

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA - CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA ELÉTRICA**

PEDRO HENRIQUE CAL POINHO

**APLICAÇÃO DE SOLUÇÕES DE ENGENHARIA ELÉTRICA NO PROCESSO DE
ADEQUAÇÃO DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS CONFORME NR-12**

PEDRO HENRIQUE CAL POINHO

**APLICAÇÃO DE SOLUÇÕES DE ENGENHARIA ELÉTRICA NO PROCESSO DE
ADEQUAÇÃO DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS CONFORME NR-12**

Trabalho de Graduação apresentado à Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” campus de Ilha Solteira/SP como requisito obrigatório para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientador: Prof. Dr. Carlos Antônio Alves

Ilha Solteira/SP

2026

FICHA CATALOGRÁFICA

Desenvolvido pelo Serviço Técnico de Biblioteca e Documentação

P751a Poinho, Pedro Henrique Cal.
Aplicação de soluções de engenharia elétrica no processo de adequação de máquinas industriais conforme NR-12 / Pedro Henrique Cal Poinho. -- Ilha Solteira: [s.n.], 2026
63 f. : il.

Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Engenharia, Ilha Solteira, 2026

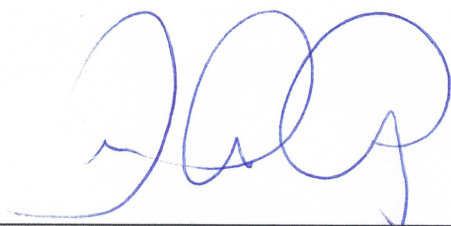
Orientador: Carlos Antonio Alves

Inclui bibliografia

1. Dispositivos elétricos de segurança. 2. Painéis de controle industrial. 3. Segurança de máquinas. 4. Hazard rating number. 5. NR-12.

ATA DE DEFESA DE TRABALHO DE GRADUAÇÃO

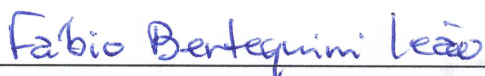
Aos dez dias do mês de junho do ano de dois mil e vinte e seis, o discente **Pedro Henrique Cal Poinho**, matriculado sob o nº 182053725, tendo como banca examinadora o seu orientador, o Prof. Dr. Carlos Antonio Alves, o Prof. Dr. Fábio Bertequini Leão e o Prof. Dr. Guilherme de Azevedo e Melo, apresentou o Trabalho de Graduação intitulado **"APLICAÇÃO DE SOLUÇÕES DE ENGENHARIA ELÉTRICA NO PROCESSO DE ADEQUAÇÃO DE MÁQUINAS INDUSTRIAIS CONFORME NR-12"**, obtendo a nota 10,0 (DEZ) e conceito APROVADO.



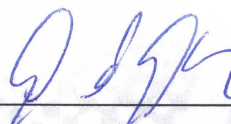
Prof. Dr. Carlos Antonio Alves
- Orientador -



Pedro Henrique Cal Poinho
- Discente -



Prof. Dr. Fábio Bertequini Leão
- Membro da Banca -



Prof. Dr. Guilherme de Azevedo e Melo
- Membro da Banca -

DEDICO

À minha mãe, Maria José, que me conduziu, protegeu e ensinou através das turbulências da vida, dedicando-se por inteiro à educação de seus filhos, sendo meu maior exemplo de luta e minha maior admiração. E a meus tios, Robson e Jamile, por todo apoio, conselhos e incentivo.

AGRADECIMENTOS

À Deus, que sabe o que se passa em meu coração a todo instante e que me guia, protege e ilumina, desde sempre e para sempre.

À minha mãe, Maria José, que dedicou tudo de si por muitos anos, trabalhando, educando, orientando, lutando com todas as forças com o único objetivo de garantir que os filhos tivessem tudo o que precisavam para se tornarem pessoas boas para si próprios e para o mundo. O seu amor pelos filhos é a base de todo nosso sucesso.

Aos meus tios, Robson e Jamile, que me aconselharam a trilhar bons caminhos e que, com palavras sensatas, atitudes acolhedoras e conselhos valiosos, sempre me incentivaram a estudar e a ser uma pessoa do bem.

A todos os meus professores, com quem compartilho o amor por ensinar e aprender, que transmitiram seus conhecimentos a mim e me permitiram expandir meus horizontes e meu conhecimento do mundo. Sem bons professores em meu caminho, eu não chegaria até aqui.

À minha futura esposa, Lorena, por me amar, cuidar, escutar e incentivar, fazendo-se presente todos os dias trazendo alegria, paz e boas energias. Cada momento ao seu lado é uma benção, sou grato a Deus por termos nos encontrado.

RESUMO

Este trabalho de graduação apresenta o processo de adequação de uma furadeira radial de porte industrial à Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12). Com foco nas soluções trazidas pela Engenharia Elétrica, esse processo é conduzido através das etapas de análise dos riscos utilizando metodologia quantitativa *Hazard Rating Number* (HRN), desenvolvimento de projetos com uso de softwares como EPLAN e Autodesk Inventor e implementação das medidas de segurança propostas com análise final do resultado obtido. O trabalho apresenta soluções de engenharia tendo como normas direcionadoras a NR-12, majoritariamente, mas apoiando-se também nas normas NR- 10, NBR 5410, NBR 7195 NBR 14153, ISO 13849, ISO 14118, ISO 14119, ISO 13857, ISO 13850, ISO 12100 e IEC 60204-1. Todas as soluções propostas cumpriram a demanda inicial de adequação, sendo aprovadas pelo usuário final e validadas por profissional de Segurança do Trabalho devidamente qualificado.

Palavras-chave: Dispositivos elétricos de segurança. Painéis de controle industrial. Segurança de Máquinas. *Hazard Rating Number*. NR-12.

ABSTRACT

This study presents the adapting of an industrial radial drilling machine to the Regulatory Standard number 12 (NR-12). Focusing on solutions provided by Electrical Engineering, this process is conducted through the stages of risk analysis using the quantitative Hazard Rating Number (HRN) methodology, project development using softwares such as EPLAN and Autodesk Inventor, and implementation of proposed safety measures, followed by a final analysis for obtained results. The work presents engineering solutions guided most primarily by NR- 12, while also relying on standard NR -10, NR-17, NBR 5410, NBR 7195, NBR 14153, ISO 13849-1, ISO 14118, ISO 14119, ISO 13857, ISO 13850, ISO 12100 and IEC 60204- 1. All proposed solutions fulfilled the initial compliance objectives, having been approved by the end user and validated by a duly qualified Occupational Safety professional.

Keywords: Electrical safety devices. Hazard Rating Number. Industrial control panels. Machine safeguarding. NR-12.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Controlador Lógico Programável, fabricante PILZ.	8
Figura 2 – Lógica de Blocos, <i>software</i> PNOZmulti Configurator.....	9
Figura 3 – Arquitetura simplificada de categoria 3	9
Figura 4 – Exemplo de arquitetura em categoria 3 com dispositivos	10
Figura 5 – Sensor de segurança com tecnologia RFID	11
Figura 6 – Botoeira de segurança com botão de emergência, acionamentos e leitor RFID.....	12
Figura 7 – Chave de segurança com tecnologia RFID.....	12
Figura 8 – Botão de emergência e bloco de contato com ruptura positiva	13
Figura 9 – Contator de segurança, fabricante WEG.	15
Figura 10 – Torres de sinalização, fabricante WEG.	16
Figura 11 – Furadeira Radial não adequada.....	19
Figura 12 – Proteção do mandril não monitorada vinda do fabricante	22
Figura 13 – Projeto 3D inicial, vista frontal da Furadeira Radial.....	26
Figura 14 – Projeto 3D inicial, vista traseira da Furadeira Radial.....	26
Figura 15 – Projeto 3D da proteção mecânica do mandril	27
Figura 16 – Projeto 3D de chave de segurança fixada na proteção mecânica do mandril	28
Figura 17 – Programação em blocos para intertravamento da proteção mecânica do mandril.....	28
Figura 18 – Projeto 3D de sensor fim de curso e proteção sanfonada para limitar movimento vertical em seu limite inferior	29
Figura 19 – Projeto 3D de sensor fim de curso e proteção sanfonada para limitar movimento vertical em seu limite superior	30
Figura 20 – Programação em blocos de intertravamento dos sensores fim de curso	30
Figura 21 – Botão de emergência com indicação de acionamento por <i>LED</i>	31
Figura 22 – Projeto 3D do painel elétrico com indicação do local para botão de emergência	32
Figura 23 – Projeto 3D do painel frontal de comando com indicação do local para botão de emergência	32

Figura 24 – Programação em blocos para botões de emergência	33
Figura 25 – Cordoalha de aterramento.....	34
Figura 26 – Placa de aviso de perigo para painel elétrico	34
Figura 27 – Projeto 3D do painel adequado, vista geral.	35
Figura 28 – Projeto 3D do painel adequado, vista interna com canaletas.....	36
Figura 29 – Projeto 3D do painel adequado, vista interna frontal com canaletas.	36
Figura 30 – Botão de rearme “Reset” azul com identificação	37
Figura 31 – Sinal de <i>feedback</i> dos contadores dos motores principal do eixo árvore e do mandril... 38	
Figura 32 – Sinalizações de segurança.....	39
Figura 33 – Cabo de aço para contenção de mangueiras.	40
Figura 34 – Proteção mecânica do mandril implementada	42
Figura 35 – Chave de segurança de intertravamento da proteção do mandril.....	42
Figura 36 – Sensor fim de curso e proteção sanfonada para limite vertical inferior	43
Figura 37 – Sensor fim de curso e proteção sanfonada para limite vertical inferior	43
Figura 38 – Botão de emergência do painel frontal de comando	44
Figura 39 – Botão de emergência do painel elétrico de comando.....	44
Figura 40 – Parte interna do painel elétrico adequado.....	45
Figura 41 – Parte interna da porta do painel adequado	45
Figura 42 – Botão de rearme “Reset” no painel frontal de comando	46
Figura 43 – Programação em blocos para intertravamentos da máquina.....	47
Figura 44 – Diagrama elétrico da Furadeira Radial com duplo contator.....	48
Figura 45 – Sinalizações de segurança no painel frontal de comando.....	48
Figura 46 – Sinalização de segurança do painel elétrico de comando.....	49
Figura 47 – Sinalização de alerta de local com tensão elétrica no ponto principal de alimentação da Furadeira Radial.....	49
Figura 48 – Sinalização de alerta de local com tensão elétrica no motor principal.....	50

Figura 49 – Sinalização de perigo de choque elétrico próximo à proteção do mandril.....	51
Figura 50 – Sumário do Manual de Instruções e Segurança da Furadeira Radial.....	52
Figura 51 – Cabos de aço para contenção de mangueira na face esquerda superior da máquina	54
Figura 52 – Cabos de aço para contenção de mangueiras na face esquerda inferior da máquina	54
Figura 53 – Cabos de aço para contenção de mangueiras na fase traseira da máquina próximo ao painel.....	54
Figura 54 – Cabos de aço para contenção de mangueiras na face esquerda da máquina	55
Figura 55 – Cabos de aço para contenção de mangueiras na face traseira superior da máquina próximo à caixa de engrenagens.....	55
Figura 56 – Cabos de aço para contenção de mangueiras na face traseira superior da máquina	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Probabilidade de Ocorrência (LO).....	5
Tabela 2– Frequência de Exposição (FE)	5
Tabela 3 – Grau de Severidade / Probabilidade Máxima de Perda (DPH)	5
Tabela 4 – Número de Pessoas Expostas (NP).....	6
Tabela 5 – Classificação do Nível de Risco (HRN)	6
Tabela 6 – Especificações Técnicas da Furadeira Radial	18
Tabela 7 – Lista de verificação de Segurança	20
Tabela 8 – Valores de HRN calculados para a Furadeira Radial, Categoria de Segurança e PL r.....	24
Tabela 9 – Engenharia protagonista a adequação dos riscos.....	40
Tabela 10 – HRN iniciais e finais de cada risco da Furadeira Radial.....	57

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	1
1.1. Objetivo	2
2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	3
2.1. A Norma Regulamentadora NR-12	3
2.2. Apreciação de Riscos e Método HRN	4
2.3. Dispositivos de sensoramento, intertravamento e partes do sistema de segurança ..	7
2.3.1. Controladores lógicos programáveis de segurança.....	7
2.3.2. <i>Software</i> de Segurança e Lógica de Controle.....	8
2.3.3. Sensores RFID.....	10
2.3.4. Botoeiras e chaves de segurança RFID.....	11
2.3.5. Botão de Emergência	12
2.3.6. Contatores de Segurança	14
2.3.7. Sinalização Visual e Sonora	15
3. METODOLOGIA.....	17
4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS	18
4.1. Características técnicas da Furadeira Radial.....	18
4.2. Procedimentos de Coleta de Dados e Diagnóstico	19
4.2.1. Inspeção de Campo e Lista de verificação de segurança	20
4.3. Análise de Riscos	21
4.3.1. Cálculo de HRN aplicado.....	21
4.4. Soluções de engenharia.....	25
4.4.1. Projeção de cavacos	25
4.4.2. Acesso à ferramenta e partes móveis do mandril	27
4.4.3. Esmagamento durante movimentação do braço radial	29
4.4.4. Botão de Emergência	31
4.4.5. Painel Elétrico	33
4.4.6. Manutenção e Procedimento LOTO	37
4.4.7. Dispositivo de comando.....	37
4.4.8. Interface Lógica de Segurança e Intertravamento de Segurança.....	37
4.4.9. Duplo Contator	38
4.4.10. Sinalização.....	38
4.4.11. Manuais e diagramas.....	39
4.4.12. Treinamento e Capacitação	39
4.4.13. Chicoteamento das mangueiras hidráulicas	40

4.5.	Implementação das Soluções de engenharia	41
4.5.1.	Projeção de cavacos	41
4.5.2.	Acesso à ferramenta e partes móveis do mandril	42
4.5.3.	Esmagamento durante movimentação do braço radial	43
4.5.4.	Botão de Emergência	43
4.5.5.	Painel Elétrico	44
4.5.6.	Manutenção e Procedimento LOTO	45
4.5.7.	Dispositivo de comando	46
4.5.8.	Interface Lógica de Segurança e Intertravamento de Segurança.....	46
4.5.9.	Duplo Contator	47
4.5.10.	Sinalização.....	48
4.5.11.	Manuais e diagramas.....	51
4.5.12.	Treinamento e Capacitação	53
4.5.13.	Chicoteamento das mangueiras hidráulicas	53
4.6.	Análise das Soluções de Engenharia e Cálculo de HRN pós adequação	56
4.6.1.	Projeção de cavacos	56
4.6.2.	Acesso à ferramenta e partes móveis do mandril	56
4.6.3.	Esmagamento durante movimentação do braço radial	56
4.6.4.	Painel Elétrico	56
4.6.5.	Manutenção e Procedimento LOTO	56
4.6.6.	Chicoteamento das mangueiras hidráulicas	56
5.	CONCLUSÃO	59
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	61

1. INTRODUÇÃO

A automação industrial e a modernização dos processos produtivos têm desempenhado um papel estratégico no aumento da competitividade e inovação no mercado global. No entanto, essa evolução tecnológica deve ser acompanhada por medidas rigorosas de segurança, visando não apenas a produtividade, mas a preservação da integridade física dos trabalhadores e equipamentos. No Brasil, o cenário de acidentes de trabalho permanece alarmante; dados do Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho indicam que, entre 2012 e 2024, foram notificados mais de 8,8 milhões de acidentes, resultando em aproximadamente 32 mil mortes no emprego formal, representando 0,3636% de mortalidade nos acidentes (SMARTLAB, 2025). Desse total, estima-se que cerca de 15% das ocorrências graves estejam diretamente relacionadas à operação de máquinas e equipamentos sem a devida proteção ou em desconformidade normativa (CUT, 2023).

Nesse contexto, a Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12) estabelece as referências técnicas e princípios fundamentais para garantir a saúde e a segurança dos trabalhadores em todas as fases de vida de uma máquina, desde o projeto até o sucateamento (BRASIL, 2022). É importante ressaltar que o processo de adequação à NR-12 compreende uma abordagem multidisciplinar, envolvendo de forma integrada as engenharias de segurança, elétrica e mecânica. Enquanto a engenharia de segurança estabelece as diretrizes de análise de risco e gestão ocupacional, servindo de direcionador, a engenharia mecânica provê as proteções físicas e barreiras necessárias para o isolamento das zonas de perigo e a engenharia elétrica atua como fonte de soluções para criação de um sistema confiável de controle, monitoramento interrupção de movimentos e cortes de energia de máquinas e equipamentos. O foco primordial deste trabalho reside nas soluções de engenharia elétrica e, nesse sentido a ênfase será dada ao sistema de monitoramento e intertravamento dessas proteções, garantindo que a integridade do sistema de segurança seja mantida por meio de lógicas de controle que impeçam o funcionamento do equipamento em condições de risco ou tentativa de burla.

A engenharia elétrica assume um papel protagonista nesse processo, uma vez que a implementação de sistemas de controle seguros, baseados em Controladores Lógicos Programáveis (CLP) de segurança, sensores de intertravamento e redundância de componentes é essencial para a mitigação de riscos críticos, como esmagamentos, cortes e projeção de materiais (ALENCAR et al., 2018)

O presente trabalho foca na adequação de uma furadeira radial, equipamento amplamente difundido na indústria metalúrgica devido a sua versatilidade em operações de furação de grandes peças. Todavia, a operação de máquinas operatrizes convencionais sem a integração de dispositivos de segurança certificados eleva o grau de risco a níveis inaceitáveis, conforme mensurado pelo método *Hazard Rating Number* (HRN). A problemática reside na necessidade de converter um equipamento de tecnologia convencional em um sistema monitorado e seguro, atendendo aos requisitos de categorias de segurança e níveis de desempenho *Performance Level* – PL exigidos pelas normas vigentes.

A justificativa para este estudo de caso reside na relevância social, técnica e econômica de promover ambientes de trabalho seguros, reduzindo o ônus gerado por acidentes aos trabalhadores, ao Estado e as empresas empregadoras. Sob a ótica da engenharia elétrica, o projeto de adequação permite a aplicação prática de conceitos como comandos elétricos, sensoramento e lógica de segurança, intertravamento de dispositivos e lógicas de programação, demonstrando como soluções técnicas podem neutralizar ou ao menos mitigar perigos advindos da operação de máquinas e equipamentos.

1.1. Objetivo

O objetivo geral deste trabalho é explorar as soluções aplicadas de engenharia elétrica no processo de adequação de máquinas e equipamentos, utilizando-se como objeto de estudo uma furadeira radial, atingindo-se conformidade em relação à NR-12. Para o alcance deste propósito, definem-se os seguintes objetivos específicos

1. Mapear o funcionamento do equipamento e identificar as zonas de risco utilizando a apreciação de risco e o método HRN;
2. Projetar e implementar um painel elétrico de controle utilizando CLP de segurança e dispositivos certificados;
3. Instalar dispositivos de intertravamento, como sensores e travas elétricas, integrando-os à lógica de comando e segurança da máquina;
4. Validar a eficácia das soluções propostas através da reavaliação do grau de risco pós-adequação, atingindo redução dos valores de risco calculados via método HRN.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo tem como objetivo fornecer uma fundamentação teórica sobre o processo de avaliação e análise dos riscos de um equipamento, bem como as ferramentas de engenharia utilizadas para mitigar os riscos existentes.

2.1. A Norma Regulamentadora NR-12

A Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12), intitulada "Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos", constitui um dos pilares mais robustos da legislação trabalhista brasileira no que tange à prevenção de acidentes industriais. Originalmente publicada pela Portaria nº 3.214 em 1978, a norma passou por uma profunda reestruturação em 2010 e, mais recentemente, por atualizações significativas em 2019 e 2022, visando alinhar os requisitos nacionais aos padrões internacionais de segurança, como as normas ISO e IEC (BRASIL, 2022).

O objetivo primordial da NR-12 é estabelecer referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção que garantam a saúde e a integridade física dos trabalhadores. Segundo Herlemann (2019), a norma não se limita apenas à fase de operação, mas abrange todo o ciclo de vida do equipamento, incluindo transporte, montagem, instalação, ajuste, manutenção, limpeza, inspeção, desativação e desmonte. Para máquinas operatrizes, como a furadeira radial, a norma exige que as zonas de perigo sejam isoladas por sistemas de segurança que impeçam o acesso inadvertido ou neutralizem o movimento perigoso em caso de invasão da área monitorada.

A aplicação da NR-12 segue uma hierarquia rigorosa de medidas de proteção, conforme estabelecido em seus princípios gerais. De acordo com Bernardi (2016), a prioridade deve ser dada às seguintes etapas, nesta ordem:

1º) Medidas de Proteção Coletiva: Envolvem a instalação de proteções físicas (fixas ou móveis) e dispositivos de segurança que atuam diretamente na fonte do risco;

2º) Medidas Administrativas ou de Organização do Trabalho: Incluem a elaboração de procedimentos operacionais, sinalização de segurança e treinamentos específicos para os operadores;

3º) Medidas de Proteção Individual: Utilização de Equipamentos de Proteção Individual (EPI) para mitigar riscos residuais que não puderam ser totalmente eliminados pelas etapas anteriores.

No âmbito da engenharia elétrica, a NR-12 especifica requisitos rigorosos para os sistemas de comando. Os circuitos elétricos relacionados à segurança devem ser projetados para manter o estado de segurança em caso de falhas, utilizando conceitos de redundância e monitoramento (ZACARIAS, 2022). Para máquinas operatrizes de usinagem, a Norma enfatiza a necessidade de dispositivos de parada de emergência bem localizados, sistemas que impeçam a partida inesperada após uma queda de energia e o intertravamento de proteções móveis.

Assim, a adequação de uma furadeira radial à NR-12 representa a implementação de soluções que protegem não somente equipamentos, mas a vida humana e o bem estar dos trabalhadores durante suas atividades laborais, por meio de tecnologias de monitoramento e controle trazidas pela engenharia elétrica, que atua como uma barreira ativa contra o erro humano e a falha técnica.

2.2. Apreciação de Riscos e Método HRN

A apreciação de riscos é um processo sistemático e iterativo, fundamental para a garantia da segurança em máquinas e equipamentos. Segundo a norma ABNT NBR ISO 12100, a apreciação de riscos compreende a análise de risco, que inclui a determinação dos limites da máquina e a identificação de perigos, e a avaliação de risco, estimativa da gravidade e probabilidade de ocorrência. Este processo permite determinar se os objetivos de redução de risco foram alcançados ou se novas medidas de proteção são necessárias.

Dentre as metodologias quantitativas para a estimativa de riscos, destaca-se o método *Hazard Rating Number* (HRN), proposto por Chris Steel em 1990 na publicação *The Safety & Health Practitioner*. O método HRN deve ser utilizado na engenharia de segurança para permitir a priorização de ações corretivas através de um valor numérico que representa o grau de periculosidade de cada ponto de risco identificado (STEEL, 1990). A aplicação do método consiste no produto de quatro variáveis fundamentais: Probabilidade de Ocorrência (LO), Frequência de Exposição (FE), Grau de Severidade (DPH) e Número de Pessoas Expostas (NP). A quantificação dessas variáveis segue os critérios estabelecidos nas Tabela 1, Tabela 2, Tabela 3 e Tabela 4.

Tabela 1 – Probabilidade de Ocorrência (LO)

DESCRIÇÃO	VALOR
Quase impossível - Pode ocorrer em extremas circunstâncias	0,033
Altamente improvável - Mas pode ocorrer	1
Improvável - Embora inconcebível	1,5
Possível - Mas não usual	2
Alguma chance - Pode ocorrer	5
Provável - Sem surpresas	8
Muito provável - Esperado	10
Certo - Sem dúvida	15

Fonte: STEEL (1990)

Tabela 2– Frequência de Exposição (FE)

DESCRIÇÃO	VALOR
Anualmente	0,5
Mensalmente	1
Semanalmente	1,5
Diariamente	2,5
Em termos de horas	4
Constantemente	5

Fonte: STEEL (1990)

Tabela 3 – Grau de Severidade / Probabilidade Máxima de Perda (DPH)

DESCRIÇÃO	VALOR
Arranhão ou escoriação	0,1
Dilaceramento, corte ou enfermidade leve	0,5
Fratura leve de ossos, dedos das mãos ou dedos dos pés	1
Fratura grave de ossos, mão, braço ou perna	2
Perda de 1 ou 2 dedos das mãos ou dos pés	4
Amputação de perna, mãos, perda parcial da audição ou visão	8
Amputação de 2 pernas ou mãos, perda parcial da audição ou visão em ambos ouvidos ou olhos	10
Enfermidade permanente ou crítica	12

DESCRIÇÃO	VALOR
Fatalidade	15

Fonte: STEEL (1990)

Tabela 4 – Número de Pessoas Expostas (NP)

QUANTIDADE	VALOR
1 a 2 pessoas	1
3 a 7 pessoas	2
8 a 15 pessoas	4
16 a 50 pessoas	8
Mais de 50 pessoas	12

Fonte: STEEL (1990)

As Tabelas 1 a 5 foram adaptadas das tabelas originais publicadas por Chris Steel, em 1990 e podem conter ligeiras diferenças de formatação e idioma, sem prejudicar ou distorcer o entendimento das mesmas.

O cálculo do HRN de um perigo é determinado através do uso da Equação 1 (STEEL, 1990).

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP \quad (1)$$

O valor resultante permite classificar o nível de risco, o que direciona a urgência das intervenções de engenharia necessárias. A Tabela 5 apresenta a escala de classificação e a respectiva severidade do risco.

Tabela 5 – Classificação do Nível de Risco (HRN)

RESULTADO	RISCO	AVALIAÇÃO
0 a 1	Aceitável	Considerar possíveis ações. Manter as medidas de proteção.
1 a 5	Muito baixo	
5 a 10	Baixo	Garantir que as medidas atuais de proteção são eficazes. Aprimorar com ações complementares.
10 a 50	Significante	
50 a 100	Alto	Devem ser realizadas ações para reduzir ou eliminar o risco. Garantir a implementação de proteções ou dispositivos de segurança.
100 a 500	Muito alto	

RESULTADO	RISCO	AValiação
500 a 1000	Extremo	Ação imediata para reduzir ou eliminar o risco.
Maior que 1000	Inaceitável	Interromper a atividade até eliminação ou redução do risco.

Fonte: STEEL (1990)

Segundo Frasso et al. (2021, p. 15), a aplicação desta métrica em máquinas operatrizes, como a furadeira radial, é essencial para validar cientificamente a eficácia das proteções implementadas, garantindo que o risco residual após a adequação esteja dentro de limites aceitáveis pela engenharia de segurança.

Importante ressaltar que após quase 40 anos desde a publicação do método HRN, já é possível encontrar variações nos valores associados a cada um dos quatro fatores associados ao cálculo de HRN, tais valores muitas vezes buscam uma melhor separação nos intervalos.

2.3. Dispositivos de sensoramento, intertravamento e partes do sistema de segurança

A eficácia de um sistema de segurança em máquinas operatrizes depende da seleção criteriosa de componentes de hardware que possuam características intrínsecas de confiabilidade. Para a adequação da furadeira radial, os dispositivos devem atuar de forma a monitorar proteções e garantir a interrupção imediata de movimentos perigosos em caso de falha ou acesso não autorizado.

2.3.1. Controladores lógicos programáveis de segurança

O CLP de segurança, ou Controlador Lógico Programável de Segurança, é um dispositivo destinado à implementação de lógicas de supervisão de funções de segurança em sistemas de controle de máquinas, assegurando que condições perigosas resultem na remoção segura da energia dos atuadores, podendo também, por meio de lógica programada, gerenciar o acesso à máquina sob seu controle. Diferentemente de um CLP convencional, esse equipamento deve ser projetado conforme os princípios de segurança funcional estabelecidos pela NBR ISO 13849-1, IEC 60204 e IEC 62061, incorporando arquitetura redundante, diagnóstico interno e mecanismos de detecção de falhas, de modo que uma falha simples não implique na perda da função de segurança. A Figura 1 contempla o modelo PNOZ m B1, controlador de segurança do fabricante alemão PILZ.

Figura 1 – Controlador Lógico Programável, fabricante PILZ.



Fonte: PILZ (2026)

No processo de adequação de máquinas operatrizes, suas principais atribuições incluem o monitoramento de dispositivos como chaves de intertravamento, botões de parada de emergência e sensores de segurança, bem como o controle de acesso. O monitoramento abrange também o retorno dos contadores de potência (EDM – *External Device Monitoring*), garantindo que a energização dos motores ocorra exclusivamente sob condições seguras.

Em determinadas aplicações, o CLP de segurança pode necessitar de comunicação com um CLP de automação. Nesse caso essa integração pode ser realizada por meio de sinais discretos cabeados ou por protocolos industriais seguros, como por exemplo PROFIsafe, CIP Safety ou FSoE, preservando a segregação funcional entre automação e segurança. A comunicação com dispositivos de campo como chaves de segurança, sensores codificados e botões de emergência pode ocorrer por entradas seguras redundantes ou módulos remotos de I / O de segurança, permitindo o monitoramento de coerência entre canais e a detecção de falhas.

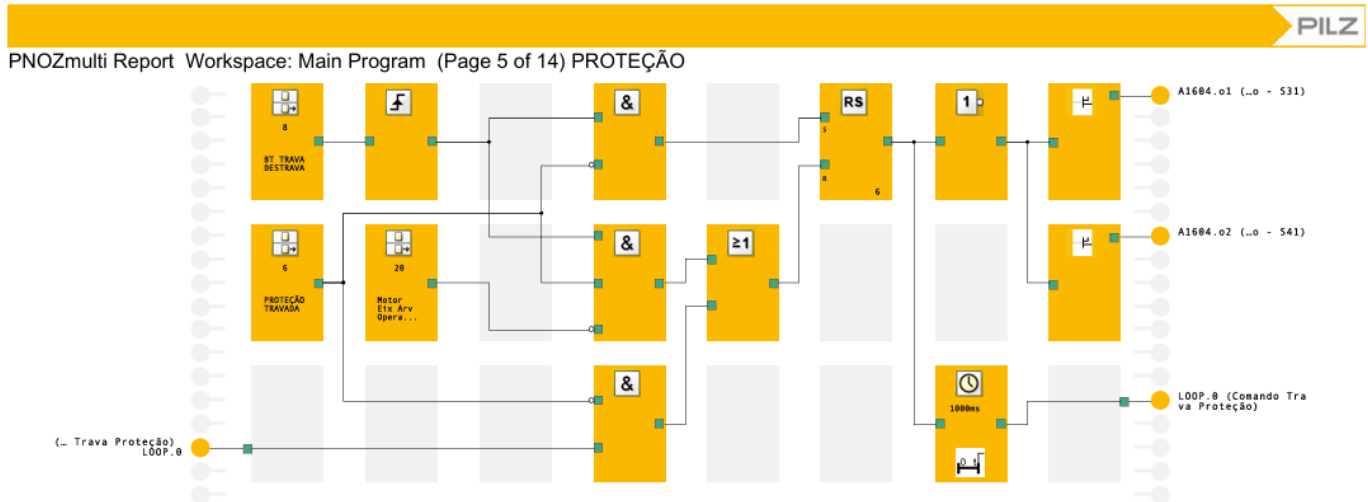
2.3.2. *Software de Segurança e Lógica de Controle*

Em sistemas que utilizam CLPs de segurança, o software desempenha um papel crítico. Diferente de softwares de automação comum, o software de segurança deve ser desenvolvido em ambientes validados que garantam a integridade dos dados. Segundo Mendes (2017, p. 28), a lógica de segurança deve ser programada de forma que qualquer falha nos sinais de entrada leve a máquina a um estado seguro (*fail-safe*), impedindo alterações não autorizadas no código que possam comprometer a proteção do operador.

A programação e lógica de controle pode ser realizada por Lógica de Blocos, como exemplificado na Figura 2, na qual é possível observar, à esquerda, uma entrada de sinal emitido por um sensor de segurança. Este sinal, nomeado pelo programador como “Trava Proteção” é levado à entrada de sinais de uma porta lógica tipo “E” ou “AND” e mais ao centro da figura,

observa-se sequência de portas lógicas, temporizadores, resultando nas possíveis saídas, mais à direita.

Figura 2 – Lógica de Blocos, *software* PNOZmulti Configurator

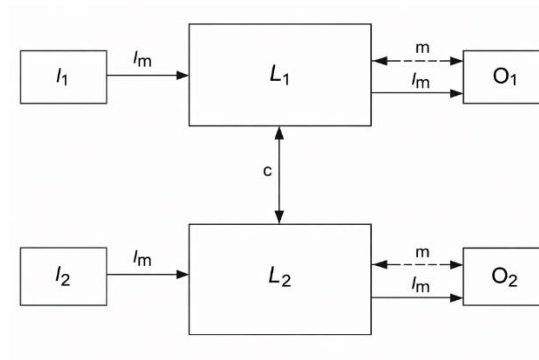


Fonte: SERCOS (2025)

Um ponto importante a ser ressaltado na parte da lógica de segurança é que, para máquinas operatrizes, a exemplo da furadeira radial, é indicado categoria 3 conforme ABNT NBR 14153. Para configurar o sensor de segurança, por exemplo, em categoria 3 de segurança e nível de desempenho PL d, conforme NBR ISO 13849-1, deve-se seguir a arquitetura abaixo mostrada na Figura 3 para evitar acesso à zona de perigo.

As categorias de segurança e nível de performance requeridos são tema específico de estudo da engenharia de segurança e por isso não serão abordados com detalhe neste trabalho.

Figura 3 – Arquitetura simplificada de categoria 3

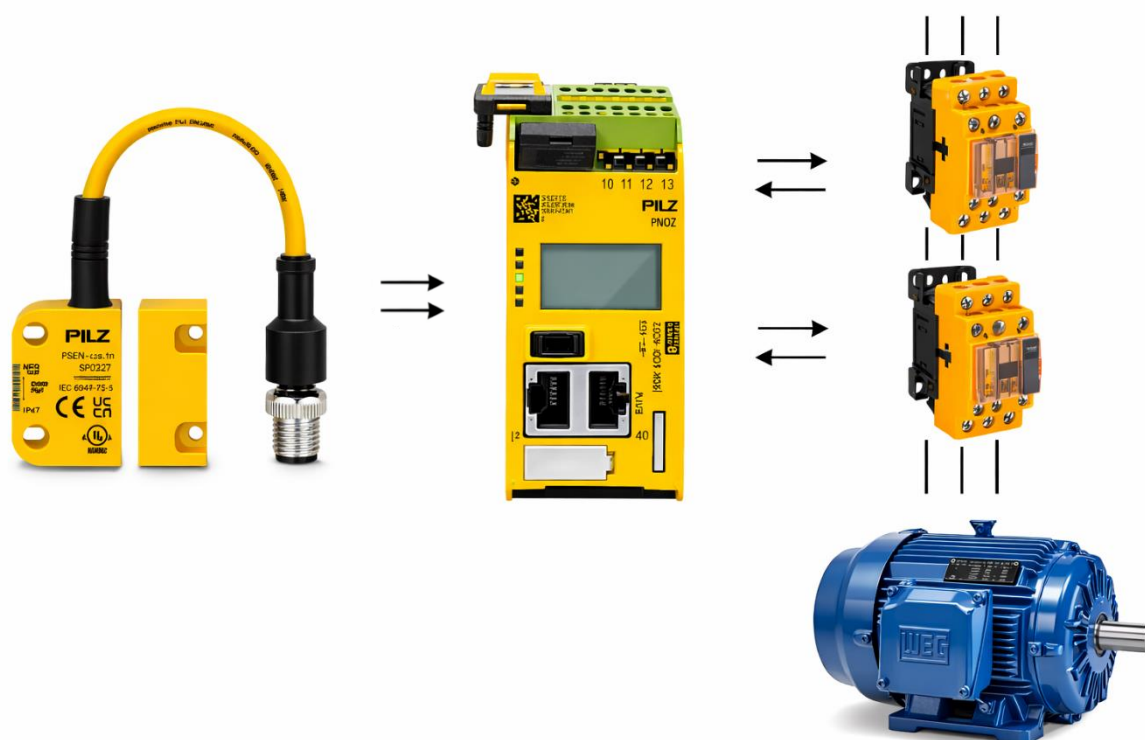


Fonte: NBR ISO 14153

Na Figura 3, I_1 e I_2 indicam dispositivos distintos e seus sinais I_m , como por exemplo um sensor e um botão de emergência. L_1 e L_2 representam as lógicas de segurança. O_1 e O_2 são os dispositivos de saída, como contatores de potência, por exemplo e, “m” o sinal de monitoramento. Em uma arquitetura de segurança, é importante que cada dispositivo tenha seu canal próprio de ligação à lógica de segurança, assim, o CLP poderá identificar exatamente qual dispositivo está ou não acionado. Já os sinais de monitoramento, comumente chamados de *feedback*, indicados pela letra “m”, são importantes porque levam, ao CLP, o estado atual dos dispositivos de saída, fornecendo informação para detecção de falhas, como contatores soldados, por exemplo.

A Figura 4 contém uma topologia simplificada envolvendo um sensor de intertravamento, o CLP de segurança, os contatores e o motor; as setas indicam envio de sinais.

Figura 4 – Exemplo de arquitetura em categoria 3 com dispositivos



Fonte: SERCOS (2025)

2.3.3. Sensores RFID

Os dispositivos de intertravamento associados a proteções móveis são regidos pela norma ISO 14119. Dentre as tecnologias disponíveis, destacam-se os sensores com codificação por radiofrequência (RFID). Diferente das chaves magnéticas convencionais, os sensores RFID

oferecem um alto nível de proteção contra burlas, pois exigem um atuador codificado específico para permitir o fechamento do circuito de segurança e acusar sensor em sua posição correta de atuação. Segundo Mendes (2017, p. 25), o uso de sensores RFID em categorias de segurança elevadas (3 ou 4) é essencial para garantir que o sistema não seja neutralizado por operadores pelo uso de ímãs comuns ou outras burlas, conforme NBR 14153 e ISO 13849-1.

Majoritariamente, esse tipo de dispositivo monitora a posição de portas, janelas e proteções, caracterizando função de intertravamento, dado o fato de que, ao serem acionados, enviam um sinal ao CLP de segurança que, por sua vez, interrompe o fornecimento de energia para os motores em funcionamento.

Na Figura 5 há um exemplo de sensor de segurança com tecnologia RFID.

Figura 5 – Sensor de segurança com tecnologia RFID



Fonte: PILZ (2026)

2.3.4. Botoeiras e chaves de segurança RFID

A tecnologia RFID pode ser utilizada também em chaves e botoeiras de segurança para controle de acesso a zonas de risco e equipamentos. A Figura 6 mostra um exemplo de botoeira de segurança com botão de emergência, dois botões de acionamento e um leitor RFID mais abaixo. Esse tipo de dispositivo é essencial para controlar o acesso de pessoas não autorizadas às máquinas adequadas. O cadastro dos cartões autorizados é feito via programação em CLP de segurança.

Figura 6 – Botoeira de segurança com botão de emergência, acionamentos e leitor RFID



Fonte: PILZ (2026)

Na Figura 7 é mostrada uma chave de segurança com tecnologia RFID, que permite ao dispositivo identificar seu atuador como um componente único, isto é, a chave reconhece seu único atuador como meio de travamento ou destravamento. Isso evita que outros dispositivos sejam utilizados como meios de burla. As chaves de segurança desse tipo são muito utilizadas para intertravamento e monitoramento de proteções mecânicas.

Figura 7 – Chave de segurança com tecnologia RFID



Fonte: PILZ (2026)

2.3.5. Botão de Emergência

O botão de parada de emergência é um dispositivo de segurança destinado a interromper, com segurança, uma situação perigosa já existente ou iminente, com o objetivo de reduzir riscos à integridade física dos trabalhadores e minimizar possíveis danos ao equipamento. Sua função não é operacional, mas sim exclusivamente voltada à mitigação de risco em condições anormais.

De acordo com a NR-12 e ISO 13850, o dispositivo de parada de emergência deve ser instalado sempre que houver riscos que não possam ser eliminados por outras medidas de proteção coletiva. Ele deve permitir a parada rápida e segura da máquina, sobrepondo-se em relação a qualquer outro comando e não pode ser utilizado como meio de partida ou como sistema de parada de rotina.

Segundo a NBR 7195 e ISO13850, o botão de emergência deve possuir acionamento manual do tipo cogumelo, na cor vermelha com fundo amarelo, com retenção mecânica após acionamento e rearme exclusivamente manual, geralmente por giro ou tração. Consoante à norma ISO 14118, o rearme não pode provocar a partida inesperada ou automática da máquina, sendo obrigatória uma ação adicional e intencional para reinício do funcionamento, comumente chamado de “Rearme” ou “Reset”.

Do ponto de vista técnico-funcional, o botão de emergência utiliza contatos normalmente fechados (NF) integrados ao circuito de segurança. Quando acionado, promove a abertura do circuito, removendo energia dos atuadores perigosos e conduzindo o sistema a um estado seguro. A função de parada de emergência, conforme ISO 13850, deve estar disponível e operacional em todos os momentos. Um requisito técnico fundamental para esses dispositivos é o princípio da ruptura positiva. Este mecanismo garante que, ao pressionar o botão, os contatos elétricos sejam forçados mecanicamente a se abrir, mesmo que ocorra uma soldagem dos contatos devido a um curto-circuito. A ruptura positiva assegura a desenergização do sistema de comando independentemente da ação de molas, sendo um requisito técnico previsto nas normas IEC 60204-1 e adotado para atendimento aos requisitos de segurança da NR-12.

A Figura 8 exemplifica um botão de emergência e seu bloco de contatos com ruptura positiva.

Figura 8 – Botão de emergência e bloco de contato com ruptura positiva



Fonte: PILZ (2026)

2.3.6. Contatores de Segurança

O contator de segurança é um dispositivo eletromecânico destinado à interrupção segura da alimentação de atuadores perigosos, sendo parte integrante da arquitetura de segurança da máquina, conforme previsto pela NBR IEC 60204-1 e ISO13849-1. Sua função principal é garantir a remoção confiável de energia quando uma condição de risco é detectada pelo sistema de segurança, como acionamento de botão de emergência, abertura de porta intertravada ou atuação de dispositivos de proteção.

Conforme os princípios estabelecidos pela NR-12, os sistemas de segurança devem assegurar que a máquina seja conduzida a um estado seguro sempre que ocorrer falha ou condição perigosa. Nesse contexto, o contator de segurança atua como elemento responsável por efetivar fisicamente a interrupção da energia elétrica dos circuitos de potência.

Diferentemente de um contator convencional, o contator de segurança é projetado para aplicações em circuitos de potência e deve possuir características construtivas que permitam monitoramento de sua integridade funcional. Além disso, esse dispositivo possui blocos de contatos auxiliares fixos ou inseparáveis para evitar alterações indevidas ou burla. Geralmente, contatores de segurança possuem também uma diferença visual em sua carcaça, possuindo cores comumente amarela ou vermelha.

No âmbito da engenharia elétrica, a implementação de sistemas de segurança exige que as interfaces de monitoramento, como relé ou CLPs de segurança, realizem autotestes periódicos para verificar o status dos dispositivos conectados (FERREIRA, 2015). Complementarmente, a interrupção física da potência deve ser realizada por contatores de segurança que possuam contatos mecanicamente guiados (ou espelhados). Essa característica garante que os contatos auxiliares de monitoramento estejam solidários aos contatos de potência, permitindo que o sistema de segurança detecte uma eventual soldagem de contatos e impeça uma nova partida da máquina, assegurando o estado de parada segura. A Figura 9 exibe um contator de segurança da fabricante brasileira WEG.

Figura 9 – Contator de segurança, fabricante WEG.



Fonte: WEG (2026)

2.3.7. Sinalização Visual e Sonora

Os dispositivos de sinalização visual e sonora têm a função de alertar operadores e pessoas no entorno sobre condições operacionais da máquina, estados de risco ou ocorrência de falhas, contribuindo para a prevenção de acidentes e para a rápida percepção de situações anormais.

A NR-12 exige que as máquinas possuam sinalizações de advertência claras. Dispositivos como torres luminosas e alarmes sonoros devem ser integrados ao sistema de comando para alertar o operador sobre a abertura de proteções ou o acionamento da parada de emergência, facilitando o diagnóstico rápido e a segurança operacional (BRASIL, 2022). Tais dispositivos são pautados na NBR OEC 60204-1, que suportam a NR-12.

Como exemplo, as Torres de Sinalização são dispositivos destinados à indicação visual ou sonora de estados como operação normal, alerta, falha ou emergência. Esses equipamentos utilizam módulos luminosos em cores padronizadas, como verde para operação normal, amarelo para condição de atenção e vermelho para falha ou situação crítica, podendo incorporar sinalização sonora intermitente ou contínua para reforçar a advertência.

Do ponto de vista técnico, esses dispositivos devem proporcionar sinalização clara e visível em toda a área de operação, com padronização adequada de cores conforme boas práticas industriais e nível sonoro compatível com o ambiente de instalação, garantindo que o aviso seja perceptível mesmo em áreas com ruído elevado. Devem ainda estar devidamente integrados ao sistema de controle ou ao sistema de segurança da máquina, de modo que a indicação corresponda

fielmente ao estado operacional real do equipamento. A Figura 10 exibe modelos de torre de sinalização da fabricante brasileira WEG.

Figura 10 – Torres de sinalização, fabricante WEG.



Fonte: WEG (2026)

3. METODOLOGIA

A metodologia adotada neste trabalho caracteriza-se como uma pesquisa de natureza qualitativa, com abordagem descritiva, desenvolvida por meio de um estudo de caso.

Inicialmente, realizou-se uma análise documental e técnica da máquina objeto de estudo, furadeira radial, considerando suas características gerais de funcionamento, sistemas elétricos, dispositivos de comando, sistemas de segurança, proteções físicas e condições operacionais, pautadas majoritariamente nas normas ABNT NBR ISO 12100, ABNT NBR IEC 60204. Tais informações foram coletadas via documentos técnicos fornecidos pelo fabricante e pela empresa responsável pela adequação, os principais documentos da máquina analisados foram:

- Avaliação de Risco;
- Manual de Instruções e Segurança;
- Fotos e registros oficiais da empresa Sercos Automação Industrial.

Na etapa seguinte, foi realizado um levantamento bibliográfico, com base em artigos científicos, normas técnicas, manuais de fabricantes e documentos oficiais da empresa Sercos Automação Industrial visando compreender o papel, a importância e a relação da engenharia elétrica com os conceitos relacionados à segurança de máquinas e equipamento aos sistemas de proteção e aos dispositivos de segurança, com ênfase na aplicação da NR-12. Esse levantamento permitiu a fundamentação teórica necessária para a compreensão dos critérios técnicos adotados.

Após essa etapa, foi elaborada uma análise dos riscos relacionados ao estado atual da furadeira radial baseada no método *Hazard Rating Number* e exploradas as intervenções de engenharia propostas para adequação. Após isso, analisou-se os resultados das implementações de segurança e discutiu-se tecnicamente sob a ótica da engenharia elétrica, destacando-se os principais pontos de atuação dessa área de estudo e seu impacto na adequação em foco.

4. DESENVOLVIMENTO E RESULTADOS

Este capítulo tem por objetivo apresentar o objeto foco de estudo furadeira radial, bem como os cálculos e análises envolvidos na avaliação de riscos do equipamento. Este capítulo também engloba o desenvolvimento das soluções de engenharia elétrica aplicadas à adequação da furadeira radial aos requisitos da NR- 12, bem como os resultados obtidos após sua implementação. São abordados o diagnóstico inicial do equipamento, o projeto e a aplicação dos sistemas de comando e segurança, como também a reavaliação do grau de risco por meio do método *Hazard Rating Number* (HRN), permitindo a validação da eficácia das medidas adotadas.

4.1. Características técnicas da Furadeira Radial

A máquina é projetada para operações de furação, alargamento e rosqueamento em peças de grandes dimensões, onde a mobilidade do cabeçote ao longo do trilho permite maior mobilidade e versatilidade do braço radial, o que facilita o posicionamento da ferramenta sem a necessidade de movimentar a peça de trabalho.

Com base no relatório técnico de Análise de Risco (35847.001-RA. PP, 2025), as especificações técnicas do equipamento são apresentadas na Tabela 6.

Tabela 6 – Especificações Técnicas da Furadeira Radial

PARÂMETRO TÉCNICO	DESCRIÇÃO / VALOR
Modelo	FRDH
Ano de Fabricação	2024
Capacidade	2000x63mm
Curso do Cabeçote	1250 mm
Potência do Motor Principal	4,0 kW
Peso Total do Equipamento	2.450 kg
Tensão de Operação	440V / 60Hz

Fonte: SERCOS (2025)

A Figura 11 contém a Furadeira Radial após sua chegada do fornecedor, com a máquina ainda não adequada.

Figura 11 – Furadeira Radial não adequada

Vista frontal



Vista lateral direita



Vista traseira



Vista lateral esquerda



Fonte: SERCOS (2025)

4.2. Procedimentos de Coleta de Dados e Diagnóstico

A coleta de dados foi estruturada em três etapas principais, visando um diagnóstico preciso das condições de segurança do equipamento antes de qualquer intervenção.

4.2.1. Inspeção de Campo e Lista de verificação de segurança

Esta seção apresenta a lista de itens verificados em vistoria técnica utilizando como base os requisitos da NR-12. Foram verificados itens como painel elétrico e interligações elétricas de comando e potência, aterramento, sinalizações, presença ou não de dispositivos de intertravamento, sinalizações de segurança e outros itens pertinentes à segurança na operação. A Tabela 7 abaixo exibe o resultado do Checklist de Segurança.

Tabela 7 – Lista de verificação de Segurança

ITEM	DESCRIÇÃO	CONFORME	NÃO CONFORME	PARCIAL
1	Os comandos do quadro elétrico estão sinalizados/identificados.		X	
2	Os comandos de operação estão alimentados em extrabaixa tensão.	X		
3	Os componentes e circuitos internos do quadro elétrico possuem sinalização de identificação.		X	
4	Existe projeto e laudo de aterramento da máquina que comprovam sua eficiência.		X	
5	Aterramento do invólucro, porta do quadro elétrico e cabos internos.		X	
6	A chave geral da máquina dispõe de sistema para bloqueio mecânico.	X		
7	O quadro elétrico possui porta permanentemente fechada.	X		
8	O quadro elétrico possui as devidas sinalizações de risco.		X	
9	A máquina possui número suficiente de dispositivos de parada de emergência.	X		
10	O dispositivo de parada de emergência possui dois blocos de contatos redundantes.	X		
11	O dispositivo de parada de emergência possui correta sinalização de identificação.		X	
12	O dispositivo de parada de emergência está em local visível e de fácil acesso.	X		
13	Os dispositivos de segurança existentes na máquina estão identificados.			X
14	Os dispositivos de segurança existentes possuem rearme ou reset para a repartida da máquina.			X
15	As proteções fixas abrangem totalmente a área de risco.	X		

ITEM	DESCRIÇÃO	CONFORME	NÃO CONFORME	PARCIAL
16	As proteções móveis abrangem totalmente a área de risco.		X	
17	As proteções móveis possuem dispositivos de monitoração do acesso.		X	
18	A máquina possui manual de instruções em língua portuguesa.		X	

Fonte: SERCOS (2025)

Conforme observado, onze dos dezoito pontos principais de segurança estão não conformes ou parcialmente conformes, evidenciando o estado inseguro em que comumente esse tipo de máquina é vendido ao setor industrial.

4.3. Análise de Riscos

A análise de riscos é o passo seguinte à lista de verificação de segurança, mapeando os pontos de esmagamento, aprisionamento e projeção de materiais, com foco especialmente nos movimentos do mandril, braço radial e perigos elétricos, como choque elétrico no painel e similares.

Para cada perigo identificado, aplicou-se o método HRN (*Hazard Rating Number*), utilizando as tabelas de Steel (1990) para quantificar a severidade e a probabilidade de acidentes.

4.3.1. Cálculo de HRN aplicado

Para familiaridade com o método e enriquecimento dos conhecimentos abordados neste trabalho, apresentar-se-á uma análise e cálculo de HRN com maior detalhe, os demais riscos seguirão de forma resumida na sequência. Os resultados estão compilados na Tabela 8.

O risco identificado se refere à possibilidade de acesso à ferramenta e partes móveis do mandril com a máquina ainda em operação.

A operação da Furadeira Radial expõe o operador da máquina a riscos mecânicos associados ao mandril e à ferramenta em rotação, caracterizando o risco denominado “Acesso à ferramenta e partes móveis do mandril”. Durante a inspeção de campo, verificou-se que a máquina possuía proteção mecânica frontal; contudo, esta proteção, além de frágil, se comparada ao porte das peças e dimensão dos possíveis impactos balísticos por projeção de materiais, também não impedia, de forma efetiva, o acesso à zona perigosa, tampouco possuía intertravamento de segurança, como expõe a figura do diagrama abaixo, permitindo a operação da máquina mesmo com possibilidade de contato direto às partes móveis.

O perigo identificado está relacionado a elementos rotativos, com potencial de causar cortes, enroscamento e amputações de membros superiores durante a operação normal da máquina, na qual o operador permanece frequentemente próximo à região do mandril. Observa-se, na Figura 12 a proteção mecânica não monitorada.

Figura 12 – Proteção do mandril não monitorada vinda do fabricante



Fonte: SERCOS (2025)

A quantificação do risco foi realizada por meio do método *Hazard Rating Number* (HRN), considerando os seguintes parâmetros:

- Probabilidade de ocorrência ($LO = 5$ – Alguma chance): ausência de intertravamento e proximidade constante do operador;
- Frequência de exposição ($FE = 4$ – Em termos de horas): exposição frequente durante a operação;
- Grau de severidade ($DPH = 8$ – Amputação de perna, mão, perda parcial de audição ou visão): possibilidade de lesões graves e irreversíveis;
- Número de pessoas expostas ($NP = 1$ – 1 a 2 pessoas): operação realizada por um único operador.

Aplicando o cálculo de HRN através da Equação 1:

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP \Rightarrow$$

$$\Rightarrow HRN = 5 \times 4 \times 6 \times 1 \Rightarrow$$

$$\Rightarrow HRN = 120$$

O valor obtido classifica o risco como um risco muito alto, consoante Tabela 1, o que indica necessidade imediata de adoção de medidas de engenharia para redução do risco.

Apresenta-se abaixo os demais riscos calculados de forma resumida.

- Projeção de cavacos

$$LO = 5; FE = 4; DPH = 4; NP = 1.$$

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP = 5 \times 4 \times 4 \times 1 = 80$$

- Esmagamento durante movimentação do braço radial

$$LO = 2; FE = 4; DPH = 4; NP = 1.$$

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP = 2 \times 4 \times 4 \times 1 = 32$$

- Painel Elétrico

$$LO = 5; FE = 1,5; DPH = 8; NP = 1.$$

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP = 5 \times 1,5 \times 8 \times 1 = 60$$

- Manutenção e Procedimento LOTO(*Lock Out and Tag Out*)

$$LO = 5; FE = 1; DPH = 6; NP = 1.$$

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP = 5 \times 1 \times 6 \times 1 = 30$$

- Chicoteamento das mangueiras hidráulicas

$$LO = 2; FE = 5; DPH = 6; NP = 1.$$

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP = 2 \times 5 \times 6 \times 1 = 60$$

A Tabela 8 resume os riscos e seus respectivos valores de HRN iniciais (HRN_i), ou seja, antes da adequação, bem como a categoria de segurança a ser atingida, consoante ISO 14153 e *Performance Level* PL_r, consoante ISO 13849-1.

Tabela 8 – Valores de HRN calculados para a Furadeira Radial, Categoria de Segurança e PL_r

Nº	TÍTULO DO RISCO	HRN _i	CATEGORIA	PL _r
1	Projeção de cavacos	80	3	d
1	Acesso à ferramenta e partes móveis do mandril	120	3	d
3	Impacto devido ao movimento horizontal do cabeçote	0,6	*	*
4	Esmagamento durante movimentação do braço radial	32	3	d
5	Acesso ao sistema de transmissão dos motores	0,297	*	*
6	Botão de Emergência	*	*	*
7	Painel Elétrico	60	*	*
8	Manutenção e Procedimento LOTO	30	*	*
9	Dispositivo de comando	*	*	*
10	Interface Lógica de Segurança	*	*	*
11	Intertravamento de Segurança	*	*	*
12	Duplo Contator	*	*	*
13	Sinalização	*	*	*
14	Manuais e diagramas	*	*	*
15	Equipamento de Proteção Individual	*	*	*
16	Treinamento e Capacitação	*	*	*
17	Chicoteamento das mangueiras hidráulicas	60	*	*

Fonte: SERCOS (2025)

A análise da tabela evidencia que, dos 17 risco identificados no equipamento, 8 apresentaram condições técnicas para aplicação da metodologia de cálculo do HRN. Dentre esses, destaca-se 1 risco classificado como muito alto, 3 como riscos altos e 2 como significativo. Tais valores demonstram que parcela relevante dos perigos identificados necessitam, conforme Tabela 5, de ações para reduzir ou eliminar os riscos.

Portanto, a Tabela 8 não apenas quantifica os riscos existentes, mas também evidencia, de forma objetiva, a criticidade da condição insegura inicial do equipamento recebido.

É importante ressaltar também que, por mais que seja um método muito utilizado pela engenharia de segurança, o método de cálculo de HRN não é absoluto e não consegue ser aplicado a todos os casos. Tal fato pode ser observado na Tabela 8 pelos diversos preenchimentos com asteriscos, indicando que, para aquele risco, não se pôde calcular um HRN.

Isso ocorre porque há casos em que mais de um valor para o mesmo fator pode ser aplicado, ou seja, seria possível determinar valores de HRN distintos para o mesmo risco. Para ficar mais compreensível, toma-se o exemplo do risco nº6, “Botão de emergência” que carrega em si todos os possíveis valores de DPH dos demais riscos, pois, caso não haja o correto acionamento do botão de emergência, qualquer um dos danos dos outros riscos poderiam ser associados ao valor de DPH, resultando em diferentes valores de HRN para o risco “Botão de emergência”. Nesses casos, recorre-se a uma análise qualitativa do risco que, sendo um foco da engenharia de segurança, não será um tema abordado em maiores detalhes.

4.4. Soluções de engenharia

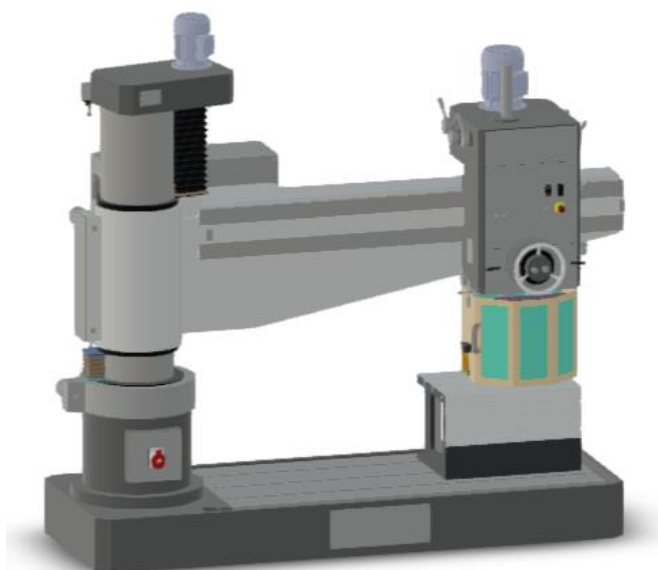
Esta seção tem o objetivo de explorar as soluções de engenharia, sobretudo da engenharia elétrica, no processo de adequação. Os riscos cuja solução não é majoritariamente desenvolvida e executada pela engenharia elétrica serão apresentados de forma mais breve, porém respeitando a sua importância para adequação da máquina em questão. Serão apresentados apenas os riscos com necessidade de intervenção, aqueles classificados como aceitáveis ou muito baixos não serão abordados.

4.4.1. Projeção de cavacos

O risco de projeção de cavacos ocorre durante a operação de furação, podendo lançar desde pequenos cavacos como também fragmentos de material de forma balística a partir da zona de corte. A solução implementada consiste na instalação de uma proteção balística, associada a um sistema de intertravamento elétrico, que impede o funcionamento da Furadeira Radial quando a proteção não se encontra corretamente posicionada.

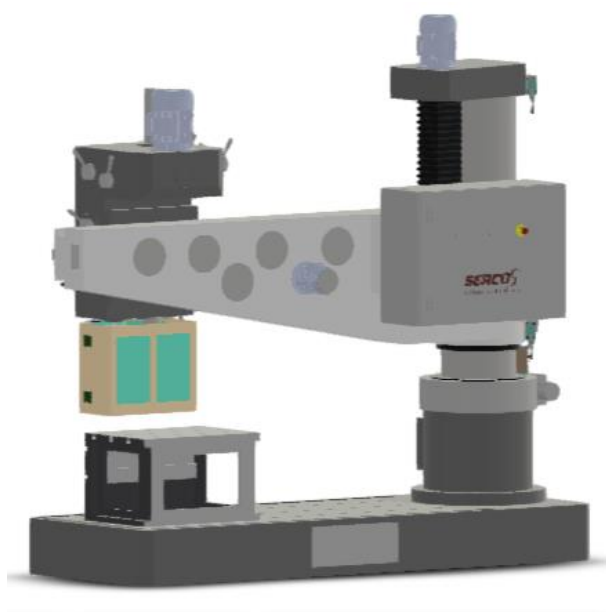
As Figura 13 e Figura 14 mostram o projeto 3D geral da máquina, já com a proteção mecânica e o painel elétrico sugeridos pela equipe de engenharia, a Figura 15 mostra a proteção mecânica em foco.

Figura 13 – Projeto 3D inicial, vista frontal da Furadeira Radial



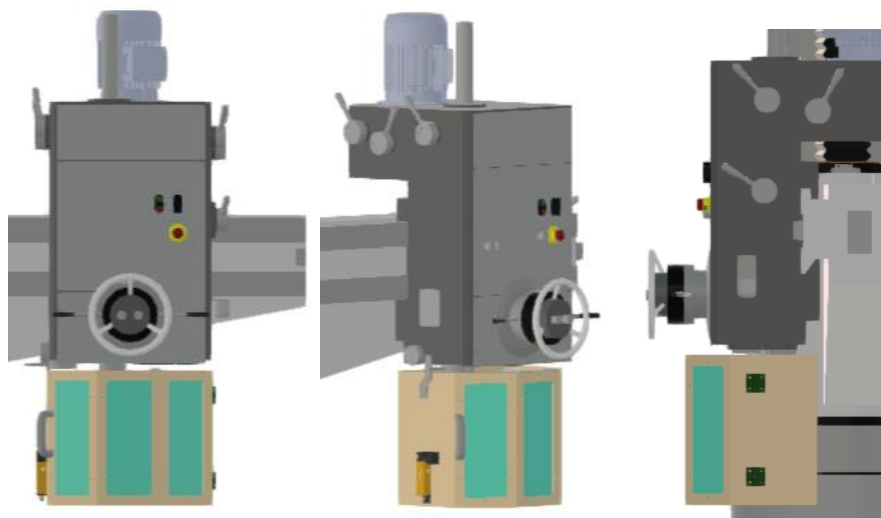
Fonte: SERCOS (2025)

Figura 14 – Projeto 3D inicial, vista traseira da Furadeira Radial



Fonte: SERCOS (2025)

Figura 15 – Projeto 3D da proteção mecânica do mandril



Fonte: SERCOS (2025)

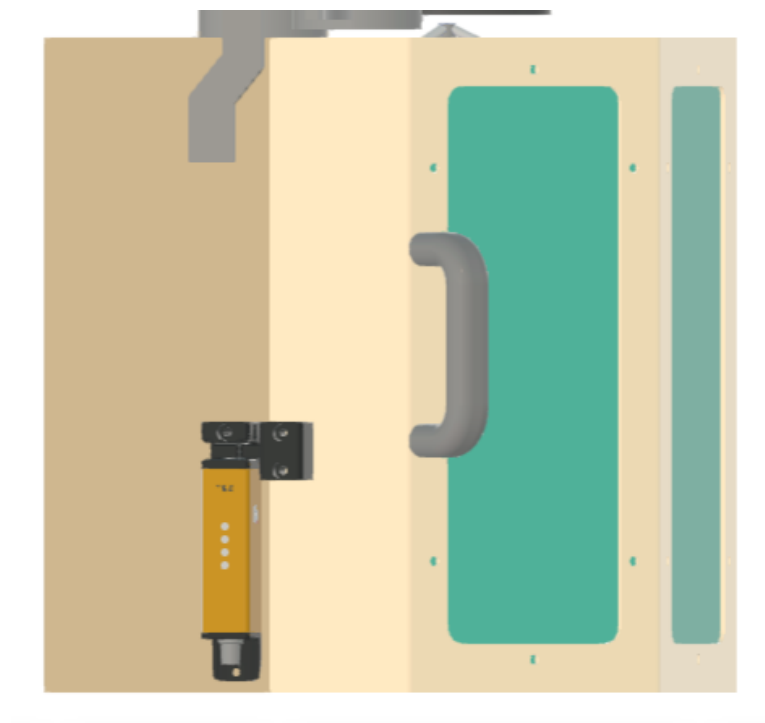
4.4.2. Acesso à ferramenta e partes móveis do mandril

De maneira análoga à função da proteção contra projeção de cavacos, é igualmente necessário inibir o acesso ao mandril com a máquina em operação. A chave de segurança implementada realiza o intertravamento, garantindo que o circuito de potência permaneça sem energia quando a proteção não está adequadamente fechada e essa mesma chave, quando fechada, só permite abertura após o tempo máximo de parada do mandril, garantindo que o acesso ocorra apenas quando não há mais movimentos rotativos do mandril.

A chave funciona reconhecendo seu atuador na posição correta, indicando que a proteção está devidamente posicionada e que a máquina pode, do ponto de análise dessa proteção, iniciar movimentos no mandril. A chave emite um sinal recebido pelo CLP de segurança e este, por sua vez, após o acionamento do botão de Rearme ou *Reset*, permite que os contadores de segurança sejam fechados através dos comandos de operação. A chave possui tecnologia RFID, o que garante que nenhum outro objeto pode ser utilizado como atuador, evitando a possibilidade de burla do equipamento.

A Figura 16 mostra em foco o projeto 3D da chave de segurança para intertravamento, fixada à proteção mecânica do mandril.

Figura 16 – Projeto 3D de chave de segurança fixada na proteção mecânica do mandril

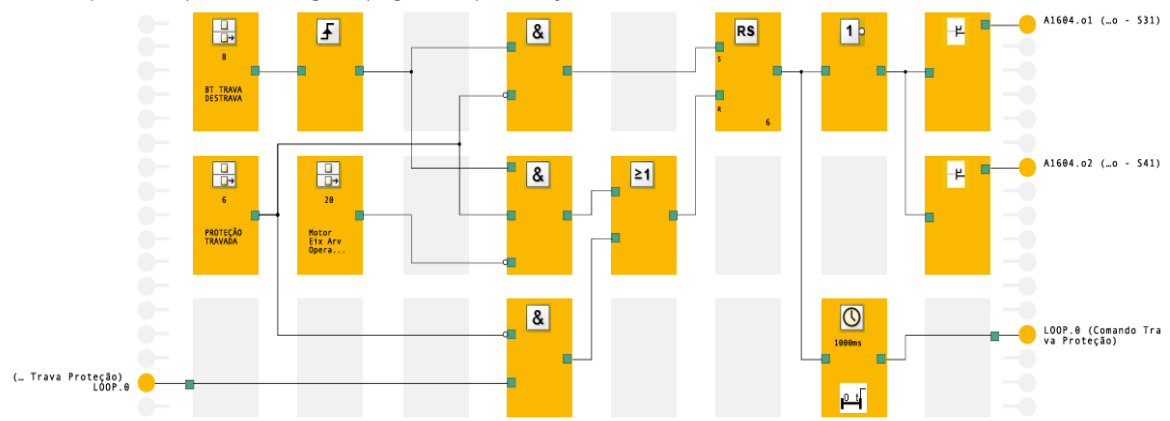


Fonte: SERCOS (2025)

Essa lógica de intertravamento é implementada por meio de programação em blocos, como na Figura 17 e salva como um programa na memória do CLP de segurança.

Figura 17 – Programação em blocos para intertravamento da proteção mecânica do mandril

PNOZmulti Report Workspace: Main Program (Page 5 of 14) PROTEÇÃO



Fonte: SERCOS (2025)

Na Figura 17, é possível notar que a entrada “PROTEÇÃO TRAVADA” é um sinal de entrada no sistema e que está, via entrada conjunta do sinal de entrada do motor principal que alimenta o mandril, em porta lógica tipo “E” ou “AND” e que, ao final da lógica, garante que a porta se mantenha travada enquanto o motor está em funcionamento.

4.4.3. Esmagamento durante movimentação do braço radial

Para evitar o esmagamento de membros dos operadores no limite inferior do movimento vertical, a solução proposta consiste em um sensor de fim de curso integrado ao circuito de potência, interrompendo a alimentação ao atingir o limite seguro. Adicionalmente, uma proteção sanfonada foi implementada para proteger contra riscos menores durante a movimentação entre os limites extremos.

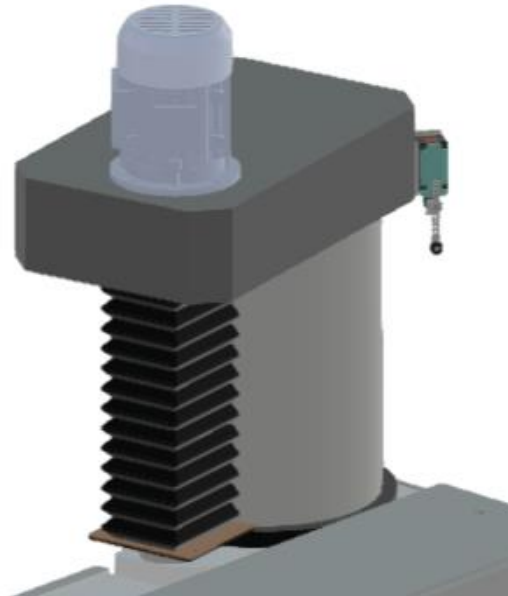
A Figura 18 mostra via projeto 3D o posicionamento do sensor fim de curso e da proteção sanfonada para prevenção de esmagamento no limite inferior do movimento vertical, já a Figura 19 mostra os mesmos dispositivos, mas referente à proteção para limite superior do movimento.

Figura 18 – Projeto 3D de sensor fim de curso e proteção sanfonada para limitar movimento vertical em seu limite inferior



Fonte: SERCOS (2025)

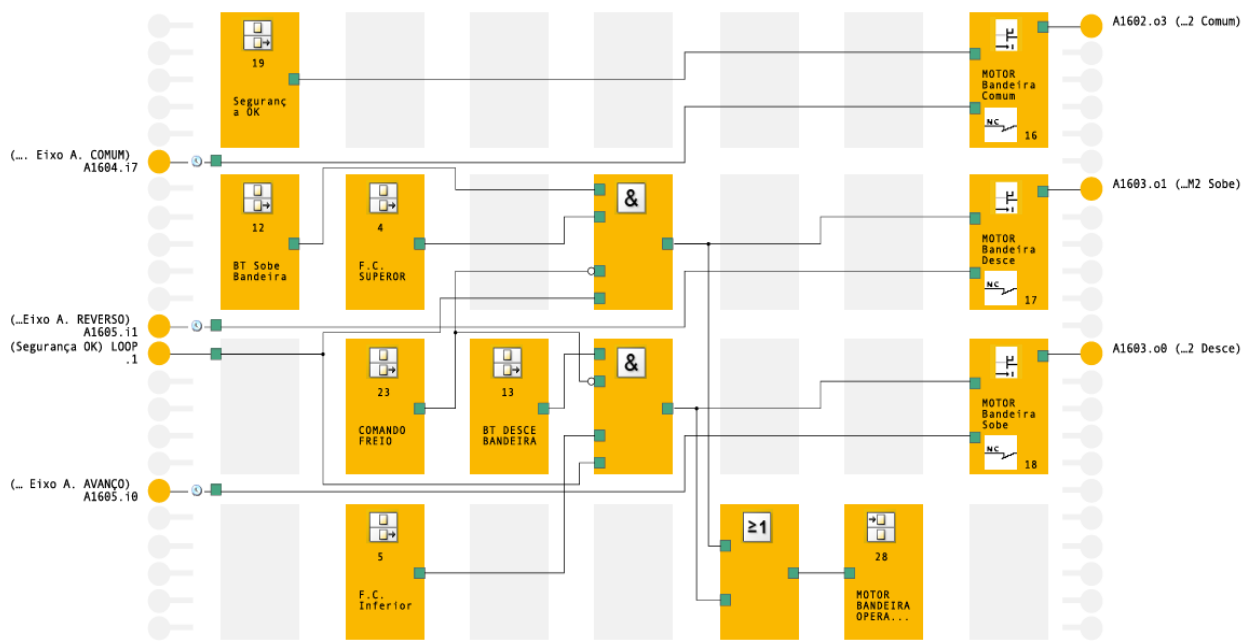
Figura 19 – Projeto 3D de sensor fim de curso e proteção sanfonada para limitar movimento vertical em seu limite superior



Fonte: SERCOS (2025)

Para melhor expor o funcionamento dos sensores fim de curso, exibe-se abaixo a programação em blocos na Figura 20.

Figura 20 – Programação em blocos de intertravamento dos sensores fim de curso



Fonte: SERCOS (2025)

Na lógica do diagrama de blocos, a entrada de sinal “F.C. SUPERIOR” refere-se ao sinal de status do fim de curso do limite de movimento superior e o sinal de entrada “F.C. Inferior” ao limite ao fim de curso do limite de movimento inferior, o sinal “Segurança OK” se torna um condicional nessa lógica, pois impede que qualquer movimento seja realizado caso um dispositivo de emergência, como botão de emergência, esteja acionado, conforme entrada dos sinais de botão de emergência do painel elétrico e painel frontal em porta lógica “E” ou “AND”, mostrado na Figura 24. O sinal “BT Sobe Bandeira” refere-se ao acionamento via botão no painel de comando para realizar o movimento de subida da bandeira.

Para acionar, por exemplo, o motor da bandeira para realizar o movimento de subida, os sinais “BT Sobe Bandeira”, “F.C. SUPERIOR” e o *status* “Segurança OK” devem estar em nível lógico alto e o sinal “COMANDO FREIO” em zero.

4.4.4. Botão de Emergência

O botão de emergência originalmente implementado possuía botão acionador vermelho e retentivo, porém não atendia às normas, pois carecia de fundo amarelo e não possuía contatos de ruptura positiva. A solução projetada foi a substituição por um botão de emergência conforme norma. Destaca -se que o modelo escolhido de botão de emergência possui iluminação indicativa de acionamento, o que facilita ao operador identificar qual acionamento gerou a parada da máquina. O botão especificado na solução está exibido na Figura 21, na qual se pode observar o dispositivo em seus dois estados, sendo eles acionados com luzes *LED* acesas, e não acionado, com luzes *LED* desligadas.

Figura 21 – Botão de emergência com indicação de acionamento por *LED*



Fonte: PILZ (2026)

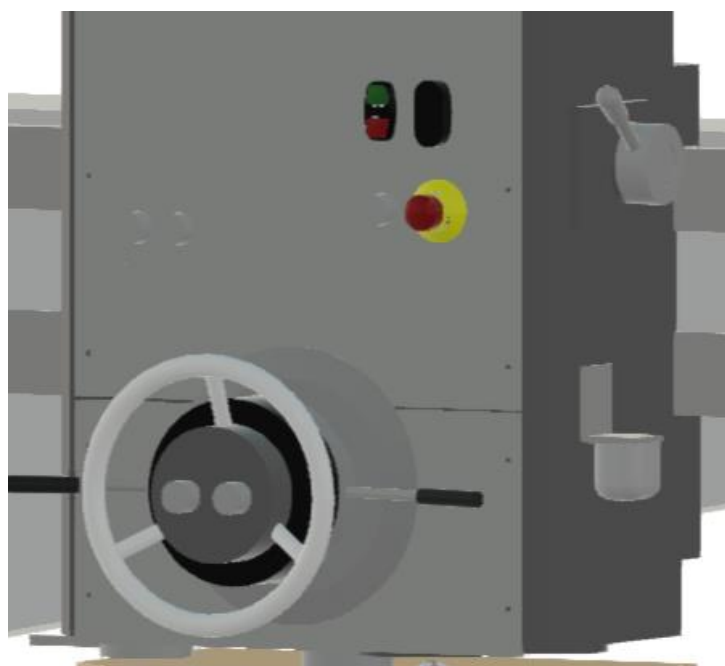
Nesta adequação, serão dois botões de emergência, um no painel elétrico e outro na parte frontal, no painel de comandos da máquina. A Figura 22 e Figura 23 exibem esses botões no projeto 3D.

Figura 22 – Projeto 3D do painel elétrico com indicação do local para botão de emergência



Fonte: SERCOS (2025)

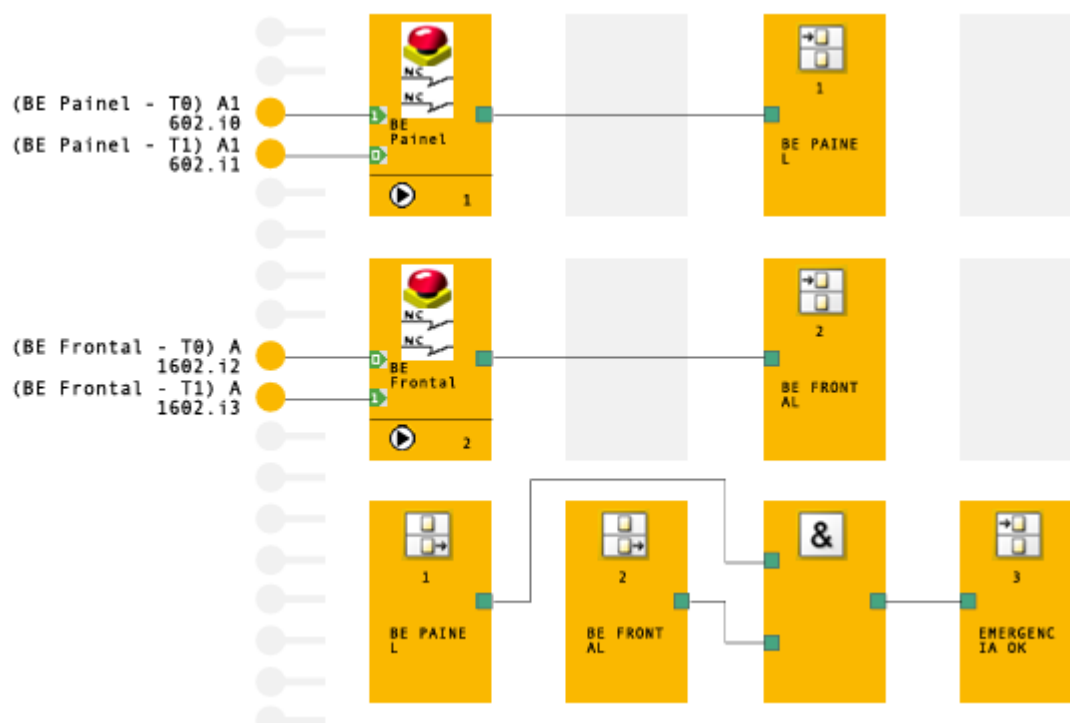
Figura 23 – Projeto 3D do painel frontal de comando com indicação do local para botão de emergência



Fonte: SERCOS (2025)

A inserção dos botões de emergência na lógica de programação pode ser vista na Figura 24

Figura 24 – Programação em blocos para botões de emergência



Fonte: SERCOS (2025)

Na lógica, os botões de emergência são “BE Painel” para o botão localizado no painel elétrico e “BE Frontal” para o que se localiza no painel frontal da máquina. Nota-se que ambos os sinais são levados a uma porta lógica “E” que resultam num sinal de entrada denominado de “EMERGENCIA OK”, esse sinal é necessário estar em “1” para permitir qualquer acionamento de motores do equipamento.

4.4.5. Painel Elétrico

O painel elétrico, embora com sinalização de choque elétrico e acesso restrito por ferramenta, apresentava ausência de sinalização de acesso autorizado, falta de aterramento na porta e componentes não identificados. A solução proposta consiste em fixar a sinalização de acesso autorizado, identificar todos os componentes internos e instalar o aterramento na porta, além de proteger as partes vivas expostas. Aterramento especificado por meio de cordoalha de aterramento, atendendo a exigências da NBR 5410 e NR-10.

Exemplo de cordoalha de aterramento pode ser visto na Figura 25 e modelo de sinalização de segurança na Figura 26.

Figura 25 – Cordoalha de aterramento



Fonte: SERCOS (2025)

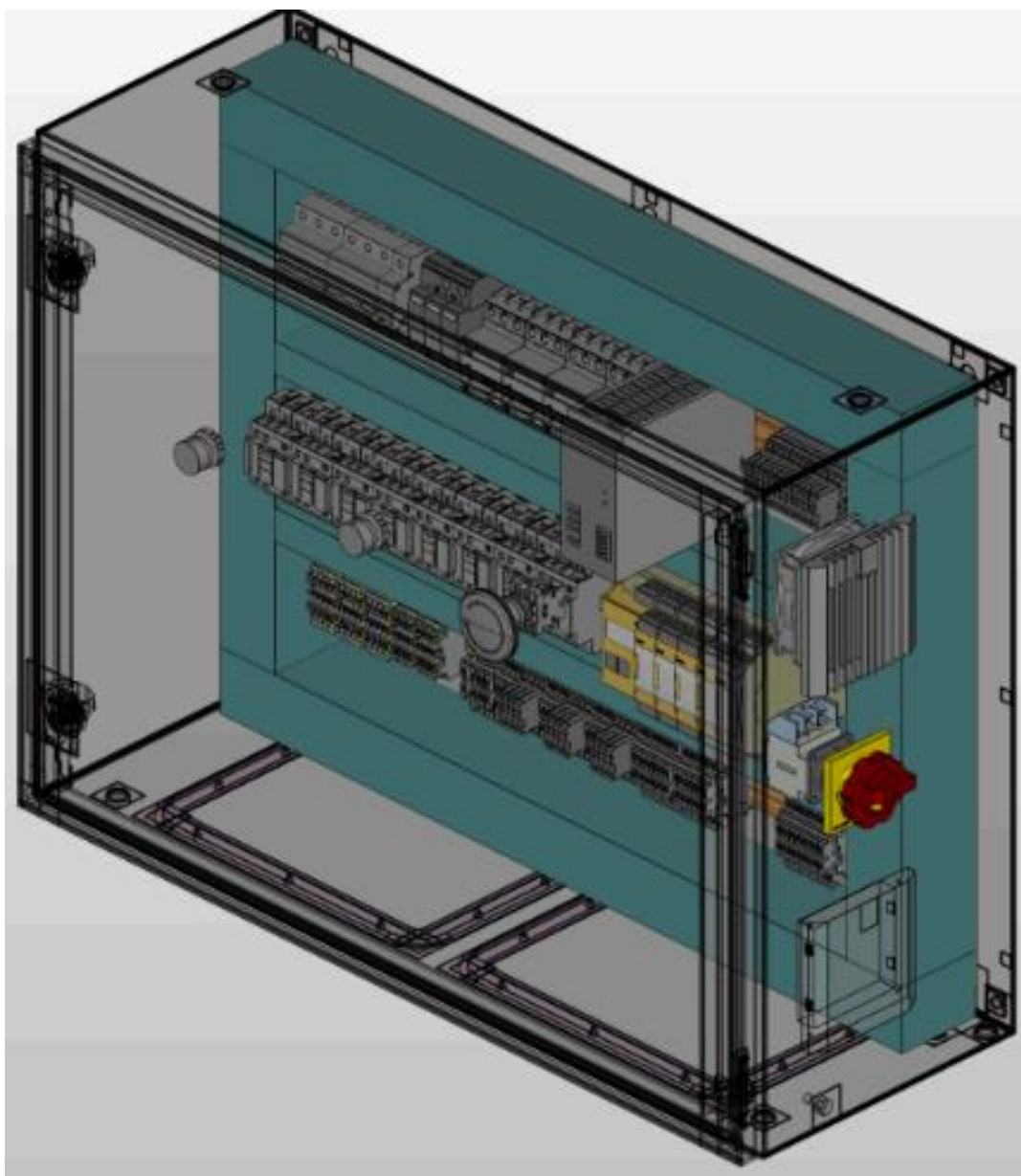
Figura 26 – Placa de aviso de perigo para painel elétrico



Fonte: SERCOS (2025)

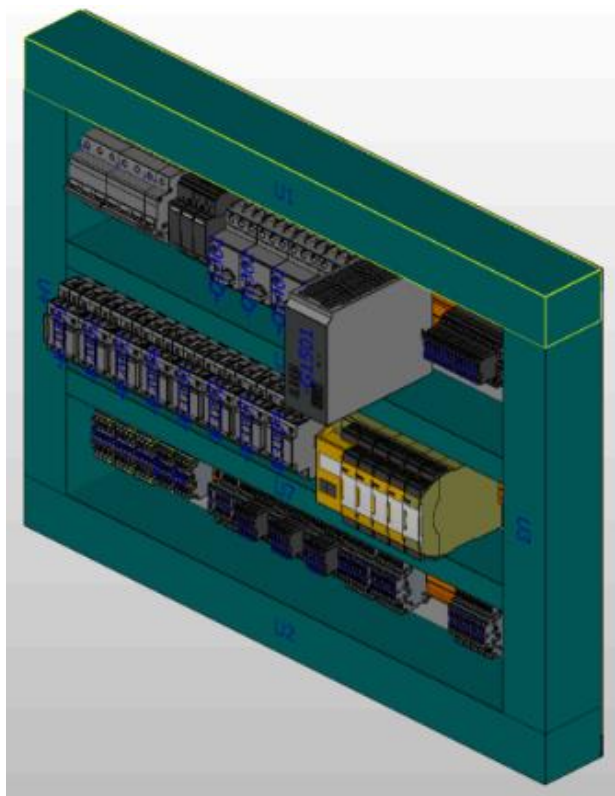
Com relação ao painel elétrico, além dos componentes não identificados, não foi possível rastrear a certificação dos equipamentos encontrados nos circuitos de comando e potência, tornando seus componentes impróprios para utilização, sendo considerada então a elaboração e implementação de um novo painel. O projeto 3D do novo painel pode ser visto nas Figura 27, Figura 28 e Figura 29.

Figura 27 – Projeto 3D do painel adequado, vista geral.



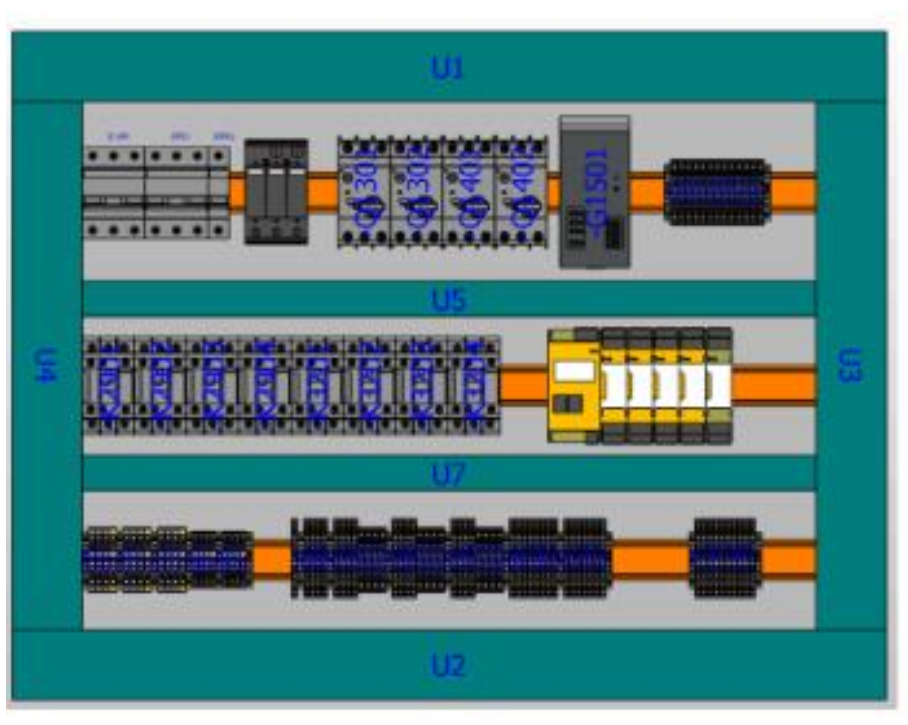
Fonte: SERCOS (2025)

Figura 28 – Projeto 3D do painel adequado, vista interna com canaletas.



Fonte: SERCOS (2025)

Figura 29 – Projeto 3D do painel adequado, vista interna frontal com canaletas.



Fonte: SERCOS (2025)

4.4.6. Manutenção e Procedimento LOTO

O risco identificado foi a inexistência de um procedimento LOTO (*Lock Out Tag Out*) para bloqueio formal da energia elétrica durante a manutenção. A solução proposta é a elaboração de um procedimento LOTO, prevendo bloqueio com múltiplos cadeados, com inclusão no Manual de Instruções e Segurança, garantindo que a reenergização só ocorra após a remoção de todos os bloqueios.

4.4.7. Dispositivo de comando

Os dispositivos de comandos estão ligados em extrabaixa tensão conforme diagrama elétrico disponibilizado, porém botão de rearme não possui identificação da função e está na cor incorreta, consoante NBR 7195. Para adequação, a solução foi providenciar identificação para o botão de rearme ou *reset* com identificação clara e de fácil visualização, substituindo o botão de rearme, atualmente na cor preta, por um botão azul, em conformidade com a NBR IEC 60204-1.

Figura 30 – Botão de rearme “Reset” azul com identificação



Fonte: SERCOS (2025)

4.4.8. Interface Lógica de Segurança e Intertravamento de Segurança

A máquina possui um relé de segurança para monitoramento das funções de segurança, porém o botão de emergência está ligado em série com a chave de segurança.

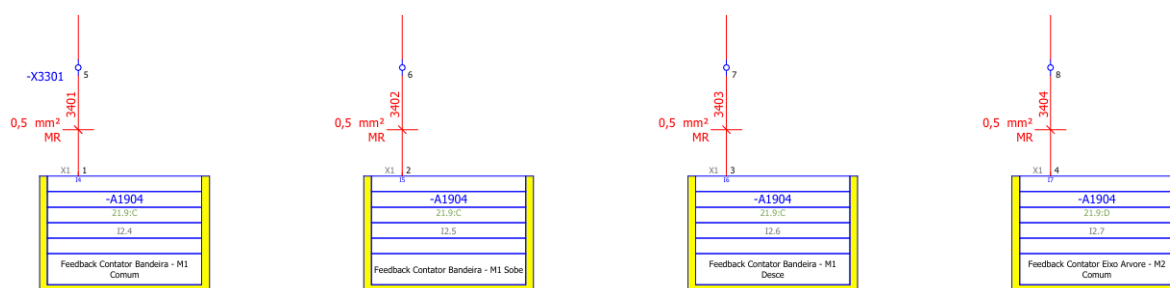
Em sistemas de comando relacionados à segurança, conforme a NBR ISO 13849-1 e a NR-12, cada função de segurança deve ser independente, monitorável e diagnosticável.

Colocar a chave de segurança (intertravamento da proteção) em série com o botão de parada de emergência viola esse princípio, pois ao concentrar duas funções de segurança distintas em um único circuito de entrada, inibe-se a capacidade de diagnóstico e dificulta a validação

individual das funções de cada acionamento de parada. A solução baseou-se na arquitetura recomendada para malhas de segurança, conforme indicado na Figura 3, que consiste na separação das malhas de parada por botão de emergência e intertravamento em entradas dedicadas no relé e CLP de segurança, no qual a lógica de parada é combinada com monitoramento, garantindo rastreabilidade da causa de atuação e compatibilidade com os requisitos de categoria e PL.

No diagrama elétrico, essa informação de monitoramento é comumente chamada de *feedback*. A Figura 31 mostra o sinal digital gerado pela conexão elétrica dos contatores.

Figura 31 – Sinal de *feedback* dos contatores dos motores principal do eixo árvore e do mandril



Fonte: SERCOS (2025)

4.4.9. Duplo Contator

A ausência de contadores em redundância para o corte da alimentação dos motores compromete a função de remoção segura de energia, podendo permitir a permanência de movimento em caso de falha simples, como soldagem de contatos.

A solução foi a instalação de contadores de segurança em redundância, atendendo à arquitetura de Categoria 3, conforme NBR 14153 e ISO 13849-1. A redundância assegura que uma falha simples não resulte na perda da função de segurança, enquanto o monitoramento dos contatos auxiliares mecanicamente ligados permite a detecção de inconsistências e bloqueio da reenergização. Dessa forma, garante-se a interrupção confiável da energia dos motores em conformidade com os requisitos da NR-12.

4.4.10. Sinalização

A máquina possui sinalização para alertar operadores e terceiros sobre os perigos elétricos existentes. Porém não há sinalização suficiente para alertar sobre os perigos mecânicos existentes e restrição de acesso no painel elétrico. A solução foi instalar, na máquina, as sinalizações em

sua totalidade, de preferência próximas às respectivas zonas de risco. A Figura 32 mostra exemplos de sinalizações a serem fixadas na máquina.

Figura 32 – Sinalizações de segurança



Fonte: SERCOS (2025)

4.4.11. Manuais e diagramas

Conforme a NR-12, itens 12.13.1 e 12.13.5, as máquinas devem possuir manual de instruções contendo informações relativas à segurança em todas as fases de utilização. A insuficiência dessas informações, especialmente quanto aos diagramas elétricos, compromete intervenções seguras, podendo expor trabalhadores a riscos elétricos e a falhas na manutenção do sistema de comando. A solução proposta consiste na adequação do manual, garantindo conformidade normativa, com inclusão de diagramas elétricos atualizados, identificação clara dos componentes, descrição das funções de segurança e orientações técnicas para operação e manutenção, assegurando sua disponibilidade no local de trabalho.

4.4.12. Treinamento e Capacitação

Conforme os itens 12.16.1 e 12.16.2 da NR-12, a operação, manutenção, inspeção e demais intervenções em máquinas devem ser realizadas por trabalhadores capacitados e autorizados pelo empregador. A ausência de treinamento adequado pode expor operadores e mantenedores a riscos decorrentes de procedimentos incorretos. A proposta de adequação estabelece que a empresa contratada realizará o treinamento técnico inicial relacionado à operação segura da máquina e às funções de segurança implementadas, sendo que todas as orientações e procedimentos constam no Manual de Instruções e Segurança entregue à empresa

contratante. Cabe à empresa contratante assegurar a continuidade da capacitação, autorizar formalmente os trabalhadores e garantir que apenas profissionais devidamente treinados realizem intervenções no equipamento.

4.4.13. Chicoteamento das mangueiras hidráulicas

Conforme a NR-12, itens 12.7.1 e 12.7.2, devem ser adotadas medidas adicionais de proteção em mangueiras, tubulações e demais componentes pressurizados, de modo a prevenir acidentes decorrentes de ruptura, desconexão ou vazamento sob pressão que causem movimentação violenta de componentes pressurizados. No caso identificado, as mangueiras do sistema hidráulico apresentavam esse risco, comumente chamado de “chicoteamento” em caso de falha ou desconexão, podendo causar impacto e lesões aos operadores. A solução proposta consiste na instalação de cabo de aço de segurança para contenção das mangueiras hidráulicas, limitando sua movimentação em situações de ruptura e reduzindo significativamente a probabilidade de ocorrência do evento. A Figura 33 exemplifica instalação de um cabo de aço para contenção de mangueiras.

Figura 33 – Cabo de aço para contenção de mangueiras.



Fonte: VINILON (2026)

A partir das soluções apresentadas, é possível determinar qual área da engenharia apresenta papel majoritário na medida de adequação proposta. Esses dados estão apresentados na Tabela 9.

Tabela 9 – Engenharia protagonista a adequação dos riscos

Nº	TÍTULO DO RISCO	ENGENHARIA
1	Projeção de cavacos	Mecânica e Elétrica
2	Acesso à ferramenta e partes móveis do mandril	Elétrica
3	Impacto devido ao movimento horizontal do cabeçote	Segurança

Nº	TÍTULO DO RISCO	ENGENHARIA
4	Esmagamento durante movimentação do braço radial	Elétrica
5	Acesso ao sistema de transmissão dos motores	Segurança
6	Botão de Emergência	Elétrica
7	Painel Elétrico	Elétrica
8	Manutenção e Procedimento LOTO	Segurança
9	Dispositivo de comando	Elétrica
10	Interface Lógica de Segurança	Elétrica
11	Intertravamento de Segurança	Elétrica
12	Duplo Contator	Elétrica
13	Sinalização	Segurança
14	Manuais e diagramas	Elétrica e Segurança
15	Equipamento de Proteção Individual	Segurança
16	Treinamento e Capacitação	Segurança
17	Chicoteamento das mangueiras hidráulicas	Mecânica

Fonte: Próprio autor

A Tabela apresentada evidencia que, dos 17 riscos identificados, 10 são mitigados principalmente por soluções de engenharia elétrica. Embora a apreciação de riscos seja conduzida sob a ótica da engenharia de segurança, a efetiva redução do risco ocorre, em grande parte, por meio da implementação de sistemas elétricos de segurança, como intertravamentos, paradas de emergência e lógicas de comando seguras.

4.5. Implementação das Soluções de engenharia

Esta seção se dedica a explorar a aplicação prática das soluções propostas para adequação da Furadeira Radial exibidas no tópico anterior, comparando projeto e implementação prática, bem como comentar os resultados de testes pontualmente para cada um. Ao final desta seção encontrar-se-á comparação dos riscos antes e após adequação.

4.5.1. Projeção de cavacos

A Figura 34 exibe a proteção mecânica implementada de aço carbono em chapa de 3mm de espessura e chapa de policarbonato para garantir visibilidade do operador durante uso do equipamento.

Figura 34 – Proteção mecânica do mandril implementada



Fonte: SERCOS (2025)

4.5.2. Acesso à ferramenta e partes móveis do mandril

A Figura 35 mostra a proteção implementada com destaque para a chave de segurança monitorada.

Figura 35 – Chave de segurança de intertravamento da proteção do mandril

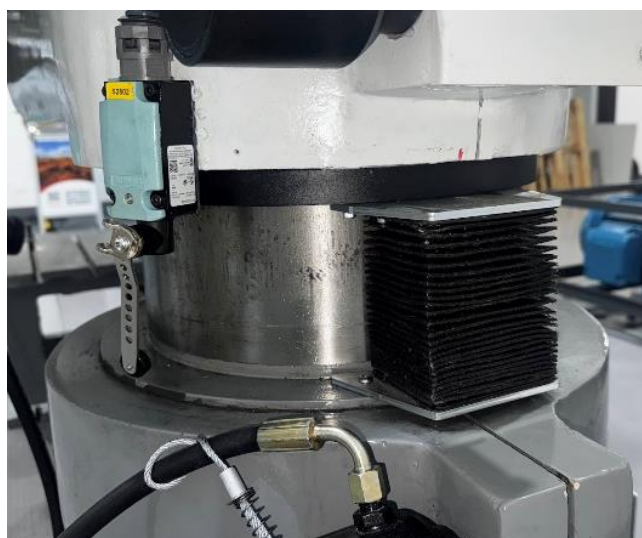


Fonte: SERCOS (2025)

4.5.3. Esmagamento durante movimentação do braço radial

A Figura 36 exibe o sensor fim de curso e proteção sanfonada instalados para evitar esmagamento no limite inferior do movimento vertical, os dispositivos para o limite superior do movimento estão mostrados na Figura 37.

Figura 36 – Sensor fim de curso e proteção sanfonada para limite vertical inferior



Fonte: SERCOS (2025)

Figura 37 – Sensor fim de curso e proteção sanfonada para limite vertical inferior



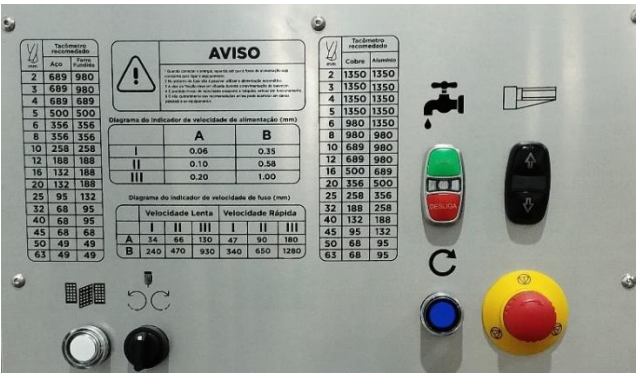
Fonte: SERCOS (2025)

4.5.4. Botão de Emergência

Na Figura 38 é exibido o botão de emergência instalado na parte frontal da máquina no painel principal de comando e na Fonte: SERCOS (2025)

Figura 39 é exibido o botão de emergência instalado no painel.

Figura 38 – Botão de emergência do painel frontal de comando



Fonte: SERCOS (2025)

Figura 39 – Botão de emergência do painel elétrico de comando



Fonte: SERCOS (2025)

4.5.5. Painel Elétrico

As Figura 40 e Figura 41 mostram o novo painel elétrico instalado, com as sinalizações corretas, aterramento na porta e todos os componentes identificados conforme projeto elétrico.

Figura 40 – Parte interna do painel elétrico adequado



Fonte: SERCOS (2025)

Figura 41 – Parte interna da porta do painel adequado



Fonte: SERCOS (2025)

4.5.6. Manutenção e Procedimento LOTO

Para esse risco, foi elaborado por escrito o procedimento LOTO, incluindo identificações visuais dos pontos de bloqueio com fotos, tais informações foram disponibilizadas em Manual de Instruções e Segurança entregue à empresa contratante. Também referente a este risco,

destaca-se que foi ministrado treinamento teórico e prático do procedimento LOTO a todos os operadores e mantenedores do equipamento da planta em que se encontra a máquina.

Cópia do documento de Manual de Instruções e Segurança foi disponibilizada em local acessível e próximo do equipamento em seu local de utilização.

4.5.7. Dispositivo de comando

A Figura 42 exibe o botão de rearme ou “reset” instalado conforme norma NBR IEC 60204-1

Figura 42 – Botão de rearme “Reset” no painel frontal de comando

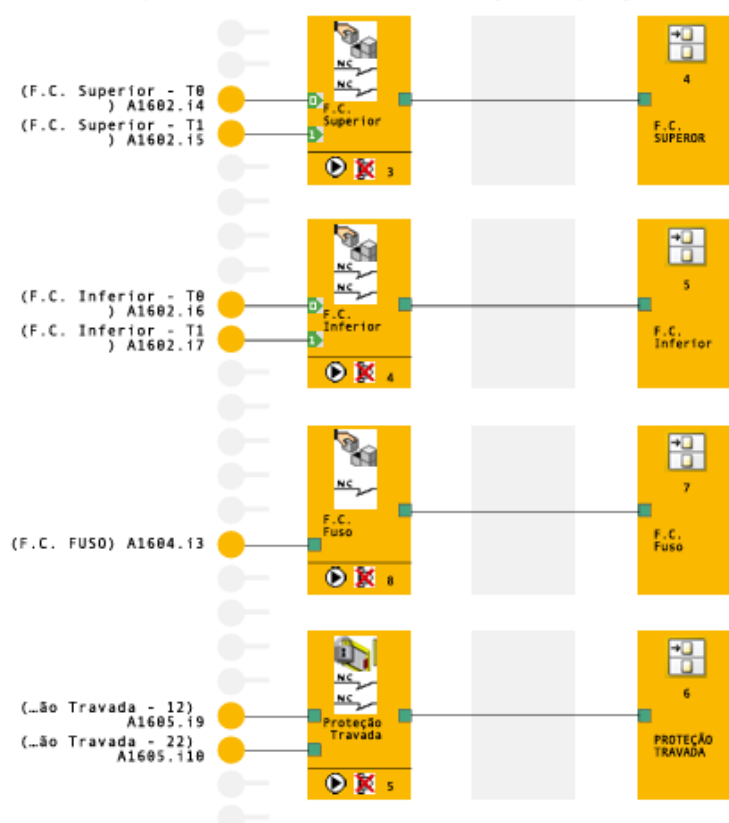


Fonte: SERCOS (2025)

4.5.8. Interface Lógica de Segurança e Intertravamento de Segurança

A Figura 43 exemplifica via *software* de segurança os sinais individualizados de cada sensor fim de curso e chave da proteção mecânica que são levados separadamente ao relé de segurança que, por sua vez, está conectado em canal separado aos canais dos botões de emergência.

Figura 43 – Programação em blocos para intertravamentos da máquina

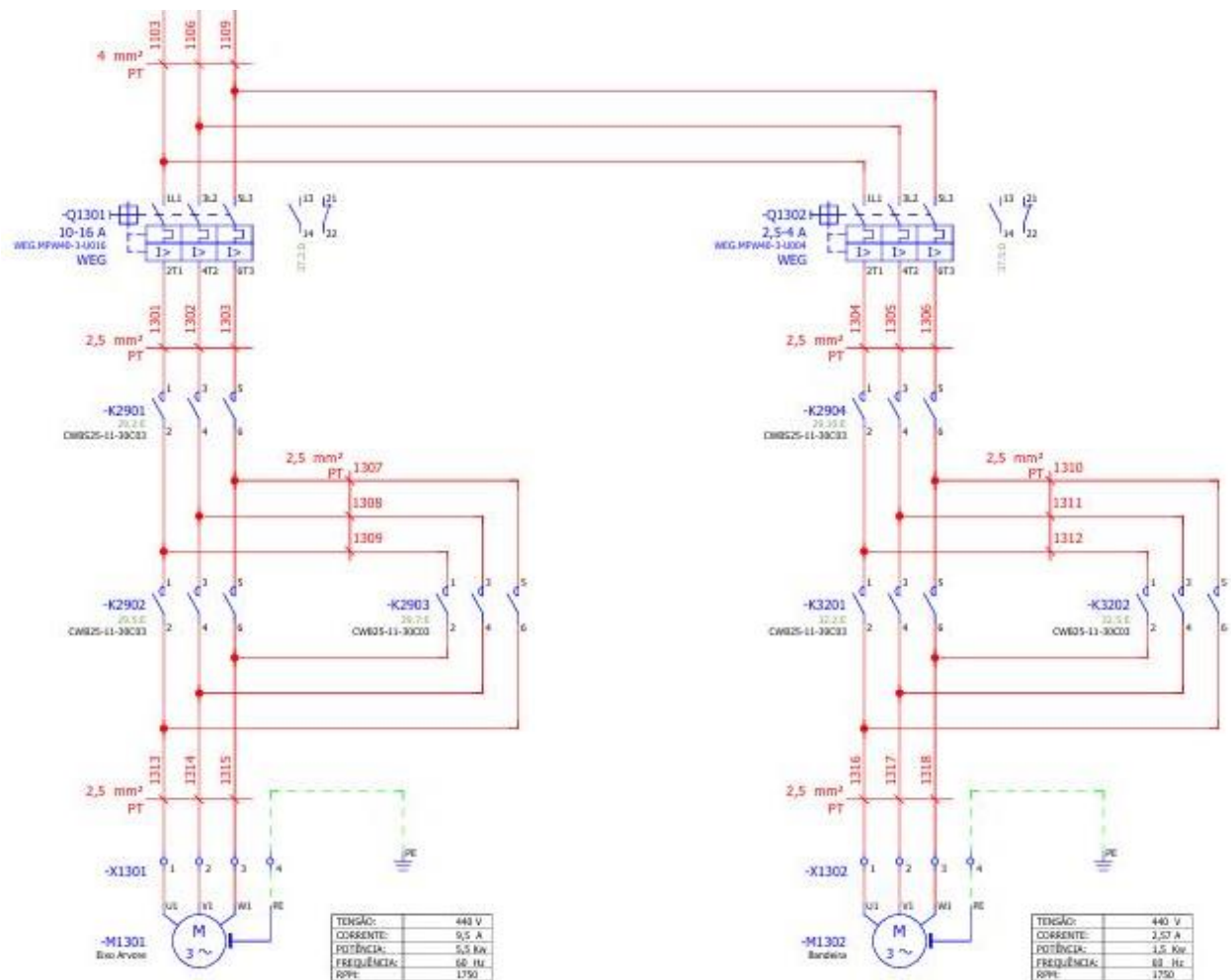


Fonte: SERCOS (2025)

4.5.9. Duplo Contator

A Figura 40 exibe o painel elétrico com todos os componentes, incluindo os dois contatores de segurança, componentes em amarelo, e na Figura 44 está o diagrama elétrico com os contatores K2901 e K2902 para o motor principal do mandril, chamado de “Eixo Árvore” e os contatores K2904 e K3201 para o motor de movimentação vertical da bandeira, chamado de “Bandeira”, todos em série par a par conforme Figura 3 e Figura 4.

Figura 44 – Diagrama elétrico da Furadeira Radial com duplo contator



Fonte: SERCOS (2025)

4.5.10. Sinalização

As Figuras 45 e 46 exibem as sinalizações dos perigos instaladas na máquina, todas próximas aos respectivos perigos.

Figura 45 – Sinalizações de segurança no painel frontal de comando



Fonte: SERCOS (2025)

Figura 46 – Sinalização de segurança do painel elétrico de comando



Fonte: SERCOS (2025)

Outras sinalizações, como alerta de local próximo à fonte de tensão também foram instalados. Como mostram as Figura 47, Figura 48 e Figura 49

Figura 47 – Sinalização de alerta de local com tensão elétrica no ponto principal de alimentação da Furadeira Radial



Fonte: SERCOS (2025)

Figura 48 – Sinalização de alerta de local com tensão elétrica no motor principal



Fonte: SERCOS (2025)

Figura 49 – Sinalização de perigo de choque elétrico próximo à proteção do mandril



Fonte: SERCOS (2025)

4.5.11. Manuais e diagramas

Foi elaborado um Manual de Instruções e Segurança da máquina, estruturado conforme os tópicos apresentados no sumário da Figura 50.

Figura 50 – Sumário do Manual de Instruções e Segurança da Furadeira Radial

SUMÁRIO	
1. Apresentação	5
1.1 Normas Observadas	5
2. Especificações Técnicas.....	0
2.1. Aplicação	0
2.2. Faces da Máquina.....	1
2.3. Especificação	2
2.4. Sistema de Controle	2
3. Segurança.....	2
3.1. Perigos Potencias da Máquina.....	2
3.2. Utilização Apropriada	3
3.3. Desativação, Desmonte e Sucateamento	3
3.4. Responsabilidade do Operador	4
3.5. Responsabilidade Pessoal	4
3.6. Controle de Máquina	4
3.7. Perigo Causado pelos Acessórios.....	4
3.8. Qualificação Pessoal	5
3.9. Procedimento em Caso de Emergência.....	5
3.10. Precauções de Segurança em Caso de Emergência.....	6
3.11. Advertências Sobre Operação de Manutenção.....	6
3.12. Advertências Antes de Ligar a Máquina	7
3.13. Advertência Sobre Inspeção de Rotina.....	8
3.14. Advertências para Ajustes e Operação da Máquina.....	8
3.15. Procedimentos para Parar a Máquina	9
3.16. Advertência Sobre Operação de Manutenção	9
3.17. Localização das Indicações de Segurança	10
3.18. Tabela de Riscos Resumidos	10
4. Operação.....	15
4.1. Elementos de Comandos Elétricos	16
4.2. Componentes de Segurança	22
4.3. Procedimentos de Alimentação.....	23
4.4. Procedimentos de Operação	23

Fonte: SERCOS (2025)

O documento contempla a descrição técnica completa do equipamento, incluindo sua aplicação, fases de operação, especificações mecânicas e elétricas e arquitetura do sistema de controle.

A seção de Segurança aborda os perigos potenciais da máquina, condições de utilização apropriada, responsabilidades do operador e da empresa, procedimentos em caso de emergência,

advertências operacionais e orientações para manutenção, inspeção e ajustes. Também inclui a localização das sinalizações de segurança e uma tabela resumida dos riscos identificados.

Na parte de operação, são descritos os elementos de comandos elétricos, os componentes de segurança implementados, os procedimentos de energização e as etapas corretas de operação e parada da máquina.

O manual apresenta também a relação completa de componentes, incluindo listas de materiais dos conjuntos elétrico, mecânico e dos dispositivos de segurança com intenção de facilitar a rastreabilidade técnica dos componentes e dar suporte às atividades de manutenção, ponto que influencia na segurança do operador e vida útil do equipamento.

4.5.12. Treinamento e Capacitação

Após a entrega do equipamento no local de operação do cliente, foi realizado o treinamento e capacitação do time de operadores, manutentores e da equipe de Segurança do Trabalho.

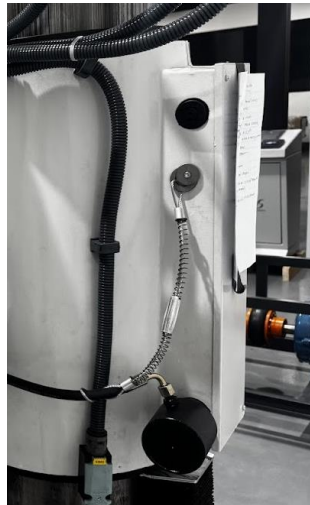
O treinamento realizado foi dividido em duas etapas, sendo a primeira teórica em sala de reuniões do cliente, estudando o Manual de Instruções e Segurança, com a finalidade de entender a capacidade técnica da máquina, seus componentes elétricos, mecânicos, riscos envolvidos na operação e manutenção, funcionamento, localização e acionamento dos dispositivos de segurança, como também a responsabilidade individual e coletiva que envolve o equipamento e seu uso seguro.

Já na segunda etapa, foi realizado treinamento em campo com a máquina, momento em que todo o time do cliente pôde esclarecer suas dúvidas na prática para compreender os pontos que envolvem operação, manutenção segura, desmonte e descarte do equipamento em campo.

4.5.13. Chicoteamento das mangueiras hidráulicas

A fim de mitigar o risco de chicoteamento das mangueiras hidráulicas, foram instalados os cabos de contenção de mangueiras, mostrados nas Figura 51 a Figura 56.

Figura 51 – Cabos de aço para contenção de mangueira na face esquerda superior da máquina



Fonte: SERCOS (2025)

Figura 52 – Cabos de aço para contenção de mangueiras na face esquerda inferior da máquina



Fonte: SERCOS (2025)

Figura 53 – Cabos de aço para contenção de mangueiras na fase traseira da máquina próximo ao painel



Fonte: SERCOS (2025)

Figura 54 – Cabos de aço para contenção de mangueiras na face esquerda da máquina



Fonte: SERCOS (2025)

Figura 55 – Cabos de aço para contenção de mangueiras na face traseira superior da máquina próximo à caixa de engrenagens



Fonte: SERCOS (2025)

Figura 56 – Cabos de aço para contenção de mangueiras na face traseira superior da máquina



Fonte: SERCOS (2025)

4.6. Análise das Soluções de Engenharia e Cálculo de HRN pós adequação

Esta seção se dedica a analisar criteriosamente o resultado das soluções de engenharia aplicadas, isto é, avaliar o resultado de cálculo do HRN após as modificações para adequação da máquina.

Seguindo metodologia apresentada no capítulo 4.3 Análise de Riscos e o passo a passo demonstrado no item 4.3.1 Cálculo de HRN aplicado apresenta-se a seguir breve resumo dos cálculos de HRN dos itens que permitem tal ação:

4.6.1. Projeção de cavacos

$$LO = 0,033; FE = 4; DPH = 4; NP = 1.$$

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP = 0,033 \times 4 \times 4 \times 1 = 0,528$$

4.6.2. Acesso à ferramenta e partes móveis do mandril

$$LO = 0,033; FE = 4; DPH = 6; NP = 1.$$

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP = 0,033 \times 4 \times 6 \times 1 = 0,792$$

4.6.3. Esmagamento durante movimentação do braço radial

$$LO = 0,033; FE = 4; DPH = 4; NP = 1.$$

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP = 0,033 \times 4 \times 4 \times 1 = 0,528$$

4.6.4. Painel Elétrico

$$LO = 0,033; FE = 1,5; DPH = 6; NP = 1.$$

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP = 0,033 \times 1,5 \times 6 \times 1 = 0,297$$

4.6.5. Manutenção e Procedimento LOTO

$$LO = 0,033; FE = 1; DPH = 6; NP = 1.$$

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP = 0,033 \times 1 \times 6 \times 1 = 6$$

4.6.6. Chicoteamento das mangueiras hidráulicas

$$LO = 0,033; FE = 5; DPH = 6; NP = 1.$$

$$HRN = LO \times FE \times DPH \times NP = 0,033 \times 5 \times 6 \times 1 = 0,99$$

Ao analisar o resultado dos cálculos, observa-se que a metodologia HRN foi aplicada somente aos riscos em que havia base técnica suficiente para quantificação, resultando em valores iniciais HRN_i e finais HRN_f comparáveis.

Nesses casos, os riscos que apresentavam HRN_i mais elevado, por exemplo, na faixa de 30 a 120, sofreram reduções expressivas após as intervenções, com HRN_f tipicamente inferior a 1.

Ressalta-se que dos cálculos detalhados apresentados, o principal responsável por essa queda acentuada do HRN foi a redução do fator multiplicador PO (probabilidade de ocorrência), diretamente impactado pelas medidas de engenharia implementadas

Os resultados dos cálculos permitem análise comparativa, inserindo o valor de HRN_f em uma nova coluna de dados na Tabela 8, resultando na Tabela 10 – HRN iniciais e finais de cada risco da Furadeira Radial.

Tabela 10 – HRN iniciais e finais de cada risco da Furadeira Radial

Nº	TÍTULO DO RISCO	HRN_i	CATEGORIA	PLr	HRN_f
1	Projeção de cavacos	80	3	d	0,528
2	Acesso à ferramenta e partes móveis do mandril	120	3	d	0,792
3	Impacto devido ao movimento horizontal do cabeçote	0,6	*	*	0,6
4	Esmagamento durante movimentação do braço radial	32	3	d	0,528
5	Acesso ao sistema de transmissão dos motores	0,297	*	*	0,297
6	Botão de Emergência	*	*	*	*
7	Painel Elétrico	60	*	*	0,297
8	Manutenção e Procedimento LOTO	30	*	*	6
9	Dispositivo de comando	*	*	*	*
10	Interface Lógica de Segurança	*	*	*	*
11	Intertravamento de Segurança	*	*	*	*
12	Duplo Contator	*	*	*	*
13	Sinalização	*	*	*	*
14	Manuais e diagramas	*	*	*	*
15	Equipamento de Proteção Individual	*	*	*	*
16	Treinamento e Capacitação	*	*	*	*

Nº	TÍTULO DO RISCO	HRN_i	CATEGORIA	PL_r	HRN_f
17	Chicoteamento das mangueiras hidráulicas	60	*	*	0,99

Fonte: Próprio Autor

Ao analisar a Tabela 10, observa-se que para os riscos em que havia base técnica suficiente para quantificação, aqueles que apresentavam HRN_i significativo ou muito alto, como os riscos 1,2,4,7,8 e 17, sofreram reduções expressivas após as intervenções, apresentando HRN_f inferior a 1, classificados agora como riscos desprezíveis, com exceção do risco 8, que apresentou HRN_f = 6.

Esses resultados indicam melhora substancial da condição de segurança, reduzindo de forma consistente o risco residual associado à operação e manutenção do equipamento.

5. CONCLUSÃO

O presente trabalho de graduação explorou as soluções de engenharia elétrica no processo de adequação de máquinas à NR-12 ao destrinchar o processo de adequação da Furadeira Radial, com destaque para o intertravamento de proteções móveis, a parada de emergência, capacidade de monitoramento por interface lógica de segurança e *feedback*, elaboração de programação em software de segurança e a remoção confiável de energia por redundância de contadores. Foi notado que a integração de dispositivos de segurança certificados e a reestruturação dos sistemas de comandos elétricos são fundamentais para a mitigação de riscos em máquinas operatrizes convencionais.

A metodologia *Hazard Rating Number* (HRN) revelou-se um método eficaz para a quantificação da periculosidade. O diagnóstico inicial identificou riscos classificados como "Muito Altos" ($HRN_i = 120$) no acesso às partes móveis do mandril e riscos "Altos" em perigos como a projeção de cavacos e esmagamento no braço radial. As intervenções de engenharia elétrica, focadas no intertravamento de proteções móveis via sensores RFID, na redundância de contadores com contatos mecanicamente guiados e na implementação de lógica de segurança via CLP, permitiram a redução drástica desses índices para níveis de "Risco Desprezível" ($HRN < 1$), validando a eficácia das soluções propostas.

A análise dos resultados mostra que as reduções de riscos obtidos se concentraram principalmente na diminuição do fator LO (probabilidade de ocorrência), uma vez que parâmetros como frequência de exposição (FE), severidade (DPH) e número de pessoas expostas (NP) tendem a ser inerentes ao processo produtivo industrial. Assim, ao impedir a operação em condição insegura, aumentar a capacidade de diagnóstico e reduzir possibilidades de falha perigosa não detectada, é possível concluir que as intervenções advindas da engenharia elétrica atuam diretamente no elemento mais "controlável" do risco: a probabilidade de o evento ocorrer, e evidentemente geram uma redução significativa dos riscos.

Dessa forma, conclui-se que a engenharia elétrica, guiada pela engenharia de segurança, assume o papel de protagonista na criação e aplicação de soluções de segurança de máquinas, atuando como a inteligência dos sistemas de segurança e garantindo a integridade de proteção contra falhas técnicas e tentativas de burla, bem como impede a operação em condição insegura, aumenta a capacidade de diagnóstico e reduz possibilidades de falhas perigosa. A engenharia elétrica possibilita, então, a transição de um equipamento convencional inseguro para uma

arquitetura de Categoria 3 com nível de desempenho PL d, não apenas atendendo a uma exigência legal, mas consolidando a filosofia de "segurança intrínseca" no ambiente industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALENCAR, Everaldo. Mikael Moraes. SANTOS, Leon Denis Rodrigues dos A **IMPORTANCIA DA NR-12 SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**. Revista Científica Semana Acadêmica. Fortaleza, ano MMXVIII, Nº. 000143,20/11/2018. Disponível em: <https://semanaacademica.org.br/artigo/importancia-da-nr-12-seguranca-no-trabalho-em-maquinas-e-equipamentos>. Acessado em: 21/02/2026.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14153: **Segurança de máquinas - Partes de sistemas de comando relacionadas à segurança - Princípios gerais de projeto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 5410: **Instalações elétricas de baixa tensão**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7195: **Cores para segurança**. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR IEC 60204-1: **Segurança de máquinas — Equipamento elétrico de máquinas - Parte 1: Requisitos gerais**. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 12100: **Segurança de máquinas - Princípios gerais de projeto - Avaliação e redução de riscos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 13849-1: **Segurança de máquinas - Partes de sistemas de comando relacionadas à segurança - Parte 1: Princípios gerais de projeto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 13850: **Segurança de máquinas - Função de parada de emergência - Princípios para projeto**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14118: **Segurança de máquinas - Prevenção de partida inesperada**. Rio de Janeiro: ABNT, 2022.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR ISO 14119: **Segurança de máquinas - Dispositivos de intertravamento associados às proteções - Princípios de projeto e seleção**. Rio de Janeiro: ABNT, 2021.
- BERNARDI, J. C. **Práticas em segurança perimetral de máquinas – NR-12**. 2016. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos, São Leopoldo, 2016.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 12: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. Brasília, DF: MTE, 2022.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Norma Regulamentadora nº 10: Segurança em instalações e serviços em eletricidade**. Brasília, DF: MTE, 2004.

CUT. **Brasil registra mais de 612 mil acidentes de trabalho e mais de 2.500 mortes em 2022**. Central Única dos Trabalhadores, 2023. Disponível em: <https://www.cut.org.br/noticias/brasil-registra-mais-de-612-mil-acidentes-de-trabalho-e-mais-de-2-500-mortes-em-f130>. Acesso em: 11 jan. 2026.

FERREIRA, L. A., **Aplicação da norma NR-12 para circuitos de segurança utilizando controladores lógicos programáveis e atuadores pneumáticos**, 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecatrônica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2015.

FRASÃO, R. D. D. et al. **Utilização do método HRN (Hazard Rating Number) para realizar análise de risco e projeto de adequação à NR-12 no setor de usinagem de uma grande indústria**. Revista UniAraguaia, [s. l.], v. 16, n. 3, p. 1-18, 2021. Disponível em: <https://sipe.uniaraguaia.edu.br/index.php/REVISTAUNIARAGUAIA/article/view/1016>. Acesso em: 11 jan. 2026.

HERLEMANN, L. H. **ESTUDO E APLICAÇÃO DA NORMA REGULAMENTADORA Nº 12 EM UMA EMPRESA DE MINÉRIOS**. 2019. Trabalho de Graduação (Engenharia Mecânica) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Ponta Grossa, 2019.

VINILON. **Imagem ilustrativa de cabo de aço para contenção de mangueiras hidráulicas**. 2026. Disponível em: <https://vinilon.com.br/produto/cabo-de-seguranca-laco-anti-chicoteamento-marca-ls-mangueiras-400mm-1-8/>. Acesso em: 26 de fev. 2026.

MENDES, G. C. **Análise do nível de performance das arquiteturas dos dispositivos de segurança empregados nos sistemas de acesso de ilha robotizada para colagem de vidros na indústria automotiva**. 2017. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017.

SERCOS AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL. **Repositório de documentos de adequação de segurança, Furadeira Radial**. Documento técnico interno não publicado. São Paulo, 2025.

SMARTLAB. Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho. MPT/OIT, 2025. Disponível em: <https://smartlabbr.org/sst>. Acesso em: 08 fev. 2026.

STEEL, C. Risk estimation techniques. **The Safety & Health Practitioner**, [s. l.], v. 8, n. 6, p. 13-15, 1990.

ZACARIAS, R. **Segurança de máquinas e equipamentos por sistema elétrico**. 2022. Monografia (Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Faculdade Anhanguera, [S. l.], 2022.

WEG. **Busca de produtos em catálogo**, 2026. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt>. Acesso em: 14 fev.2026

WEG.**Buscade produtos em catálogo**, 2026. Disponível em: <https://www.weg.net/catalog/weg/BR/pt/>. Acesso em: 15 fev.2026.

PILZ, e-shop. **Produtos do catálogo PILZ**, 2026. Disponível em: <https://www.pilz.com/pt-BR>. Acesso em: 15 fev.2026.

VINILON. **Imagem ilustrativa de cabo de aço para contenção de mangueiras hidráulicas**. 2026. Disponível em: <https://vinilon.com.br/produto/cabo-de-seguranca-laco-anti-chicoteamento-marca-ls-mangueiras-400mm-1-8/>. Acesso em: 26 de fev. 2026.