Os Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) desempenham um papel essencial na automação industrial, sendo responsáveis pela gestão de processos e controle de máquinas em diversas indústrias. Com sua capacidade de realizar funções de controle lógico e sequencial, os CLPs substituíram os sistemas de controle baseados em relés e interruptores, proporcionando maior flexibilidade, precisão e confiabilidade no controle de processos industriais. Ao longo dos anos, esses dispositivos se tornaram fundamentais em setores como automotivo, alimentício, energia, petroquímico e muitos outros.

### 2.4 DEFINIÇÃO E FUNCIONAMENTO DOS CLPS

O CLP é um dispositivo eletrônico que utiliza um programa de computador, comumente chamado de ladder (escada), para controlar operações em máquinas e processos industriais. Ele é projetado para ser robusto, capaz de resistir a condições adversas típicas de ambientes industriais, como vibração, temperatura extrema, humidade e interferências eletromagnéticas. Sua principal função é a automação de processos, realizando controle sequencial, contagem, interrupções e acionamento de motores, válvulas, bombas, entre outros equipamentos.

Os CLPs operam com entradas e saídas (I/O), onde as entradas podem ser sinais de sensores que detectam o ambiente (como temperatura, pressão, umidade), e as saídas são sinais de atuadores, que executam ações como o acionamento de motores ou o fechamento de válvulas. O processo de controle é realizado de forma cíclica, e o programa é executado continuamente, verificando as condições das entradas e decidindo as ações adequadas para as saídas.

#### 2.4.1 COMPONENTES PRINCIPAIS DE UM CLP

Os CLPs são compostos por diversos componentes que permitem sua operação, sendo os principais:

- Unidade Central de Processamento (CPU).
- Entradas e Saídas (I/O).
- Memória.
- Fonte de Alimentação.
- Interface de Comunicação.

#### 2.4.2 PROGRAMAÇÃO DE CLP E SOFTWARE UTILIZADO WORKS3

A programação de CLPs é uma parte essencial da automação, e ela pode ser realizada de diferentes formas, sendo a mais comum a linguagem ladder. Essa linguagem, também conhecida como linguagem de diagrama de contatos, é uma representação gráfica que se assemelha a um diagrama de circuitos elétricos, onde os contatos (que representam entradas) e bobinas (que representam saídas) são conectados de forma a criar uma lógica de controle.

O software Works3 da Mitsubishi é uma ferramenta utilizada para programação do CLP utilizado nesse equipamento. Ele permite o desenvolvimento de lógicas de controle, configuração de dispositivos, simulação de programas e diagnóstico de falhas. Além disso, integra diferentes funções de automação, como controle de movimento e redes industriais, facilitando a modernização e otimização de processos industriais.

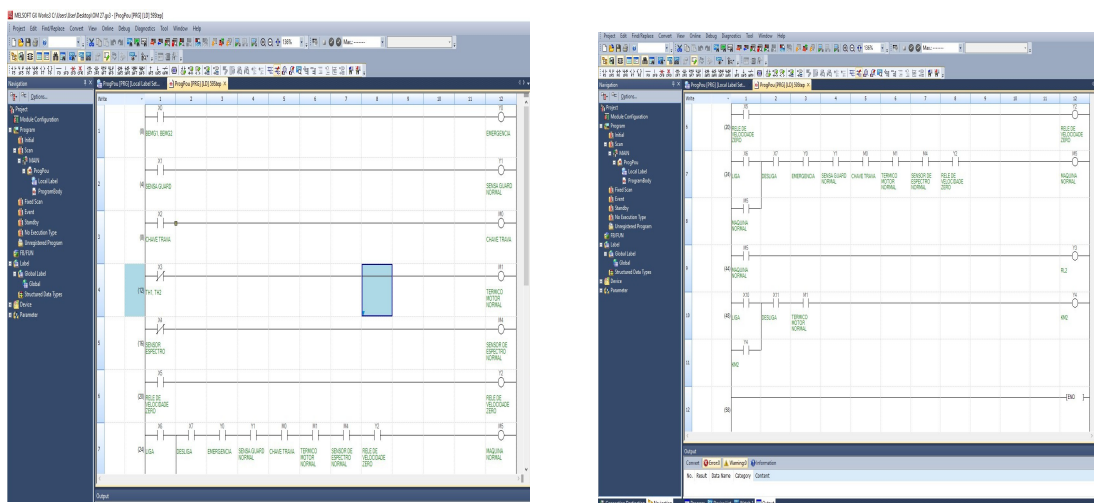


Figura 4 – Software utilizado  
Fonte: Autor (2025)

## 2.5 PAINEL DE COMANDO

O painel de comando é uma das partes mais essenciais em sistemas automatizados e no controle de processos industriais. Ele funciona como o centro de controle e monitoramento, reunindo os dispositivos e componentes responsáveis pela gerência e distribuição de energia elétrica, além de garantir que o sistema funcione corretamente de acordo com as necessidades de operação. No contexto de um retrofit de máquina industrial, o painel de comando tem um papel fundamental, pois é onde ocorre a implementação das modificações que visam melhorar a segurança, a eficiência e a funcionalidade do equipamento.

No contexto de um retrofit de máquina industrial, o painel de comando desempenha um papel crucial na modernização e aperfeiçoamento da operação da máquina. Algumas das funções que podem ser implementadas ou aprimoradas durante o retrofit incluem:

- Reorganização dos Circuitos Elétricos.
- Implementação de Sistemas de Proteção.
- Integração com CLPs.
- Atualização para Normas de Segurança.
- Facilidade de Manutenção e Diagnóstico.

### 3 PAINEL DE COMANDO COM O CLP

O painel de comando e o Controlador Lógico Programável (CLP) formam um dos principais elementos de um sistema automatizado, sendo responsáveis pela gestão de processos industriais. No contexto de retrofit de máquinas industriais, como a serra-fita utilizada para a retirada de rebarba de alumínio, é essencial entender as interfaces entre o painel de comando e o CLP, que são os pontos de interação entre os dispositivos de controle, segurança e automação. Este capítulo aborda essas interfaces, suas características, funções e a importância dessa integração para o bom funcionamento do sistema.

#### 3.1 PAINEL DE COMANDO E SUA FUNÇÃO NO PROCESSO DE AUTOMAÇÃO

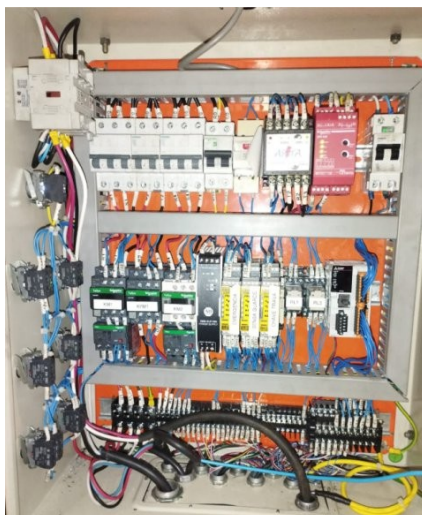


Figura 5 – Painel após retrofit

Fonte: Autor (2025)

O painel de comando é composto por uma série de dispositivos elétricos e eletrônicos que permitem o controle e monitoramento das funções da máquina. Entre os componentes mais comuns encontrados em painéis de comando, especialmente em máquinas antigas, destacam-se:



Figura 6 - Frontal do painel elétrico

Fonte: Autor (2025)

- Botões e Interruptores.
- Disjuntores e Fusíveis.
- Contatores e Relés.
- Displays de Indicadores.

Em muitos casos, esses componentes estão organizados de forma manual e dispendiosa, sem a integração eficiente de tecnologias modernas. Durante o retrofit, a modernização do painel de comando pode envolver a substituição desses dispositivos por tecnologias mais avançadas, como o uso de botões de emergência, sensores digitais, e a implementação de painéis de controle através de CLPs.

### 3.1.2 MELHORIA DA SEGURANÇA COM O PAINEL DE COMANDO MODERNIZADO

Uma das maiores vantagens do retrofit no painel de comando é a melhoria da segurança operacional. A NR12, que trata da segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, exige que os sistemas de controle incluam dispositivos que garantam a proteção do operador e do equipamento. Isso pode envolver a instalação de botões

de parada de emergência, sensores de segurança e interlocks, que interrompem o funcionamento da máquina caso haja risco de acidente.

Em máquinas antigas, muitas vezes esses dispositivos de segurança não estavam presentes ou eram insuficientes para garantir a proteção do operador. A modernização do painel de comando permite que as exigências da NR12 sejam atendidas, proporcionando um ambiente de trabalho mais seguro e evitando acidentes como os que ocorriam frequentemente na serra-fita original.

### 3.2 PAPEL DO CLP NA AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL



Figura 7 – Controlador

Fonte: Site Mitsubishi (2025)

O Controlador Lógico Programável (CLP) é um dos elementos centrais na automação industrial moderna, sendo amplamente utilizado para controlar máquinas e processos de produção de forma eficiente e segura. Em sistemas industriais mais antigos, como a máquina serra-fita que será alvo deste retrofit, o controle era realizado de maneira manual ou com sistemas menos integrados. A introdução do CLP no retrofit dessa máquina visa modernizar o sistema de controle, proporcionando maior segurança, eficiência e precisão no funcionamento, além de atender às exigências de normas regulamentadoras como a NR12, que regula a segurança no trabalho em máquinas e equipamentos.

A modernização do sistema de controle através da implementação de um CLP oferece diversas vantagens, que impactam diretamente na segurança, eficiência e manutenção da máquina:



Figura 8 – Diagnóstico de vantagens do CLP

Fonte: Autor (2025)

- **Segurança:** O CLP permite a implementação de funções de segurança avançadas, como a parada de emergência e monitoramento contínuo, o que ajuda a atender aos requisitos da NR12. Em casos de falhas ou condições inseguras, o CLP pode acionar a parada da máquina automaticamente, evitando acidentes e danos aos operadores.
- **Eficiência Operacional:** O CLP automatiza processos, o que reduz a necessidade de intervenção manual e aumenta a precisão nas operações. A máquina pode ajustar seus parâmetros automaticamente, como velocidade de corte, pressão ou temperatura, garantindo que o processo de remoção de rebarbas seja realizado com maior consistência e menos variações, resultando em maior qualidade do produto.
- **Flexibilidade:** O uso de um CLP permite que a máquina seja facilmente reprogramada para diferentes tipos de operações ou ajustes, sem a necessidade de alterações físicas no sistema. Isso proporciona uma flexibilidade que não seria possível em sistemas de controle tradicionais baseados em relés e contatores.
- **Monitoramento e diagnóstico:** Com um CLP, é possível implementar sistemas de diagnóstico e monitoramento remoto, permitindo que operadores e técnicos identifiquem falhas ou problemas antes que se tornem críticos. Isso contribui para a manutenção preventiva e reduz os tempos de inatividade.

### 3.2.1 PROGRAMAÇÃO DO CLP

Nesse projeto de retrofit da máquina serra-fita, a programação do CLP foi realizada na linguagem Ladder, escolhida por sua semelhança com diagramas elétricos e fácil interpretação. O programa foi desenvolvido para garantir um controle seguro e eficiente da máquina, implementando funções essenciais para sua operação.

Entre as principais funcionalidades, estão a partida e parada segura da serra, evitando acionamentos acidentais, e o monitoramento de sensores, que garantem que a máquina funcione em condições seguras.

Durante o retrofit da serra-fita, o CLP será programado para realizar funções como o controle de movimentos da lâmina, a gestão dos sensores de segurança e a monitoração dos parâmetros operacionais. O programador do CLP precisa garantir que todos os processos sejam sincronizados e que o sistema de controle esteja preparado para agir automaticamente em caso de falha ou emergência.

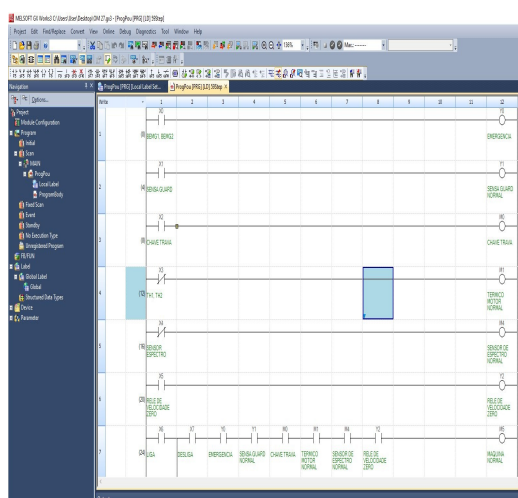


Figura 9 – Programação do CLP em Ladder

Fonte: Autor (2025)

### 3.3 DESAFIOS NA INTEGRAÇÃO DO PAINEL DE COMANDO COM O CLP NO RETROFIT

A integração do Painel de Comando com o Controlador Lógico Programável (CLP) é um dos aspectos mais críticos e desafiadores do retrofit de máquinas industriais, como a serra-fita utilizada para a remoção de rebarba de alumínio. O retrofit é um processo que envolve não apenas a substituição ou atualização de componentes, mas também a integração eficiente de novas tecnologias a um sistema existente. No caso da serra-fita, a implementação de um CLP no painel de comando, sem a presença de uma Interface Homem-Máquina (IHM), apresenta uma série de desafios técnicos e operacionais que precisam ser minuciosamente considerados e resolvidos.

Além disso, a fiação do painel de comando precisa ser reconfigurada para conectar os dispositivos de entrada e saída ao CLP. Esse processo pode envolver a substituição de cabos antigos, que muitas vezes não são adequados para o controle digital, por cabos de comunicação modernos capazes de suportar os sinais de alta velocidade exigidos pelo CLP.

## 4 PROPOSTA DE RETROFIT

A proposta de retrofit apresentada neste projeto visa modernizar a máquina serra-fita, de modo a torná-la mais segura, eficiente e de acordo com as exigências da NR12, norma que regula a segurança no trabalho com máquinas e equipamentos. O objetivo é transformar a máquina existente, que já apresenta um grande desgaste devido ao tempo de operação e à falta de manutenção adequada, em um sistema mais seguro e funcional, utilizando tecnologias mais atuais, como a implementação de um Controlador Lógico Programável (CLP), a substituição de componentes antigos e a reorganização do painel de comando.

A proposta de retrofit não se limita apenas a uma atualização tecnológica, mas também busca uma melhoria operacional e de segurança. O sistema de controle da serra-fita, que anteriormente era composto por sistemas manuais e analógicos, será substituído por um sistema digital automatizado, com o uso do CLP, proporcionando maior precisão no controle de operação, além de permitir uma fácil manutenção e monitoramento do desempenho da máquina. Além disso, será implementada uma

reorganização no painel de comando para garantir a clareza na operação e facilitar a identificação de falhas e condições críticas.

#### 4.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA

A identificação do problema constitui a primeira etapa crucial para o sucesso do retrofit da máquina serra-fita. Ao realizar uma análise detalhada da máquina, com base em observações diretas e informações fornecidas pelos operadores, foi possível identificar uma série de falhas estruturais, operacionais e de segurança que comprometiam tanto a eficiência quanto a segurança do ambiente de trabalho. A seguir, são apresentados os principais problemas encontrados durante a análise da máquina, os quais justificam a necessidade urgente de uma intervenção técnica por meio do retrofit.

O sistema de controle da serra-fita, que era predominantemente manual e analógico, utilizava relés e temporizadores para gerenciar as funções de operação. Esses sistemas, embora funcionais em sua época, já estavam completamente desatualizados, apresentando falhas recorrentes, especialmente devido ao desgaste de seus componentes com o tempo. A falta de automação digital e a ausência de monitoramento preciso do estado da máquina dificultavam a realização de manutenções preventivas e geravam sérios riscos operacionais. A ausência de feedback instantâneo sobre o status da máquina impedia a identificação imediata de problemas, o que, muitas vezes, resultava em falhas não previstas, comprometendo a continuidade da operação e a segurança dos operadores.

Outro ponto crítico identificado foi a deficiência nos dispositivos de segurança. A máquina serra-fita, devido à sua antiguidade e à ausência de um sistema de segurança digital, não atendia a muitos dos requisitos exigidos pela NR12 (Norma Regulamentadora de Segurança no Trabalho com Máquinas e Equipamentos). A falta de sistemas automáticos de parada de emergência, proteções físicas adequadas, como barreiras de segurança, e a inexistência de dispositivos como botões de emergência comprometiam a segurança dos operadores. Em muitos casos, os operadores eram forçados a interagir diretamente com a máquina enquanto ela estava em operação, o que aumentava significativamente os riscos de acidentes de trabalho, como cortes e esmagamentos.

#### 4.1.2 AUSÊNCIA DE CONFORMIDADE COM NORMAS REGULAMENTADORAS

A máquina em questão também não estava em conformidade com várias exigências da NR12, especialmente no que diz respeito à segurança. A norma define as diretrizes de segurança para máquinas e equipamentos, buscando prevenir acidentes e garantir a integridade física dos trabalhadores. A falta de dispositivos de segurança automatizados, a inexistência de barreiras físicas e a falha em atender a critérios de ventilação e isolamento elétrico são exemplos claros de não conformidade. A não adequação às normas representa um risco não apenas para os operadores, mas também para a empresa, uma vez que pode gerar implicações legais, multas e até mesmo a interdição do equipamento. Dessa forma, a máquina precisava urgentemente de um retrofit para garantir que atendesse às normas de segurança atuais.

#### 4.1.5 DESORGANIZAÇÃO NO PAINEL DE COMANDO

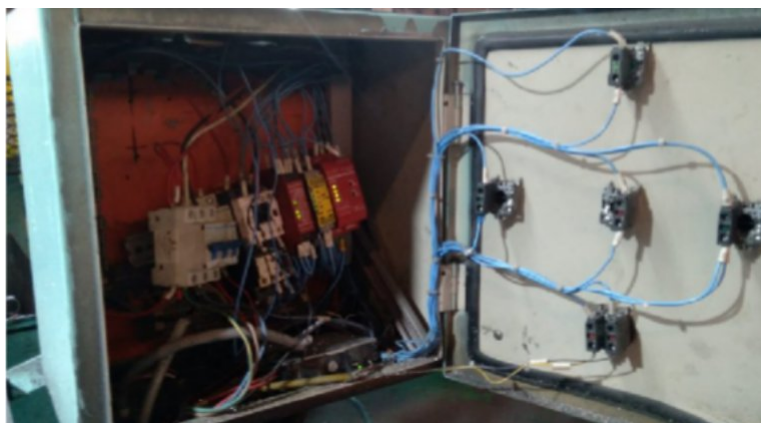


Figura 10 – Painel antes do retrofit

Fonte: Autor (2024)

Outro ponto significativo identificado foi a desorganização do painel de comando da máquina. O painel, composto por botões e interruptores antigos, não seguia uma lógica de layout eficiente e não oferecia uma interface clara para os operadores. Os componentes estavam mal posicionados, dificultando a operação e o monitoramento das funções da máquina, especialmente em situações de emergência.

A falta de identificação clara das funções e a sobrecarga de informações no painel causavam confusão, resultando em possíveis erros operacionais. A

reorganização do painel de comando, com a implementação de novos sistemas e dispositivos, era, portanto, uma ação necessária para garantir a eficiência e a segurança da operação.

## **4.2 SOLUÇÃO PROPOSTA**

A partir da identificação dos diversos problemas presentes na máquina serrafita, o retrofit proposto visa implementar soluções que atendam tanto às necessidades de segurança quanto à eficiência operacional, ao mesmo tempo que cumprem as exigências das normas regulamentadoras, como a NR12. Para isso, foram introduzidas várias melhorias tecnológicas que contemplam a automação da máquina, a segurança do operador, e a facilidade de operação. A seguir, detalhamos as principais soluções propostas para corrigir as falhas existentes e aprimorar a máquina.

### **4.2.1 IMPLEMENTAÇÃO DE CONTROLADOR LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)**

A implementação do Controlador Lógico Programável (CLP) na máquina serrafita representa um dos pilares centrais do processo de retrofit. O sistema de controle original da máquina era composto por componentes eletromecânicos obsoletos, como relés, temporizadores e contadores, que apresentavam limitações significativas em termos de confiabilidade, flexibilidade e diagnóstico. Além disso, esses componentes dificultavam a programação de sequências de operação complexas e a integração de dispositivos modernos necessários para aumentar a eficiência operacional e a segurança da máquina. Com a implementação do CLP, a máquina foi modernizada, proporcionando melhoria no controle do processo, maior segurança e a possibilidade de diagnóstico remoto, representando um avanço significativo em relação ao sistema anterior.



Figura 11 – Configuração do CLP  
Fonte: Autor (2025)

O CLP foi escolhido para substituir o sistema de controle antigo, devido às suas várias vantagens no contexto industrial. Primeiramente, o CLP oferece maior confiabilidade e robustez em ambientes industriais, além de ser programável, o que permite a personalização das funções de controle de acordo com as necessidades específicas da operação da serra-fita. Sua capacidade de lidar com entradas e saídas digitais e analógicas de forma rápida e eficiente melhora a precisão de controle de todos os parâmetros da máquina, como a velocidade de corte, o tempo de operação, e o monitoramento dos dispositivos de segurança.

O CLP facilita a implementação de sistemas de segurança interligados, como as travas magnéticas e o relé de velocidade zero, ao permitir uma programação dinâmica de intertravamentos e de procedimentos de parada de emergência, que são fundamentais para prevenir acidentes. Isso assegura que a máquina esteja operando sempre dentro dos parâmetros seguros, de acordo com as exigências das normas regulamentadoras como a NR12, que estabelece requisitos de segurança para máquinas e equipamentos.

Características do CLP utilizado:

- Tipo: FX5UC
- Fonte de alimentação (V): 24
- Tipo atual: CC
- Memória de Programa: 64K PASSOS

- Unidade de Memória de Programa: CLARÃO
- Entradas Digitais Integradas: 16
- Saídas Digitais Integradas: 16
- Tipo de saída: TRANSISTOR
- Lógica de saída: AFUNDAR
- Pontos de E/S locais: 256
- Pontos de E/S locais + remotos: 512
- Expansível: SIM
- Tempo de ciclo LD (ns): 34
- Tempo de ciclo MOV (ns): 34
- Porta Ethernet: 1
- RS-485: 1
- Consumo de energia (W): 5
- Bateria Buffer: OPÇÃO
- Classe de proteção: IP10
- Temperatura ambiente mínima (°C): 0
- Temperatura ambiente máx. (°C): 55
- Série: SÉRIE MELSEC IQ-F

A implementação do CLP na máquina serra-fita visa proporcionar uma série de benefícios, incluindo:

- Aumento da segurança: A integração de dispositivos de segurança com o CLP ajuda a prevenir acidentes operacionais, ao garantir que a máquina só possa ser operada em condições seguras.
- Maior confiabilidade e precisão: O CLP elimina os problemas associados ao sistema de controle analógico e relé, proporcionando uma operação mais confiável e precisa.
- Facilidade de manutenção: Com o CLP, a manutenção torna-se mais ágil e eficiente, uma vez que falhas podem ser diagnosticadas rapidamente e o sistema pode ser ajustado sem a necessidade de substituir componentes físicos.

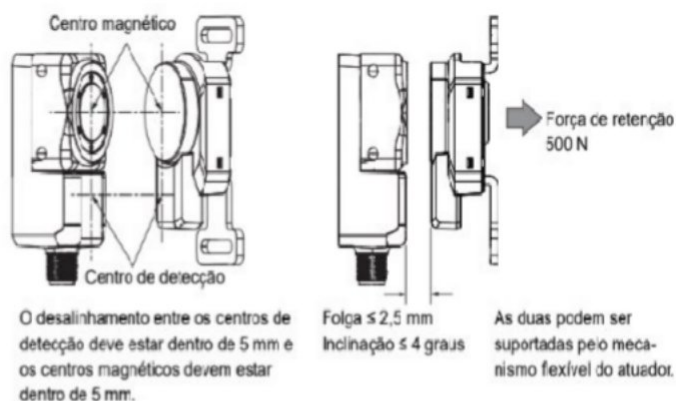
Adequação às normas de segurança: O CLP facilita a implementação de normas de segurança, como as exigidas pela NR12, garantindo a conformidade com os regulamentos e evitando problemas legais para a empresa.

- Otimização do processo: A flexibilidade e a capacidade de reprogramação do CLP permitem a adaptação contínua do processo de produção, contribuindo para a redução de custos e o aumento da eficiência.

A implementação do Controlador Lógico Programável (CLP) na máquina serra-fita representa uma modernização significativa do sistema de controle, que permite maior segurança, eficiência e conformidade com as normas de segurança. O CLP não só substitui o sistema antigo, como também abre caminho para a integração de novos dispositivos, a otimização do desempenho da máquina e o monitoramento inteligente da operação. Assim, a introdução do CLP marca um avanço crucial no processo de retrofit, alinhando a máquina às exigências da indústria moderna e garantindo sua operação segura e eficiente.

#### 4.2.2 INSTALAÇÃO DE TRAVAS MAGNÉTICAS E RELÉ DE VELOCIDADE ZERO

A instalação de travas magnéticas e do relé de velocidade zero foi uma das principais melhorias implementadas na máquina serra-fita durante o processo de retrofit, com o objetivo de aumentar a segurança operacional e garantir o cumprimento das exigências estabelecidas pela NR12, que regulamenta a segurança no uso de máquinas e equipamentos industriais.

**GS-M L5**

- Orientações de instalação e direção de puxamento incorretas

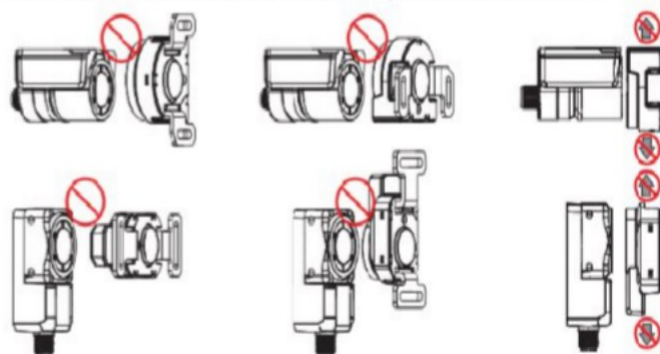


Figura 12 – Instalação Trava magnética

Fonte: site Keyence (2025)

As travas magnéticas foram instaladas nos pontos de acesso à parte interna da máquina, com o intuito de impedir a abertura da tampa de proteção enquanto a lâmina de corte está em movimento. Esse dispositivo atua como um mecanismo de segurança que assegura que o operador não possa ser exposto ao risco de contato com a lâmina enquanto a máquina está em operação. As travas magnéticas funcionam de maneira que, enquanto o sistema está energizado e em operação, o mecanismo de travamento mantém as tampas fechadas. Somente quando o processo é interrompido e a máquina entra em modo de parada segura, as tampas podem ser abertas. Isso reduz significativamente o risco de acidentes, atendendo à necessidade de proteção física para os operadores.



Figura 13 – Trava magnética

Fonte: site Keyence (2025)

5 Especificações		
5-1 Especificações		
Distância de operação <sup>1</sup>	Sao (DESLIGADO → LIGADO)	0,1 mm
	Sar (LIGADO → DESLIGADO)	15 mm
Tempo de resposta <sup>2</sup>	Travar → Destruvar	250 ms
	Destruvar → Travar	250 ms
	Detectar → Não detectar	20 ms + 2 ms × (número da unidade em cascata - 1)
	Não detectar → Detectar	300 ms + 25 ms × (número da unidade em cascata - 1)
Frequência de operação aceitável	1,6 Hz (IEC 60947-5-3)	
Saída de controle (Saída OSSD)	Saída	Saídas de transistor × 2
	Corrente de carga máxima	150 mA
	Tensão residual (enquanto LIGADA)	Máx. de 2,5 V (com um comprimento do cabo de 5 m) Máx. de 3,5 V (com um comprimento do cabo de 31 m)
	Tensão do estado DESLIGADO	Máx. de 2,0 V (com um comprimento do cabo de 5 m) Máx. de 3,0 V (com um comprimento do cabo de 31 m)
	Corrente de fuga	Máx. de 0,5 mA
	Carga capacitiva máxima	0,8 µF
AUX (Saída não relacionada à segurança)	Saída	Saída de transistor
	Corrente de carga máxima	50 mA
	Tensão residual (enquanto LIGADA)	Máx. de 2,5 V (com um cabo de 5 m) Máx. de 3,5 V (com um cabo de 31 m)
Entrada externa (Corrente de curto-circuito)	Entrada de segurança	Aprox. 1,5 mA × 2
	Entrada de controle de travamento	Aprox. 2,5 mA
	Entrada de RESET/EDM	Aprox. 5 mA (Somente para tipo de função avançada)
	Entrada de comutação da operação da OSSD	Aprox. 2,5 mA (Somente para tipo de função avançada)
Fonte de alimentação	Tensão de alimentação	24 V CC ±20% (oscilação P-P de 10% ou menos, Classe 2)
	Consumo de energia (sem carga)	GS-M5 e GS-ML5: 5 W, GS-M9: 6 W
Circuito de proteção		Proteção de corrente reversa, proteção de curto-circuito e proteção de surto para cada saída
Resistência ambiental	Grau de proteção	IP65/67 (IEC60529)
	Temperatura ambiente	-20~55 °C (sem congelar)
	Temperatura de armazenamento	-25~70 °C (sem congelar) <sup>3</sup>
	Umidade operacional relativa	5%~95% de UR
	Umidade relativa de armazenamento	5%~95% de UR
	Resistência à vibração	10 a 55 Hz, amplitude dupla 2,0 mm, 5 minutos em cada uma das direções X, Y e Z (IEC 60947-5-3)
Resistência a choque	30 G nas direções X, Y e Z, 6 vezes em cada eixo (IEC 60947-5-3)	
Normas aplicáveis (segurança)		EN61508, IEC61508 (SIL3), EN ISO13849-1:2015 (PL e, Category4), EN ISO14119 (Type4), IEC60947-5-3, EN60947-5-3, UL 60947-5-2
Material	Unidade principal	PBT, PET/PA, TPC, PC, aço revestido de níquel
	Atuador	GS-MA5 e GS-MAL5: PBT, SUS304, aço revestido de níquel GS-M9: PBT, aço (pintado e revestido de níquel)
	Suportes de montagem	Alumínio (placa do atuador e parafuso: aço)
Peso	Unidade principal	GS-M5: aprox. 250 g, GS-ML5: aprox. 240 g, GS-M9: aprox. 480 g
	Atuador	GS-MA5: aprox. 160 g, GS-MAL5: aprox. 130 g, GS-MA9: aprox. 250 g

Figura 14 – Descrição técnica da trava magnética

Fonte: site Keyence (2025)

#### 4.2.4 RELÉ DE VELOCIDADE ZERO

O relé de velocidade zero foi instalado para garantir que a tampa de segurança da serra-fita só seja liberada quando o motor da máquina atingir a velocidade zero, ou seja, quando a lâmina de corte parar completamente. Este dispositivo impede que a tampa seja aberta enquanto a lâmina ainda estiver em movimento, evitando o risco de lesões causadas pela lâmina ainda em funcionamento. O relé de velocidade zero monitora a rotação do motor e, ao detectar que a máquina parou completamente, libera o intertravamento da tampa, permitindo que o operador tenha acesso à parte interna da máquina de forma segura. Essa medida assegura que o operador tenha total segurança ao realizar qualquer tipo de ajuste ou manutenção, sem expor-se ao risco de acidentes.

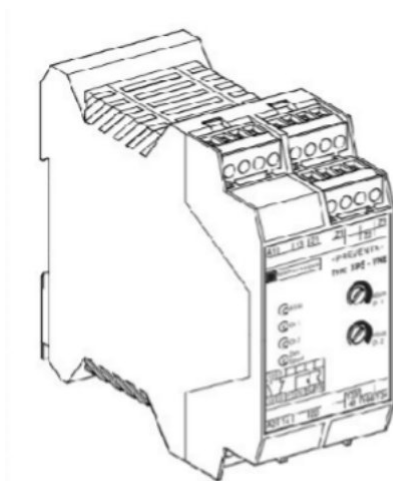


Figura 15 – Relé de velocidade zero

Fonte: site Telemecanique (2025)

Características técnicas do relé de velocidade:

##### a) Ligações

Ligação com um condutor

- Sem ponteira:
- Rígido 0.2-2.5 mm<sup>2</sup>
- Flexível 0.2-2.5 mm<sup>2</sup>

- Flexível com ponteira (sem manga plástica): 0.25-2.5 mm<sup>2</sup>

Ligação com dois condutores sem ponteira:

- Rígido 0.2-1 mm<sup>2</sup>
  - Flexível 0.2-1.5 mm<sup>2</sup>
  - Flexível com ponteira
  - (sem manga plástica): 0.25-1 mm<sup>2</sup>
  - Flexível com ponteira twin
  - (com manga plástica): 0.5-1.5 mm<sup>2</sup>
- b) Fixação do invólucro: Encaixe sobre perfil din 35 mm, segundo din 60715
- c) Grau de proteção segundo iec 60529: Terminais: Ip20, Invólucro: Ip40
- d) Peso: Versão 115v+230v a 0.33 kg, Versão 24v c 0.23 kg
- e) Posição de montagem: Indiferente
- f) Temperatura de funcionamento: -10°C to +55°C
- g) Categoria de sobretensão: III (4kv)
- h) Grau de poluição: 2
- i) Tensão consignada de isolamento
- 300v, segundo iec en 60664-1
  - Para terminais z1, z2, z3 500 v, de acordo com iec en 60664-1
- j) Tensão de alimentação ue segundo iec 60038:
- 230v a - 50/60 hz (+10% / -15%)
  - 115v a - 50/60 hz (+15% / -15%)
  - 24v c (+10% / -15%) (ver chapa sinalética)
  - Proteção máx.: 4 a fuse GG
- k) Tensão máxima entre os Bornes z1 - z2 - z3:
- 500v (efetivo)

l) Potência consumida:

- Versão 230 v a  $\leq 5,6$  va
- Versão 115 v a  $\leq 5,2$  va
- Versão 24 v c  $\leq 3,0$  w

m) Saída de segurança (isento de potencial):

- 13 - 14 categoria 3, en 954-1

n) Contacto de apoio, função abridor:

- 21 - 22

o) Saída estática, função fecho (sem contacto):

- Y33 - y34, y43 - y44 (tipicamente: 24 v / 20 ma)

p) Capacidade máxima de corte das saídas:

- 21 - 22: Ac 15 - c300 (1800 va/180 va)
- 13 - 14: Dc 13 - 24 v/1,5 a
- 21 - 22: Dc 13 - 24 v/1,2 a
- Proteção máx.: 4 a gg

O relé de velocidade zero é capaz de comutar Cargas fracas (17v / 10ma no mínimo). Isto é possível quando, anteriormente, o contacto não tiver comutado cargas mais elevadas, para evitar a deterioração da camada dourada de revestimento dos contatos.

A instalação das travas magnéticas e do relé de velocidade zero visa garantir que, durante a operação da serra-fita, o operador tenha garantia de segurança ao prevenir que a tampa de proteção seja aberta enquanto a máquina ainda estiver funcionando. Além disso, esses dispositivos aumentam a conformidade com as normas de segurança, particularmente a NR12, reduzindo o risco de acidentes e melhorando a confiabilidade da máquina. A integração desses componentes ao CLP permite um controle automatizado de segurança, tornando o sistema mais eficiente e fácil de monitorar, melhorando o tempo de resposta em caso de falhas ou situações de risco.

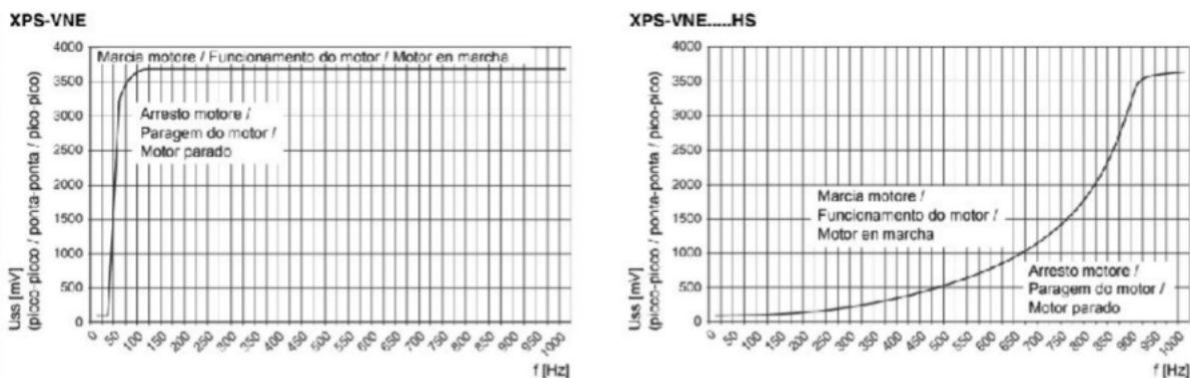


Figura 16 – Gráfico de aplicação do relé de velocidade

Fonte: site Telemecanique (2025)

#### 4.2.5 INTRODUÇÃO DE SENSOR DE ESPECTRO (DETECÇÃO DA COR AZUL)

Controlador multissensor

**Série MU-N**

Manual do usuário

Edição LR-W70(C)



Figura 17 – Sensor de espectro

Fonte: site Keyence (2025)

Outro avanço significativo foi a instalação de um sensor de espectro, que realiza a detecção de cor azul. Esse sensor tem como principal função monitorar a presença de uma lâmina azul, que é usada pelo operador durante a operação da máquina. O sensor detecta automaticamente a cor azul da lâmina, ativando um sistema de interlock que impede a operação da serra caso o operador não utilize a lâmina adequada. Além disso, o sensor de espectro contribui para aumentar a precisão no processo de corte e remoção de rebarba, pois assegura que a lâmina

esteja corretamente posicionada e funcionando conforme as especificações do processo.

#### 4.2.6 REORGANIZAÇÃO E MODERNIZAÇÃO DO PAINEL DE COMANDO

O painel de comando da máquina também passou por uma reorganização completa. O painel original era composto por botões e interruptores antigos que não ofereciam uma interface clara para o operador, além de estarem mal posicionados, dificultando o acesso rápido a comandos críticos. Com a proposta de retrofit, o painel foi reorganizado e modernizado, de forma a simplificar a operação e garantir a eficiência e a segurança. Além disso, novos botões de emergência, indicadores luminosos e dispositivos de comando foram adicionados, proporcionando uma interface mais intuitiva e segura. O novo painel também foi adaptado para a integração com o CLP, permitindo que o operador tenha um controle centralizado das funções da máquina e possa visualizar, de maneira clara e objetiva, o status de todos os componentes críticos.



Figura 18 – Painel elétrico da máquina

Fonte: Autor (2025)

#### 4.2.7 ADEQUAÇÃO ÀS NORMAS DE SEGURANÇA NR12

Além das melhorias tecnológicas, o retrofit propôs a adequação total da máquina às exigências da NR12, garantindo que todos os dispositivos de segurança atendam às normas regulamentadoras de segurança no trabalho. A NR12 estabelece diretrizes para garantir a integridade física dos operadores, incluindo a implementação de proteções físicas, dispositivos de parada de emergência, sistemas de

intertravamento, entre outros. O retrofit buscou, assim, não apenas modernizar a máquina, mas também garantir que ela operasse em total conformidade com as normas de segurança estabelecidas pelo Ministério do Trabalho e Emprego. Isso não só protege os operadores de acidentes, mas também evita que a empresa enfrente problemas legais e multas relacionadas à não conformidade com as normas de segurança.

#### 4.3 MECANISMOS DE IMPLEMENTAÇÃO

A implementação dos mecanismos de retrofit na máquina serra-fita envolveu a instalação de diversos componentes e sistemas de segurança com o objetivo de modernizar o equipamento, melhorar a segurança operacional e adequá-lo às normas regulamentadoras, especialmente a NR12. O processo foi realizado de maneira a otimizar a funcionalidade da máquina e garantir que as mudanças não interferissem no seu desempenho, mas, ao contrário, proporcionassem maior eficiência e confiabilidade. A seguir, são descritos os principais mecanismos que foram implementados durante o retrofit.

O primeiro passo crucial na implementação do retrofit foi a substituição do antigo sistema de controle por um Controlador Lógico Programável (CLP). O CLP foi escolhido para substituir o sistema de controle anterior devido à sua maior flexibilidade, precisão e facilidade de manutenção. O CLP passou a ser o cérebro da máquina, realizando a gerenciamento dos processos de corte, a interação com os sensores de segurança (como o sensor de espectro), além de garantir o funcionamento correto de todos os dispositivos de segurança, como as travas magnéticas e o relé de velocidade zero. Esse mecanismo permitiu também a integração de sistemas de monitoramento e o controle remoto da máquina, quando necessário.



Figura 19 – Instalação do CLP  
Fonte: Autor (2025)

A segurança do operador foi uma das principais preocupações durante o retrofit. Com a máquina antiga, os riscos de acidentes eram elevados devido à falta de sistemas de segurança adequados. Para minimizar esse risco, foram implementados sistemas de intertravamento, como as travas magnéticas e o relé de velocidade zero, descritos anteriormente. Esses dispositivos asseguram que a máquina só funcione em condições seguras, bloqueando o acesso à parte interna enquanto a lâmina estiver em movimento. A instalação desses dispositivos foi realizada de forma integrada ao CLP, que gerencia sua operação de maneira eficiente e automatizada.

Outro mecanismo implementado foi a instalação de sensores de espectro, que têm a função de detectar a cor azul no ambiente de trabalho, com o objetivo de garantir que a lâmina de corte não seja acionada se não estiver com a cor correta, evitando assim qualquer risco de erro de operação. Esses sensores interagem diretamente com o CLP, que processa os dados e faz os ajustes necessários na operação da máquina, como a desativação de funções que possam gerar perigo para o operador ou para a máquina.

Além da instalação dos dispositivos de segurança e controle, uma parte fundamental da implementação foi a reestruturação do painel elétrico, com a



substituição de componentes obsoletos, como fios e conexões desgastados, e a reorganização de todos os circuitos elétricos para garantir maior segurança e eficiência.

Figura 20 – Instalação de sensor

Fonte: Autor (2025)



Figura 21 – Confeção do Painel elétrico

Fonte: Autor (2025)

Após a instalação de todos os novos sistemas e componentes, foi realizado um extenso processo de testes para garantir que a máquina estivesse funcionando conforme o esperado. Isso incluiu a verificação da funcionalidade dos sistemas de segurança, a interação entre o CLP e os dispositivos de controle, e a verificação de conformidade com as normas de segurança. Durante os testes, também foram feitos ajustes finos nos parâmetros de operação da máquina, garantindo que ela estivesse otimizada para o ambiente de produção e que as melhorias não comprometessem o desempenho geral do equipamento.

#### 4.4 FLUXOGRAMA DO PROCESSO DE RETROFIT

Abaixo está um fluxograma simplificado que ilustra as principais etapas do processo de retrofit para a máquina serra-fita:

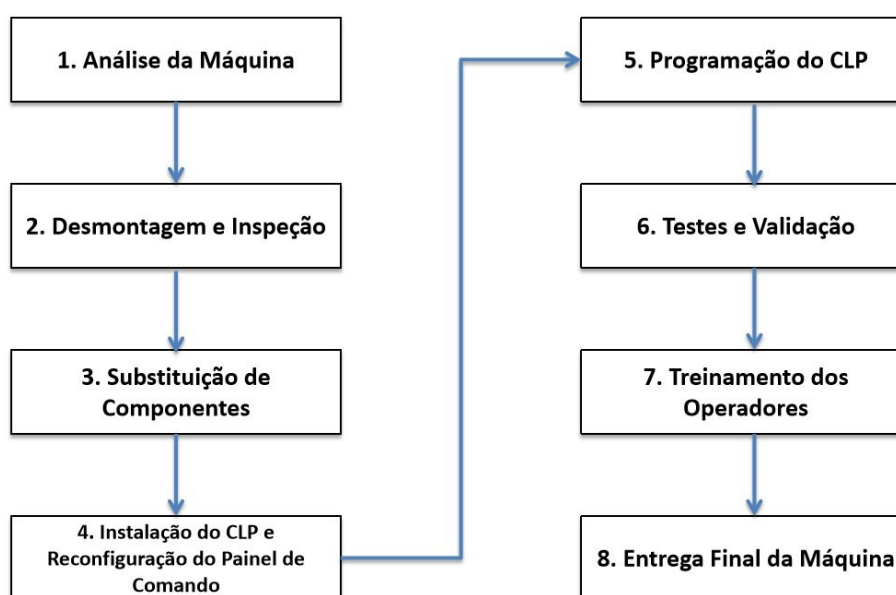


Figura 22 – Fluxograma do projeto  
Fonte: Autor (2025)

O fluxograma do processo de retrofit tem como objetivo ilustrar, de maneira clara e sequencial, todas as etapas realizadas durante a modernização da máquina serra-fita. Ele serve como uma ferramenta visual que facilita o entendimento do processo e mostra as interações entre os diferentes sistemas e componentes

envolvidos. Este fluxograma proporciona uma visão geral das etapas críticas e das decisões-chave tomadas durante a implementação das melhorias na máquina.

O processo de retrofit foi dividido em várias fases, que são detalhadas no fluxograma abaixo. Cada fase envolve uma série de ações e decisões que visam garantir a segurança, a eficiência e a conformidade com as normas regulamentadoras:

#### 4.4.1 ANÁLISE DA MÁQUINA

- Descrição: Etapa inicial em que a máquina é cuidadosamente testada para verificar seu estado atual, identificar falhas e pontos críticos que são observados de melhorias. Isso inclui avaliar a conformidade com as normas de segurança, componentes obsoletos e risco de acidentes.
- Objetivo: Entender as necessidades de atualização da máquina e preparar um relatório completo sobre os aspectos que precisam ser alterados ou substituídos.

#### 4.4.2 Desmontagem e inspeção

- Descrição: A máquina está desmontada e seus componentes internos estão funcionando para confirmar a necessidade de troca. Isso envolve a remoção de componentes antigos, como circuitos elétricos, relés e sistemas de segurança obsoletos.
- Objetivo: Retirar as partes desgastadas ou consumidas para garantir que uma nova configuração da máquina seja segura e eficiente.

#### 4.4.3 Substituição de componentes

- Descrição: Substituição de componentes essenciais, como motores, relés, sensores e outros dispositivos que não atendem aos padrões modernos de eficiência ou segurança. A instalação de novas travas magnéticas, relé de velocidade zero e sensores de espectro (para segurança do operador) também ocorre nesta etapa.
- Objetivo: Garantir que uma máquina equipada esteja com os componentes necessários para uma operação segura e eficiente, cumprindo as normas de segurança.

#### 4.4.4 Instalação do CLP e reconfiguração do painel de comando

- Descrição: Instalação de um Controlador Lógico Programável (CLP), que substituirá o sistema de controle manual ou obsoleto, integrando-se aos sistemas de segurança e automação. O painel de comando é reorganizado, e os novos dispositivos de segurança são integrados ao sistema.
- Objetivo: Implementar um sistema de controle moderno, capaz de melhorar a automação e segurança, e reorganizar o painel para uma operação mais eficiente.

#### 4.4.5 Programação do CLP

- Descrição: Programação do CLP para garantir que todos os componentes, como o sistema de controle da serra-fita, travas de segurança e sensores, estejam funcionando de acordo com as especificações. A programação inclui a implementação de lógica de controle, sequenciamento das operações e definição dos parâmetros de segurança.
- Objetivo: Garantir que o CLP atenda às necessidades específicas da máquina e às normas de segurança, incluindo a integração total dos novos dispositivos de segurança.

#### 4.4.6 Testes e validação

- Descrição: Realização de testes funcionais e de segurança para validar a operação da máquina após o retrofit. Isso inclui testes do sistema de travas magnéticas, do relé de velocidade zero, do CLP e de todos os sensores de segurança instalados.
- Objetivo: Certificar-se de que a máquina está operando corretamente, conforme o planejado, e que todos os sistemas de segurança estão funcionando especificamente para prevenir acidentes.

#### 4.4.7 Entrega final da máquina

- Descrição: Após a conclusão do retrofit, a máquina é entregue ao cliente com todos os sistemas testados, validados e funcionando conforme as especificações. A documentação sobre as alterações realizadas e o manual de operação atualizado também são entregues.

- Objetivo: Concluir o retrofit da máquina, garantindo que ela esteja segura, funcional e em conformidade com as normas de segurança e operacionais.

#### 4.5 BENEFÍCIOS ESPERADOS COM O RETROFIT

Os principais benefícios esperados com a realização do retrofit são:

- Maior Segurança: A implementação de dispositivos de segurança e a adequação às exigências da NR12 garantirão que os operadores estejam protegidos contra riscos de acidentes durante a operação da máquina.
- Melhoria na Eficiência Operacional: O novo sistema de controle baseado no CLP permitirá maior precisão nas operações e facilitará a manutenção preventiva, aumentando a vida útil da máquina.
- Atendimento às Exigências Normativas: A atualização do sistema de controle e a implementação dos dispositivos de segurança assegurarão que a máquina esteja em conformidade com as normas regulatórias, garantindo a segurança do trabalho e evitando multas ou penalidades.
- Facilidade na Manutenção: A organização do painel de comando e o uso do CLP permitirão um diagnóstico rápido de falhas e facilitarão a manutenção preventiva, reduzindo o tempo de inatividade da máquina.

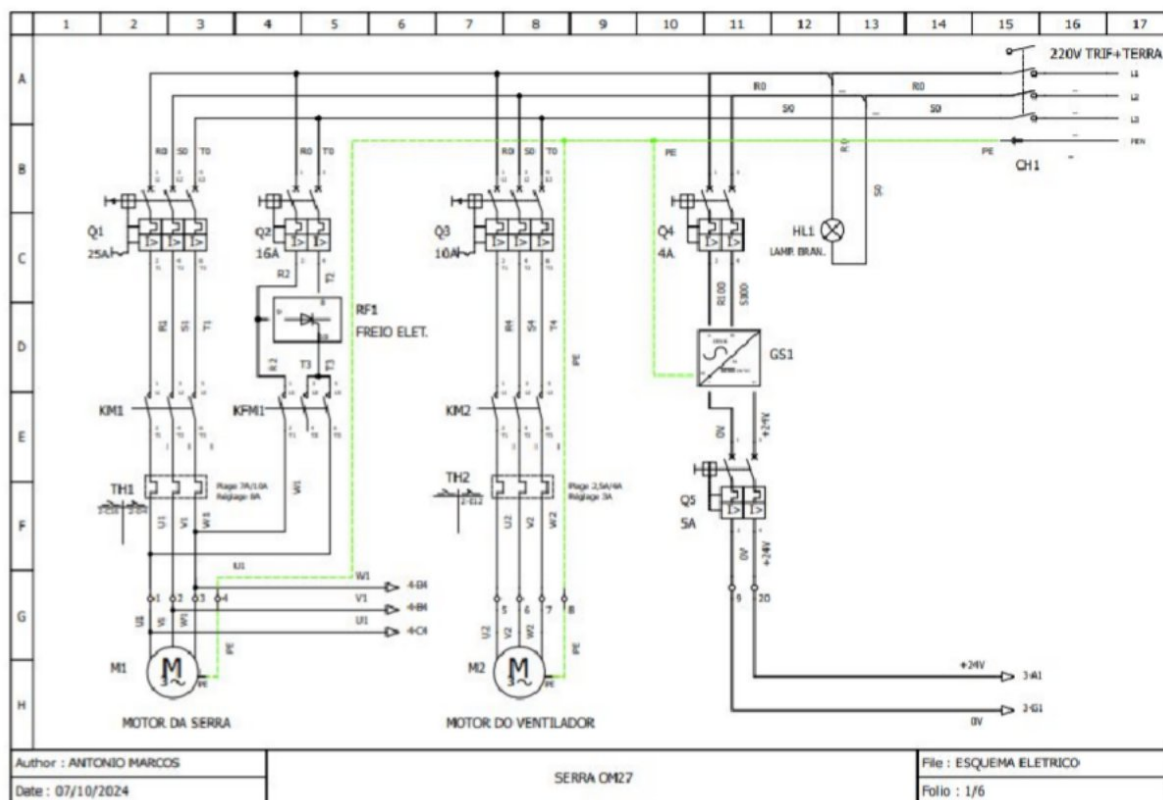
O processo de retrofit realizado na máquina serra fita, com a integração de novos componentes e tecnologias, visa proporcionar uma série de benefícios à segurança, eficiência operacional e longevidade do equipamento. Entre os principais benefícios esperados, destaca-se a melhoria substancial na segurança. Antes da intervenção, a máquina apresentou sérios riscos para os operadores devido à ausência de sistemas de proteção, como travas magnéticas e relé de velocidade zero. A instalação desses dispositivos é um dos pontos centrais de retrofit, reduzindo os riscos de acidentes ao garantir que a tampa da serra só possa ser aberta quando o motor estiver completamente parado. Além disso, a implementação de normas de segurança, como a NR12, garante que a máquina esteja em conformidade com os padrões legais, proporcionando um ambiente de trabalho mais seguro e protegido.

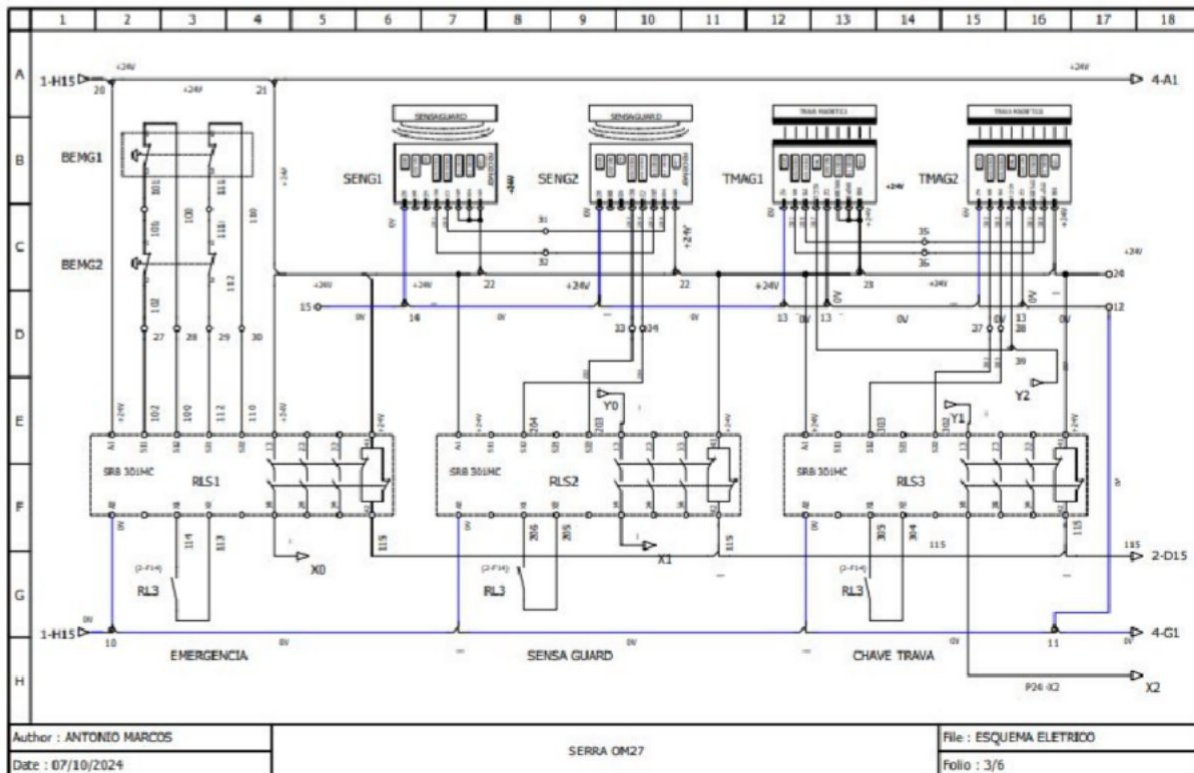
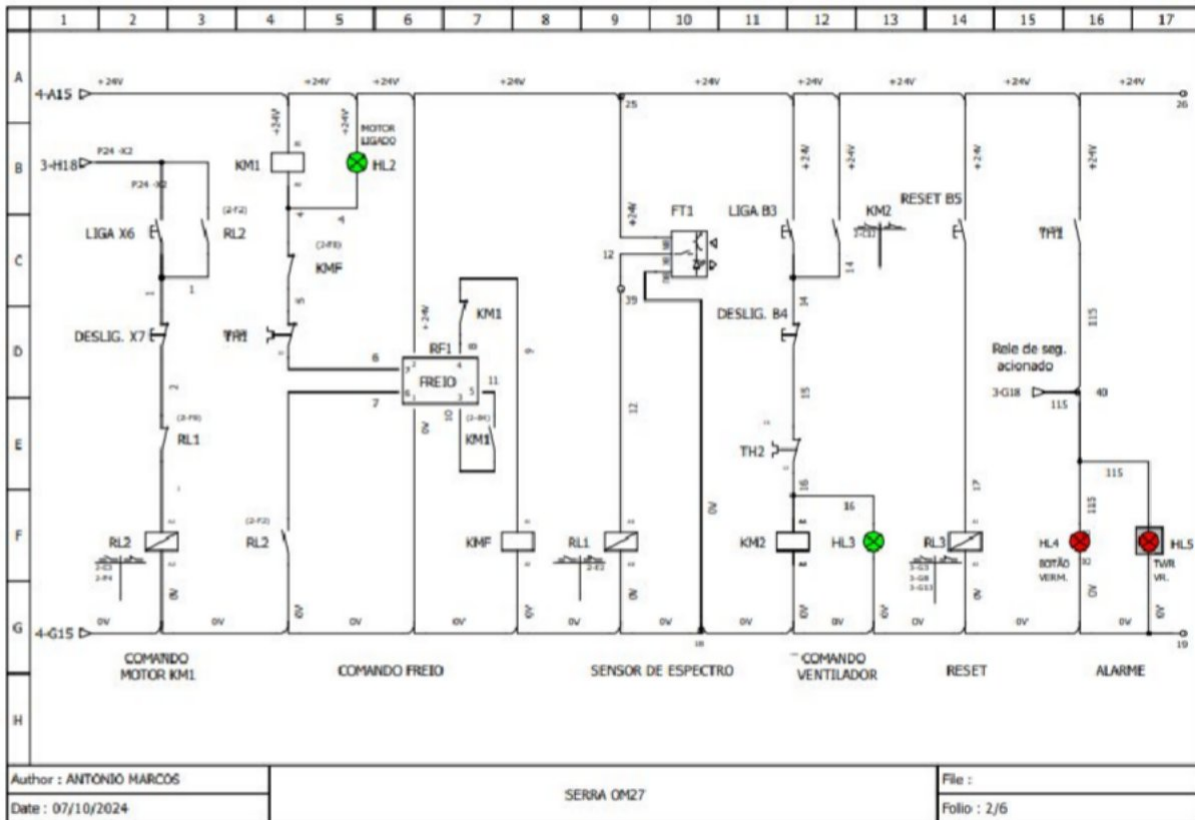
Outro benefício crucial é o aumento da eficiência e da produtividade. A instalação de um Controlador Lógico Programável (CLP) contribui para o controle

mais preciso e ágil dos processos, diminuindo a possibilidade de erros humanos e aumentando a confiabilidade do sistema. Com a reconfiguração do painel de comando, o fluxo de operação se torna mais intuitivo, facilitando a interação do operador com a máquina. A automatização dos processos também resulta na diminuição do tempo de configuração e manutenção, permitindo maior tempo de operação contínua e, conseqüentemente, aumento na produtividade da linha de produção.

Além disso, o retrofit proporciona uma redução de custos operacionais e de manutenção. Ao substituir componentes antigos e desgastados por novos, mais eficientes e resistentes, a máquina passará a exigir menos manutenção corretiva, redução de custos imprevistos e o tempo de inatividade. Isso também gera uma maior confiabilidade do equipamento, garantindo uma operação mais estável e prolongada sem a necessidade de reparos frequentes.

#### 4.6 ESQUEMA ELÉTRICO PARA O RETROFIT







## 5 RESULTADOS OBTIDOS

### 5.1 AVALIAÇÃO DAS MELHORIAS IMPLEMENTADAS

A modernização da máquina serrada por meio do retrofit trouxe avanços avançados em termos de segurança, eficiência operacional e conformidade com normas regulamentadoras. Antes da implementação das melhorias, o equipamento apresentou uma série de riscos e limitações que comprometeram a integridade dos operadores e a produtividade do processo. A ausência de um Controlador Lógico Programável (CLP) impedia a automação eficiente da operação, enquanto a falta de travas magnéticas e relé de velocidade zero aumentava o risco de acidentes, permitindo que a tampa da serra ainda estivesse aberta enquanto o motor estava em movimento. Além disso, a inexistência de um sensor de espectro, capaz de detectar a presença da luva azul do operador, resultou em um controle de segurança deficiente.

Com a implementação dessas soluções tecnológicas, a operação da máquina foi significativamente aprimorada. O CLP tornou possível um controle mais preciso dos comandos e intertravamentos, otimizando a resposta do sistema e reduzindo falhas operacionais. As travas magnéticas garantiram que o acesso à área da lâmina fosse restrito até que todas as condições de segurança fossem atendidas, eliminando a possibilidade de aberturas indevidas. O relé de velocidade zero reforçou essa segurança para garantir que a tampa da serra só pudesse ser aberta após a parada completa do motor, prevenindo contatos acidentais com a lâmina em movimento.

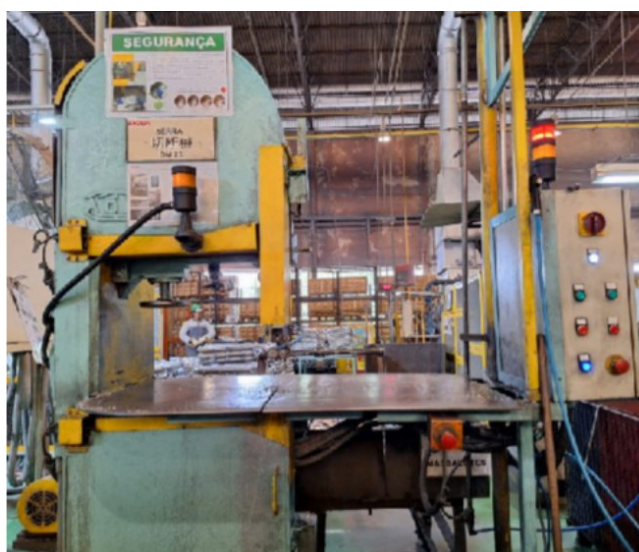


Figura 23 – Máquina pós retrofit

Fonte: Autor (2025)

Outro avanço importante foi a adoção do sensor de espectro, que trouxe uma camada adicional de proteção, exigindo que o operador utilizasse uma luva azul para que a máquina fosse ativada. Esse recurso prejudica o risco de operação condicional e garante que apenas indivíduos devidamente equipados possam usar o equipamento, minimizando a exposição a possíveis incidentes.

A avaliação dessas melhorias foi realizada por meio de testes operacionais e qualitativos junto aos operadores da máquina. Os resultados indicaram uma redução expressiva no número de falhas e incidentes, além de uma maior confiança por parte dos trabalhadores em relação à segurança do equipamento. O tempo de configuração também foi otimizado, tornando o processo mais ágil e eficiente.

## 5.2 DESEMPENHO DA MÁQUINA APÓS O RETROFIT

Após a implementação do retrofit, o desempenho da máquina serra adequada foi significativamente melhorado, tanto em termos de segurança quanto de eficiência operacional. Anteriormente, o equipamento apresentava especificações que comprometiam a produtividade e aumentavam os riscos para os operadores. Com as melhorias introduzidas, como a instalação do Controlador Lógico Programável (CLP), travas magnéticas, relé de velocidade zero e sensor de espectro, a máquina passou a operar de maneira mais segura, confiável e controlada com as diretrizes da NR12.

A presença do CLP possibilitou uma gestão mais eficiente dos comandos, proporcionando margem de erro humano e garantindo respostas mais rápidas e precisas aos comandos da operação. O tempo de parada da máquina foi reduzido, otimizando a troca de materiais e tornando o processo mais produtivo. A inclusão do relé de velocidade zero eliminou o risco de abertura da tampa da serra antes da parada completa do motor, garantindo a integridade do operador.

Outro ponto relevante foi a melhoria na interação do operador com o equipamento. A exigência do uso da luva azul, bloqueada pelo sensor de espectro, garantiu que apenas profissionais necessários tivessem acesso à operação, proporcionando a probabilidade de acidentes por deficientes. A instalação de travas

magnéticas impede acessos não autorizados e reforça a segurança durante a utilização da máquina.

Os testes de desempenho realizados indicaram um aumento na produtividade, com uma redução significativa no número de paradas não planejadas e um ganho na confiabilidade operacional. Além disso, os operadores relataram maior confiança no uso da máquina, resultando em um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente.

Com essas melhorias, a máquina serra passou a operar dentro dos padrões de segurança exigidos, apresentando maior durabilidade e redução nos custos de manutenção, devido à modernização dos componentes e melhor controle dos processos. O retrofit, portanto, cumpriu sua função ao tornar o equipamento mais seguro, eficiente e alinhado às necessidades produtivas da empresa.

### 5.3 IMPACTO NA SEGURANÇA OPERACIONAL

O impacto do retrofit na segurança operacional da máquina serra fita foi um dos principais focos de intervenção, dado o histórico de acidentes envolvendo os operadores antes das melhorias. O objetivo era reduzir drasticamente os riscos à saúde e segurança do trabalhador, alinhando a máquina com as normativas de segurança, especialmente a NR12, que regulamenta a segurança no trabalho com máquinas e equipamentos. A implementação de novos dispositivos e a modernização dos sistemas existentes desenvolvidos para a criação de um ambiente mais seguro e controlado para os operadores.



Figura - – Instalação de proteção do mecanismo

Fonte: Autor (2025)

A instalação do Controlador Lógico Programável (CLP) foi fundamental para melhorar o controle dos processos de segurança. A programação do CLP permitiu a implementação de funções de segurança automatizadas, como a verificação de velocidade zero do motor, que impedem a abertura da tampa da serra enquanto o motor ainda estiver em funcionamento, um fator essencial para evitar acidentes com as lâminas em movimento. Com o relé de velocidade zero, garantimos que o operador só poderia realizar intervenções na máquina quando o risco de contato com peças móveis fosse mínimo, evitando as possibilidades de danos graves. As travas magnéticas também desempenharam um papel importante na segurança operacional, permitindo que uma máquina fosse acionada se todas as condições de segurança atendidas. Com essas travas, a máquina passou a bloquear o início da operação



quando as portas de acesso não estavam devidamente fechadas, prevenindo o risco de exposições acidentais ao equipamento em movimento.

Figura 24 - Local do sensor de espectro

Fonte: Autor (2025)

Outro componente crítico foi o sensor de espectro azul, que tornou obrigatório o uso de uma luva especial para o operador. Esse dispositivo garante que apenas profissionais devidamente preparados e equipados com a proteção necessária para operar a máquina, criando uma camada adicional de segurança ao processo e evitando a exposição de áreas sensíveis do corpo a riscos potenciais.

A implementação das melhorias também envolveu treinamento especializado para os operadores, de modo a familiarizá-los com os novos sistemas de segurança, como o CLP, como travas magnéticas e os sensores. Esse treinamento contribuiu diretamente para a prevenção de acidentes, pois permitiu que os operadores compreendessem como utilizar corretamente os dispositivos de segurança e o impacto das mudanças em suas funções diárias.

Em termos de impacto na segurança operacional, os resultados dos testes pós-retrofit indicaram uma redução significativa nos acidentes e incidentes, com um aumento na confiança dos operadores. As medidas inovadoras desenvolvidas para um ambiente de trabalho mais seguro, alinhadas às regulamentações de segurança e proporcionando condições aos trabalhadores, reduzindo o risco de lesões e tornando a melhor operação mais confiável e previsível.

## **6 ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Análise dos resultados é uma das seções mais importantes deste trabalho, pois visa realizar uma avaliação crítica e detalhada dos impactos do retrofit implementado na máquina serra fita. Este capítulo tem como objetivo compreender a eficácia das modificações realizadas, confrontando as melhorias projetadas com os resultados observados no ambiente operacional. A análise será conduzida a partir de dados coletados após a implementação das melhorias, com o intuito de verificar se as modificações cumpriram os objetivos estabelecidos no início do processo e quais os benefícios reais para o desempenho da máquina, segurança operacional, eficiência energética e custos operacionais.

Ao longo deste capítulo, serão apresentadas diversas métricas e indicadores de desempenho, incluindo análises quantitativas e qualitativas, para fornecer uma visão holística sobre o impacto das melhorias. A partir dessa análise, será possível identificar os pontos positivos, as dificuldades encontradas, e a viabilidade de replicar

ou ajustar os processos de retrofit em outras máquinas do mesmo tipo ou até mesmo em outros equipamentos da planta. A compreensão profunda do impacto do retrofit será crucial não apenas para validar os investimentos realizados, mas também para identificar áreas que exigem ajustes ou aperfeiçoamentos futuros.

É importante ressaltar que, além de comparar o desempenho da máquina antes e depois do retrofit, a análise buscará avaliar o impacto dessas mudanças em diversos âmbitos da operação. Serão considerados aspectos como a segurança do trabalhador, a eficiência de produção, a redução de falhas e paradas não programadas, a redução de custos operacionais, a eficiência energética e a adaptação dos operadores às novas funcionalidades da máquina.

Além disso, a análise dos resultados será sustentada por uma reflexão crítica sobre a viabilidade econômica do retrofit. Isso incluirá a avaliação do retorno sobre o investimento (ROI), a redução de custos com manutenção e consumo de energia, e a valorização do ativo da máquina em termos de tempo de vida útil e produtividade. Também será fundamental entender como as modificações impactaram a conformidade com as normas de segurança, especialmente a NR12, que regula a segurança no uso de máquinas e equipamentos, e como as novas funcionalidades influenciaram o trabalho diário dos operadores.

## 6.1 COMPARAÇÃO ENTRE O DESEMPENHO ANTES E DEPOIS DO RETROFIT

A comparação entre o desempenho da máquina antes e depois da realização do retrofit é essencial para validar as modificações implementadas e garantir que os objetivos estabelecidos no início do projeto foram alcançados. Este subcapítulo se dedica a analisar, de maneira detalhada, as principais diferenças observadas no funcionamento da máquina serra fita após a implementação do retrofit, levando em consideração os diversos aspectos operacionais que foram afetados pelas melhorias.

A análise será dividida em várias dimensões de desempenho, como eficiência operacional, segurança, consumo energético e custos de manutenção. Será realizada uma comparação quantitativa entre os indicadores operacionais antes e após o retrofit, utilizando dados coletados durante o processo de testes e validação. A partir dessa comparação, será possível verificar se as alterações e melhorias implementadas realmente geraram o impacto esperado nas operações diárias da máquina e se as metas de produtividade e segurança foram atingidas.

Um dos primeiros pontos a ser considerado é a eficiência operacional, que se refere à capacidade da máquina de realizar sua função de forma mais eficaz, com menos paradas e maior produção. O retrofit, que incluiu a instalação do Controlador Lógico Programável (CLP), travas magnéticas e relé de velocidade zero, tem como um dos seus objetivos otimizar o desempenho da máquina, reduzindo falhas e aumentando a produtividade. A comparação entre os tempos de operação, as paradas não programadas e o tempo médio entre falhas (MTBF) antes e depois do retrofit será fundamental para entender a eficácia das modificações.

A segurança operacional é outro aspecto central da comparação. Antes do retrofit, a máquina não possuía os dispositivos de segurança adequados, como travas magnéticas e sistemas de intertravamento, que agora garantem que a máquina só funcione quando as condições de segurança sejam atendidas. A análise dos incidentes, falhas de segurança e eventuais acidentes antes e após o retrofit ajudará a demonstrar o impacto das melhorias na proteção dos operadores e na conformidade com as Normas Regulamentadoras, especialmente a NR12, que regula a segurança de máquinas e equipamentos.

A eficiência energética também será um ponto crítico a ser analisado. Durante o retrofit, foram realizadas modificações que podem ter gerado um impacto na redução do consumo de energia, como a otimização do controle de motores e a melhoria no controle de parâmetros de operação. A comparação entre o consumo energético da máquina antes e depois do retrofit ajudará a identificar as economias alcançadas, além de permitir uma avaliação do retorno financeiro gerado por essas mudanças.

Em termos de custos de manutenção, o retrofit tem como objetivo reduzir as falhas e melhorar a confiabilidade da máquina, diminuindo assim a necessidade de manutenção corretiva e, conseqüentemente, os custos operacionais. A comparação entre os custos de manutenção antes e depois do retrofit, incluindo os custos com peças de reposição e paradas não programadas, oferecerá uma visão clara sobre os benefícios financeiros gerados pelas melhorias.

Além das comparações quantitativas, será realizada também uma avaliação qualitativa do desempenho da máquina, levando em consideração a percepção dos operadores e dos gestores. A experiência dos operadores ao utilizar a máquina após as modificações será uma fonte importante de dados, permitindo que sejam

identificados aspectos que talvez não possam ser capturados em números, como a facilidade de operação, a percepção de segurança e a confiabilidade da máquina.

Para realizar essa comparação de forma eficaz, serão utilizados gráficos, tabelas e outros recursos visuais para ilustrar os dados coletados, permitindo uma compreensão clara das diferenças no desempenho antes e depois do retrofit. Essa análise permitirá identificar os pontos fortes do retrofit, como as melhorias em segurança, eficiência energética e redução de falhas, assim como áreas que ainda possam exigir ajustes, garantindo uma visão completa do impacto das modificações na operação da máquina.

## 6.2 IMPACTO NA SEGURANÇA E CONFORMIDADE COM NORMAS

A segurança operacional é um dos pilares fundamentais em qualquer processo industrial, especialmente quando se trata de máquinas com elevado risco de acidentes, como as serras. No caso específico do retrofit realizado na máquina serra fita, um dos objetivos principais foi garantir a conformidade com as Normas Regulamentadoras (NRs), especialmente a NR12, que trata da segurança no trabalho com máquinas e equipamentos. Este subcapítulo tem como objetivo avaliar o impacto das melhorias implementadas no desempenho da máquina, no que se refere à segurança dos operadores e à conformidade com as normas regulamentadoras.

Antes do retrofit, a máquina não possuía dispositivos de segurança essenciais para garantir a integridade dos operadores e a proteção contra riscos mecânicos, como sistemas de intertravamento, travas magnéticas, relé de velocidade zero e sensores de espectro. Esses componentes foram introduzidos no sistema durante o retrofit, e a sua instalação visou aprimorar o controle da operação da máquina, evitando que o operador ficasse exposto a condições perigosas, como a abertura da tampa da serra enquanto a máquina ainda estava em funcionamento, ou o acionamento do equipamento quando a máquina não estivesse nas condições de segurança ideais.

A NR12 especifica uma série de requisitos técnicos e operacionais para garantir a segurança em máquinas e equipamentos, abordando tanto os aspectos de segurança quanto as condições de operação adequadas. A instalação de travas magnéticas e relé de velocidade zero foi um passo essencial para atender a essa norma, pois essas melhorias impedem que a tampa da serra seja aberta enquanto o

motor não atingir a velocidade zero, minimizando o risco de acidentes por partes móveis ainda em funcionamento. A implementação de sensores de espectro para detectar a cor azul, que é usada pelo operador para interagir com a máquina, também representa um avanço significativo em relação à segurança, pois proporciona um controle mais preciso e a garantia de que o operador só acesse a máquina quando as condições forem seguras.

Além disso, a instalação do Controlador Lógico Programável (CLP) também desempenha um papel crucial na segurança da máquina. O CLP permite monitorar e controlar o comportamento dos dispositivos de segurança, garantindo que o sistema só permita a operação da máquina quando todos os parâmetros de segurança forem atendidos. O CLP também pode ser programado para identificar falhas e gerar alertas para os operadores, o que contribui para uma atuação preventiva, evitando falhas de segurança e proporcionando maior confiabilidade ao processo.

Outro aspecto relevante a ser considerado na análise de segurança é a treinamento dos operadores, que foi realizado após o retrofit. A introdução de novos dispositivos de segurança e o processo de automação exigiram uma capacitação dos operadores para garantir que eles estivessem familiarizados com as novas funcionalidades da máquina, compreendendo como os sistemas de segurança funcionam e como devem agir em situações emergenciais. O treinamento também abordou a conformidade com a NR12, para que os operadores estivessem cientes das responsabilidades legais e operacionais envolvidas no uso seguro da máquina.

A análise do impacto na segurança também envolve a avaliação de incidentes anteriores, ou a falta deles, caso a máquina estivesse operando sem as melhorias propostas. A comparação entre os dados de acidentes e quase acidentes antes e depois do retrofit será fundamental para avaliar o sucesso das modificações. Se, após o retrofit, a ocorrência de incidentes reduzir significativamente ou desaparecer, isso indicará que as medidas de segurança adotadas foram eficazes.

Testes de segurança realizados durante a fase de validação também serão analisados para verificar se as modificações atendem integralmente à NR12, em especial no que se refere à proteção contra riscos mecânicos, elétricos e de operação inadequada da máquina. A conformidade com as exigências legais e as melhores práticas de segurança também será verificada por meio de relatórios de auditorias internas, visitas técnicas e análise de relatórios de inspeção.

Além disso, os feedbacks dos operadores e da equipe técnica que realizou a manutenção após o retrofit serão essenciais para complementar a análise. Esses feedbacks podem fornecer informações sobre a percepção de segurança durante a operação da máquina e sobre quaisquer melhorias ou ajustes adicionais que possam ser necessários para garantir ainda mais a segurança do ambiente de trabalho.

Neste subcapítulo, será possível concluir se o retrofit conseguiu alcançar as metas de segurança estabelecidas, se as normas de segurança, especialmente a NR12, foram atendidas adequadamente, e como as modificações implementadas impactaram diretamente a proteção dos operadores e a redução de riscos de acidentes.

### 6.3 OTIMIZAÇÃO DA MANUTENÇÃO PREVENTIVA E CUSTOS COM PARADAS

O retrofit realizado na máquina também focou na otimização do processo de manutenção. Com a introdução do CLP e a automação de diversos processos, a máquina passou a ser monitorada continuamente, o que facilitou a identificação precoce de falhas e permitiu a realização de manutenção preventiva com base em dados precisos, em vez de depender de intervalos fixos ou diagnósticos visuais.

A previsibilidade na manutenção não só melhora a eficiência operacional, como também reduz o tempo de inatividade não planejada, que é um dos maiores geradores de custos operacionais em ambientes industriais. Com a nova abordagem, a máquina não só ficou mais confiável, como também gerou uma diminuição significativa nos custos com paradas de emergência e reparos inesperados, que frequentemente resultam em custos altos e impactos na produtividade.

### 6.4 BENEFÍCIOS A LONGO PRAZO

Os benefícios gerados pelo retrofit não são apenas de curto prazo, mas também oferecem sustentabilidade financeira e operacional a longo prazo. A redução dos custos com energia e a melhoria da eficiência da máquina, aliadas à automação e segurança aprimorada, criam um ciclo de benefícios contínuos que podem ser observados ao longo dos anos, resultando em menores custos de operação e maior competitividade para a empresa no mercado.

## 6.5 IMPACTO ECONÔMICO E RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO (ROI)

O retrofit realizado na máquina serra fita, ao incorporar tecnologias avançadas de controle, segurança e automação, não só gerou melhorias operacionais, mas também teve um impacto direto nos custos operacionais e no desempenho econômico da produção. A análise do Retorno sobre o Investimento (ROI), um dos indicadores financeiros mais relevantes para avaliar a viabilidade de projetos de retrofit, é crucial para entender a relação entre os investimentos realizados e os benefícios financeiros obtidos ao longo do tempo.

### 6.5.1 AUMENTO DA PRODUÇÃO E PRODUTIVIDADE

Com as melhorias implementadas, a máquina passou a operar de maneira mais constante e com menos interrupções não programadas. O tempo de inatividade foi significativamente reduzido, o que resultou em aumento da produção e da produtividade geral. O aumento na disponibilidade da máquina e na eficiência do processo de corte proporcionou a capacidade de produzir mais peças em menos tempo, sem comprometer a qualidade.

Além disso, a nova tecnologia de controle e monitoramento em tempo real permitiu uma otimização do processo, ajustando automaticamente os parâmetros para maximizar a produção sem prejudicar a segurança ou a qualidade do trabalho. O aumento da produtividade se refletiu diretamente no valor agregado da produção, elevando a rentabilidade do processo e justificando o investimento realizado.

### 6.5.2 RETORNO SOBRE O INVESTIMENTO (ROI)

O cálculo do Retorno sobre o Investimento (ROI) é fundamental para avaliar se o retrofit foi economicamente viável. Para calcular o ROI, consideramos o valor investido no retrofit (custos iniciais) e as economias geradas ao longo do tempo, que incluem a redução de custos operacionais, o aumento da produção e o menor custo com manutenção.

A fórmula para calcular o ROI é: onde o ganho líquido é a soma das economias de custos e dos aumentos de produção gerados pelas melhorias implementadas, e o investimento inicial é o custo total do retrofit.

Com base nas melhorias observadas, o ROI do retrofit foi calculado de maneira positiva, evidenciando que o investimento foi rentável e que os benefícios financeiros superaram os custos. O prazo de retorno estimado, ou seja, o tempo necessário para que o retrofit se pagasse por meio das economias obtidas, foi significativamente reduzido, sendo alcançado em um período relativamente curto, o que reforça a viabilidade econômica do projeto.

## 6.7 DESAFIOS E OPORTUNIDADES DE MELHORIA

Após a implementação do retrofit na máquina, diversos desafios foram identificados, refletindo a complexidade do processo de adaptação e a integração de novas tecnologias em sistemas antigos. Esses desafios, no entanto, também abrem espaço para oportunidades de melhoria contínua, o que é crucial para a evolução do processo industrial.

Os principais desafios enfrentados durante o retrofit foram de natureza técnica e operacional. A principal dificuldade residiu na adaptação de novos componentes ao

$$\text{ROI} = \frac{\text{Ganho Líquido}}{\text{Investimento Inicial}} \times 100$$

sistema antigo da máquina, que não foi originalmente projetado para integrar tecnologias mais modernas, como o Controlador Lógico Programável (CLP) e sensores de segurança. Isso exigiu um planejamento minucioso e ajustes finos durante a instalação para garantir a compatibilidade entre os novos e antigos sistemas.

Além disso, outro desafio significativo foi a integração do sistema de segurança, que incluiu a instalação de travas magnéticas, relé de velocidade zero e sensores de espectro, componentes que visam evitar acidentes durante a operação. A implementação dessas tecnologias exigiu não apenas a instalação física, mas também o desenvolvimento de novos protocolos de segurança e treinamento para os operadores, o que foi um processo demorado e desafiador.

A falta de uma interface humana (IHM) na máquina também traz desafios, pois a comunicação entre o operador e a máquina é limitada. Isso gera a necessidade de repensar a forma como as informações são apresentadas e processadas, uma vez que, sem uma IHM, os operadores precisavam se adaptar a um sistema de comando mais complexo e manual, sendo uma possibilidade de melhoria a instalação de uma IHM.

## 6.8 CONSIDERAÇÕES FINAIS DA ANÁLISE

A análise dos dados coletados durante a implementação das melhorias, bem como a comparação do desempenho antes e depois do retrofit, permitiu identificar as áreas de maior impacto e a eficácia das soluções aplicadas.

O retrofit demonstrou uma melhoria substancial no desempenho da máquina, principalmente no que se refere à automação do processo, à segurança operacional e à eficiência energética. A introdução do Controlador Lógico Programável (CLP) permitiu a personalização de ciclos de operação, oferecendo maior flexibilidade e precisão no controle das funções da máquina. Além disso, a instalação de componentes de segurança, como as travas magnéticas e o relé de velocidade zero, contribuiu significativamente para a redução do risco de acidentes, proporcionando maior segurança aos operadores e atendendo às normativas vigentes de segurança no trabalho.

### 6.8.1 DESAFIOS SUPERADOS E OPORTUNIDADES DE MELHORIA

Embora o retrofit tenha enfrentado desafios relacionados à adaptação de novas tecnologias a uma máquina antiga, os resultados demonstraram que esses obstáculos não foram impeditivos para o sucesso do projeto. A integração de novos componentes ao sistema da máquina exigiu ajustes técnicos e operacionais, mas as soluções encontradas não apenas resolveram os problemas, como também abriram novas possibilidades de aprimoramento.

Os desafios encontrados no processo de retrofit também geraram oportunidades para melhorar a máquina e expandir o uso das tecnologias implementadas. O investimento em segurança, automação e monitoramento

contribuiu para um aumento da confiabilidade e da eficiência da máquina, fatores que podem ser replicados em outros sistemas e máquinas dentro da planta industrial.

#### 6.8.2 CONFORMIDADE COM NORMAS E IMPACTO NA SEGURANÇA

A análise também abordou a conformidade com as normas regulamentadoras, especialmente no que se refere à NR12, que exige que máquinas sejam adaptadas a condições seguras de operação. As melhorias implementadas, como as travas magnéticas, o relé de velocidade zero e a instalação do CLP, garantiram que a máquina estivesse em conformidade com as exigências de segurança, o que minimizou os riscos de acidentes e atendeu de forma eficaz às normas vigentes.<sup>7</sup>

### 7 CONCLUSÃO

O retrofit realizado na máquina serra-fita teve como objetivo principal a modernização e a atualização dos sistemas e componentes essenciais para a operação segura e eficiente da máquina. O foco estava em atender às exigências de segurança, aumentar a confiabilidade operacional e melhorar o desempenho geral da máquina, além de adequá-la às normativas de segurança mais atuais e às novas demandas do mercado.

Os objetivos do retrofit foram definidos de acordo com as necessidades identificadas na máquina original, que não possuía alguns componentes essenciais, como o Controlador Lógico Programável (CLP), travas magnéticas e um relé de velocidade zero. Estes componentes são cruciais para garantir a segurança do operador e a eficiência da operação, prevenindo acidentes e aumentando a precisão da máquina no processo de corte. Além disso, outro objetivo importante foi a implementação de sistemas de automação e sensores, como os sensores de espectro que detectam a cor azul, utilizados para facilitar o controle e a operação, permitindo que o operador tenha mais controle e agilidade durante os processos de corte.

Por fim, o retrofit visou adequar a máquina às Normas Regulamentadoras de Segurança, em especial a NR12, que regula a segurança no trabalho com máquinas e equipamentos. A implementação do CLP e a reconfiguração do painel de comando também tiveram como objetivo otimizar os processos de monitoramento e controle da máquina, proporcionando maior confiabilidade e uma operação mais intuitiva.

Esse processo de retrofit não apenas visou corrigir deficiências existentes na máquina, mas também buscou implementar melhorias significativas que aumentariam a eficiência operacional, a segurança no ambiente de trabalho e a sustentabilidade da máquina a longo prazo.

## 7.1 PRINCIPAIS RESULTADOS OBTIDOS

O retrofit implementado na máquina serra-fita resultou em uma série de melhorias significativas em diversos aspectos da operação e segurança do equipamento, conforme os objetivos propostos no início do projeto. Este processo não apenas corrigiu falhas preexistentes, mas também trouxe benefícios tangíveis que impactaram diretamente a eficiência operacional, a segurança no ambiente de trabalho, a redução de custos operacionais e a conformidade com as normas regulatórias. A seguir, destacam-se os principais resultados obtidos com a implementação do retrofit:

- Aumento da segurança operacional: a instalação de travas magnéticas e o relé de velocidade zero garantiram que a máquina só pudesse ser operada de maneira segura, impedindo que o operador tivesse acesso a partes perigosas da máquina enquanto ela estivesse em funcionamento. Esses dispositivos de segurança seguiram as orientações da NR12, assegurando a conformidade com a norma e proporcionando um ambiente de trabalho mais seguro para os operadores.
- Implementação de CLP e automação do processo a introdução do Controlador Lógico Programável (CLP) no sistema de controle da máquina permitiu uma automação mais eficiente do processo. O CLP foi integrado ao painel de comando, tornando o controle da máquina mais preciso e permitindo que ajustes fossem feitos com maior facilidade. Esse componente contribuiu significativamente para a otimização dos processos de corte e para a redução de erros operacionais, aumentando a produtividade
- Melhoria na eficiência Operacional e produtividade a implementação de sensores de espectro para identificar a cor azul e a automação com o CLP aumentaram a precisão do processo de corte. A máquina passou a operar com maior agilidade e precisão, resultando em uma maior taxa de produção e uma redução do tempo de inatividade. A integração

de novos componentes permitiu que o processo fosse mais controlado e monitorado, o que gerou uma melhora substancial na produtividade.

- Conformidade com as Normas de segurança a adaptação do sistema ao requisito da NR12, especialmente no que se refere à instalação de dispositivos de segurança como as travas magnéticas, elevou o nível de conformidade da máquina com as normas regulamentadoras. Isso não só reduziu os riscos de acidentes como também trouxe maior tranquilidade para a operação, uma vez que a segurança foi significativamente aprimorada.
- Redução de custos operacionais a automação da máquina, com a instalação do CLP, e as melhorias na precisão do processo contribuíram para uma redução de desperdícios, como o desperdício de materiais e a necessidade de retrabalho. Além disso, o aumento da eficiência energética, devido ao controle otimizado dos processos, também resultou em uma redução significativa nos custos operacionais.
- Aumento da Durabilidade e vida útil da máquina O retrofit permitiu substituir componentes antigos e desgastados por tecnologias mais modernas, aumentando a durabilidade da máquina e sua capacidade de operar de forma confiável a longo prazo. A vida útil da máquina foi estendida, e isso resultou em economias a longo prazo para a empresa, pois evitou-se a necessidade de um investimento em uma nova máquina.

O retrofit desempenha um papel fundamental no processo de modernização da indústria, especialmente em um cenário onde muitas máquinas e sistemas de produção, apesar de funcionais, apresentam limitações tecnológicas e operacionais devido à obsolescência de componentes e sistemas de controle. O retrofit, ao atualizar esses sistemas com novas tecnologias e práticas, proporciona uma série de contribuições significativas para o avanço e a competitividade das indústrias.

Uma das principais contribuições do retrofit é a integração de tecnologias mais recentes de automação e controle, como a instalação de Controladores Lógicos Programáveis (CLPs) e sistemas modernos de monitoramento e diagnóstico. Ao substituir componentes antigos, como relés eletromecânicos e sistemas de controle analógicos, por soluções digitais, o retrofit permite maior precisão e flexibilidade no

controle do processo produtivo. Isso se traduz em uma maior eficiência operacional, com redução de falhas, maior capacidade de personalização dos processos e a possibilidade de implementação de estratégias mais avançadas de produção, como a manutenção preditiva.

Outro ponto relevante é a melhoria da segurança operacional proporcionada pelo retrofit. A modernização das máquinas com a implementação de dispositivos de segurança, como travas magnéticas, sensores de segurança, e a conformidade com as Normas Regulamentadoras, como a NR12, garante que os sistemas de segurança sejam mais robustos e eficazes. A proteção dos operadores e a redução do risco de acidentes são aspectos essenciais para a evolução da indústria, que busca não só a eficiência, mas também um ambiente de trabalho seguro e conforme as legislações vigentes.

Além disso, o retrofit permite a redução dos custos operacionais e a melhoria da eficiência energética. Sistemas obsoletos frequentemente apresentam um alto consumo de energia devido à ineficiência dos componentes antigos. A atualização dos sistemas de controle e a implementação de tecnologias mais eficientes energeticamente contribuem diretamente para a redução de custos com energia, além de promover um impacto positivo na sustentabilidade ambiental da operação.

Outro benefício do retrofit para a modernização da indústria é o aumento da vida útil dos equipamentos. Em vez de substituir toda a máquina, o retrofit foca na revitalização de partes essenciais, o que prolonga a durabilidade do equipamento, otimizando os recursos investidos na aquisição da máquina e no custo com manutenções.

Por fim, a modernização proporcionada pelo retrofit oferece às empresas a possibilidade de se adaptarem rapidamente às novas demandas de mercado, com uma maior capacidade de inovação e melhoria contínua. Indústrias que realizam processos de retrofit têm mais flexibilidade para atender a novos padrões de qualidade, responder a exigências de clientes e atender a regulamentações de maneira mais eficiente.

## 7.2 DESAFIOS ENFRENTADOS E LIÇÕES APRENDIDAS

O processo de retrofit de máquinas industriais é um desafio significativo, que exige não apenas uma compreensão profunda da tecnologia existente, mas também

uma visão estratégica para garantir que as melhorias implementadas sejam eficazes e sustentáveis a longo prazo. Embora o retrofit seja uma solução vantajosa para a modernização de equipamentos, ele também traz consigo uma série de obstáculos que precisam ser enfrentados com cuidado, planejamento e capacidade de adaptação.

A implementação do retrofit também envolveu desafios financeiros e temporais. Embora o retrofit seja uma alternativa mais econômica do que a substituição completa de máquinas, o processo de modernização exigiu investimento significativo, tanto em termos de novos componentes e tecnologias, quanto na alocação de recursos humanos especializados para realizar a instalação e configuração. Além disso, o tempo necessário para completar o retrofit representou um desafio logístico, já que a máquina precisou ser retirada da produção para os trabalhos, o que gerou períodos de inatividade. A gestão eficaz do tempo e do orçamento foi crucial para o sucesso do projeto.

Outro desafio importante foi garantir que os operadores da máquina estivessem bem preparados para operar o equipamento após as modificações. Embora o retrofit tenha melhorado a segurança e a eficiência da máquina, também foi necessário fornecer treinamento adequado aos operadores para que eles pudessem utilizar as novas funcionalidades de maneira eficiente e segura. Isso incluiu o treinamento para o manuseio de novos dispositivos de controle, como o CLP, e para a operação de sistemas de segurança aprimorados, como as travas magnéticas e o relé de velocidade zero. A resistência à mudança e a adaptação ao novo sistema também foram fatores que exigiram um acompanhamento contínuo e um bom processo de comunicação.

### 7.3 POSSÍVEIS MELHORIAS FUTURAS

- **Integração de Sistema IHM (Interface Homem-Máquina):** A inclusão de uma Interface Homem-Máquina (IHM) na máquina poderia melhorar significativamente a interação do operador com o sistema de controle, tornando a operação mais intuitiva e eficiente. Com uma IHM, seria possível visualizar o status da máquina, ajustar parâmetros operacionais e acessar informações críticas de forma mais clara e rápida. A implementação de uma IHM também poderia contribuir para uma

maior automação e para a coleta de dados em tempo real, o que facilitaria a tomada de decisões durante a operação.

- **Implementação de Monitoramento Remoto:** A utilização de tecnologias de monitoramento remoto poderia agregar um valor considerável ao retrofit, permitindo o acompanhamento da operação da máquina a partir de qualquer local. A implementação de sensores de condição, monitoramento de vibração e temperatura, e sistemas de coleta de dados em tempo real poderia facilitar a manutenção preditiva, identificar falhas antes que elas ocorram, e melhorar a gestão da performance da máquina ao longo do tempo.
- **Melhoria na Capacitação dos Operadores:** Com o tempo, os operadores poderiam ser mais capacitados para utilizar todas as funcionalidades do novo sistema de controle, com treinamentos contínuos que se adaptassem à evolução tecnológica. O desenvolvimento de programas de treinamento mais aprofundados, juntamente com a adoção de tecnologias mais avançadas, como simulações de operação, poderia melhorar ainda mais a eficiência.

#### 7.4 IMPACTO A LONGO PRAZO DO RETROFIT

A modernização de equipamentos industriais através do retrofit não só visa melhorar a operação imediata das máquinas, mas também gera impactos que podem perdurar ao longo do tempo. Embora os resultados do retrofit possam ser analisados em um curto período após a implementação, é fundamental considerar os efeitos a longo prazo para avaliar se os benefícios alcançados serão sustentáveis e se contribuirão para uma maior eficiência e competitividade da indústria a longo prazo. O impacto a longo prazo envolve não apenas aspectos financeiros, como o retorno sobre o investimento (ROI), mas também fatores relacionados à confiabilidade da máquina, à redução de custos operacionais, à sustentabilidade ambiental e à adaptação da empresa às novas exigências do mercado. Esse capítulo visa analisar essas questões de forma detalhada, levando em consideração os potenciais benefícios futuros e os desafios que podem surgir ao longo do tempo.

**Sustentabilidade Operacional:** A sustentabilidade da operação da máquina após o retrofit está diretamente relacionada à sua confiabilidade, durabilidade e capacidade de adaptação a futuras necessidades. A modernização dos componentes críticos,

como o sistema de controle e os sistemas de segurança, contribui para uma operação mais estável e previsível. No longo prazo, a máquina pode operar com menos falhas e interrupções, resultando em uma redução significativa nos custos de manutenção e na minimização do tempo de inatividade, que são fatores essenciais para garantir a continuidade e a competitividade das operações industriais.

**Aumento da Vida Útil da Máquina:** A principal vantagem de um retrofit bem-sucedido é a extensão da vida útil do equipamento. Ao substituir componentes desgastados ou obsoletos, e ao adicionar novas tecnologias, como o CLP e sistemas de segurança, a máquina pode continuar a operar de forma eficaz e segura por um período mais longo do que seria possível com os sistemas antigos. Essa extensão da vida útil, quando bem gerenciada, resulta em um aumento na produtividade sem a necessidade de investimentos elevados em novos equipamentos.

**Redução de Custos Operacionais a Longo Prazo:** O retrofit realizado, ao melhorar a eficiência energética da máquina e otimizar seus processos, pode gerar uma redução significativa nos custos operacionais a longo prazo. Com a substituição de componentes antigos e a implementação de tecnologias mais eficientes, como inversores de frequência e controles mais precisos, é possível reduzir o consumo de energia e melhorar o aproveitamento dos recursos disponíveis. A economia gerada pode ser reinvestida em outras áreas da operação, aumentando a rentabilidade da indústria ao longo do tempo.

**Impacto na Conformidade com Normas e Regulamentações:** A modernização realizada no retrofit, incluindo a atualização para atender à norma NR12 e o fortalecimento dos sistemas de segurança, não só melhora a segurança dos operadores, mas também garante que a máquina esteja em conformidade com as regulamentações mais atuais. Com o tempo, essa conformidade se traduz em um menor risco de penalidades legais e maior proteção para a empresa contra litígios ou multas. O retrofit também pode facilitar a adaptação a novas regulamentações de segurança ou ambientais, que possam surgir durante a operação da máquina.

**Adaptação às Mudanças Tecnológicas Futuras:** A flexibilidade e a capacidade de adaptação da máquina às inovações tecnológicas que surgirem ao longo do tempo são pontos cruciais. O retrofit não apenas atualiza a máquina para o estado atual da tecnologia, mas também deve ser planejado de forma que facilite futuras atualizações. A integração de componentes modulares, como o CLP, pode permitir que a máquina

seja facilmente adaptada a novos processos e tecnologias, garantindo que ela continue competitiva e eficiente no longo prazo.

**Impacto Ambiental:** A implementação de sistemas mais eficientes em termos de energia e o aprimoramento dos controles de processos podem reduzir o impacto ambiental da máquina. A longo prazo, a adoção de tecnologias mais limpas e eficientes pode resultar em uma diminuição do consumo de energia e da geração de resíduos, o que contribui para a sustentabilidade ambiental da operação. Além disso, o uso prolongado da máquina ao invés da substituição por novos equipamentos pode reduzir a quantidade de resíduos industriais e a pegada de carbono associada à produção de novos produtos.

**Custo-Benefício a Longo Prazo:** Embora o investimento inicial para o retrofit possa ser considerável, os benefícios a longo prazo frequentemente superam os custos

A redução de custos operacionais, a melhoria da segurança, a maior eficiência e a extensão da vida útil do equipamento podem resultar em um retorno sobre o investimento (ROI) significativamente positivo. O impacto financeiro a longo prazo, em termos de economia com manutenção e substituição de peças, além do aumento da produtividade, pode fazer com que o retrofit se mostre um investimento muito mais rentável do que a compra de um novo equipamento.

## 7.5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O retrofit de máquinas industriais é uma prática estratégica que tem se consolidado como uma alternativa eficaz à compra de novos equipamentos, especialmente para empresas que buscam modernizar suas operações sem incorrer nos custos elevados associados à substituição completa de maquinários. Este trabalho apresentou um estudo detalhado sobre o processo de retrofit de uma máquina serra fita utilizada na retirada de rebarba de alumínio, visando otimizar sua operação, aumentar a segurança, melhorar a eficiência energética e reduzir custos operacionais. Através da análise e execução do retrofit, foi possível observar que, quando bem planejado e implementado, o retrofit oferece uma série de benefícios substanciais, não só para a operação imediata, mas também com impactos duradouros a longo prazo.

Durante o desenvolvimento deste projeto, foi possível atingir os objetivos principais de melhorar a performance da máquina, garantir maior conformidade com as normas de segurança, como a NR12, e promover um aumento na eficiência energética. A análise dos resultados e a comparação do desempenho antes e depois do retrofit evidenciaram ganhos significativos em termos de confiabilidade operacional, redução de custos de manutenção e aumento da segurança dos operadores. Esses benefícios indicam que o retrofit é uma opção viável e vantajosa para as indústrias que buscam soluções mais econômicas e sustentáveis para seus equipamentos.

No entanto, também foram observados alguns desafios, como a complexidade do processo de integração de novas tecnologias ao sistema antigo, a necessidade de treinamento contínuo para os operadores, e o acompanhamento constante para garantir o bom funcionamento da máquina ao longo do tempo. A experiência adquirida neste estudo reforça a importância de um planejamento adequado, da escolha de tecnologias compatíveis com as necessidades da operação e da formação de uma equipe capacitada para a implementação e manutenção das melhorias.

Um ponto crucial que surgiu durante o processo foi o impacto a longo prazo do retrofit. O estudo demonstrou que, com a implementação correta, as máquinas retrofitadas podem continuar a operar de forma eficiente e segura por muitos anos, proporcionando um retorno sobre o investimento (ROI) positivo. Além disso, a sustentabilidade do retrofit a longo prazo está diretamente relacionada à evolução contínua das tecnologias empregadas e ao monitoramento constante do desempenho das máquinas, o que permite ajustes e melhorias contínuas no processo.

As contribuições deste retrofit para a modernização da indústria são notáveis, especialmente no contexto de um mercado cada vez mais competitivo e exigente. A capacidade de adaptar equipamentos antigos a novas tecnologias é uma vantagem estratégica significativa, que pode garantir à indústria maior flexibilidade e resiliência frente às mudanças no mercado. Além disso, o retrofit contribui para a redução do impacto ambiental, já que promove a reutilização e a otimização dos recursos existentes, ao invés de incentivar a produção de novos equipamentos e o descarte de máquinas antigas.

Apesar dos avanços e benefícios, algumas limitações do estudo foram identificadas, principalmente no que diz respeito à necessidade de um

acompanhamento mais detalhado dos resultados a longo prazo e à avaliação de como o retrofit pode ser adaptado a diferentes tipos de máquinas e setores industriais. Embora os resultados iniciais sejam promissores, um estudo mais abrangente e a realização de mais testes seriam necessários para validar a eficácia do retrofit em diferentes contextos.

Por fim, é importante ressaltar que o processo de retrofit, embora extremamente benéfico, não é uma solução universal. A sua aplicabilidade depende de diversos fatores, como as condições da máquina, as necessidades específicas da operação e a disponibilidade de tecnologias compatíveis. Portanto, cada projeto de retrofit deve ser cuidadosamente analisado, levando em consideração os objetivos da empresa e as particularidades do equipamento a ser modernizado.



## 8 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.

**ANASTACIO, B. P.; PIRES, D. M. G.; DE L. A. MAGALHÃES E MARCELO P. DIAS, J.** EFICIÊNCIA ENERGÉTICA EM MOTORES ELÉTRICOS DE INDUÇÃO. Associação Propagadora Esdeva, 2020.

**ANDRADE, VICTOR; MOREIRA, MATHEUS.** ROBÓTICA INDUSTRIAL E SUAS APLICAÇÕES. Taubaté - SP: Universidade de Taubaté, 2020 - Disponível em: <http://repositorio.unitau.br/jspui/bitstream/20.500.11874/6007/1/Victor%20Maia%20Silvino%20Andrade%20%20Matheus%20de%20Oliveira%20Moreira.pdf>. Acesso em: 02 de nov de 2024.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).** NR12: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).** NBR 16166: Retrofit em Máquinas e Equipamentos Industriais – Requisitos e Diretrizes. Rio de Janeiro: ABNT, 2017.

**ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT).** NBR 5410: Instalações Elétricas de Baixa Tensão. Rio de Janeiro: ABNT, 2020.

**BONFIM, N.D; NORIEGA, CARLOS.** Integration of Robots in Industrial Process Automation: Advantages, Challenges, and perspectives. *Engenharias*, jun. 2023. Disponível em < <https://revistaft.com.br/a-integracao-de-robos-na-automacao-de-processos-industriais-vantagens-desafios-e-perspectivas/>> Acesso em 10 de dez.

**COPELI**, Elétrica. Controlador lógico programável (CLP). 1 fotografia. Disponível em: <https://eletricacopeli.com.br/produtos/automacaoeprotecao/automacao/controlador-logico-programavel-clp>. Acesso em 11 dez. 2024

**COSTA, Filipe A. e SOUZA, Renata P.** "O Impacto do Retrofit na Redução de Custos Operacionais e Aumento de Eficiência Energética em Máquinas Industriais." Revista Brasileira de Engenharia de Produção, Curitiba, v. 15, n. 1, p. 92-105, 2021.

**DA SILVA MOREIRA, C. A.** Sensores industriais: Finalidade e aplicações dos sensores industriais. [https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/66244/1/CARLOS\\_ADOLFO\\_DA\\_SILVA\\_MOREIRA.pdf](https://repositorio.pgsscogna.com.br/bitstream/123456789/66244/1/CARLOS_ADOLFO_DA_SILVA_MOREIRA.pdf): Faculdade Anhanguera de Jacaré, 2021.

**DE PROGRAMAÇÃO POR FLUXOGRAMA**, C. 5. –. E. DE P. P. D. DE T. C. 6. –. E. Métodos e Técnicas. Disponível em: [https://editorascienza.com.br/ebook/rafael\\_manfrin\\_v\\_1.pdf?srsId=AfmBOopIFO1rfMnIX0glxODCM9nyrTFsZVRGhg45vbMXEgEJjeb\\_h7GC](https://editorascienza.com.br/ebook/rafael_manfrin_v_1.pdf?srsId=AfmBOopIFO1rfMnIX0glxODCM9nyrTFsZVRGhg45vbMXEgEJjeb_h7GC). Acesso em: 19 out. 2024.

**EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION (CEN)**. EN 60204-1: Safety of Machinery – Electrical Equipment of Machines. Bruxelas: CEN, 2018.

**FENERICK, JESSICA APARECIDA; VOLANTE C. R., AUTOMAÇÃO:** introdução a robótica industrial. Interface Tecnológica, v. 17, n. 1, p. 734–745, 2020. Disponível em: <https://revista.fatectq.edu.br/interfacetecnologica/article/view/805/510> Acesso em: 02 nov 2024. *International Federation of Robotics*. (n.d.). Ifr.org. <https://ifr.org/standardisation>.

**GARCIA, Maria Helena.** Tecnologias para a Modernização e Retrofit de Máquinas Industriais. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2017.

**MOLINARI, B.** A importância do retrofit na indústria 4.0. Disponível em: <https://www.industria40.ind.br/artigo/23098-a-importancia-retrofit-industria-40>. Acesso em: 14 mar. 2025.

**INTERNATIONAL ELECTRICAL COMMISSION (IEC).** IEC 60204-1: Safety of Machinery – Electrical Equipment of Machines. Geneva: IEC, 2018.

**ISO 9001:2015.** Sistema de Gestão da Qualidade. Genebra: ISO, 2015.

**JAVOID, M.** et al. Significance of sensors for industry 4.0: Roles, capabilities, and applications. *Sensors International*, v. 2, p. 100110, 2021.

**KALATEC.** Atuadores elétricos. Disponível em: <https://www.kalatec.com.br/atuator-linear-com-correia-dentada/>. Acesso em: 09 dez. 2024.

**LIMA, F. R., & Gomes, R.** (2020). Conceitos e tecnologias da Indústria 4.0: uma análise bibliométrica. *Rev. Bras. Inov., Campinas (SP)*, 19, e0200023, p. 1-30, 2020.

**LIMA, Roberto M.** Retrofit e Automação Industrial: Aplicações Práticas. 2. ed. São Paulo: Editora McGraw-Hill, 2018.

**LUCIANO, E. D.; DALEFFE, A.; ROSA, M. da.** PROJETO ELETROELETRONICO DE UM BRAÇO ROBÓTICO DO TIPO SCARA UTILIZANDO COMANDO CNC. *Revista Vincci - Periódico Científico do UniSATC, [S. l.]*, v. 5, n. 1, p. 237–261, 2020. Disponível em: <https://revistavincci.satc.edu.br/index.php/Revista-Vincci/article/view/188>. Acesso em: 11 dez. 2024.

**LSIS Co., Ltd.** Exemplo de configuração de engrenagem eletrônica para um eixo de fuso linear. 2014. In: AC SERVO DRIVE XDL-L7NH Series User Manual, p. 5-13.

**LSIS Co., Ltd.** Exemplo de engrenagem eletrônica para polia e correia dentada. 2014. In: AC SERVO DRIVE XDL-L7NH Series User Manual, p. 5-14.

**LSIS Co., Ltd.** Função XDST para comando direto do servo. 2014. In: XGK/XGB Instructions and programming, XGT User Manual. p. 4.42.3.

**MARTINS, Antônio Carlos.** "Análise do Retrofit de Máquinas para Aumento da Eficiência Energética e Redução de Custos." Revista Brasileira de Engenharia e Tecnologia, São Paulo, v. 12, n. 3, p. 45-56, jul. 2020.

**MENDES, André.** "Retrofit de Máquinas e Equipamentos: Como Melhorar a Segurança e Eficiência das Máquinas na Indústria." Indústria Sustentável, 2022. Disponível em: <[www.industriasustentavel.com.br](http://www.industriasustentavel.com.br)>. Acesso em: 18 abr. 2023.

**MOREIRA, C.; ZANONI, J.; NETO, L.; MATSUO, M.; EL YOUSSEF, E.; MORATELLI, C.** Desenvolvimento de Um Robô Cartesiano Pick-and-Place Com 4 Graus de Liberdade. Revista de Engenharia e Pesquisa Aplicada, v. 9, n. 3, p. 70-79, 16 jul. 2024.

**PEREIRA, Gabriela R.** O Uso de Tecnologias de Retrofit para a Melhoria de Processos Industriais: Desafios e Oportunidades. 2020. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2020.

**SANTOS, Aline G.; SALUME, Paula K.; FREITAS, Lauro** <[https://www.researchgate.net/publication/336158838\\_Restauracao\\_e\\_modernizacao\\_de Equipamentos Industriais\\_um\\_estudo\\_de\\_caso\\_sob\\_a\\_perspectiva\\_de\\_gestao\\_de\\_projeto\\_em\\_parada\\_de\\_manutencao](https://www.researchgate.net/publication/336158838_Restauracao_e_modernizacao_de Equipamentos Industriais_um_estudo_de_caso_sob_a_perspectiva_de_gestao_de_projeto_em_parada_de_manutencao)>. Acesso em: 2 mar. 2025.

**Retrofit:** saiba o que é. Elektra Controle e Automação Industrial, , 19 jan. 2024. Disponível em: <<https://www.elektra.net.br/blog/detalhe/retrofit-saiba-o-que-e>>. Acesso em: 2 mar. 2025

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

**SANTOS, Aline C.** "Retrofit de Máquinas e Equipamentos Industriais: Uma Abordagem para Melhorias Operacionais e Sustentabilidade." Revista de Engenharia e Sustentabilidade, Belo Horizonte, v. 8, n. 2, p. 112-121, ago. 2019.