

HELDER VINICIUS GRIGIO

APRECIÇÃO DE RISCOS EM MÁQUINA DE ENCHIMENTO DE
ÓLEO EM MOTORES À COMBUSTÃO

São Paulo

2019

HELDER VINICIUS GRIGIO

APRECIÇÃO DE RISCOS EM MÁQUINA DE ENCHIMENTO DE ÓLEO EM MOTORES À COMBUSTÃO

Monografia apresentada à Escola Politécnica
da Universidade de São Paulo para a
obtenção do título de Especialista em
Engenharia de Segurança do Trabalho

São Paulo

2019

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer a Deus por iluminar meu caminho até aqui e proporcionar momentos incríveis onde consegui vivenciar e colocar em práticas várias lições aprendidas durante o curso.

Gostaria de agradecer a todo corpo docente da Especialização em Engenharia de Segurança do Trabalho por todo o conhecimento transmitido ao longo do curso e pelo constante estímulo buscando nosso melhor a cada dia.

Gostaria de agradecer o apoio da minha noiva, familiares e amigos que desde o início estavam sempre ao meu lado.

RESUMO

Há máquinas e equipamentos que são concebidos sem um prévio planejamento e sem considerações importantíssimas sobre os aspectos de segurança na operação e manutenção da máquina e equipamento pelos próprios fabricantes. Este estudo aborda uma Avaliação de Riscos realizada durante o projeto de uma nova máquina de uma linha de montagem de motores à combustão, visando o atendimento legal perante a Norma Regulamentadora NR-12 e outras normas pertinentes à máquina. A motivação para a realização deste estudo é mostrar a viabilidade deste serviço antes de construir fisicamente a máquina reduzindo custos com adequações posteriores a sua instalação e montagem. A Avaliação de Risco é composta por importantes passos, sendo eles: limites e características da máquina, metodologia utilizada, definição de todos os perigos da máquina, estimativa do risco utilizando a metodologia do HRN (*Hazard Rating Number*) para quantificar os perigos encontrados, avaliação do risco verificando se estão em níveis aceitáveis conforme metodologia HRN, proposta de implementação de redução dos riscos e finalmente nova estimativa dos riscos considerando a implementação das propostas na redução de riscos. Verificou-se que a máquina em estudo necessitava de algumas melhorias de projeto o qual se mostrou totalmente viável devido à fase de projeto em questão, ou seja, nenhum componente havia sido comprado para realizar a montagem da máquina. Para este estudo, foi utilizado diversas normas de segurança de máquinas, entre elas: “NBR ISO 12100 – Segurança de Máquinas – Princípios Gerais de Projeto – Avaliação e Redução do Risco”, que proporciona uma estrutura geral e orientação para tomadas de decisões durante o desenvolvimento de máquinas, incluindo as metodologias e princípios da Análise de Riscos e Redução de Risco; “NBR 14153 – Segurança de Máquinas – Partes de Sistemas de Comando Relacionadas à Segurança – Princípios Gerais para Projeto”, que especifica as categorias de segurança e descreve todas as características e arquiteturas de cada uma. Concluiu-se que a Avaliação de Riscos realizada no projeto auxilia num *design* seguro da máquina para operação e manutenção e evita futuras adequações na máquina após instalação no cliente final.

Palavras-chave: Apreciação de risco no projeto. Projeto seguro. Segurança de máquinas. HRN.

ABSTRACT

There are machines and equipment that are designed without prior planning and without major considerations about the safety aspects in the operation and maintenance of the machine and equipment by the manufacturers themselves. This study addresses a Risk Assessment carried out during the design of a new machine of the combustion engine assembly line, with a view to legal compliance with Regulatory Standard NR-12 and other relevant machine standards. The motivation for this study is to show the feasibility of this service before physically building the machine reducing costs with subsequent adjustments to its installation and assembly. The risk assessment is composed of important steps, such as: limits and characteristics of the machine, methodology used, definition of all machine hazards, risk estimation using Hazard Rating Number (HRN) methodology to quantify the hazards encountered, evaluation of the risk verifying if they are in acceptable levels according to HRN methodology, proposal of implementation of risk reduction and finally a new estimate of the risks considering the implementation of the proposals in the risk reduction. It was found that the machine under study needed some design improvements which proved totally viable due to the design phase in question, ie no components had been purchased to assemble the machine. For this study, several machine safety standards were used, including: "NBR ISO 12100 - Machine Safety - General Design Principles - Risk Assessment and Reduction", which provides a general framework and guidance for decision making during the machine development, including risk analysis and risk reduction methodologies and principles; "NBR 14153 - Machine Safety - Safety Related Parts of Command Systems - General Design Principles", which specifies safety categories and describes all features and architectures of each. It was concluded that the Risk Assessment carried out in the project assists in a safe machine design for operation and maintenance and avoids future adjustments to the machine after installation at the end customer.

Keywords: Design Risk assessment. Safe *design*. Machine safety. HRN

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Fluxograma simplificado para análise de risco e redução de risco	17
Figura 2 – Elementos de risco	19
Figura 3 – <i>Design</i> inerentemente seguro	23
Figura 4 – Proteções e dispositivos de proteção	24
Figura 5 – Sinalizações de segurança	25
Figura 6 – Gráfico de Categorias	26
Figura 7 – Arquitetura da Categoria de Segurança B	27
Figura 8 – Arquitetura da Categoria de Segurança 1	28
Figura 9 – Exemplo de aplicação em Categoria de Segurança 1	28
Figura 10 – Arquitetura da Categoria de Segurança 2	29
Figura 11 – Exemplo de aplicação em Categoria de Segurança 2	30
Figura 12 – Arquitetura da Categoria de Segurança 3	31
Figura 13 – Exemplo de aplicação em Categoria de Segurança 3	31
Figura 14 – Arquitetura da Categoria de Segurança 4	32
Figura 15 – Exemplo de aplicação em Categoria de Segurança 4	33
Figura 16 – <i>Layout</i> da máquina de enchimento de óleo	35
Figura 17 – Equipamento de medição do tempo de parada de máquina	39
Figura 18 – Definição Categoria de Segurança, Perigo 1	42
Figura 19 – Proposta de instalação de novos botões de parada de emergência	43
Figura 20 – Proteção contra o giro automático	44
Figura 21 – Sinalização de segurança proposta	45
Figura 22 – Montagem cortina de luz e 2 sensores de <i>muting</i> cruzados	46
Figura 23 – Local de instalação do sistema de <i>muting</i>	47
Figura 24 – Definição Categoria de Segurança, Perigo 3	48
Figura 25 – Local de instalação das portas intertravadas	50
Figura 26 – Definição Categoria de Segurança, Perigo 3	50
Figura 27 – Pendant utilizado	53
Figura 28 – Definição Categoria de Segurança, Perigo 3	53

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Parâmetros da FE	20
Quadro 2 – Parâmetro do DPH	20
Quadro 3 – Parâmetro do NP	21
Quadro 4 – Parâmetro do NP	21
Quadro 5 – Classificação do HRN	22
Quadro 6 – Especificações da máquina.....	35
Quadro 7 – Distância adicional C	39
Quadro 8 – HRN Inicial, Perigo 1	41
Quadro 9 – HRN final, Perigo 1	43
Quadro 10 – HRN Inicial, Perigo 2	44
Quadro 11 – HRN final, Perigo 2.....	45
Quadro 12 – HRN Inicial, Perigo 3	47
Quadro 13 – HRN final, Perigo 3.....	48
Quadro 14 – HRN Inicial, Perigo 4	49
Quadro 15 – HRN final, Perigo 4.....	51
Quadro 16 – HRN Inicial, Perigo 5	52
Quadro 17 – HRN final, Perigo 5.....	54

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMAQ	Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CLP	Controlador Lógico Programável
DPH	<i>Degree of Possible Harm</i> (Grau do Possível Dano)
DOU	Diário Oficial da União
FE	Frequência de Exposição
HRN	<i>Hazard Rating Number</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MTE	Ministério do Trabalho e Emprego
NBR	Norma Brasileira
NP	Número de Pessoas expostas ao perigo
NR	Norma Regulamentadora
OEM	<i>Original Equipment Manufacturer</i> (Fabricante Original do Equipamento)
PO	Probabilidade de Ocorrência do evento perigoso
STO	<i>Safe Torque Off</i>

LISTA DE SÍMBOLOS

C	<i>Crossmonitoring</i> (monitoração cruzada)
I	<i>Input</i> (entrada)
Im	<i>Interconnection means</i> (meios de ligação)
L	<i>Logic</i> (lógica)
m	<i>Monitoring</i> (monitoração)
O	<i>Output</i> (saída)
OTE	<i>Output of Test Equipment</i> (Saída do equipamento de teste)
TE	<i>Test equipment</i> (equipamento de teste)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1.OBJETIVO.....	12
1.2.JUSTIFICATIVA	12
2. REVISÃO DA LITERATURA.....	14
2.1.NORMA REGULAMENTADORA NR-12 – SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS	14
2.2.NORMA ABNT NBR ISO 12100 – SEGURANÇA DE MÁQUINAS – PRINCÍPIOS GERAIS DE PROJETO – APRECIÇÃO E REDUÇÃO DO RISCO	16
2.2.1. Estratégia para Análise de Risco e Redução de Risco	16
2.2.2. Determinação dos Limites da Máquina	18
2.2.3. Identificação do Perigo	18
2.2.4. Estimativa dos Riscos.....	18
2.2.5. Avaliação do Risco.....	22
2.2.6. Redução de Risco.....	23
2.3.NORMA ABNT NBR 14153 - SEGURANÇA DE MÁQUINAS - PARTES DE SISTEMAS DE COMANDO RELACIONADAS À SEGURANÇA - PRINCÍPIOS GERAIS PARA PROJETO	25
2.3.1. Categoria de Segurança B.....	27
2.3.2. Categoria de Segurança 1	27
2.3.3. Categoria de Segurança 2	29
2.3.4. Categoria de Segurança 3	30
2.3.5. Categoria de Segurança 4	32
3. MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1.LIMITES DO EQUIPAMENTO	34
3.2.METODOLOGIA HRN	36
3.3.CORTINA DE LUZ: DISTÂNCIA DE SEGURANÇA MÍNIMA PARA INSTALAÇÃO	37

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1. APRECIÇÃO DE RISCOS NO PROJETO	40
4.1.1. Perigos Relevantes Encontrados.....	40
4.1.1.1. Dispositivos de Parada de Emergência	40
4.1.1.2. Acesso ao Giro Automático do Palete	43
4.1.1.3. Acesso à Máquina através da Entrada e Saída de Paletes	45
4.1.1.4. Acesso à Máquina através das Portas Laterais Durante Operação	49
4.1.1.5. Acesso à Máquina através das Portas Laterais Durante Manutenção	51
4.1.2. Outros Perigos Encontrados	54
4.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS	55
5. CONCLUSÕES	57
REFERÊNCIAS.....	58
GLOSSÁRIO	60

1 INTRODUÇÃO

Fabricantes de máquinas e equipamento possuem uma grande responsabilidade em projetar máquinas que atendam aos requisitos de segurança atuais constituídos em leis e normas de segurança garantindo a produtividade da máquina. Entende-se que para projetar um sistema de segurança adequado e confiável, uma Avaliação de Riscos no projeto deverá ser realizada demonstrando de forma coerente as proteções e componentes de segurança que deverão ser utilizados na máquina. (ROCKWELL AUTOMATION, 2016).

Conforme exposto na norma NBR ISO 12100, somente é possível eliminar um risco durante a fase de projeto e concepção da máquina. Durante a fase de projetos uma avaliação cuidadosa deverá ser realizada levando vários fatores como: frequência de acesso à determinadas áreas, como será executado tal acesso, materiais que serão utilizados para concepção da máquina, características que os componentes deverão possuir para compor a máquina, como por exemplo: vibração, temperatura onde serão instaladas, poeira e jatos d'água. (ROCKWELL AUTOMATION, 2016)

1.1.OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é apresentar a Avaliação de Riscos realizada no projeto de uma nova máquina que será inserida em uma linha de montagem de motores à combustão.

1.2.JUSTIFICATIVA

A motivação para a realização deste trabalho é de fomentar a prática da realização da Avaliação de Riscos em máquinas que estão sendo projetadas, visando o atendimento legal perante à Norma Regulamentadora NR-12 e outras normas

pertinentes à máquina. Outro ponto importante é a redução do custo com a adequação da máquina após a sua fabricação e montagem.

No âmbito técnico, o estudo traz à importância e relevância do conjunto das normas de segurança para os maquinários de forma a auxiliar na tomada de decisões para o projeto, visando a saúde e segurança das pessoas envolvidas nas operações da máquina, assim como uma melhor produtividade da máquina fazendo um *link* correto entre segurança e produção.

Para o âmbito acadêmico, o estudo exemplifica na prática o que foi aprendido em sala de aula trazendo à tona a real importância da Avaliação de Riscos e de como podemos prevenir de maneira correta os acidentes de trabalhos. Mostra também uma das várias atividades de um Engenheiro de Segurança do Trabalho para proteger a integridade física dos trabalhadores de um modo geral.

Já no âmbito social, o estudo demonstra que é possível reduzir os riscos de acidente de trabalho em máquinas e equipamentos que estão sendo fabricados diminuindo o risco residual dos perigos oferecidos pelos maquinários e proporcionando um ambiente de trabalho mais seguro para os trabalhadores.

No âmbito pessoal do autor, o estudo tem como foco compartilhar e expandir os conhecimentos na área de segurança de máquinas e equipamentos fomentando cada vez mais essa área da Engenharia de Segurança do Trabalho.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. NORMA REGULAMENTADORA NR-12 – SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

A Norma Regulamentadora NR-12 é uma norma com poder de lei que foi publicada pelo antigo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). Atualmente existem 37 NRs que são baseadas em leis relativas à segurança do trabalho de caráter obrigatório com a finalidade de estabelecer os requisitos técnicos e legais sobre os aspectos mínimos de Segurança e Saúde Ocupacional, seja diretamente, por referência a normas técnicas ou pela incorporação de todo ou apenas parte do conteúdo destas normas. (ABIMAQ, 2018)

Publicada inicialmente através da Portaria nº 3.214, em 08 de Junho de 1978, e publicada no Diário Oficial da União (DOU) em 06 de Julho de 1978, a NR-12 possuía poucos itens deixando de abordar muitos pontos importantes na segurança de máquinas e equipamentos. (BRASIL, 2018)

A NR-12 sofreu várias atualizações ao longo dos anos, sendo a atualização da Portaria nº 197, em 17 de Dezembro de 2010, e publicação no DOU em 24 de Dezembro de 2010 a mais importante na história da norma. A partir desta atualização, a norma foi praticamente reescrita trazendo à tona conceitos e requerimentos importantes para a segurança de máquinas e equipamentos, assim como prazos máximos delimitados pelo MTE para a adequação de todo o parque fabril de uma empresa.

Dentre os objetivos da NR-12, destacam-se:

- Garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores;
- Prevenção de acidentes e doenças do trabalho;
- Melhorias das condições de trabalho em máquinas e equipamentos;
- Máquinas e equipamentos intrinsecamente seguros;

- Realização de Avaliação de Riscos nas máquinas e equipamentos a fim de identificar e mitigar os riscos oferecidos aos trabalhadores, seja pela máquina/equipamento ou pelo ambiente à que eles estejam exposto;
- Assegurar a ordem de prioridade nas medidas de proteção, sendo elas:
 - Medidas de proteção coletiva;
 - Medidas de proteção administrativas;
 - Medidas de proteção individual. (BRASIL, 2018)

A partir da atualização de 2010, os fabricantes de máquinas (mas comumente conhecidos como OEMs - *Original Equipment Manufacturer*) se viram obrigados à atender os requisitos técnicos e legais da NR-12 de forma a proporcionar máquinas seguras ao mercado, conforme o item 12.1 da norma:

12.1 Esta Norma Regulamentadora e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas, sem prejuízo da observância do disposto nas demais Normas Regulamentadoras - NR aprovadas pela Portaria n.º 3.214, de 8 de junho de 1978, nas normas técnicas oficiais e, na ausência ou omissão destas, nas normas internacionais aplicáveis. (BRASIL, 2018, grifo do autor).

Além da preocupação com a concepção de uma máquina segura, os fabricantes ainda necessitam atender outros requerimentos importantes em outras fases de utilização da máquina, como por exemplo: prever meios seguros para realizar o transporte, montagem, instalação, operação, limpeza, manutenção, inspeção, desativação e desmonte da máquina ou equipamento. Esta parte é reforçada no item 12.1.1 da norma:

“12.1.1 Entende-se como fase de utilização o transporte, montagem, instalação, ajuste, operação, limpeza, manutenção, inspeção, desativação e desmonte da máquina ou equipamento.” (BRASIL, 2018).

De forma a assegurar que os riscos foram mitigados em todas as fases de utilização das máquinas, a NR-12 solicita em caráter obrigatório para a aplicação da norma, a utilização da avaliação de riscos.

“12.5 Na aplicação desta Norma e de seus anexos, devem-se considerar as características das máquinas e equipamentos, do processo, a apreciação de riscos e o estado da técnica.” (BRASIL, 2018, grifo do autor).

2.2. NORMA ABNT NBR ISO 12100 – SEGURANÇA DE MÁQUINAS – PRINCÍPIOS GERAIS DE PROJETO – APRECIÇÃO E REDUÇÃO DO RISCO

A norma proporciona aos “projetistas uma estrutura geral e orientação para decisões durante o desenvolvimento de máquinas para permitir que projetem máquinas que sejam seguras para o uso pretendido. [...]” (ABNT, 2013a).

Nesta norma é possível de encontrar as especificações das metodologias e princípios da Análise de Risco e da Redução de Risco, que em conjunto formam a Apreciação de Risco. Além deste objetivo, a norma também proporciona a especificação da terminologia básica a ser utilizada.

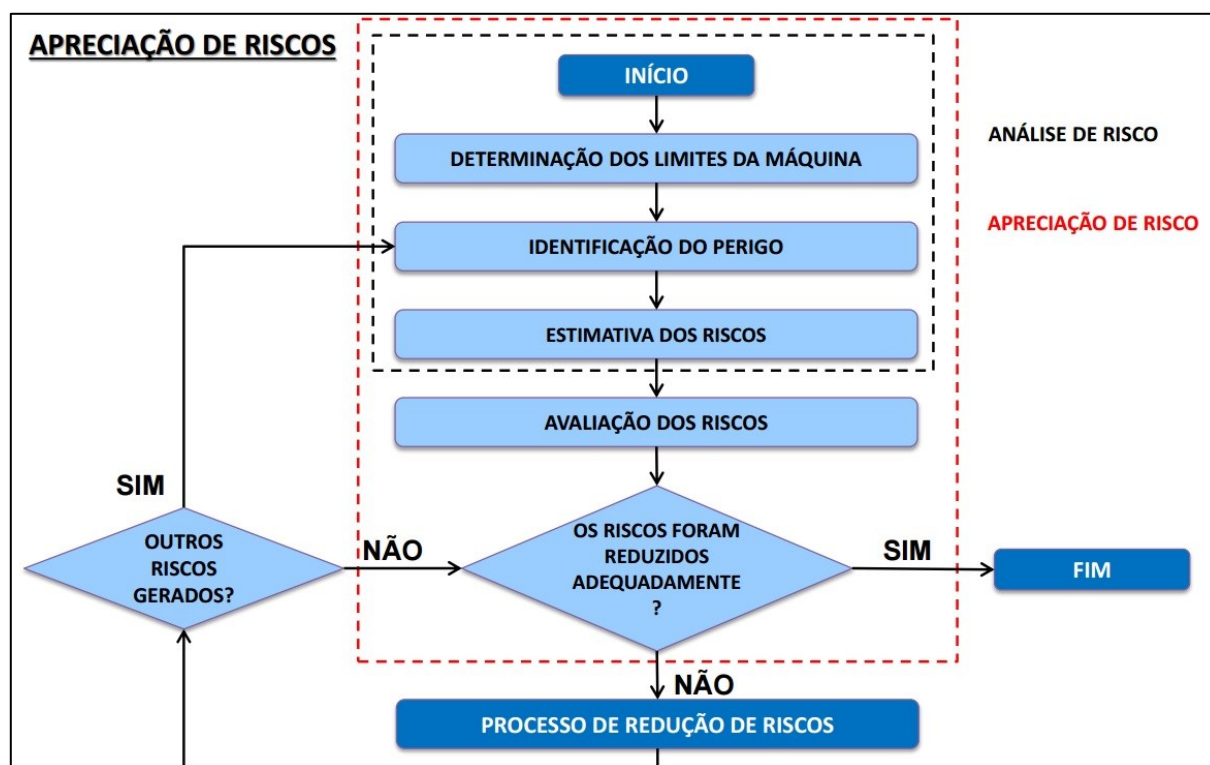
2.2.1. Estratégia para Análise de Risco e Redução de Risco

Na aplicação da Análise de Risco e Redução de Risco, o projetista deve seguir a ordem dos seguintes fatores:

- a) Determinar os limites da máquina, incluindo o use intencional e o mau uso razoavelmente previsível;
- b) Identificar os perigos e as situações perigosas associadas;
- c) Estimar o risco de cada perigo e situação perigosa identificada;
- d) Avaliar o risco e tomar decisões sobre a necessidade de redução de risco;
- e) Eliminar o perigo ou reduzir o risco associado com o perigo através de medidas protetivas (ABNT, 2013a).

A figura 1 demonstra o fluxo dos passos de a) à e).

Figura 1 – Fluxograma simplificado para análise de risco e redução de risco



Fonte: (ROCKWELL AUTOMATION, 2016)

A análise de risco fornece as informações necessárias para a avaliação do risco, o qual por sua vez possibilita os julgamentos a serem feitos sobre a segurança da máquina e então decidir sobre as medidas de redução de risco, se necessário.

Com base no fluxograma apresentado, as fases iniciais têm como objetivo a identificação dos perigos. No caso de novas máquinas/equipamentos, ainda durante a fase de concepção, deve ser possível identificar um perigo e realizar uma mudança no projeto para reduzir os riscos ou eliminar o perigo (Medidas de Projeto Inherentemente Seguro). Este tipo de ação tomada no projeto pode promover uma redução de custos com tentativas e erros após a máquina estar fabrica e montada.

No caso de máquinas/equipamentos existentes, esta opção normalmente não é possível, o que pode ser feito é a implementação de medidas de proteção, que geralmente envolvem o fornecimento de uma combinação de proteções mecânicas fixas e móveis (Medidas de Segurança e Medidas de Proteção Complementares).

Após a conclusão desta etapa, o risco residual provavelmente será muito pequeno e deverá ser mitigado ainda mais através de uma combinação de avisos/sinalização e treinamento de conscientização (Medidas Administrativas).

2.2.2. Determinação dos Limites da Máquina

Nesta etapa inclui-se as delimitações da máquina, como: aspectos dimensionais, tempos de ciclo, ambiente pretendido para a utilização da máquina, diferentes modos de operação, frequências de intervenção para limpeza ou manutenção, níveis de treinamentos dos operadores e manutentores, etc (ABNT, 2013a).

2.2.3. Identificação do Perigo

Após a determinação dos limites da máquina, chegasse a etapa de identificar todos os perigos proporcionados pela máquina e o ambiente onde estará instalada. A identificação dos perigos precisa seguir uma identificação sistemática dos perigos razoavelmente previsíveis, situações perigos e/ou eventos perigosos durante toda a fase do ciclo de vida da máquina. Esta identificação tem que levar em conta as interações humanas em todas as fases de vida da máquina, incluindo comportamentos não intencionais e mau uso razoavelmente previsível (ABNT, 2013a).

Sem a total identificação dos perigos gerados aos operadores e manutentores, não há como eliminá-los ou reduzi-los nos passos adiante. Desta forma, esta etapa se torna crucial para um bom resultado ao final da Avaliação de Risco.

2.2.4. Estimativa dos Riscos

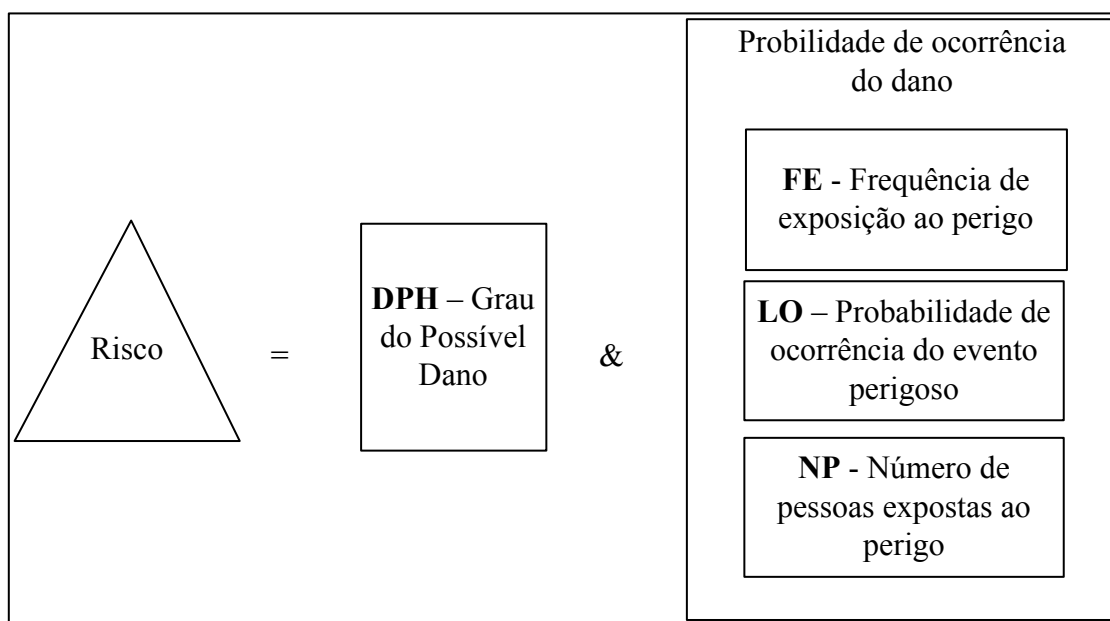
Após a identificação dos perigos da máquina, se torna necessário quantificá-los tornando-se mais fácil a comparação entre eles de forma a sabermos qual perigo

apresenta o maior risco às pessoas envolvidas com a máquina. A esta quantificação, chamamos de estimativa dos riscos.

Há diferentes metodologia apresentadas na norma ABNT NBR ISO 12100. Para este estudo de caso, foi utilizado a metodologia HRN, desenvolvida pelo Chris Steel em 1990, que será apresentada a seguir.

O risco é geralmente descrito na norma ABNT NBR ISO 12100, em função da gravidade do dano (DPH) e da possibilidade de que o dano aconteça, que consiste na frequência do evento (FE), na probabilidade de ocorrência (LO) e no número de pessoas expostas (NP), conforme mostrado na Figura 2.

Figura 2 – Elementos de risco



Fonte: (ABNT, 2013a, adaptação do autor)

A metodologia HRN utiliza estes 4 fatores em seu cálculo através da Equação 1:

$$\text{HRN} = \text{FE} \times \text{DPH} \times \text{NP} \times \text{PO} \quad (1)$$

Cada parâmetro do HRN é determinado através de alguns fatores que serão apresentados na sequência.

A Frequência de Exposição é a frequência com a qual determina(s) pessoa(s) se expõe(m) ao perigo. No Quadro 1, é apresentado os parâmetros para Frequência de Exposição (FE).

Quadro 1 – Parâmetros da FE

FE - Frequência de Exposição	
0,5	Anualmente
1	Mensalmente
1.5	Semanalmente
2,5	Diariamente
4	De hora em hora
5	Constantemente

Fonte: (STEEL, 1990, tradução nossa)

O Grau do Possível Dano é a lesão máxima que pode gerar em caso de um acidente no perigo em questão. No Quadro 2, é apresentado os parâmetros para o Grau do Possível Dano (DPH).

Quadro 2 – Parâmetro do DPH

DPH - Grau do Possível Dano	
0,1	Arranhão / Escoriação
0,5	Queimadura, corte, enfermidade leve
2	Fratura de ossos pequenos ou doença leve (temporário)
4	Fratura de ossos maiores ou doença grave (temporário)
6	Amputação de um membro, um dos olhos ou perda parcial da audição ou visão
10	Amputação de dois membros, olhos ou perda total da audição ou visão
15	Fatalidade

Fonte: (STEEL, 1990, tradução nossa)

O Número de Pessoas expostas ao perigo (NP) é a quantidade de pessoas que podem estar expostas ao perigo ao mesmo tempo, ou seja, quantas pessoas podem se acidentar naquele perigo em determinado instante. No Quadro 3, é apresentado os parâmetros para o Número de Pessoas expostas ao perigo (NP).

Quadro 3 – Parâmetro do NP

NP - Número de Pessoas expostas ao perigo	
1	1 - 2 pessoas
2	3 - 7 pessoas
4	8 - 15 pessoas
8	16-50 pessoas
12	Mais de 50 pessoas

Fonte: (STEEL, 1990, tradução nossa)

A Probabilidade de Ocorrência do evento perigoso (PO) é qual a probabilidade que um acidente poderá ocorrer no perigo em questão. Este fator leva-se em conta alguns fatores, como a experiência do consultor de segurança que esteja realizando o cálculo, a velocidade do movimento perigoso, se os colaboradores da empresa possuem treinamentos, se a empresa em questão possui uma boa maturidade em segurança, etc. No Quadro 4, é apresentado os parâmetros para a Probabilidade de Ocorrência do evento perigoso (PO).

Quadro 4 – Parâmetro do NP

PO - Probabilidade de Ocorrência do evento perigoso	
0.033	Quase impossível, possível sob circunstâncias extremas
1	Altamente improvável, mas pode ocorrer
1.5	Improvável, mas ainda é possível
2	Possível, mas incomum
5	Alguma chance, pode acontecer
8	Provável, não é surpresa
10	Muito provável - Esperado
15	Certeza - Sem dúvida

Fonte: (STEEL, 1990, tradução nossa)

2.2.5. Avaliação do Risco

Após determinado todos os parâmetros para estimar o risco de cada perigo, se torna necessário realizar uma avaliação de cada um de forma a classifica-los quais risco são aceitáveis e quais não são aceitáveis. Realizando a multiplicação dos fatores FE, DPH, NP e PO, obtém-se o valor do risco para determinado perigo conforme a metodologia HRN. Com este resultado, o risco é classificado conforme Quadro 5.

Quadro 5 – Classificação do HRN

Classificação do HRN	
0 até 1	Aceitável
>1 até 5	Muito Baixo
>5 até 15	Baixo
>15 até 50	Significativo
>50 até 100	Alto
>100 até 500	Muito Alto
Acima de 500	Extremo

Fonte: (STEEL, 1990, tradução nossa)

Os riscos classificados como “Aceitável” não apresentam riscos para a saúde e segurança, não são necessário medidas de controle. (STEEL, 1990)

Os riscos classificados como “Muito Baixo” apresentam riscos residuais que devem ser controlados através de treinamento de conscientização, EPIs e em alguns casos, por meio de sinalizações de advertência. (STEEL, 1990)

Os riscos classificados como “Baixo” e “Significativos” precisam ser reduzidos através da aplicação de medidas de controle adequadas, mas não são considerados urgentes. Estas medidas devem ser implementadas dentro de uma faixa de 1 à 3 meses. (STEEL, 1990)

Os riscos classificados como “Alto”, “Muito Alto” e “Extremo” possuem perigos potencialmente perigosos e requerem medidas de controle de imediato. No caso de “Extremo”, a máquina não deve ser operada até que o nível de risco seja reduzido.

Estas medidas devem ser implementadas dentro de 1 semana, 1 dia e ação imediata respectivamente para cada classificação. (STEEL, 1990)

2.2.6. Redução de Risco

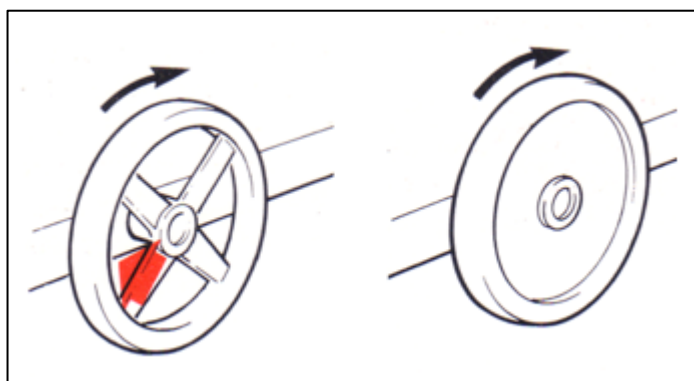
Na redução de risco, têm-se como objetivo a eliminação dos perigos ou a redução dos riscos. Para tanto a norma ABNT NBR ISO 12100 apresenta o “Método dos 3 Passos”:

1) Medidas de *design* inerentemente seguras;

As medidas de projeto inerentemente seguras são alcançadas evitando perigos ou reduzindo riscos por uma escolha adequada de características de projeto para a própria máquina e / ou interação entre as pessoas expostas e a máquina. É considerado o passo mais importante na redução de risco. Isso ocorre porque as medidas de proteção inerentes às características da máquina provavelmente permanecerão efetivas, enquanto estudos demonstram que mesmo uma proteção bem projetada pode falhar ou ser burlada e as informações para uso podem não ser lidas ou simplesmente ignoradas (ABNT, 2013a).

Este é o único estágio onde os riscos podem ser eliminados evitando qualquer medida adicional de proteção, conforme ilustrado na Figura 3.

Figura 3 – *Design* inerentemente seguro



Fonte: (ROCKWELL AUTOMATION, 2016)

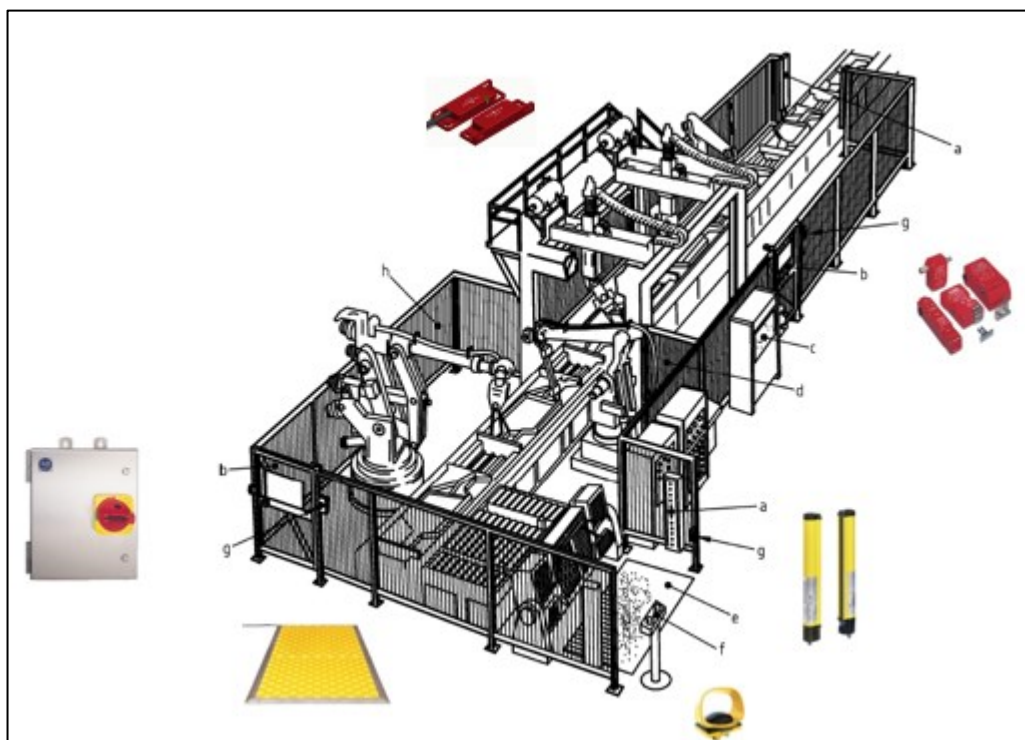
2) Medidas de proteção e proteção complementares;

Quando não é possível proteger ou reduzir os riscos de forma razoavelmente previsível no Passo 1, devem ser utilizados proteções mecânicas (móveis ou fixas) e/ou dispositivos de proteção (cortinas de luz, sensores de segurança, etc.) como medidas de proteção complementares para proteger as pessoas do perigo (ABNT, 2013a).

A utilização das proteções mecânicas fixas e/ou móveis são determinadas através de várias normas, como a ABNT NBR NM 272 e ABNT NBR NM 273. Já para os dispositivos de proteção, cada dispositivo tem sua própria norma de segurança, o qual determina como se deve utilizar o dispositivo de forma segura trazendo em muitos casos alguns parâmetros como: distância segura, velocidade segura, classificação do dispositivo dependendo do risco à ser protegido, etc.

A figura 4 mostra a junção de diversos dispositivos de segurança em junção com proteções mecânicas fixas e móveis.

Figura 4 – Proteções e dispositivos de proteção



Fonte: (ROCKWELL AUTOMATION, 2016)

3) Informação para uso.

O último passo consiste em informações aos usuários da máquina, como sinalizações de segurança fixadas ao redor da máquina advertindo as pessoas sobre os riscos inerentes à máquina ou equipamento, procedimentos, instruções de operação, manuais, informações sobre a utilização prevista da máquina, capacidade, etc.

A Figura 5 ilustra exemplos de sinalizações em conformidade com a ABNT NBR ISO 3864-1.

Figura 5 – Sinalizações de segurança



Fonte: (ROCKWELL AUTOMATION, 2016)

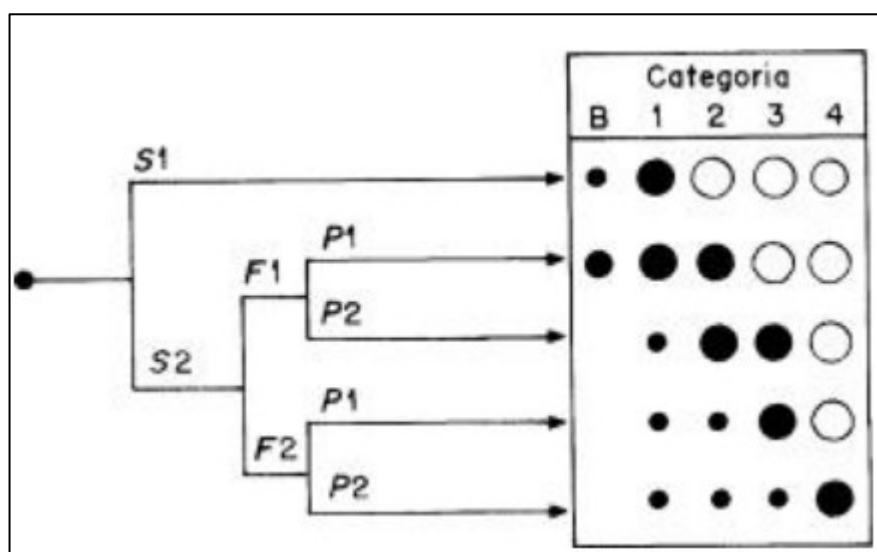
2.3. NORMA ABNT NBR 14153 - SEGURANÇA DE MÁQUINAS - PARTES DE SISTEMAS DE COMANDO RELACIONADAS À SEGURANÇA - PRINCÍPIOS GERAIS PARA PROJETO

A norma ABNT NBR 14153 especifica as categorias de segurança e descreve as características de cada uma delas. As categorias de segurança podem ser utilizadas em partes de sistemas de comando relacionadas à segurança, incluindo dispositivos de entrada (botões de parada de emergência, cortina de luz, etc), sistema de controle (Controladores Lógicos Programáveis (CLPs), relés de segurança, etc) e atuadores (contatores de segurança, válvula de segurança pneumática, etc).

Com relação à resistência a falhas, as categorias de segurança são classificadas em 5 categorias, sendo elas: B, 1, 2, 3 e 4. Sendo a categoria de segurança B a mais básica e a categoria de segurança 4 a mais elevada em termos de confiabilidade.

Para a seleção das categorias de segurança, a norma ABNT NBR 14153 nos fornece um gráfico, conforme mostrado na Figura 6.

Figura 6 – Gráfico de Categorias



Fonte: (ABNT, 1998)

Onde:

S Severidade do ferimento

S1 Ferimento leve (normalmente reversível)

S2 Ferimento sério (normalmente irreversível) incluindo morte

F Frequência e/ou tempo de exposição ao perigo

F1 Raro a relativamente frequente e/ou baixo tempo de exposição

F2 Frequente a contínuo e/ou tempo de exposição longo

P Possibilidade de evitar o perigo

P1 Possível sob condições específicas

P2 Quase nunca possível (ABNT, 1998)

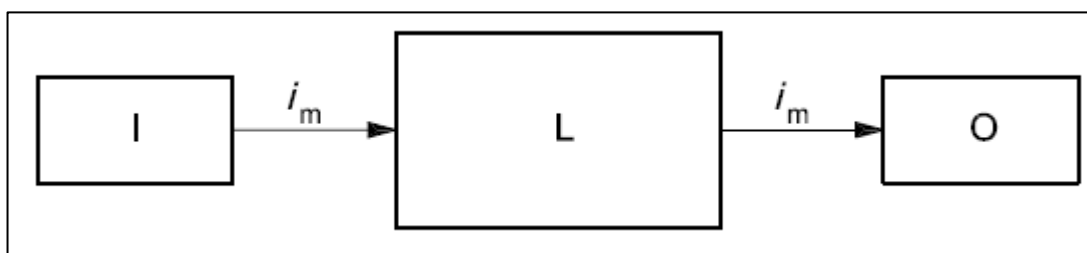
2.3.1. Categoria de Segurança B

A categoria de segurança B é considerada a categoria mais básica e a menos resistente à falhas, desta forma, na ocorrência de um defeito (falha), poderá haver a perda da função de segurança.

Partes relacionadas a segurança do sistema de controle e/ou seus equipamentos de proteção bem como os seus componentes devem ser projetados, construídos, selecionados, montados e combinados de acordo com as normas pertinentes para que consigam resistir as influências esperadas (ABNT, 1998).

A figura 7 exemplifica a arquitetura para a categoria de segurança B, sendo I a entrada do sistema, L a lógica, O a saída ou atuador e i_m os meios de ligação.

Figura 7 – Arquitetura da Categoria de Segurança B



Fonte: (ISO, 2015)

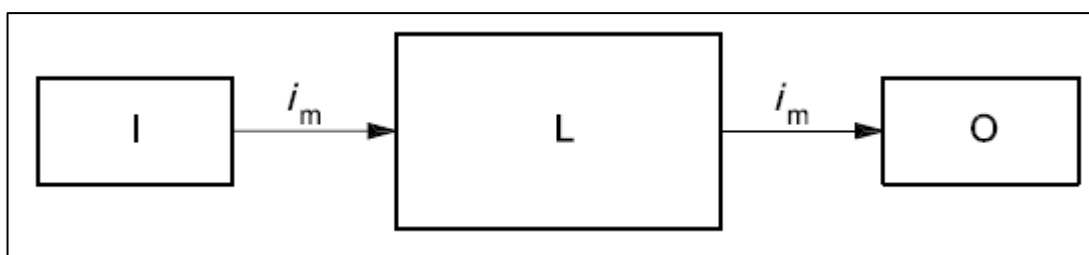
2.3.2. Categoria de Segurança 1

A categoria de segurança 1 também deve atender aos requisitos da categoria de segurança B, além de utilizar dispositivos que sejam bem ensaiados e possuam princípios de segurança comprovados. Um componente é considerado bem ensaiado quando é largamente empregado na indústria (aplicações similares) com resultados satisfatório. O dispositivo deve ser construído com princípios que demonstrem sua confiabilidade para aplicações relacionadas à segurança. Esta categoria ainda não possui alta resistência à falhas, desta forma, na ocorrência de um defeito (falha),

poderá haver a perda da função de segurança, porém a probabilidade é bem menor do que a categoria de segurança B.

A figura 8 exemplifica a arquitetura para a categoria de segurança 1, sendo I a entrada do sistema, L a lógica, O a saída ou atuador e Im os meios de ligação.

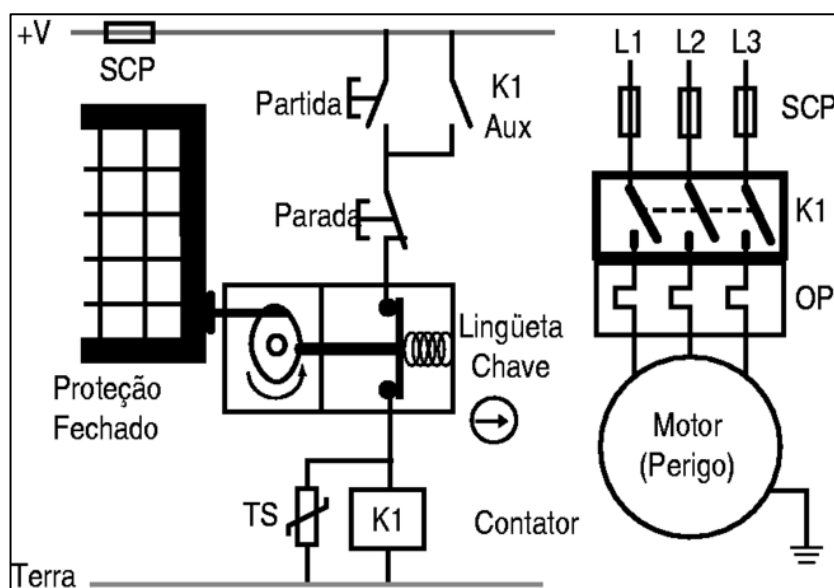
Figura 8 – Arquitetura da Categoria de Segurança 1



Fonte: (ISO, 2015)

A figura 9 demonstra um circuito de segurança implementado em categoria de segurança 1.

Figura 9 – Exemplo de aplicação em Categoria de Segurança 1



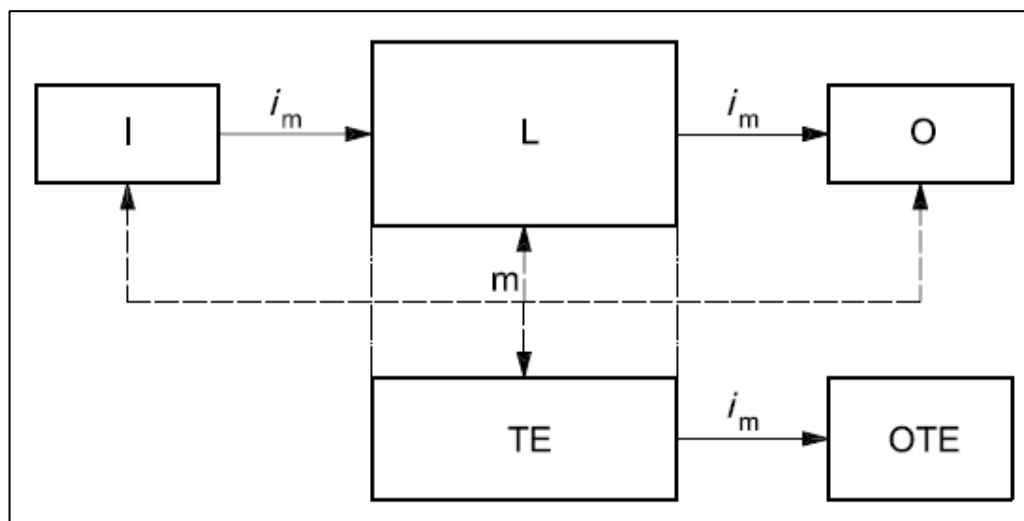
Fonte: (ROCKWELL AUTOMATION, 2016)

2.3.3. Categoria de Segurança 2

A categoria de segurança 2 também deve atender aos requisitos da categoria de segurança B, além de possuir uma verificação em intervalos adequados de tempo pelo sistema de segurança da máquina. A verificação pode ser intrínseca ou extrínseca aos dispositivos de segurança selecionados. Esta categoria ainda não possui baixa resistência à falhas, desta forma, na ocorrência de um defeito (falha), poderá haver a perda da função de segurança entre as verificações. A verificação deve detectar a perda da função de segurança e manter a máquina em estado seguro até que o problema seja solucionado.

A figura 10 exemplifica a arquitetura para a categoria de segurança 2, sendo I a entrada do sistema, L a lógica, O a saída ou atuador, Im os meios de ligação, m a monitoração, TE o equipamento de teste e OTE a saída do equipamento de teste.

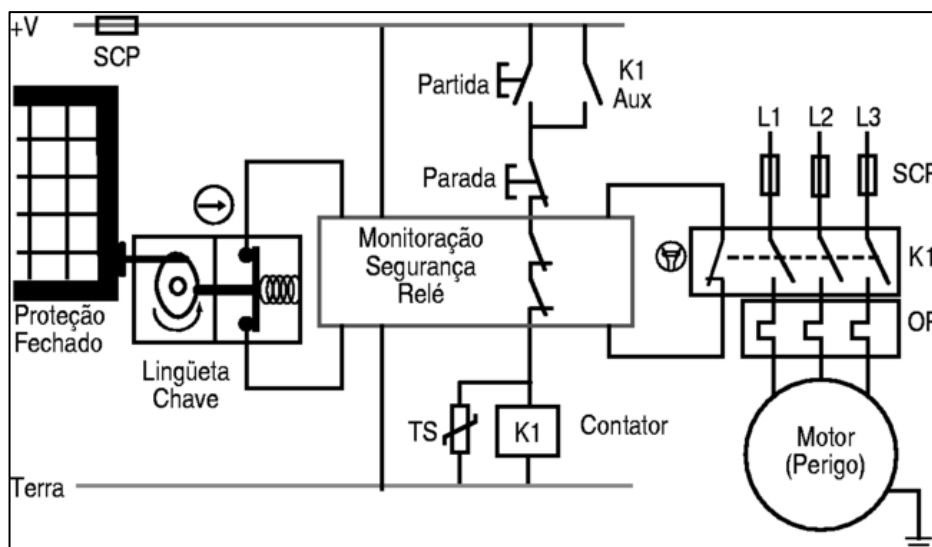
Figura 10 – Arquitetura da Categoria de Segurança 2



Fonte: (ISO, 2015)

A figura 11 demonstra um circuito de segurança implementado em categoria de segurança 2.

Figura 11 – Exemplo de aplicação em Categoria de Segurança 2



Fonte: (ROCKWELL AUTOMATION, 2016)

2.3.4. Categoria de Segurança 3

A categoria de segurança 3 também deve atender aos requisitos da categoria de segurança B. Como ela já apresenta uma alta resistência à falhas, sua arquitetura já integra o princípio da redundância na entrada, lógica e saída do sistema relacionado à segurança da máquina.

Partes relacionadas à segurança devem ser projetadas de forma que:

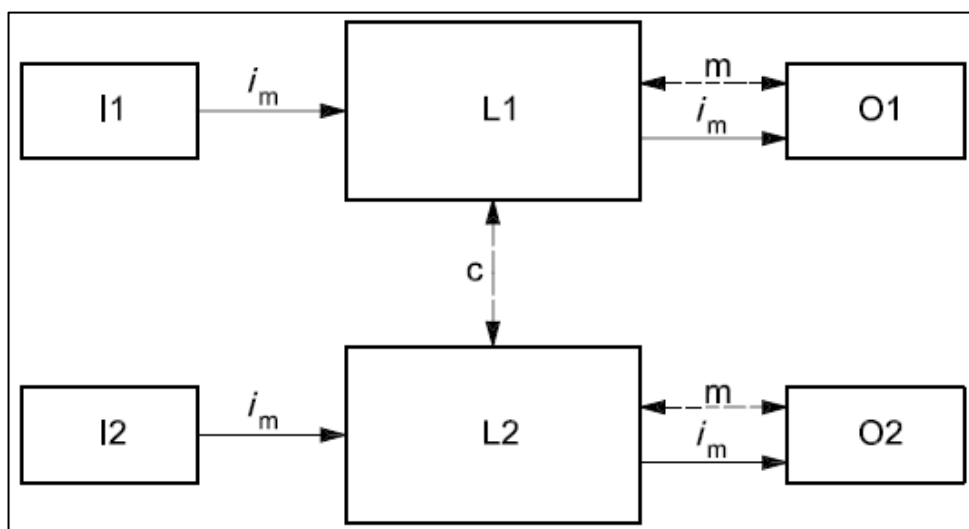
- Uma única falha em qualquer uma destas partes não leva à perda da função de segurança, e
- Quando isso for razoavelmente possível, uma única falha é detectada.

Comportamento do sistema:

- Quando ocorre uma única falha a função de segurança sempre é executada;
- Algumas, mas não todas as falhas serão detectadas;
- O acúmulo de falhas não detectadas podem levar à perda da função de segurança (ABNT, 1998).

A figura 12 exemplifica a arquitetura para a categoria de segurança 3, sendo I1 e I2 as entradas do sistema, L1 e L2 as lógicas, O1 e O2 as saídas ou atuadores, Im os meios de ligação, m a monitoração e C a monitoração cruzada entre as lógicas.

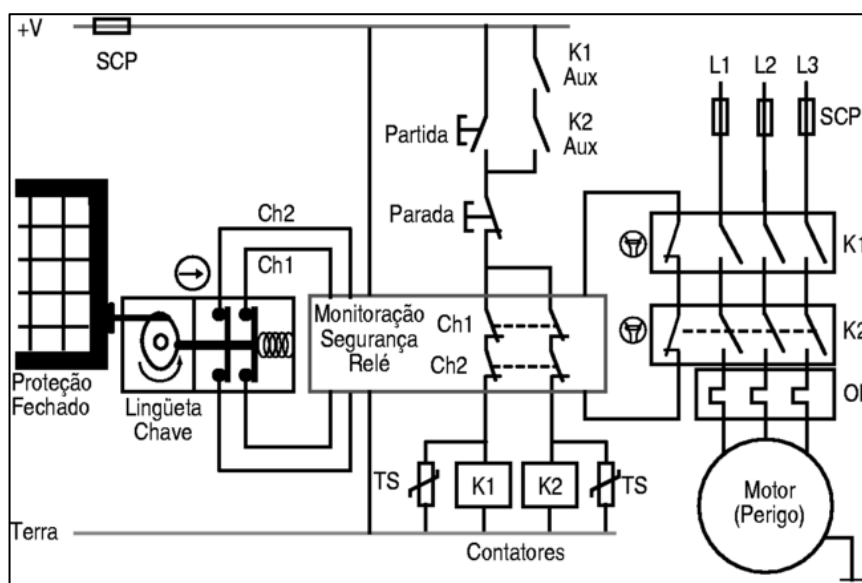
Figura 12 – Arquitetura da Categoria de Segurança 3



Fonte: (ISO, 2015)

A figura 13 demonstra um circuito de segurança implementado em categoria de segurança 3.

Figura 13 – Exemplo de aplicação em Categoria de Segurança 3



Fonte: (ROCKWELL AUTOMATION, 2016)

2.3.5. Categoria de Segurança 4

A categoria de segurança 4 também deve atender aos requisitos da categoria de segurança B. Como ela já apresenta uma alta resistência à falhas, sua arquitetura já integra o princípio da redundância na entrada, lógica e saída do sistema relacionado à segurança da máquina parecidas com a categoria de segurança 3.

Partes relacionadas à segurança devem ser projetadas de forma que:

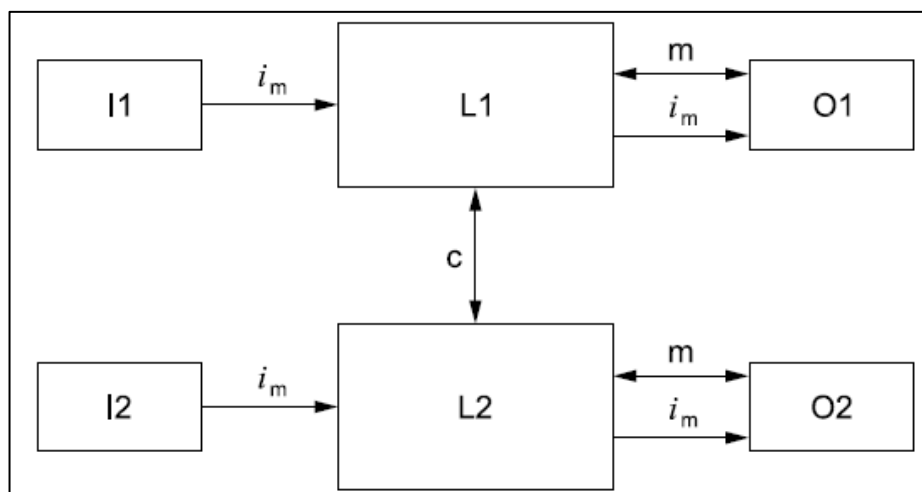
- Um falha isolada em qualquer uma destas partes não leva à perda da função de segurança, e
- A falha isolada é detectada antes ou durante da próxima verificação da função de segurança, um acúmulo de falhas não deve levar à perda da função de segurança.

Comportamento do sistema:

- Quando ocorre uma única falha a função de segurança sempre é executada;
- As falhas serão detectadas a tempo de evitar a perda da função de segurança (ABNT, 1998).

A figura 14 exemplifica a arquitetura para a categoria de segurança 4, sendo I1 e I2 as entradas do sistema, L1 e L2 as lógicas, O1 e O2 as saídas ou atuadores, Im os meios de ligação, m a monitoração e C a monitoração cruzada entre as lógicas

Figura 14 – Arquitetura da Categoria de Segurança 4



Fonte: (ISO, 2015)

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Após a realização de *design* da linha de montagem de motores à combustão, um OEM Sul Coreano foi orientado à realizar uma Avaliação de Riscos no projeto das máquinas de modo a verificar se os projetos estavam em atendimento à NR-12 e as normas de segurança nacionais (Brasileiras) e internacionais. A Avaliação de Riscos realizada no projeto da máquina tem o objetivo de verificar se as medidas de redução de riscos já consideradas pelo time do OEM estão em atendimento normativo e legislativo (NR-12), assim como providenciar as melhores medidas de redução de riscos buscando o melhor custo benefício antes da fabricação de qualquer parte da máquina. A Avaliação de Riscos nesta etapa evita o desperdício de tempo, mão de obra e recursos em casos que não haja conformidade com algum item de normas de segurança de máquinas.

Ao término da Avaliação de Riscos no projeto, foi proposto um acompanhamento após instalação da máquina de forma a verificar os perigos existentes após instalação no local de trabalho da linha. Completando todas as modificações e *startup* da linha, foi proposto uma Validação de Segurança com o objetivo de verificar se todos os dispositivos relacionados à segurança das máquinas foram instalados de modo adequado. Esta verificação se dá através de testes funcionais em cada dispositivo de segurança.

A Avaliação de Riscos na máquina em questão foi realizada em Novembro de 2017.

3.1.LIMITES DO EQUIPAMENTO

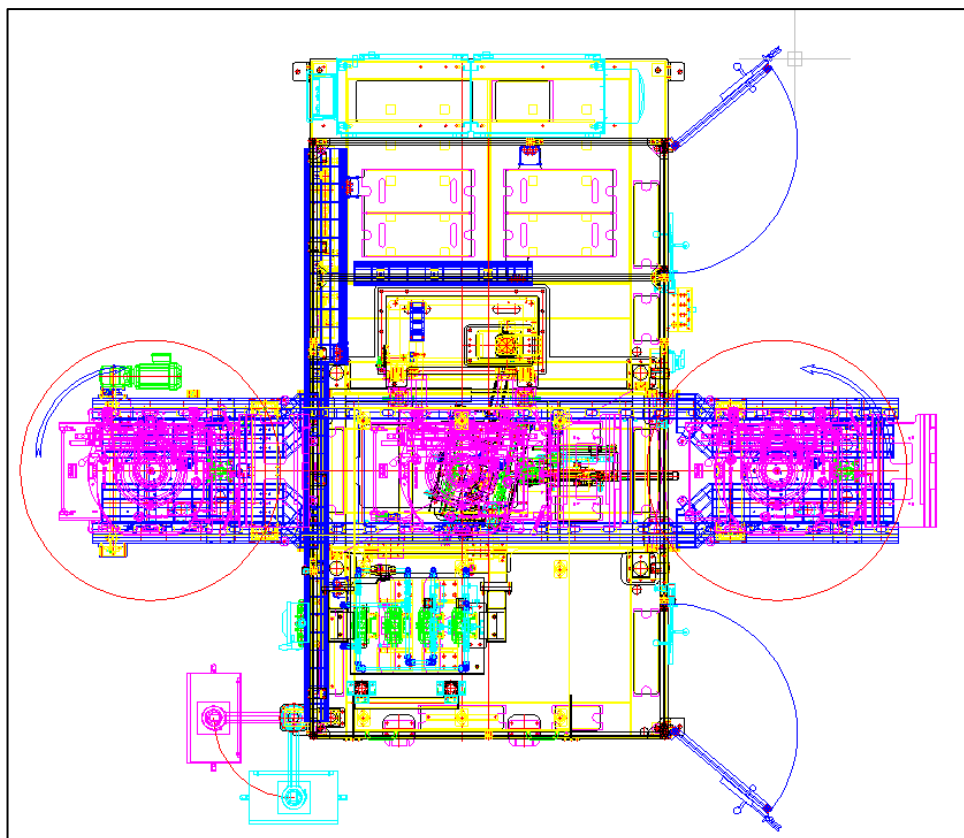
A máquina de enchimento de óleo em motores possui as seguintes especificações.

Quadro 6 – Especificações da máquina

Especificações Técnicas	
Dimensões:	3,8 m x 3,5 m x 2,2 m (C x L x A)
Vida útil:	20 anos
Matéria prima:	Bloco de motores e óleo
Tempo de Ciclo:	37,86 seg.
Tempo de Parada:	~ 1 seg.
Número de operadores:	1 operador
Número de posições de controle:	1 posição
Fontes de alimentação	
Elétrica (alimentação):	460 VAC
Elétrica (comando):	24 VDC
Pneumática:	5 BAR

Fonte: Acervo pessoal

A figura 16 ilustra o *layout* da máquina de enchimento de óleo.

Figura 16 – *Layout* da máquina de enchimento de óleo

Fonte: Acervo pessoal

A máquina é composta por 2 portas de acesso que possibilitam a entrada de operadores e mantenedores para pequenas ou longas intervenções dentro da máquina. As portas são monitoradas por chaves eletromecânicas de segurança.

Para a entrada e saída dos motores da máquina, há dois pares de cortinas de luz, resolução de 30 mm, instalados um na entrada e outro na saída com sistema de *muting* programado via CLP de segurança.

A máquina ainda consta com 1 botão de parada de emergência localizado na área frontal da máquina (IHM) e com um *pendant* para o pessoal da manutenção realizar alguns movimentos de forma remota, ou seja, sem acioná-los pela IHM. O *pendant* possui um cabo que deve ser conectado à máquina antes de sua utilização. Ele possui também uma chave de habilitação de 3 estágio conforme solicitado na NR-12, item 12.113.1.

A máquina é controlada por um CLP de segurança e possui servo *drives*, motor starters e inversor de frequência. Todos os atuadores possuem conexões com Safe Torque Off (STO) para parada segura dos motores e servos.

3.2.METODOLOGIA HRN

O Relatório Técnico “ISO/TR 14121-2 – Segurança de Máquinas – Apreciação de Riscos – Parte 2: Guia Prático e Exemplo dos Métodos”, cita alguns modelos de metodologia que são recomendadas para a utilização durante a etapa de estimativa dos riscos, sendo elas: Matriz de Risco, Gráfico de Risco, Pontuação Numérica ou Método Híbrido entre os métodos anteriores.

A metodologia HRN foi desenvolvida utilizando o modelo de Pontuação Numérica, esse modelo tem de 2 à 4 parâmetros (Frequência de Exposição, Grau do Possível Dano, Número de Pessoas Expostas e Probabilidade de Ocorrência de um Evento Perigoso), que são divididos em várias classes com diferentes valores numéricos associados, que podem variar de 1 a 20. Uma classe é escolhida para cada parâmetro e os valores associados são então combinados (por exemplo, por adição e / ou multiplicação) para fornecer uma pontuação numérica para o risco estimado. Em alguns casos, esses valores atribuídos são representados nas tabelas. (ISO, 2007).

Os sistemas de pontuação permitem que os parâmetros sejam ponderados de maneira fácil e explícita. O uso de números pode dar uma impressão de objetividade no nível de risco, embora a alocação de pontuações para cada elemento de risco seja altamente subjetiva. No entanto, isso pode ser combatido agrupando as pontuações em classificações qualitativas de risco, como alta, média e baixa. (ISO, 2007).

A metodologia HRN foi publicada pela primeira vez em um artigo na revista *The Safety & Health Practitioner*, em Junho de 1990, por Chris Steel.

3.3.CORTINA DE LUZ: DISTÂNCIA DE SEGURANÇA MÍNIMA PARA INSTALAÇÃO

Em conformidade com os requisitos do Anexo I da NR-12 e da ABNT NBR ISO 13855:2013, os dispositivos detectores de presença opto eletrônicos devem atender à distância de segurança mínima a partir do ponto de perigo até o dispositivos (ou plano) de detecção de presença.

A norma ABNT NBR ISO 13855:2013 apresenta diversas fórmulas que dependem do dispositivo utilizado e do tipo de aproximação. Para este trabalho, foi utilizado o tipo de aproximação perpendicular para cortinas de luz. O cálculo de uma forma genérica se dá através da Equação 2:

$$S = K \times T + C \quad (2)$$

Onde:

S é a distância mínima da zona de perigo até o plano de detecção [mm];

K é a constante da velocidade de aproximação do corpo ou parte do corpo [mm/s];

T é o tempo total de parada da máquina [s];

C é a distância adicional que varia em conformidade com a resolução da cortina de luz [mm] (ABNT, 2013b).

Não é necessário determinar o parâmetro K, pois a norma ABNT NBR ISO 13855:2013 nos indica os valores a serem utilizados que podem variar dependendo do resultado da Equação (1). Inicialmente utilizamos o fator K com valor de 2000 mm/s desde que a distância mínima 'S' seja maior que 100 mm e menor ou igual à 500 mm, ou seja, $100 \leq S \leq 500$ mm. Caso 'S' seja maior que 500 mm, podemos utilizar o fator K com valor de 1600 mm/s e a distância mínima de 'S' necessita ser maior que 500 mm, ou seja, $S \geq 500$ mm.

Para se obter o valor de T, deve-se considerar todos os tempos até a parada total da máquina, como por exemplo:

T_C = Tempo de reconhecimento de uma obstrução da zona de detecção da cortina de luz mais o tempo de comunicação ao CLP de segurança;

T_{PLC} = Tempo de processamento do CLP de segurança;

T_{CS} = Tempo do corte do sinal de saída no cartão descentralizado vindo do PLC de segurança;

T_i = Tempo de inércia da parte mecânica.

Sendo,

$$T_{TOT} = T_C + T_{PLC} + T_{CS} + T_i \quad (3)$$

Para máquinas que já estão construídas (existentes) e para máquinas que irão passar pelo processo de Validação de Segurança, deve-se utilizar um equipamento apropriado para realizar a medição do tempo de parada da máquina, conforme ilustrado na Figura 17.

Figura 17 – Equipamento de medição do tempo de parada de máquina



Fonte: (Ametek, 2019)

O parâmetro C é determinado conforme o Quadro 7 contida no Anexo I da NR-12 dependendo da resolução da cortina de luz utilizada.

Quadro 7 – Distância adicional C

Capacidade de Detecção mm	Distância Adicional C Mm
≤ 14	0
$> 14 \leq 20$	80
$> 20 \leq 30$	130
$> 30 \leq 40$	240
> 40	850

Fonte: (BRASIL, 2018)

Desta maneira chegamos a Equação 4 para se determinar a distância mínima 'S':

$$S = 2000 \times T + C \quad (4)$$

Caso o resultado da Equação 4 seja maior que 500 mm, deve-se utilizar a Equação 5, porém o valor mínimo de 'S' deve ser maior que 500 mm:

$$S = 1600 \times T + C \quad (4)$$

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. APRECIACÃO DE RISCOS NO PROJETO

Durante o desenvolvimento do projeto da máquina, foi realizada uma Avaliação de Riscos levando-se em conta os desenhos de projeto e demais informações enviadas pelo OEM da máquina, como diagramas elétricos, diagramas pneumáticos e manuais de instrução de máquinas similares produzidas no passado.

A Avaliação de Riscos levantou 20 perigos, incluindo perigos elétricos, mecânicos, físicos, administrativos, documentações, *layout*, etc. Para este trabalho será apresentado os perigos mais relevantes.

4.1.1. Perigos Relevantes Encontrados

4.1.1.1. Dispositivos de Parada de Emergência

Conforme projeto, a máquina possuía apenas dois botões de parada de emergência localizados um no painel de controle da máquina e outro no *pendant*. Ambos os botões eram vermelhos, com fundo amarelo e possuíam descrição de função escritos em Inglês e Espanhol.

Em conformidade com a NR-12, NBR 13759 e ISO 13850, os botões de parada de emergência devem estar instalados em todos os painéis de controle e onde as pessoas envolvidas com a máquina possam estar (ao redor da máquina) durante a produção. Além disso, os botões necessitam ser vermelhos, com fundo amarelo e se possuir descrição de função, esta deve estar na língua oficial do país, ou seja, Língua Portuguesa (Brasil).

Desta forma, foi constatado que havia um número insuficiente de botões de parada de emergência instalados e que a descrição de função dos botões de parada de

emergência estavam escritos em idiomas estrangeiros e não constava em Língua Portuguesa (Brasil).

Conforme o projeto elétrico da máquina, constatou-se que os botões estavam ligados em duplo canal com saída de testes pulsadas ao CLP. O CLP por sua vez, desligava os *drives*, inversores de frequência e as partidas de motores em Categoria de Segurança 3. Entretanto, apesar da redundância existente no circuito pneumático foi notado que:

- O circuito não possuía a confiabilidade exigida para este tipo de máquina;
- O circuito não possuía válvula de segurança para realizar o desligamento da energia pneumática;
- A monitoração da válvula convencional instalada não era efetiva, de maneira que não desligava a máquina caso houvesse algum problema na válvula de entrada ou no dispositivo de monitoração (pressostato).

Pelo método do HRN, o perigo teve a seguinte classificação.

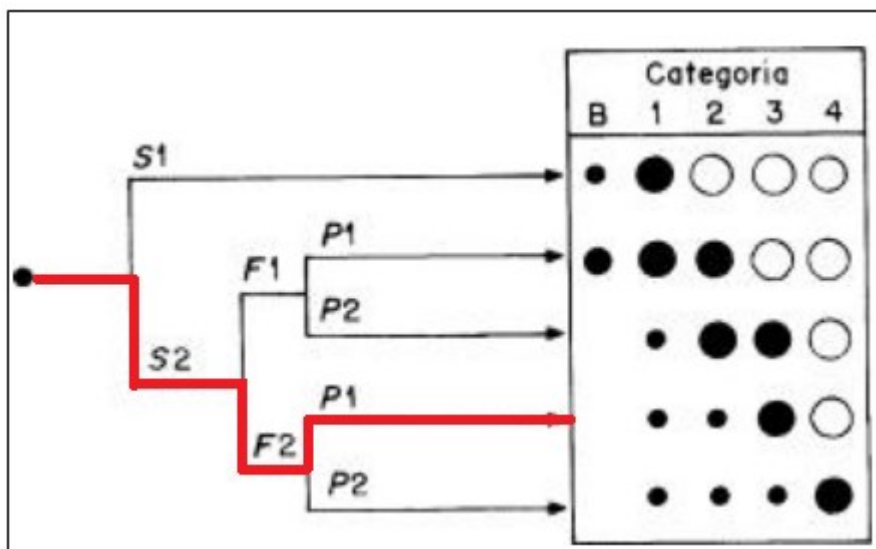
Quadro 8 – HRN Inicial, Perigo 1

Parâmetros	HRN Inicial
PO	2
DPH	4
FE	4
NP	1
HRN	32
Classificação	Significativo

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base na classificação do HRN, a máquina foi classificada com a seguinte Categoria de Segurança.

Figura 18 – Definição Categoria de Segurança, Perigo 1

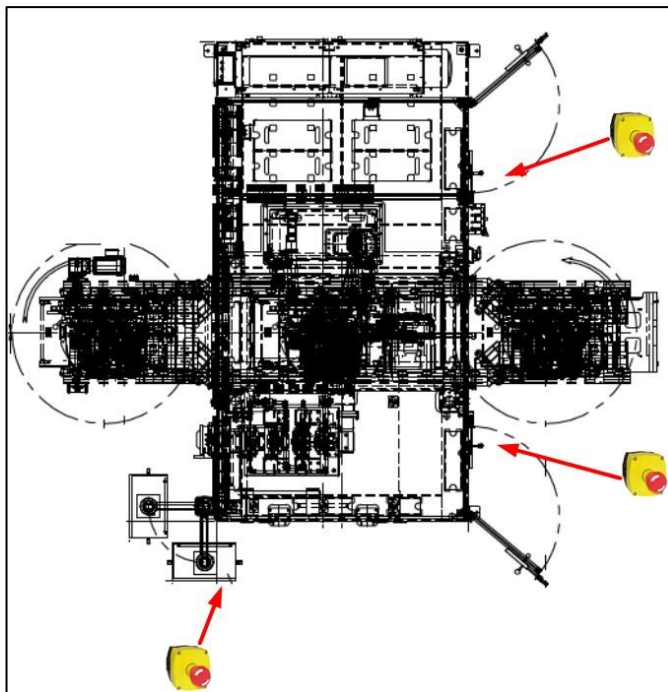


Fonte: Elaborado pelo autor

Para redução do risco, foi proposto:

- Alteração no idioma na descrição de função dos botões de parada de emergência;
- Instalação de novos botões de emergência conforme Figura 19 de forma a englobar todas as possíveis posições de operação e controle da máquina;
- Revisão no circuito pneumático, adicionando uma válvula de segurança pneumática para realizar a desenergização e despressurização da energia pneumática;
- Alteração na lógica da monitoração da válvula (pressostato).

Figura 19 – Proposta de instalação de novos botões de parada de emergência



Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando que o OEM fosse realizar as alterações propostas, um novo cálculo do HRN foi realizado com o objetivo de verificar se as soluções propostas atenderiam aos níveis aceitáveis da metodologia HRN.

Quadro 9 – HRN final, Perigo 1

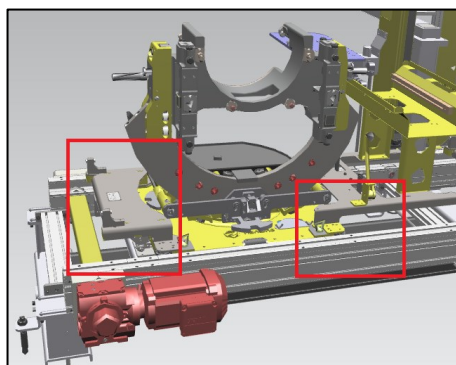
Parâmetros	HRN Final
PO	0,033
DPH	4
FE	4
NP	1
HRN	0,528
Classificação	Desprezível

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1.2. Acesso ao Giro Automático do Palete

Conforme projeto, a máquina irá possuir dois giradores automáticos de paletes, sendo um instalado na entrada da máquina e outro na saída. Estes giradores automáticos proporcionariam riscos de esmagamentos em partes da mão e/ou dedos das pessoas que poderiam estar ao redor dos equipamentos durante o giro automático. Entretanto, notou-se que o giro automático seria somente executado quando o paleta estivesse em posição correta e que a própria estrutura do paleta iria proteger os movimentos perigosos de pessoas curiosas, desatentas ou má intencionadas. A Figura 20 mostra como o paleta irá proteger dos movimentos perigosos.

Figura 20 – Proteção contra o giro automático



Fonte: Fabricante da máquina

Pelo método do HRN, o perigo teve a seguinte classificação.

Quadro 10 – HRN Inicial, Perigo 2

Parâmetros	HRN Inicial
PO	1
DPH	5
FE	0,5
NP	1
HRN	2,5
Classificação	Muito Baixo

Fonte: Elaborado pelo autor

Com base no HRN inicial, foi notado que o risco existente neste ponto da máquina está controlado em níveis aceitáveis pela metodologia utilizada. Desta forma, foi proposto somente a inserção de sinalização de segurança indicando o perigo existente no giro automático dos paletes. A sinalização deverá ser elaborada em conformidade com a norma NBR ISO 3864-1. A Figura 21 demonstra o modelo da sinalização.

Figura 21 – Sinalização de segurança proposta



Fonte: Elaborado pelo autor

Considerando que o OEM fosse fixar a sinalização, um novo cálculo do HRN foi realizado com o objetivo de verificar se as soluções propostas atenderiam aos níveis aceitáveis da metodologia HRN.

Quadro 11 – HRN final, Perigo 2

Parâmetros	HRN Final
PO	1
DPH	5
FE	0,5
NP	1
HRN	2,5
Classificação	Muito Baixo

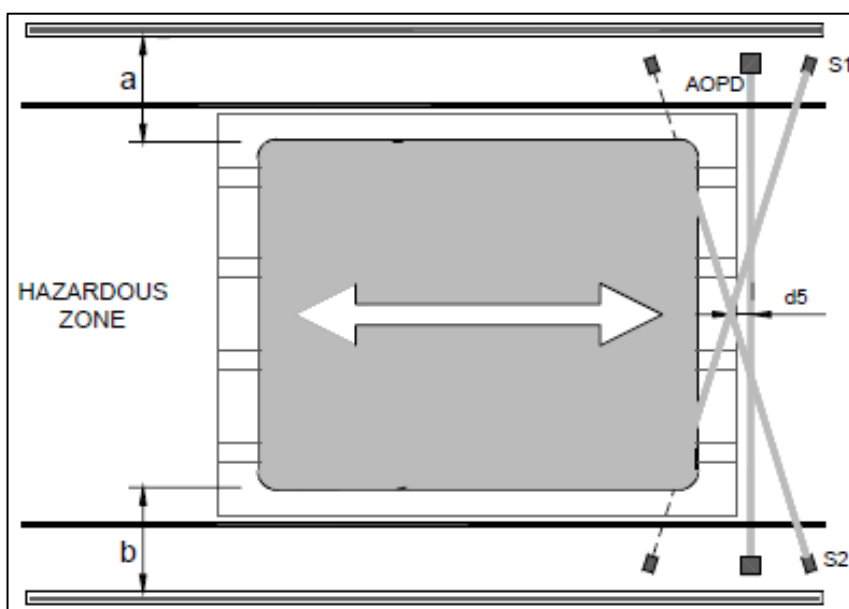
Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1.3. Acesso à Máquina através da Entrada e Saída de Paletes

Conforme projeto, a máquina irá possuir dois pares de cortina de luz instaladas na entrada de paletes pelo transportador e outro na saída de paletes da máquina. Os pares de cortina de luz serão configurados com a função de *muting* onde será possível a entrada e saída dos paletes da máquina sem ocasionar em uma parada de segurança, evitando a perda de produção com paradas desnecessárias.

A função de *muting* é descrita na norma IEC/TS 62046 e a Figura 22 exemplifica como será instalado a cortina de luz e os sensores de *muting*.

Figura 22 – Montagem cortina de luz e 2 sensores de *muting* cruzados



Fonte: (IEC/TS, 2008)

Conforme o projeto elétrico da máquina, constatou-se que os pares da cortina de luz estavam ligados em duplo canal ao CLP. O CLP por sua vez, desligava os *drives*, inversores de frequência e as partidas de motores em Categoria de Segurança 3. Entretanto, apesar da redundância existente no circuito pneumático foi notado que:

- O circuito não possuía a confiabilidade exigida para este tipo de máquina;
- O circuito não possuía válvula de segurança para realizar o desligamento da energia pneumática;

- A monitoração da válvula convencional instalada não era efetiva, de maneira que não desligava a máquina caso houvesse algum problema na válvula de entrada ou no dispositivo de monitoração (pressostato).

Pelo método do HRN, o perigo teve a seguinte classificação.

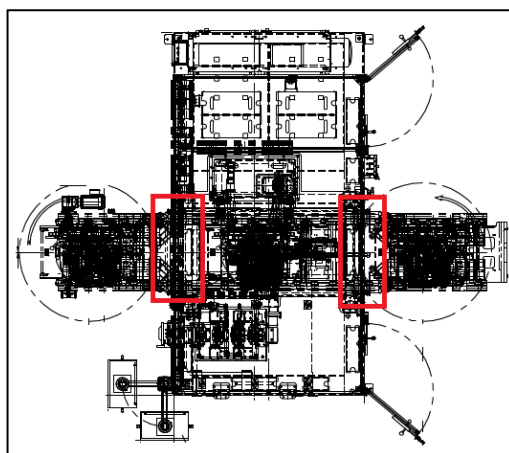
Quadro 12 – HRN Inicial, Perigo 3

Parâmetros	HRN Inicial
PO	1,5
DPH	6
FE	5
NP	1
HRN	45
Classificação	Moderado

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 23 mostra onde serão instalados os sistemas de *muting*.

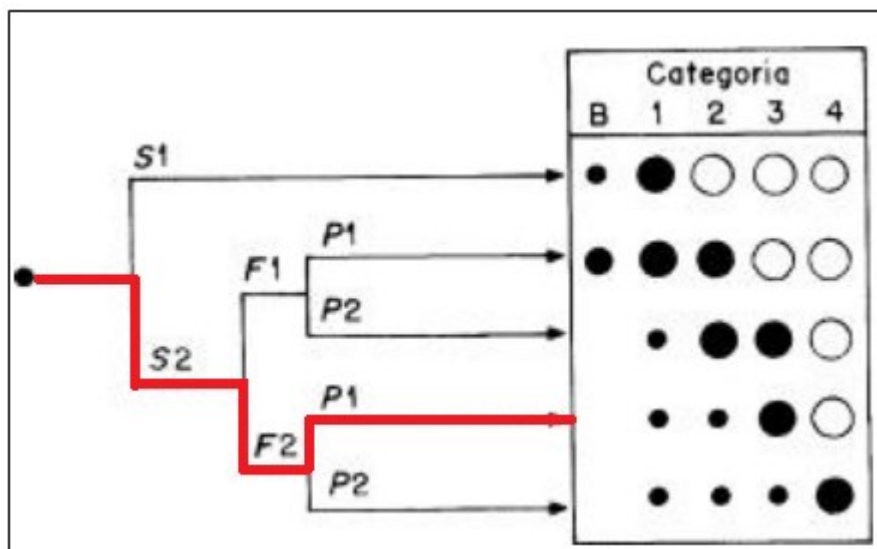
Figura 23 – Local de instalação do sistema de *muting*



Fonte: Elaborado pelo autor

Com base na classificação do HRN, a máquina foi classificada com a seguinte Categoria de Segurança.

Figura 24 – Definição Categoria de Segurança, Perigo 3



Fonte: Elaborado pelo autor

Para redução do risco, foi proposto:

- Revisão no circuito pneumático, adicionando uma válvula de segurança pneumática para realizar a desenergização e despressurização da energia pneumática;
- Alteração na lógica da monitoração da válvula (pressostato).

Considerando que o OEM fosse realizar as alterações propostas, um novo cálculo do HRN foi realizado com o objetivo de verificar se as soluções propostas atenderiam aos níveis aceitáveis da metodologia HRN.

Quadro 13 – HRN final, Perigo 3

Parâmetros	HRN Final
PO	0,033
DPH	6
FE	5
NP	1
HRN	0,99
Classificação	Desprezível

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1.4. Acesso à Máquina através das Portas Laterais Durante Operação

Conforme projeto, a máquina irá possuir duas portas instaladas na lateral da máquina, sendo uma próxima à parte frontal e outra próxima a parte traseira. Cada porta possuirá uma chave eletromecânica de segurança sem bloqueio de forma a monitorar se a porta está aberta. Caso alguém abra a porta durante a produção, a chave enviará um sinal ao sistema de controle de segurança que irá parar a máquina quase de imediato.

Conforme o projeto elétrico da máquina, constatou-se que chaves eletromecânicas de segurança estavam ligados em duplo canal com saídas de testes pulsadas ao CLP. O CLP por sua vez, desligava os *drives*, inversores de frequência e as partidas de motores em Categoria de Segurança 3. Entretanto, apesar da redundância existente no circuito pneumático foi notado que:

- O circuito não possuía a confiabilidade exigida para este tipo de máquina;
- O circuito não possuía válvula de segurança para realizar o desligamento da energia pneumática;
- A monitoração da válvula convencional instalada não era efetiva, de maneira que não desligava a máquina caso houvesse algum problema na válvula de entrada ou no dispositivo de monitoração (pressostato).

Pelo método do HRN, o perigo teve a seguinte classificação.

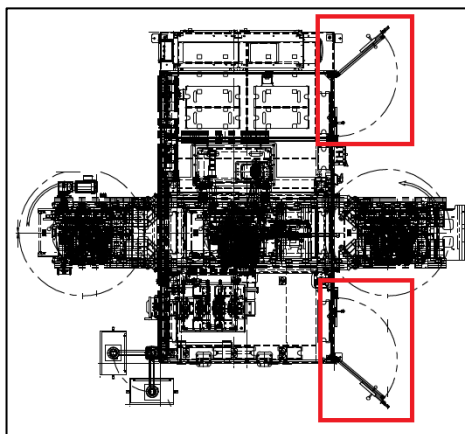
Quadro 14 – HRN Inicial, Perigo 4

Parâmetros	HRN Inicial
PO	1,5
DPH	6
FE	5
NP	1
HRN	45
Classificação	Moderado

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 25 mostra onde serão as portas monitoradas pelas chaves eletromecânicas de segurança.

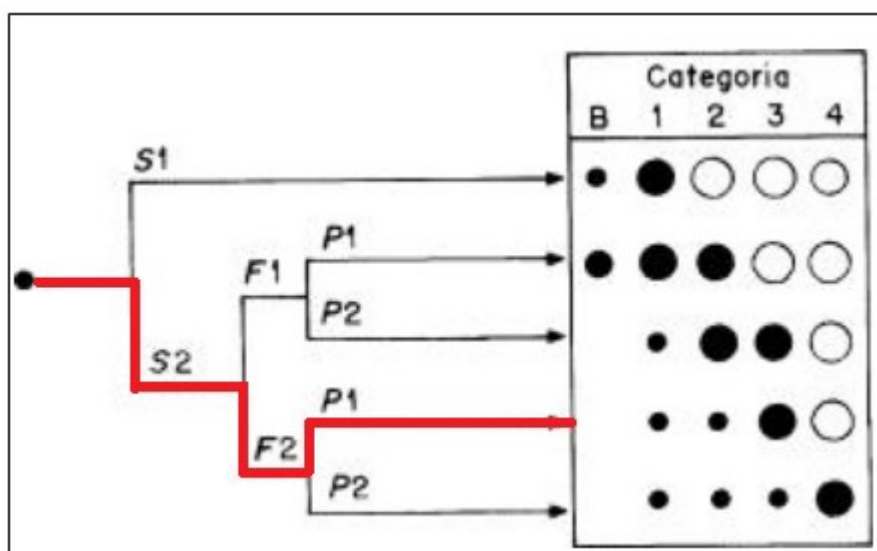
Figura 25 – Local de instalação das portas intertravadas



Fonte: Elaborado pelo autor

Com base na classificação do HRN, a máquina foi classificada com a seguinte Categoria de Segurança.

Figura 26 – Definição Categoria de Segurança, Perigo 3



Fonte: Elaborado pelo autor

Para redução do risco, foi proposto:

- Revisão no circuito pneumático, adicionando uma válvula de segurança pneumática para realizar a desenergização e despressurização da energia pneumática;
- Alteração na lógica da monitoração da válvula (pressostato);
- Estudo de tempo de parada da máquina de modo a verificar se não há inércia durante à parada dos movimentos perigosos. Casou houver, recomenda-se a utilização de chaves eletromecânicas de segurança com bloqueio conforme as normas NBR NM ISO 13852 e ISO 14119. Para verificação da distância de segurança, utiliza-se a norma NBR ISO 13855.

Considerando que o OEM fosse realizar as alterações propostas, um novo cálculo do HRN foi realizado com o objetivo de verificar se as soluções propostas atenderiam aos níveis aceitáveis da metodologia HRN.

Quadro 15 – HRN final, Perigo 4

Parâmetros	HRN Final
PO	0,033
DPH	6
FE	5
NP	1
HRN	0,99
Classificação	Desprezível

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.1.5. Acesso à Máquina através das Portas Laterais Durante Manutenção

Conforme projeto, a máquina irá possuir um *pendant* que permitirá a movimentação de uma parte da máquina com uma pessoa dentro da zona de perigo. O *pendant* possuirá uma chave de habilitação de 3 estágios incorporada na parte traseira do *pendant*. Para realizar alguma movimentação da máquina, será necessário pressionar a chave de habilitação até o segundo estágio liberando o sistema de segurança. Ao

soltar a chave de habilitação ou pressionar até o terceiro estágio, o sistema de segurança será desabilitado parando os movimentos perigosos da máquina. Além da chave de habilitação, outras medidas de segurança deverão ser utilizadas em conjunto: velocidade segura dos movimentos perigosos e limitação de tempo para cada acionamento.

Como não há uma norma específica para esta máquina (norma Tipo C), a velocidade de segurança utilizada respeita o limite genérico imposto pela norma ANSI B11.19 de 10 mm/s. A limitação de tempo servirá para impedir o acionamento da máquina por tempos prolongados com uma pessoa na zona de perigo.

Conforme o projeto elétrico da máquina, constatou-se que a chave de habilitação do *pendant* estava ligada em duplo canal com saídas de testes pulsadas ao CLP. O CLP por sua vez, desligava os *drives*, inversores de frequência e as partidas de motores em Categoria de Segurança 3. Entretanto, apesar da redundância existente no circuito pneumático foi notado que:

- O circuito não possuía a confiabilidade exigida para este tipo de máquina;
- O circuito não possuía válvula de segurança para realizar o desligamento da energia pneumática;
- A monitoração da válvula convencional instalada não era efetiva, de maneira que não desligava a máquina caso houvesse algum problema na válvula de entrada ou no dispositivo de monitoração (pressostato).

Pelo método do HRN, o perigo teve a seguinte classificação.

Quadro 16 – HRN Inicial, Perigo 5

Parâmetros	HRN Inicial
PO	1,5
DPH	6
FE	1,5
NP	1
HRN	13,5
Classificação	Baixo

Fonte: Elaborado pelo autor

A Figura 27 mostra como será o pendant e a chave de habilitação.

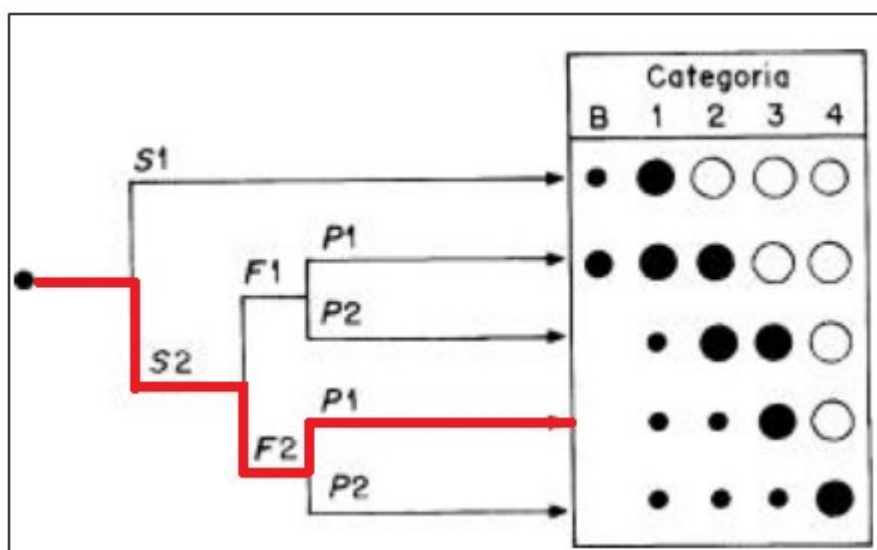
Figura 27 – Pendant utilizado



Fonte: Fabricante da máquina

Com base na classificação do HRN, a máquina foi classificada com a seguinte Categoria de Segurança.

Figura 28 – Definição Categoria de Segurança, Perigo 3



Fonte: Elaborado pelo autor

Para redução do risco, foi proposto:

- Revisão no circuito pneumático, adicionando uma válvula de segurança pneumática para realizar a desenergização e despressurização da energia pneumática;
- Alteração na lógica da monitoração da válvula (pressostato);
- Inserção da velocidade de segurança nos controles do circuito de segurança da máquina a fim de limitar e impedir velocidades acima das recomendadas pelas normas de segurança;
- Limitação do tempo de acionamento dos movimentos com a utilização do *pendant*.

Considerando que o OEM fosse realizar as alterações propostas, um novo cálculo do HRN foi realizado com o objetivo de verificar se as soluções propostas atenderiam aos níveis aceitáveis da metodologia HRN.

Quadro 17 – HRN final, Perigo 5

Parâmetros	HRN Final
PO	0,033
DPH	6
FE	1,5
NP	1
HRN	0,297
Classificação	Desprezível

Fonte: Elaborado pelo autor

4.1.2. Outros Perigos Encontrados

Além dos Perigos listados na seção acima, outros Perigos foram listados na Avaliação de Risco na fase de projeto da máquina, como:

- Meios de acesso permanente;
- Dispositivos de acionamento, atuação e parada da máquina;
- Instalação da máquina e dispositivos elétricos;
- Transportadores de materiais;

- Componentes pressurizados;
- *Layout* físico da máquina;
- Aspectos ergonômicos;
- Ruído e iluminação do equipamento;
- Riscos adicionais com produtos químicos, superfícies quentes e manuseio de óleo;
- Manutenção, inspeção, preparação, ajuste e reparo;
- Sinalização de segurança;
- Manuais de instrução e manutenção da máquina;
- Diagramas elétricos, pneumáticos e hidráulicos.

4.2. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A Avaliação de Riscos no projeto de concepção da máquina trouxe várias propostas de melhoria na máquina como:

- Instalação de novos botões de parada de emergência;
- Alteração do idioma das descrições de função para Língua Portuguesa;
- Alteração dos *drives* da máquina para *drives* com monitoração de parada segura;
- Revisão do circuito pneumático da máquina com inclusão de válvula de segurança pneumática;
- Monitoração adequada da válvula pneumática principal;
- Modificação nas escadas e plataforma de acesso aos tanques conforme medidas expressas na NR 12;
- Tradução dos diagramas elétricos, pneumáticos e hidráulicos para Língua Portuguesa (Brasil);
- Tradução dos manuais de instrução e manutenção da máquina para Língua Portuguesa (Brasil).

A presente monografia apresentou a importância de realizar uma Avaliação de Riscos durante a execução do projeto da máquina impedindo compra de componentes

que não atendem com os requisitos de segurança requeridos para a máquina, com proteções físicas ineficientes e perda de tempo de projeto, fabricação e instalação dos componentes e proteções de segurança na máquina.

A presente monografia apresentou também que há uma norma hierárquica que devemos seguir de forma que sinalizações de segurança, manuais e EPIs são os últimos passos a serem adotados desde que comprovem que os métodos anteriores não podem ser aplicados por fatores técnicos e financeiros, colocando o estado da arte em evidência.

Conforme apresentado na Avaliação de Riscos realizada, o OEM teve que redimensionar os componentes utilizados de modo que atendessem os requisitos das normas de segurança apresentado em cada perigo, como por exemplo, alteração dos *drives* e inversores convencionais da máquina para *drives* e inversores com placas específicas e de segurança para controle e limitação da velocidade segura durante a manutenção. Foi também observado um novo estudo em todo circuito pneumático da máquina, levando ao OEM realizar diversas reuniões com seu cliente final a fim de poder realizar as alterações propostas.

Não foi comentado e detalhado nesta monografia, porém os seguintes passos foram executados após esta Avaliação de Riscos:

- Avaliação de Riscos após instalação da máquina no cliente final;
- Medição do tempo de parada da máquina.

O projeto encontra-se em fase de conclusão faltando ainda a fase de Validação de Segurança.

5. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados, viu-se que é possível realizar uma Avaliação de Riscos durante o projeto da máquina visando a implementação de uma melhor redução de risco para cada perigo encontrado, conforme o método dos três passos, diminuindo os riscos residuais de cada perigo.

Este projeto demonstrou que é possível realizar um estudo na execução do projeto de uma máquina, projetando-a de modo correto e seguro para todas as operações e manutenções que precisaram ser realizadas.

Este processo de Avaliação de Risco no projeto se mostrou muito eficiente devido ao fabricante se ver obrigado a substituir componentes que ainda seriam comprados evitando desperdício de investimento em componentes não adequados com a segurança da máquina.

Em suma, todos os fabricantes de máquina (nacionais e internacionais) devem executar uma Avaliação de Riscos no projeto da máquina de maneira que ela seja concebida para se trabalhar e manter de uma forma segura, conforme recomendado pelas normas de segurança citadas nesta monografia.

REFERÊNCIAS

ABIMAQ - Associação Brasileira da Indústria de Máquinas e Equipamentos. Manual de Instruções da NR-12 – Junho_2018.pdf. Disponível em: http://abimaq.org.br/Arquivos/HTML/Documentos/NR12/Manual%20de%20Instrucoes%20da%20NR-12%20-%20Junho_2018.pdf. Acesso em: 20 de Junho de 2018.

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. **ABNT NBR 14153 - Segurança de Máquinas - Partes de Sistemas de Comando Relacionadas à Segurança - Princípios Gerais para Projeto**. Brasil: ABNT, 1998

_____. **ABNT NBR ISO 12100 - Segurança de máquinas — Princípios gerais de projeto — Avaliação e redução de riscos**. Brasil: ABNT, 2013a.

_____. **ABNT NBR ISO 13855: 2013 - Segurança de máquinas — Posicionamento dos equipamentos de proteção com referência à aproximação de partes do corpo humano**. Brasil: ABNT, 2013b.

AMETEK. Ametek Factory Automation. Disponível em: <https://www.ametekfactoryautomation.com/products/safety-products/safetimeter/1999-series-semelex-ii>. Acesso em: 12 de Mar, 2019.

BRASIL. ENIT – Escola Nacional de Inspeção do Trabalho. **NR-12 - SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS**. Brasil: Diário Oficial da União, 19 de Dez, 2018.

IEC – *International Electrotechnical Commission*. **IEC/TS 62046 - Safety of machinery – Application of protective equipment to detect the presence of persons**. Europa: IEC, 2018.

ISO – *International Organization for Standardization*. **ISO/TR 14121-2 - Safety of machinery — Risk - Part 2: Practical guidance and examples of methods**. Europa: ISO, 2017.

_____. **ISO 13849-1 - Safety Of Machinery - Safety Related parts of control systems**. Europa: ISO, 2015.

ROCKWELL AUTOMATION. **SafeBook 5 - Sistema de segurança relacionados à segurança de máquinas**. Brasil: Rockwell Automation, 2015.

STEEL, Chris. (1990). *Risk Estimation Techniques*. *The Safety & Health Practitioner*, Jun 1990.

GLOSSÁRIO

Apreciação de Risco: Uma estimativa abrangente da probabilidade e do grau da possível lesão ou danos à saúde em uma situação perigosa, a fim de selecionar medidas de segurança apropriadas.

Componente de Segurança: Um componente colocado no mercado separadamente para desempenhar uma função de segurança quando em uso e a falha ou mau funcionamento traz perigo a segurança ou saúde das pessoas expostas.

Confiabilidade: A capacidade de uma máquina ou componentes, ou equipamento realizar uma requerida função sob condições específicas e por um dado período de tempo sem falhar.

Medidas de Segurança: Medidas de proteção que utilizam medidas de segurança para proteger pessoas dos perigos que não podem ser razoavelmente eliminados ou dos riscos que não podem ser suficientemente reduzidos pelas medidas de projeto inerentemente seguro.

Operador: A pessoa ou pessoas cuja é dada a tarefa de instalar, operar, ajustar, manter, limpar, reparar ou transportar o maquinário.

Perigo: Uma fonte de possível lesão ou dano à saúde.

Pessoa Exposta: Qualquer pessoa inteiramente ou parcialmente em uma zona de perigo.

Redução de risco adequada: Redução de Risco no mínimo em acordo com os requisitos legais sob consideração da tecnologia atual.

Risco: Uma combinação da probabilidade e o grau da possível lesão ou danos à saúde em uma situação perigosa.

Segurança da máquina: A capacidade de uma máquina para desempenhar suas funções, ser transportada, instalada, ajustada, mantida, desmontada e desativada sob as condições de uso previsto no manual de instruções, sem causar lesões ou danos à saúde.

Sistema de Controle da Máquina: Sistema que responde a uma entrada, por exemplo, o processo, outros elementos da máquina, um operador, equipamento de controle externo, e gera uma saída(s) levando a máquina a se comportar na maneira prevista.

Tarefa: Qualquer atividade específica que é feita na ou ao redor da máquina durante seu ciclo de vida.

Zona Perigosa: Qualquer zona dentro e/ou ao redor do maquinário na qual uma pessoa é exposta ao risco de lesão ou danos à saúde.