Universidade de São Paulo

Escola de Engenharia de São Carlos

Luiz Ferreira Alves

Nº USP: 7591708

Aplicação da norma NR-12 para circuitos de segurança utilizando controladores lógicos programáveis e atuadores pneumáticos

São Carlos,

2015

Luiz Ferreira Alves

Aplicação da norma NR-12 para circuitos de segurança utilizando controladores lógicos programáveis e atuadores pneumáticos

Trabalho de Conclusão de Curso submetido à Universidade de São Paulo, como uma das disciplinas necessárias para a formação acadêmica em Engenharia Mecatrônica, sob orientação do Professor Doutor Dennis Brandão.

São Carlos,

2015

AUTORIZO A REPRODUÇÃO TOTAL OU PARCIAL DESTE TRABALHO, POR QUALQUER MEIO CONVENCIONAL OU ELETRÔNICO, PARA FINS DE ESTUDO E PESQUISA, DESDE QUE CITADA A FONTE.

Fa

Ferreira Alves, Luiz
Aplicação da norma NR-12 para circuitos de segurança utilizando controladores lógicos programáveis e atuadores pneumáticos / Luiz Ferreira Alves; orientador Dennis Brandão . São Carlos, 2015.

Monografia (Graduação em Engenharia Mecatrônica) -- Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, 2015.

1. Automação industrial. 2. Normas de segurança. 3. Sistemas de segurança. 4. Máquinas e equipamentos. 5. NR-12. 6. Termoformadora. I. Título.

FOLHA DE AVALIAÇÃO

Candidato: Luiz Ferreira Alves

Título: Aplicação da norma NR-12 para circuitos de segurança utilizando controladores lógicos programáveis e atuadores pneumáticos

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo
Curso de Engenharia mecatrônica

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. André Luis Dias

Nota atribuída: 10.0 (Dez) Andre Luis Dias
(assinatura)

Por. Dr. José Guilherme Gabe

Nota atribuída: 10.0 (Dez) Gabe
(assinatura)

Prof. Dr. Dennis Brandão (Orientador)

Nota atribuída: 10,0 (dez)
(assinatura)

Média: 10,0 (dez)

Resultado: aprovado

Data: 01/12/2015

Este trabalho tem condições de ser hospedado no Portal Digital da Biblioteca da EESC

SIM ☑ NÃO ☐ Visto do orientador

Dedico este trabalho a todos aqueles que colaboraram de alguma forma com a minha jornada pela universidade: família, amizades e professore, com os quais gostaria de dividir essa conquista.

AGRADECIMENTOS

Agradeço esta obra a todos aqueles que se fizeram presentes durante minha formação acadêmica; em especial, à minha família e meus amigos pelo apoio e pela compreensão durante essa fase da vida, a Deus por me guiar nesta caminhada e aos professores pela orientação e suporte acadêmico.

RESUMO

Este Trabalho objetiva a aplicação da Norma Regulamentadora 12 a sistemas de segurança, focados na área de automação industrial, mais especificamente a um estudo de caso envolvendo controladores programáveis e atuação pneumática. Esse tipo de sistema é responsável pela parada de máquinas e equipamentos em situação de emergência, e tanto a máquina quanto os dispositivos de segurança devem cumprir as exigências previstas na NR12. O escopo do trabalho será primeiramente estudar referências técnicas, princípios e medidas de proteção, presentes na Norma, para prevenir doenças e acidentes de trabalho, bem como dispositivos de segurança de máquinas para, posteriormente, aplicar esses conceitos a um estudo de caso que envolve sensores e atuadores pneumáticos controlados por CLP.

Palavras-chave: Automação Industrial. Circuitos de Segurança. Controladores Lógicos Programáveis. Normas de segurança.

ABSTRACT

This work aim to aplly regulatory standard 12 to safety systems focused on industrial automation, specifically to a case involving programmable logic controllers and pneumatic actuators. This type of system is responsible by stopping machines and equipments in emergency and both the machine and the safety devices must satisfy the requirements provided at the Standard. Firstly, our scope will be studying technical references, principles and protection measures to avoid work accidents and diseases, such as machine safety devices, and then applying these concepts to a concrete case with sensors and actuators controlled by PLCs.

Keywords: Industrial Automation. Safety Circuits. Programmable Logic Controllers. Safety Norms.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Esquema das Normas que suportam a NR12.....20

Figura 2 - Estrutura da Norma Regulamentadora 12.....21

Figura 3 - Proteção fixa contra queda em altura elevada. Fonte: Proteção nas alturas. Disponível em <http://techne.pini.com.br/>.....23

Figura 4 - Porta de microondas, proteção móvel sem dispositivo de bloqueio.....24

Figura 5 - Enclausuramento da zona de prensagem utilizando proteção móvel com intertravamento Fonte: Proteção em prensas e similares. Disponível em <http://wagner-nascimento.webnode.com.br/>.....25

Figura 6 - Sistema de proteção de prensas por ferramenta fechada Fonte: Proteção em prensas e similares. Disponível em <http://wagner-nascimento.webnode.com.br/>.....25

Figura 7 - Diagrama de seleção de proteção Fonte: ADAD, B. C. B. Princípios básicos de proteção de máquinas. Curitiba: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – PR, 2012.....26

Figura 8 - Modelo de relê de segurança com duplo canal SIEMENS. Fonte: Segurança de máquinas SIEMENS. Disponível em < http://w3.siemens.com.br/automation>.....27

Figura 9 - CLP de segurança SIMATIC S7-400 SIEMENS. Fonte: Segurança de máquinas SIEMENS. Disponível em < http://w3.siemens.com.br/automation>.....28

Figura 10 - Chave de segurança do tipo lingüeta SCHMERSAL. Fonte: Produtos e soluções de sistemas SCHMERSAL. Disponível em: < http://www.schmersal.com.br/produtos/>.....29

Figura 11 - Sensor de segurança indutivo WEG. Fonte: Produtos e serviços WEG. Disponível em < http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Controls>.....30

Figura 12 - Cortina de luz detectando presença do operador na zona perigosa Fonte: pid Automação Industrial. Disponível em: < http://pidindustrial.com.br/>.....31

Figura 13 - Tapete de segurança identificado pela faixa amarela e preta, ao redor da prensa Fonte: Proteção em prensas e similares. Disponível em <http://wagner-nascimento.webnode.com.br/>.....31

Figura 14 - Scanner a laser. Fonte: sensores SICK. Disponível em: < http://www.sick.com/group/EN/home/products>.....32

Figura 15 - Barreira óptica Fonte: Proteção em prensas e similares. Disponível em <http://wagner-nascimento.webnode.com.br/>.....32

Figura 16 - Bloco de segurança acoplado a uma prensa Fontes: Blocos de segurança para prensas. Disponível em: < http://www.boschrexroth.com.br/>.....33

Figura 17 - Seção transversal de uma válvula de segurança pneumática Fonte: Teste de Abertura das Válvula de Segurança. Disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=cMVYbBbQztc>.....34

Figura 18 - Calço de segurança conectado a uma máquina Fonte: Produtos e soluções de sistemas SCHMERSAL. Disponível em: < http://www.schmersal.com.br/produtos/>.....34

Figura 19 - Funcionamento de uma chave habilitadora. Fonte: Segurança-Medidas de proteção. Disponível em < http://www.ab.com/pt/epub/catalogs>.....35

Figura 20 - Botão de parada de emergência típico Fonte: Segurança de máquinas SIEMENS. Disponível em < http://w3.siemens.com.br/automation>.....36

Figura 21 - Chaves de acionamento por cabo Fonte: Segurança-Características gerais. Disponível em < http://www.ab.com/pt/epub/catalogs>.....37

Figura 22 - Procedimento para análise e avaliação de riscos Fonte: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr12.htm>.....38

Figura 23 - Exemplo de sinalização de perigos de uma máquina.....40

Figura 24 - Matriz de seleção de categorias de segurança. Fonte: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr12.htm>.....43

Figura 25 - Sistema de segurança categoria 1. Fonte: Segurança-Categoria de controle de sistemas. Disponível em < http://www.ab.com/pt/epub/catalogs>.....46

Figura 26 - Circuito de segurança categoria 2. Fonte: Segurança-Categoria de controle de sistemas. Disponível em < http://www.ab.com/pt/epub/catalogs>.....47

Figura 27 - Categoria 3 de sistema de segurança. Fonte: Segurança-Categoria de controle de sistemas. Disponível em < http://www.ab.com/pt/epub/catalogs>.....48

Figura 28 - Sistema de segurança categoria 4. Fonte: Segurança-Categoria de controle de sistemas. Disponível em < http://www.ab.com/pt/epub/catalogs>.....48

Figura 29 - Pedal de acionamento. Fonte: Produtos STECK. Disponível em: < http://catalogo.steck.com.br/>.....51

Figura 30 - Acionamento bimanual com botão de parada emergencial SCHMERSAL. Fonte: Produtos e soluções de sistemas SCHMERSAL. Disponível em: < http://www.schmersal.com.br/produtos/>.....52

Figura 31 - Máquina termoformadora para produção de potes e copos plásticos.....53

Figura 32 - Bobinas plásticas ligadas à pré-estufa ao fundo, utilizada para aquecimento da manta.....54

Figura 33 - Manta plástica ejetada da pré-estufa, à direita, para a câmara de termoformagem, à esquerda.....54

Figura 34 - Representação ilustrativa da conformação da manta plástica.....55

Figura 35 - Esteira transportadora de copos e bobina para sobra da manta plástica da máquina.....55

Figura 36 - Resumo figurativo do processo de termoformagem.....56

Figura 37 - Armazenamento inadequado de material utilizado no processo.....57

Figura 38 - Fonte de energia em alta tensão exposta e ausência de aterramento para a estrutura.....58

Figura 39 - Bornes energizados expostos no painel de alimentação.....58

Figura 40 - Painel de comando sem sinalização ideal.....59

Figura 41 - Alimentação dos dispositivos de comandos não está em extra baixa tensão.....59

Figura 42 - Um dos dispositivos de acionamento instalados próximo a uma zona de risco.....60

Figura 43 - Parte traseira da máquina, onde inserção da manta plástica é feita manualmente.....60

Figura 44 - Partes móveis da bobina lateral indevidamente protegidas.....61

Figura 45 - Bobinas contendo a manta plástica a ser conformada.....61

Figura 46 - Parte superior da máquina sem proteção adequada das partes móveis.61

Figura 47 - Proteção fixa danificada e insuficiente para proteção das zonas de risco da lateral da máquina.....62

Figura 48 - Áreas de perigo dentro da pré-estufa expostas.....62

Figura 49 - Parte superior do módulo transportador sem proteção adequada para as partes móveis.....63

Figura 50 - Parte inferior do módulo transportador de copos com partes móveis desprotegidas.....63

Figura 51 - Esteira inclinada da embaladora permite acesso a partes da máquina em movimento.....63

Figura 52 - Calço de segurança inadequado à máquina.....64

Figura 53 - Portas da proteção móvel sem dispositivo de intertravamento evidente.64

Figura 54 - Proteção fixa para a fonte de tensão exposta.....68

Figura 55 - Proteção fixa instalada na janela de inserção de material plástico.....68

Figura 56 – Esboço de proteções fixas instaladas de modo a evitar o contato com partes móveis do conjunto lateral de bobinagem da máquina.....69

Figura 57 - Proteção fixa instalada no entorno do módulo transportador de copos...70

Figura 58 – Exemplo de circuito de segurança de categoria 4. Fonte: FAST Automação. Disponível em: < http://www.fastautomacao.com.br/>.....72

LISTA DE GRÁFICOS E TABELAS

Tabela 1 - Principais perigos existentes em máquinas, sua natureza e exemplos...41

Gráfico 1 - Gráfico relacionando o número de acidentes por trabalhador registrado nos últimos 40 anos.....76

Tabela 2 - Número absoluto registrado de acidentes de trabalho e óbitos por acidentes de trabalho nos últimos 40 anos.....77

Tabela 3 - Número absoluto de embargos, interdições, autuações e notificações registrados desde 2007.....78

Tabela 4 - Valores relativos à probabilidade de ocorrência.....81

Tabela 5 - Valores relativos à frequência de exposição ao dano.....81

Tabela 6 - Valores relativos ao grau da lesão mais grave possível.....81

Tabela 7 - Valores referentes ao número de pessoas expostas ao risco.....82

Tabela 8 - Tabela dos valores HRN com classificação do risco e ação prevista.....82

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AC/CA – Corrente Alternada

CLP – Controlador Lógico Programável

CLT – Consolidação das Leis de Trabalho

CPU – Central de Processamento Unitário

CREA – Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia.

DC/CC – Corrente Contínua ou Direta

EN – European Standards

GM – Gabinete do Ministro

HRN – Hazard Rating Number

IEC - International Electrotechnical Commission

ISO – International Standard Organization

MTE – Ministério do Trabalho e Emprego

NA – Normalmente Aberto

NBR – Normas Brasileiras

NF – Normalmente Fechado

NR – Normas Regulamentadoras

OIT – Organização Internacional do Trabalho

SIT – Secretaria de Inspeção do Trabalho

S7 – Step 7

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO……17

1.1 DELIMITAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TEMA…….....…17

1.2 OBJETIVOS…….....18

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO…….....…18

2 A NR12 E EXEMPLOS DE DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA.....18

2.1 NORMA REGULAMENTADORA 12……19

2.1.1 Histórico da NR12……20

2.1.2 Estrutura da NR12……...22

2.2 SISTEMAS DE SEGURANÇA……..23

2.2.1 Proteções…….....26

2.2.2 Dispositivos de segurança…….....27

2.2.2.1 Interfaces de segurança…….....28

2.2.2.2 Dispositivos de intertravamento…….....30

2.2.2.3 Sensores de segurança……..…33

2.2.2.4 Válvulas e blocos de segurança……....34

2.2.2.5 Dispositivos mecânicos……...35

2.2.2.6 Dispositivos de validação…….....36

2.2.3 Dispositivos de parada de emergência……....37

3 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA NR12 A MÁQUINAS.....39

3.1 ANÁLISE DE RISCOS……..39

3.1.1 Determinação dos limites da máquina e identificação dos perigos……..….41

3.1.2 Estimativa dos riscos……..……...43

3.2 AVALIAÇÃO DOS RISCOS……..44

3.3 DECISÕES E MEDIDAS ADOTADAS..……..45

3.3.1 Adoção de sistemas de segurança……..……50

3.3.2 Requisitos de parada de emergência……..……51

3.3.3 Requisitos de partida, acionamento e parada……..……52

3.4 REVISÃO E ACOMPANHAMENTO…….....53

4 ESTUDO DE CASO: TERMOFORMADORA.....53

4.1 APLICAÇÃO DA NR12 A UMA MÁQUINA DE TERMOFORMAGEM.....53

4.1.1 Análise de riscos da termoformadora.....56

4.1.1.1 Identificação dos perigos da termoformadora.....57

4.1.1.2 Estimativa dos riscos da termoformadora.....65

4.1.1.3 Medidas adotadas.....67

4.2 OBTENÇÃO DA ART DA MÁQUINA.....75

4.2.1 Revisão da documentação da máquina.....75

5 CONCLUSÃO.....76

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....79

APÊNDICE A – CÁLCULO DO ÍNDICE HRN.....81

1 INTRODUÇÃO

Qualquer processo ou operação dentro de uma indústria envolve procedimentos e equipamentos que criam riscos para a segurança do trabalhador, podendo causar danos materiais e humanos, portanto, é de fundamental importância garantir que toda máquina possua o nível de proteção adequado, de maneira a garantir a saúde e integridade física de seus operadores. Baseada em outras Normas nacionais e internacionais, a Norma Regulamentadora 12 apresenta especificações e requisitos mínimos para evitar acidentes de trabalho durante o ciclo de vida de máquinas de todos os tipos.

1.1 DELIMITAÇÃO E JUSTIFICATIVA DO TEMA

Atualmente, o tema segurança está presente em qualquer meio que envolva risco às pessoas em trânsito, seja para instalação, manutenção ou mesmo inspeção. O crescente rigor das leis nacionais e internacionais de trabalho faz com que o investimento em dispositivos e técnicas que previnam acidentes em máquinas e equipamentos seja indispensável para o estabelecimento responsável, e é com essa motivação que será estudada a Norma e suas aplicações.

A primeira publicação das Normas Regulamentadoras aconteceu no final da década de 1970, obrigando empresas e indústrias a cumprirem e fazerem cumprir normas de segurança do trabalho, tornando-as passíveis de multas, embargos e interdições. Desde então, as NRs foram adaptadas para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores no ambiente de trabalho.

Nesse contexto, o Trabalho apresentará dispositivos e medidas, que em conformidade com a Norma Regulamentadora 12, serão aplicados em uma máquina utilizada para conformação de plásticos, e qual o passo a passo para selecionar os componentes de segurança e prevenções adequadas para esse caso.

1.2 OBJETIVOS

O foco deste trabalho é primeiramente contextualizar e entender a estrutura da NR12 e os elementos utilizados para segurança em máquinas e equipamentos, para então aplicar os dispositivos e técnicas adequadas em uma máquina termoformadora, seguindo uma estratégia de apreciação de riscos.

1.3 ORGANIZAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em cinco tópicos. O primeiro tópico apresenta uma breve introdução sobre o assunto a ser tratado, a abordagem do tema e o objetivo; em seguida, serão apresentadas a metodologia e as ferramentas utilizadas para construção de circuitos de segurança: estrutura, principais itens e anexos da Norma, os principais dispositivos elétricos e mecânicos e o método para aplicação da Norma a máquinas e equipamentos. O quarto tópico traz um estudo de caso específico, realizado em uma máquina da empresa HECE MÁQUINAS, seguindo a lógica proposta no terceiro tópico, e o resultado da implementação. Por fim, serão tomadas as devidas conclusões a respeito do estudo e apresentadas as referências bibliográficas que deram suporte ao Trabalho de Conclusão de Curso.

2 A NR12 E EXEMPLOS DE DISPOSITIVOS DE SEGURANÇA

2.1 NORMA REGULAMENTADORA 12

Normas Regulamentadoras são instrumentos legais editados pelo Ministério do Trabalho e Emprego, que norteiam as obrigações dos estabelecimentos de qualquer natureza em relação a medicina e segurança do trabalhador, e cujo não cumprimento pode resultar em multa, notificação ou interdição do estabelecimento.

Ao todo são 36 Normas Regulamentadoras, embasadas em padrões internacionais de proteção, normas técnicas ABNT ou outras NRs, sendo a NR12 a diretriz dos projetos de segurança.

Tal norma trata de medidas e comportamentos focados em garantir a saúde e integridade física dos trabalhadores, estabelecendo requisitos mínimos para prevenir doenças e acidentes de trabalho nas fases de construção, utilização, projeto, comercialização e desmonte de máquinas e equipamentos.

2.1.1 Histórico da NR12

A legislação de segurança do trabalho no Brasil começou a ser formalizada no início do século XX, por meio da Lei n. 3724, de 1919, que tornou obrigatório o seguro contra acidentes de trabalho para indivíduos que atuassem em algumas áreas específicas, como construção de estradas de ferro. Essa lei representou um marco na legislação indenizatória por acidentes de trabalho, um protótipo das normas vigentes atualmente, as quais evoluíram ao longo de quase um século e hoje representam a posição do Estado perante o tema legislação trabalhista.

A origem da NR12, especificamente, remete à lei 6514, de 22.12.1977, que altera o capítulo V do Título II da CLT, referente à saúde e medicina do trabalho e torna obrigatória algumas medidas, destacando os artigos 184, 185 e 186 da seção XI, relativa a máquinas e equipamentos e obrigatória para fabricantes de bens de capital, que estabelecem, por exemplo, a obrigatoriedade de dispositivos de parada, de partida e outros componentes necessários.

Em seguida à aprovação dessa lei, a portaria, documento que contém instruções acerca da aplicação das leis, GM nº 3214 aprova em 1978 as Normas Regulamentadoras, entre elas a NR12, com ênfase em máquinas e equipamentos. Atualmente, a Norma em vigência possui ênfase em segurança do trabalhador, alterada e revisada em 2010 pela portaria SIT, nº 197, introduzindo ao mercado nacional o conceito de máquinas intrinsecamente seguras.

2.1.2 Estrutura da NR12

A NR12 diz respeito à segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, tendo como principais objetivos:

a) Segurança do trabalhador;
b) Máquinas e equipamentos intrinsecamente seguros;
c) Melhorias das condições de trabalho em equipamentos de uso geral;
d) Respeito ao conceito da falha segura;
e) Máquinas e equipamentos a prova de burla.

Sua estrutura tem suporte em outras NRs e normas técnicas ABNT, com diferentes focos: social, como a NR7, que trata de Programas de Controle Médico de Saúde Ocupacional e referências nas normas ABNT, como a NBR14009 sobre segurança de máquinas. O corpo da Norma em si, está representado a seguir, pelas Figuras 1 e 2.

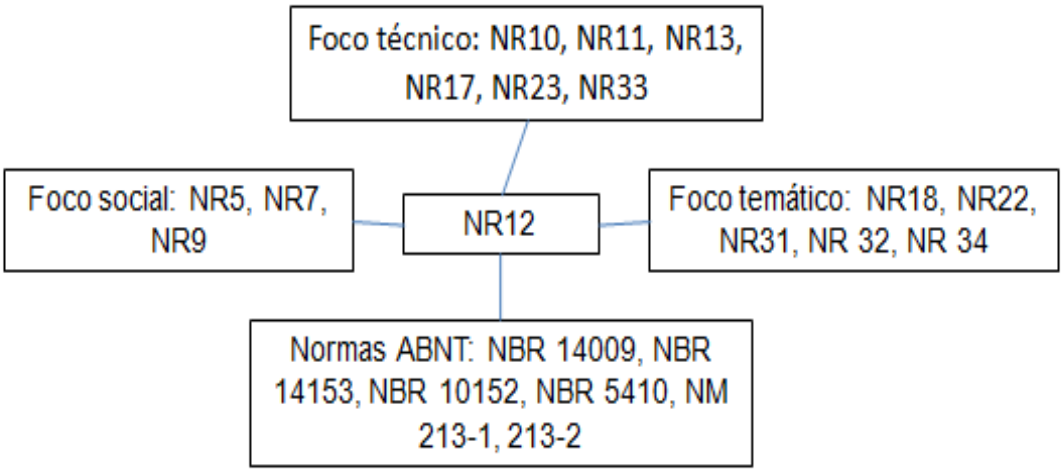

Figura 1 - Esquema das Normas que suportam a NR12.

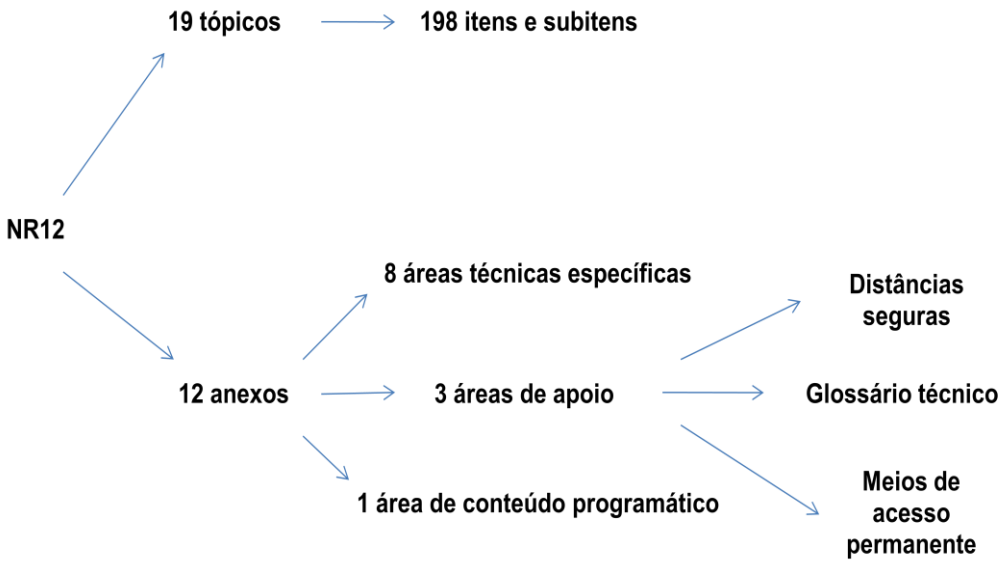

Figura 2 - Estrutura da Norma Regulamentadora 12.

Os tópicos do corpo principal da NR12 são os seguintes:

a) Princípios gerais;

b) Arranjo físico e instalações;

c) Instalações e dispositivos elétricos;

d) Dispositivos de partida, acionamento e parada;

e) Sistemas de segurança;

f) Dispositivos de parada de emergência;

g) Meios de acesso permanente;

h) Componentes pressurizados;

i) Transportadores de materiais;

j) Aspectos ergonômicos;

k) Riscos adicionais;

l) Manutenção, inspeção, preparação, ajustes e reparos;

m) Sinalização;

n) Manuais;

o) Procedimentos de trabalho e segurança;

p) Projeto, fabricação, importação, venda, locação, leilão, cessão a qualquer título, exposição e utilização;

q) Capacitação;

r) Outros requisitos específicos de segurança;

s) Disposições finais.

Neste trabalho serão expostos, alguns itens relacionados aos princípios gerais, instalações e dispositivos elétricos, dispositivos de partida, acionamento e parada, sistemas de segurança, dispositivos de parada de emergência, capacitação, sinalização e manuais, tópicos que estão diretamente relacionados ao caso que será estudado.

2.2 SISTEMAS DE SEGURANÇA

A NR12 é uma norma que conduz não só o projeto, mas a utilização de máquinas e equipamentos de forma segura aos seus operadores, compreendendo as fases de construção, transporte, montagem, instalação, ajuste, operação, limpeza, manutenção, inspeção e desmonte da máquina, nova ou usada.

Contudo, ela também prevê que, apesar do rigor na concepção dos equipamentos e na capacitação da mão-de-obra, em algum momento haverá falha técnica ou humana, e nessa situação, o sistema deve ser conduzido a um estado seguro, através da atuação imediata de dispositivos específicos, projetados para tal fim: esse é o princípio da falha segura.

Para que esse estado seguro seja garantido mesmo se houver falha do equipamento, este deve ser equipado com sistemas de segurança adequados. De acordo com a Norma, as zonas de perigo das máquinas e equipamentos devem apresentar sistemas caracterizados por proteções físicas e dispositivos de segurança interligados, considerando as características técnicas da máquina e de operação, de modo a garantir o nível necessário de segurança.

Os itens 12.38 ao 12.55.1 contêm disposições gerais sobre tais sistemas de segurança. Nos próximos tópicos, serão apresentadas brevemente as principais técnicas e dispositivos utilizados comercialmente, selecionados de tal maneira que:

a) Tenham categoria de segurança conforme análise de riscos prévia;
b) Estejam sob responsabilidade técnica de profissional habilitado;
c) Não possam ser burlados ou neutralizados;

d) Mantenham-se sob monitoramento automático, com exceção dos dispositivos exclusivamente mecânicos;

e) Paralisem movimentos perigosos em situações de falha.

2.2.1 Proteções

Em casos de máquinas e equipamentos que ofereçam risco de ruptura de suas partes, projeção de materiais, partículas ou substâncias, ou outros riscos durante seu uso é aconselhável a instalação de barreiras que garantam a segurança dos trabalhadores, conforme o item 12.48 da NR12, devendo ser projetadas e construídas conforme os itens dispostos em 12.49.

Essas proteções são classificadas em:

Proteções fixas – devem ser mantidas em sua posição de maneira permanente ou por meio de elementos de fixação que só permitam sua abertura por meio de ferramentas específicas. Um exemplo está demonstrado na Figura 3:

Figura 3 - Proteção fixa contra queda em altura elevada. Fonte: Proteção nas alturas. Disponível em <http://techne.pini.com.br/>.

Proteções móveis – podem ser deslocadas sem o uso de ferramentas, geralmente ligadas à estrutura das máquinas ou a um elemento de fixação adjacente por elementos mecânicos. Normalmente, essa proteção está associada a algum intertravamento, pois caso a proteção seja aberta com a máquina em movimento um sinal de comando de parada deve ser enviado ao circuito de segurança.

Conforme disposto no item 12.45, a máquina dotada de proteção móvel com dispositivo de intertravamento deve:

a) Operar somente com proteções fechadas;

b) Paralisar as funções perigosas quando as proteções forem abertas durante a operação;

c) Garantir que o fechamento da proteção por si só não possa dar início às funções perigosas da máquina.

Figura 4 - Porta de microondas, proteção móvel sem dispositivo de bloqueio.

Os dispositivos de intertravamento podem conter bloqueio ou não. No caso sem bloqueio, a barreira mecânica pode ser aberta a qualquer momento, e o dispositivo envia um comando de parada apenas se a barreira estiver aberta, como é o caso da Figura 4.

No caso com bloqueio, o fenômeno perigoso requer um intervalo de tempo antes de ser eliminado, ou seja, a abertura imediata da proteção permite acesso a partes da máquina em movimento. Este bloqueio pode ser condicional, onde o desbloqueio ocorre apenas sob certas condições, ou incondicional, onde o desbloqueio ocorre a qualquer tempo, mas com uma restrição: o perigo deve ser eliminado antes do desbloqueio da barreira, devendo respeitar o item 12.46 da Norma:

a) Permitir a operação somente com a proteção fechada e bloqueada;

b) Manter a proteção fechada e bloqueada enquanto não forem eliminados os riscos de lesão devido aos movimentos perigosos;

c) Garantir que o fechamento e bloqueio por si sós não dêem início às funções perigosas da máquina.

No caso de prensas ou similares, como consta no Anexo VIII, as proteções apresentadas acima são adaptadas para criar sistemas de segurança aceitáveis. São eles: **enclausuramento da zona de prensagem** e **ferramenta fechada**.

Ambos permitem o ingresso de material por meio de frestas, mas não dos membros superiores, como mãos e dedos, não devendo criar riscos adicionais, conforme Figuras 5 e 6, respectivamente.

Figura 5 - Enclausuramento da zona de prensagem utilizando proteção móvel com intertravamento. Fonte: Proteção em prensas e similares. Disponível em <http://wagner-nascimento.webnode.com.br/>.

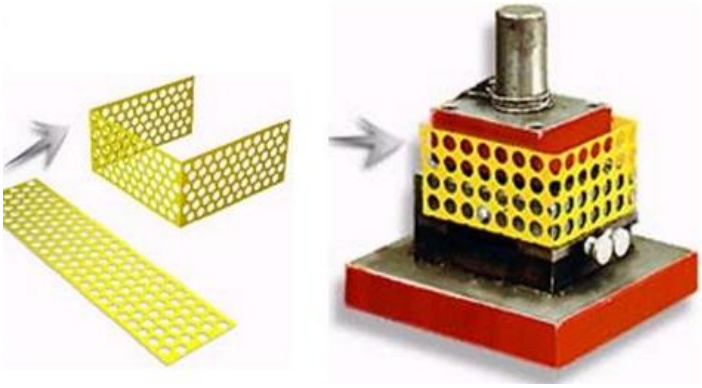

Figura 6 - Sistema de proteção de prensas por ferramenta fechada. Fonte: Proteção em prensas e similares. Disponível em <http://wagner-nascimento.webnode.com.br/>.

A seleção do tipo de proteção a ser utilizado segue um diagrama, que considera o acesso às zonas de perigo da máquina, como demonstrado abaixo. Há empresas com seus próprios esquemas de seleção de proteção, mas embasados no esquema da Figura 7.

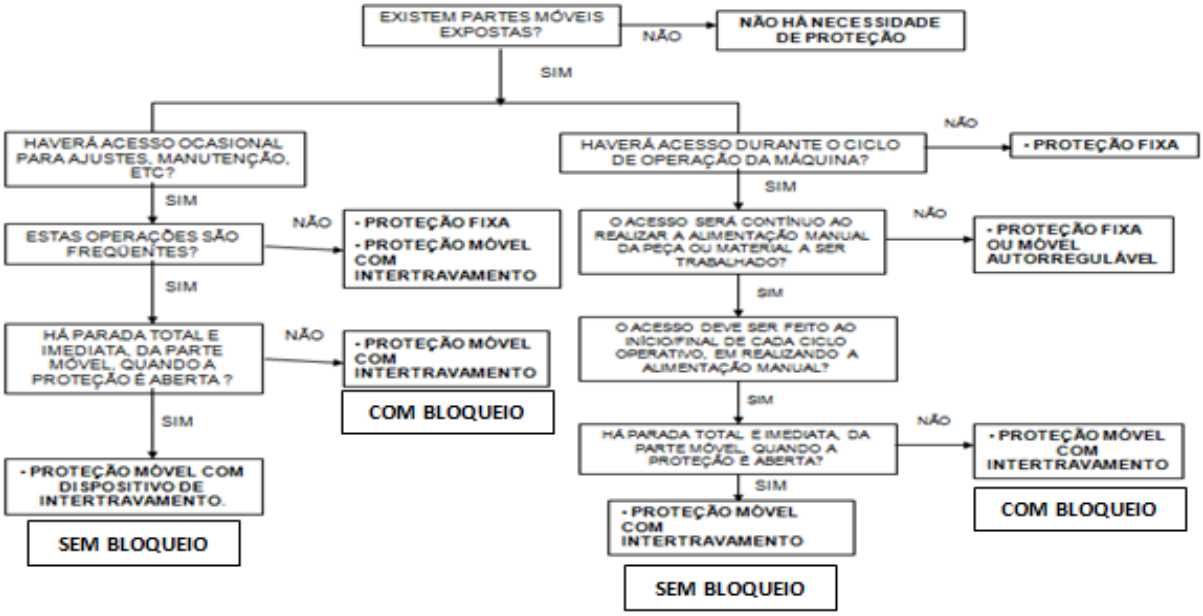

Figura 7 - Diagrama de seleção de proteção. Fonte: ADAD, B. C. B. Princípios básicos de proteção de máquinas. Curitiba: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – PR, 2012.

2.2.2 Dispositivos de segurança

Dispositivos de segurança são os componentes que, sozinhos, interligados ou associados a proteções, reduzem os riscos de acidentes e de outros problemas ligados à saúde. Segundo o item 12.42, esses dispositivos de segurança são classificados em:

a) Comandos elétricos ou interfaces de segurança;
b) Dispositivos de intertravamento;
c) Sensores de segurança;
d) Válvulas e blocos de segurança;
e) Dispositivos mecânicos;
f) Dispositivos de validação.

2.2.2.1 Interfaces de segurança

Além dos equipamentos, os dispositivos de segurança também podem falhar, provocando a perda dessa função na máquina. Para evitar que isso ocorra, há elementos que devem garantir que certas falhas não prejudiquem a ação o sistema de segurança detectando quando um componente tem sua função comprometida, monitorando-o. Caso alguma falha seja constatada, um sinal é enviado pelo dispositivo interrompendo o funcionamento da máquina até o defeito ser corrigido.

Essas detecções são resultados do auto teste, teste funcional realizado periodicamente pelo próprio dispositivo, que verifica o status dos dispositivos a ele conectados, como cortinas de luz, botões de parada de emergência e barreiras.

Esses elementos monitoradores são as interfaces de segurança, cujos principais exemplos são os **relês de segurança**, **CLPs de segurança** e **controladores configuráveis**, equipamentos eletrônicos representados abaixo que supervisionam circuitos e outros dispositivos de segurança de máquinas e apresentam características essenciais a um elemento de segurança, como redundância, técnica que consiste em implementar mais de uma vez o mesmo componente no sistema de segurança, e diversidade, aplicação de componentes de diferentes princípios ou marcas.

Figura 8 - Modelo de relê de segurança com duplo canal SIEMENS. Fonte: Segurança de máquinas SIEMENS. Disponível em < http://w3.siemens.com.br/automation>.

Contudo, esse tipo de relê é apropriado para pequenas aplicações, sendo geralmente associado a apenas um dispositivo de segurança. Para um volume maior de dados e processos mais complexos, como é o caso de máquinas industriais, há a necessidade de CLP de segurança.

Um controlador lógico programável é um computador eletrônico geralmente utilizado para aplicações industriais que desempenha funções de controle por meio de programas desenvolvidos pelo usuário em um software próprio. Os controladores de segurança são responsáveis pelo monitoramento dos sinais dos dispositivos de uma máquina, impedindo a continuidade do funcionamento caso uma falha seja detectada, além de apresentarem redundância e diversidade de componentes.

Figura 9 - CLP de segurança SIMATIC S7-400, da SIEMENS. Fonte: Segurança de máquinas SIEMENS. Disponível em < http://w3.siemens.com.br/automation>.

Com uma estrutura semelhante, o controlador configurável de segurança utiliza memória configurável para armazenar e executar funções de programa, como seqüenciamento e temporização, controlando diversos tipos de máquinas e equipamentos.

2.2.2.2 Dispositivos de intertravamento

São chaves eletromecânicas com ação e ruptura positiva que devem impedir o funcionamento de máquinas e equipamentos sob condições específicas. Ao se

observar a Figura 10, é possível identificar as lingüetas agindo como dispositivo de intertravamento, pois com a proteção aberta, a lingüeta é retirada da chave e os contatos do relê são abertos impedindo o funcionamento da máquina.

Este tipo de **chave de segurança** eletromecânica é um componente normalmente usado em proteções mecânicas móveis que atuam por ruptura positiva, ou seja, os interruptores possuem contatos normalmente fechados e ainda que haja algum imprevisto, como colagem de contatos, o circuito de segurança é interrompido. Devem ainda garantir que mesmo o desgaste físico ou alguma tentativa de burla leve sempre a máquina ao estado seguro, não permitindo a abertura da proteção da máquina com esta em operação.

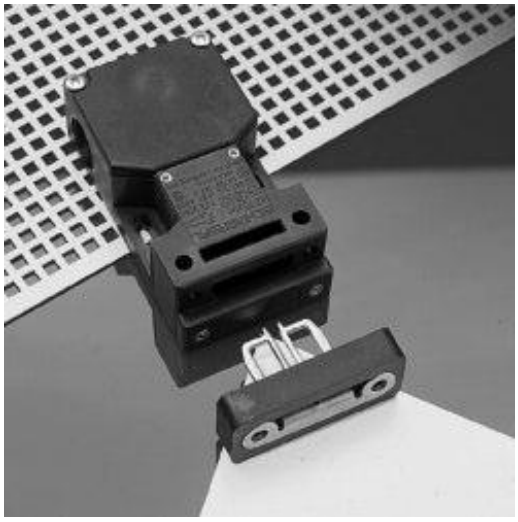

Figura 10 - Chave de segurança do tipo lingüeta SCHMERSAL. Fonte: Produtos e soluções de sistemas de segurança SCHMERSAL. Disponível em: < http://www.schmersal.com.br/produtos/>.

Há outros tipos de chave de segurança: a chave magnética e a chave de bloqueio, por exemplo. No primeiro caso, há dois elementos magnéticos, um fixo e um conectado à proteção móvel, o que elimina problemas de alinhamento e vibrações. No segundo caso, a chave é acionada por um solenóide que, em conjunto com os sinais de controle da máquina, não permite a abertura da barreira enquanto houver movimentos perigosos.

2.2.2.3 Sensores de segurança

Sensores de segurança são dispositivos detectores de presença, mecânicos ou não-mecânicos, que atuam quando algo ou alguém adentra alguma zona de perigo e monitoram a posição de algum elemento, como uma porta de segurança. Ao serem atuados, enviam um sinal interrompendo ou impedindo o início de funções perigosas.

Há uma gama considerável de tipos desses sensores: entre eles do tipo indutivo, para detecção tanto de materiais metálicos como não-metálicos, os quais são compostos por um bloco de contatos e um ímã agindo como um sensor magnético.

Figura 11 - Sensor de segurança indutivo WEG. Fonte: Produtos e serviços WEG. Disponível em < http://www.weg.net/br/Produtos-e-Servicos/Controls>.

Há outras técnicas de sensoriamento, com princípios de funcionamento e aplicações semelhantes: cortinas de luz, scanners, barreiras ópticas, batentes e tapetes de segurança, entre outros. Serão descritas apenas as citadas, por serem as mais implementadas no ambiente industrial.

As **cortinas de luz** também atuam como sensores de funcionamento optoeletrônico e devem ser monitoradas por uma interface de segurança, de acordo com as diretrizes de projeto de segurança. Esse dispositivo é composto por pares de transmissores e receptores de feixes de luz infravermelha, cuja detecção de presença ocorre da seguinte maneira: caso algum membro do operador da máquina

adentre uma zona de perigo, um desses feixes é interrompido e um sinal elétrico é gerado, emitindo um sinal de parada para a máquina.

Figura 12 - Cortina de luz detectando presença do operador na zona perigosa. Fonte: pid Automação Industrial. Disponível em: < http://pidindustrial.com.br/>.

Além da característica indutiva, como nos sensores indutivos e optoeletrônica, como as cortinas de luz, há sensores sensíveis à pressão, como é o caso dos **tapetes de segurança**. Estes consistem de duas placas planas metálicas separadas por tiras isolantes ou espuma e, quando pressionadas, produzem um curto-circuito que envia um sinal ao circuito de segurança, interrompendo o movimento o movimento perigoso. Idealmente, são instalados no piso ao redor de alguma zona de perigo de máquina, como demonstrado na Figura 13.

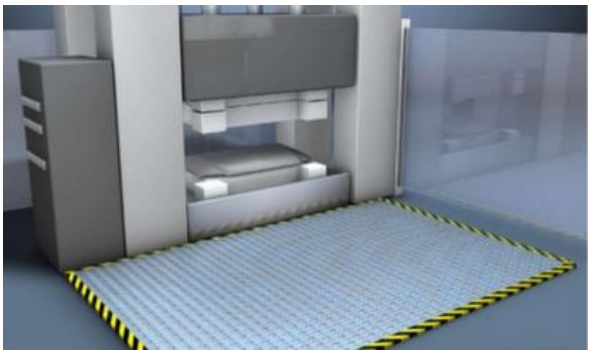

Figura 13 - Tapete de segurança identificado pela faixa amarela e preta, ao redor da prensa. Fonte: Proteção em prensas e similares. Disponível em <http://wagner-nascimento.webnode.com.br/>.

Uma das desvantagens do tapete de segurança em relação aos sensores não-mecânicos é a durabilidade. Nesse quesito, é aconselhável a instalação de

monitores de área a laser, os **scanners**: dispositivos que monitoram uma área livremente programada utilizando um equipamento que transmite e recebe sinais optoeletrônicos indicando se o espaço monitorado foi invadido. Caso isso ocorra, a luz infravermelha emitida é refletida de forma difusa para o aparelho da Figura 14.

Figura 14 - Scanner a laser. Fonte: sensores SICK. Disponível em: < http://www.sick.com/group/EN/home/products>.

Nesta situação, o atuador é paralisado e só atua caso a área seja evacuada e um novo comando de partida seja dado. Há outros sensores de segurança sensíveis à pressão, como os **batentes de segurança** e optoeletrônicos, como as **barreiras de luz** e **laser beam**, mas seu princípio de funcionamento é semelhante aos dispositivos descritos acima.

Figura 15 - Barreira óptica. Fonte: Proteção em prensas e similares. Disponível em <http://wagner-nascimento.webnode.com.br/>.

Os sensores de segurança devem ser monitorados por alguma interface, como relê ou CLP, cumprindo uma exigência do projeto de circuitos de segurança.

2.2.2.4 Válvulas e blocos de segurança

Neste tópico serão descritos itens de funcionamento eletropneumático e eletrohidráulico. Os **blocos de segurança** são adequados a sistemas hidráulicos, como prensas, e pneumáticos, como martelos de queda pneumáticos, ambos com alta quantidade de movimento.

Por exemplo, o cilindro hidráulico de uma prensa oferece risco de esmagamento a membros do operador, risco deve ser sinalizado. Segundo a Norma, esse tipo de equipamento deve possuir rearme manual associado ao elemento de segurança, instalado para prevenir acionamentos involuntários em caso de falha, e válvula de retenção para impedir a queda do martelo se o bloco de segurança falhar.

Figura 16 - Bloco de segurança acoplado a uma prensa. Fontes: Blocos de segurança para prensas. Disponível em: < http://www.boschrexroth.com.br/>.

Além do bloco de segurança, há a **válvula de segurança**, a qual protege máquinas e equipamentos de acúmulo excessivo de pressão. Por exemplo, em caso de pressão acima do valor nominal dos vasos e câmaras do martelo de queda, a válvula abre um orifício que libera o ar comprimido aliviando essa sobre pressão.

Seu funcionamento fica mais claro observando a Figura 17. Um valor acima da pressão nominal comprime a mola, abrindo o orifício lateral da válvula aliviando o excesso de pressão. O item 4 do anexo VIII da NR12 contém informações extras sobre o uso dessas válvulas.

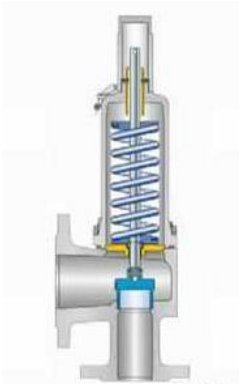

Figura 17 - Seção transversal de uma válvula de segurança pneumática. Fonte: Teste de Abertura das Válvula de Segurança. Disponível em: < https://www.youtube.com/watch?v=cMVYbBbQztc>.

2.2.2.5 Dispositivos mecânicos

De acordo com o item 12.42 da NR12, são enquadrados como elementos mecânicos de segurança: dispositivos de retenção, limitadores, separadores, empurradores, inibidores, refráteis e outros componentes de funcionamento similar. Um exemplo muito utilizado em prensas e similares é o **calço de segurança**.

Figura 18 - Calço de segurança conectado a uma máquina. Fonte: Produtos e soluções de sistemas SCHMERSAL. Disponível em: < http://www.schmersal.com.br/produtos/>.

Eles foram projetados para retenção mecânica em prensas e outras máquinas de operação no sentido vertical e com possibilidade de queda, travando o martelo de queda durante ajuste, manutenção ou troca de ferramenta da máquina. É aconselhável utilizar um dispositivo de intertravamento, permitindo o acionamento da máquina após o calço retornar a sua posição de origem.

Dispositivos de retenção são obrigatórios, dotados de algum dispositivo eletromecânico que impeça o funcionamento da máquina enquanto estiverem atuando e identificados corretamente.

2.2.2.6 Dispositivos de validação

Dispositivos de validação são dispositivos de comando operados manualmente que permitem um operador entrar em uma área de risco com funções perigosas sedo executadas, apenas enquanto está segurando o elemento de habilitação na posição acionada. Quando um operador utiliza um console de mão simples para realizar uma manutenção ou set up de máquina ou equipamento, um movimento inesperado pode colocá-lo em risco, e nessa situação, instintivamente o trabalhador pode soltar ou pressionar fortemente o console.

Uma **chave de habilitação** é um dispositivo utilizado como controle de mão que opera através de três posições, pelo motivo descrito anteriormente: não pressionada, pressionada para a posição intermediária, e pressionada além da posição intermediária. Elas estão desligadas quando não são pressionadas ou quando fortemente pressionadas e apenas ligam quando apertadas levemente.

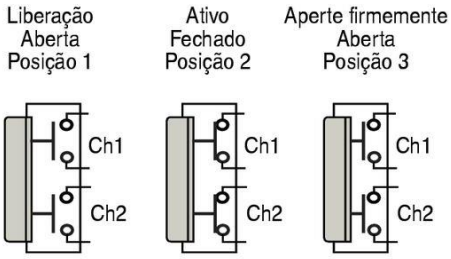

Figura 19 - Funcionamento de uma chave habilitadora. Fonte: Segurança-Medidas de proteção. Disponível em < http://www.ab.com/pt/epub/catalogs>.

Dessa forma, o trabalhador consegue adentrar a zona de perigo com as proteções abertas para alguma operação não regular habilitando essa chave e depois pressionando-a fortemente para desabilitá-la. Ao passar da posição 3 para a 1, de acordo com a Figura anterior, o dispositivo não pode ser habilitado quando atravessa a posição 2.

Para garantir a função de segurança, essa chave pode ser combinada com circuitos e interfaces de segurança.

2.2.3 Dispositivos de parada de emergência

Além dos dispositivos de segurança citados nos tópicos anteriores, a máquina deve ser equipada com um ou mais dispositivos de parada de emergência, os quais devem evitar situações claras e latentes de perigo. São comandos ativados pelo usuário em situações que requeiram a parada imediata de todos os movimentos da máquina. Esses dispositivos são caracterizados pelo travamento dos botões após acionamento, requerendo rearme manual.

O sinal gerado por esse componente deve ter prioridade sobre os outros comandos, promovendo a parada de todas as partes móveis da máquina e deve ser usado unicamente para parada em uma situação irregular, ou seja, jamais pode ser usado para acionamento ou partida.

Os itens 12.56 ao 12.63 contêm mais detalhes sobre esse elemento, que pode ser do tipo **chave de acionamento por cabo** ou **botão de parada de emergência**, caso mais utilizado em indústrias, onde o botão deve ser vermelho, ter formato semelhante ao de um cogumelo e com base amarela.

Figura 20 - Botão de parada de emergência típico. Fonte: Segurança de máquinas SIEMENS. Disponível em < http://w3.siemens.com.br/automation>.

Os dispositivos de emergência devem ser facilmente visíveis e acessíveis, presentes em locais onde uma parada seja necessária e onde os operadores possam operá-la sem exposição a riscos, regras pertinentes também para o acionamento por cabo. O sistema volta a funcionar normalmente após as condições de segurança serem restabelecidas por um funcionário autorizado.

Outro elemento, cuja imagem está representada na Figura 21, é composto por um cabo de aço, o qual deve sempre trabalhar tracionado, e chaves de parada. Ao puxar o cabo em qualquer direção, alguma dessas chaves envia um sinal de parada emergencial e o processo é interrompido; caso ele afrouxe ou rompa, a operação da máquina também é interrompida e o dispositivo, trocado. Deve ser respeitada também a distância máxima entre as chaves de parada de emergência recomendada pelo fabricante.

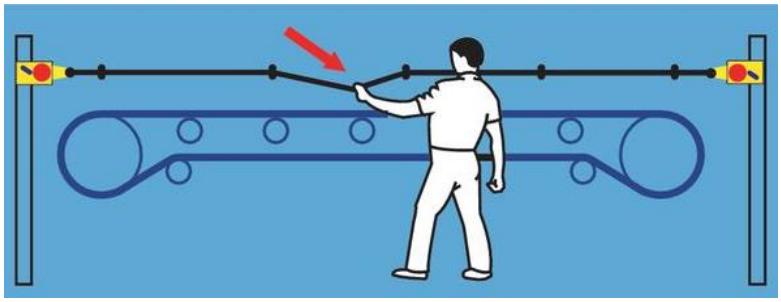

Figura 21 - Chaves de acionamento por cabo. Fonte: Segurança-Características gerais. Disponível em < http://www.ab.com/pt/epub/catalogs>.

3 METODOLOGIA DE APLICAÇÃO DA NR12 A MÁQUINAS

Nos tópicos anteriores, foram apresentados vários dispositivos e técnicas que, em conformidade com as Normas Regulamentadoras, visam à garantia da integridade dos operadores, considerando as situações de risco em todos os apectos da máquina, desde a fase de projeto até as fases finais do seu ciclo de vida.

Dependendo da situação de risco a que os trabalhadores são expostos, certos dispositivos são mais ou menos apropriados. A partir de agora serão apresentados princípios gerais para projeto, que guiarão a escolha do sistema de segurança adequado à máquina que será estudada.

O procedimento é dividido em duas etapas: a apreciação dos riscos existentes da máquina, seguida pela adoção de medidas de redução, caso necessário. Esse método é iterativo, ou seja, deve ser sempre acompanhado e revisado, de tal forma que após a seleção dos sistemas de proteção uma nova apreciação é realizada a fim de verificar que a máquina atingiu um grau de segurança apropriado e que as mudanças acrescidas na máquina não gerem novos riscos.

A apreciação consiste em uma série de passos lógicos que permitem o exame dos perigos associados à máquina, exemplificados nos tópicos a seguir. Além da identificação desses fenômenos perigosos, é feito um estudo relativo aos riscos associados a estes fenômenos: é a análise de riscos, que então são quantificados na avaliação de riscos e comparados a um índice de tolerância.

Caso a máquina não seja considerada segura, as medidas de segurança adequadas devem ser implementadas e os componentes apresentados nos tópicos anteriores são selecionados conforme os itens da Norma.

A Figura 22 traz o fluxograma do procedimento descrito acima.

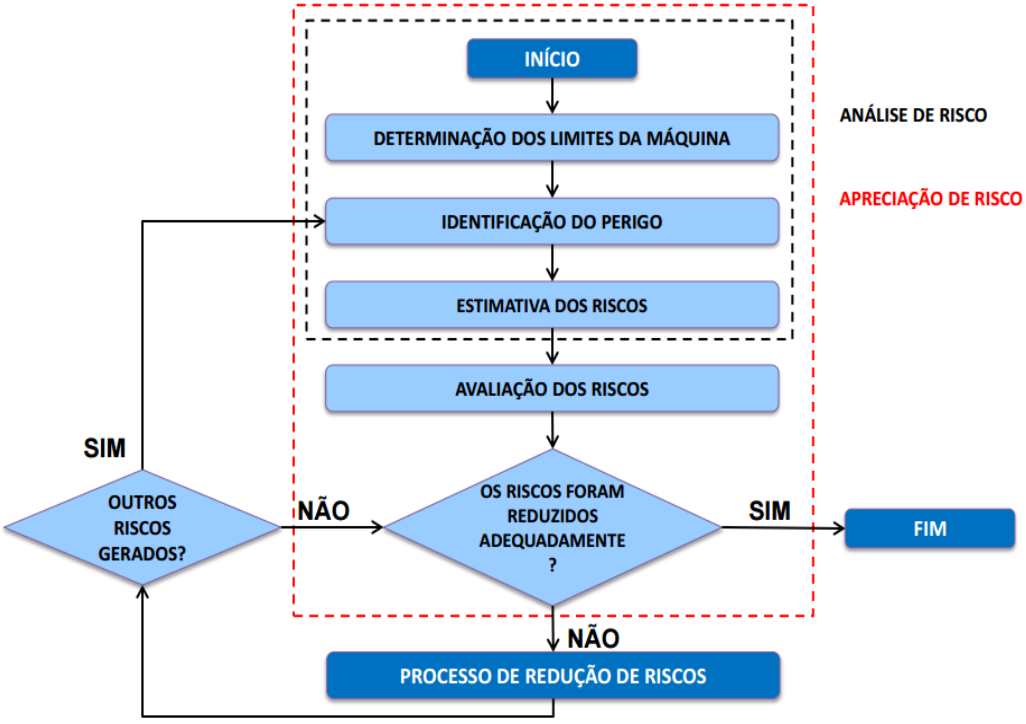

Figura 22 - Procedimento para análise e avaliação de riscos. Fonte: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr12.htm>.

3.1 ANÁLISE DE RISCOS

A análise de riscos fornece informações necessárias à avaliação de riscos, permitindo um diagnóstico sobre a segurança da máquina. Ela abrange as três primeiras etapas da apreciação: determinação dos limites da máquina, identificação dos perigos e a estimativa de riscos. Essa etapa da apreciação é responsável, portanto, pela listagem de fenômenos perigosos relacionados a cada parte da máquina e estimação dos riscos associados a cada perigo.

3.1.1 Determinação dos limites da máquina e identificação dos perigos

É importante ressaltar que perigo é uma condição, causa ou situação com potencial para provocar perdas e lesões; o risco é a combinação entre a probabilidade de ocorrência de um evento e a gravidade da lesão ou dano que pode ser causada, ou seja, o risco está associado à exposição de certo perigo.

A primeira fase da gestão de riscos da máquina consiste em determinar os limites da máquina; entre eles, os limites físicos da mesma, quem serão os operadores, os materiais e condições de trabalho, além do ciclo de vida do equipamento. Após essas informações básicas, inicia-se uma varredura sobre todos os perigos inerentes a máquina, ao processo e ao ambiente de operação: é a próxima fase do gerenciamento dos riscos da máquina.

Os perigos são a origem de toda situação de risco, e a exposição de qualquer pessoa envolvida no processo produtivo pode levar a uma ocorrência não programada que ocasiona lesões ou perdas materiais ou humanas: é o acidente. Portanto, todas as pessoas relacionadas direta ou indiretamente ao processo e todas as condições perigosas devem ser corretamente identificados, de modo a avaliá-las posteriormente.

Esses fenômenos possuem diversas origens: mecânicos, elétricos, térmicos e químicos, por exemplo, e sua listagem é feita por meio dos métodos a seguir:

a) Levantamento considerando atividades de rotina que envolvam a máquina ;

b) Toda a informação pertinente a esta, como dados estatísticos, manuais de instrução, fichas de dados de segurança, registro de acidentes e incidentes;

c) Consulta aos trabalhadores sobre os aspectos considerados perigosos;

d) Opinião especializada de terceiros, como exemplo, uma consultoria em NR12.

A Tabela 1 contém uma lista com os principais tipos de risco e suas origens. Ao final de todo o processo é importante manter os manuais, sinalização e inventários da máquina atualizados, fatos que constam na NR12 e que auxiliam nas ações futuras de gestão de riscos.

Figura 23 - Exemplo de sinalização de perigos de uma máquina.

Risco	Exemplo de perigo associado	Descrição	Origem
Esmagamento	Prensa hidráulica	Conjunto de fatores físicos que originam um ferimento causado pela ação mecânica de elementos de máquinas, de ferramentas, de peças, de projeções de sólidos ou fluidos ou ação gravitacional (queda por altura, piso escorregadio ou obstáculos).	Mecânica
Corte por cisalhamento	Serralheira		
Decepamento / Mutilação	Engrenagens de uma máquina		
Agarramento / Enrolamento	Parafuso de rosca sem fim		
Choque / Impacto	Martelo de queda		
Perfuração	Furadeira		
Picada	Materiais pontiagudos		
Abrasão	Esmerilhadeira		
Ejeção de fluido sob alta pressão	Furo na mangueira de ar comprimido		
Projeção de partículas	Emissão de cavacos do torno		
Queda	Diferença de nível sem guarda-corpo		
Tropeçamento	Caixas mal alocadas em meios de acesso		
Escorregamento	Piso escorregadio		

Choque elétrico	Fios oriundos da rede elétrica expostos ou decapados.	Risco originado pela energia elétrica presente em elementos de alta tensão ou em corpos postos acidentalmente energizados.	Elétrica
Levantamento de peso excessivo	Transporte humano de cargas	Qualquer fator que interfira nas características psicológicas e fisiológicas do trabalhador, causando desconforto ou afetando sua saúde.	Ergonômica
Ritmo de trabalho excessivo	Jornada elevada de trabalho		
Postura inadequada	Posição inadequada de trabalho		
Ruído	Aparelho com vibração intensa e de alta frequência		
Insalubridade	Ambiente inadequado de trabalho		
Repetitividade / Monotonia	Execução do mesmo movimento muitas vezes		
Incêndio	Locais com materiais inflamáveis próximos	Ambientes com temperatura muito elevada ou baixa, ou propícios a propagação de incêndio.	Térmica
Queimadura	Presença de superfícies em temperaturas elevadas		
Intoxicação gasosa	Emissão de gases tóxicos	Exposição a produtos químicos que possam prejudicar a saúde.	Química / Biológica
Inalação ou contato com fluidos tóxicos	Presença de fluidos nocivos à saúde		

Tabela 1 - Principais perigos existentes em máquinas, sua natureza e exemplos.

3.1.2 Estimativa dos riscos

Definidas as situações e condições com potencial para causar danos humanos ou materiais, deve ser estabelecida uma comparação entre os possíveis fenômenos perigosos, a fim de determinar quais desses fenômenos representam de fato um risco à saúde dos trabalhadores envolvidos, ou seja, é necessário estimar o risco relativo a cada situação perigosa para definir uma prioridade de ação.

Para estimar o risco relativo a cada condição perigosa, é importante criar um índice de risco, calculado a partir de parâmetros como a severidade de uma possível lesão e a probabilidade de ocorrência desse dano. Há diversas formas de se calcular esse índice, e neste trabalho será aplicada a ferramenta HRN, que consiste em

atribuir um valor ao risco analisado, baseado em 4 parâmetros: probabilidade de ocorrência, frequência de exposição ao risco, grau de severidade do dano e número de pessoas envolvidas.

Essa metodologia não é citada nas NBR utilizadas por este trabalho, mas será um complemento importante para a avaliação de riscos decidir se medidas de proteção deverão ou não ser adotadas. O apêndice A deste trabalho demonstra como calcular este índice, que pode variar de 0.00165 a 13500.

Caso esse valor seja relevante, sistemas de proteção são adotados e devem ser classificados, segundo um método estipulado pela norma NBR 14153, referenciado na norma NBR ISO 12100.

Essa categorização considera três parâmetros distintos:

a) Severidade do ferimento (S), onde:

- S1 caracteriza ferimentos leves, geralmente reversíveis, como abrasão, lacerações e pequenos cortes;
- S2 representa lesões ou danos graves, geralmente irreversíveis, como mutilações, cortes profundos, membros fraturados e óbito.

b) Frequência e/ou duração de exposição ao perigo (F), considerando a necessidade de acessar a área de perigo, o tempo de permanência na zona perigosa e a frequência de acesso a essa:

- F1 é para baixo tempo de exposição ao perigo ou rara exposição ao mesmo;
- F2 é para exposição frequente ou tempo de exposição longo.

c) Possibilidade de evitar o perigo ou limitar os danos (P), em função da capacidade e entendimento das pessoas que operam as máquinas acerca dos perigos existentes, da velocidade de ocorrência do evento perigoso e da capacidade humana de evitar o perigo, considerando o reflexo, agilidade e possibilidade de fuga:

- P1: possível sob certas condições;
- P2: praticamente impossível.

Após determinar um índice para cada parâmetro, a combinação entre os índices resulta em uma categoria de risco para a máquina, que pode ser B, 1, 2, 3 ou 4, sendo B a categoria mais básica de segurança e 4, a mais complexa, exigida para equipamentos onde há situações de risco muito relevantes. A matriz representada pela Figura 24 esclarece como é feita a classificação.

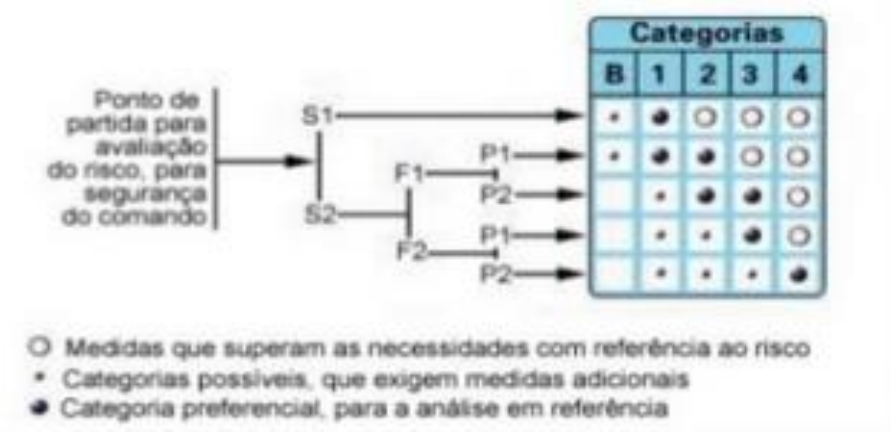

Figura 24 - Matriz de seleção de categorias de segurança. Fonte: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos. Disponível em: <http://www.guiatrabalhista.com.br/legislacao/nr/nr12.htm>.

Com esses índices de referência, as medidas corretivas podem ser tomadas com base em uma classificação objetiva, documentada em norma, de maneira a reduzir a dependência da experiência de quem avalia os riscos.

3.2 AVALIAÇÃO DE RISCOS

Após os riscos da máquina e do processo serem quantificados, é preciso julgar se esse nível de risco é aceitável ou não. Caso não seja, algumas medidas de controle ou eliminação dos riscos devem ser tomadas e instaladas, de tal forma que não gerem risco adicional. Portanto, após tomar as decisões corretivas de segurança, repete-se o processo de apreciação e uma nova avaliação é feita até que se atinja um nível aceitável, abaixo do limiar considerado seguro.

3.3 DECISÕES E MEDIDAS ADOTADAS

O próximo passo após a avaliação de riscos é decidir quais os meios adequados para atingir a redução de riscos necessária. Durante a fase de concepção da máquina, o projetista e sua equipe devem implementar dispositivos de segurança adequados, de tal forma que ela seja intrinsecamente segura, respeitando o conceito de falha segura: caso haja falha humana ou de algum componente do equipamento ou do sistema de segurança, este deve evitar a ocorrência de acidentes com perdas materiais ou humanas.

Este tópico é importante quando há o pressuposto de que o nível de segurança da máquina não é tolerável, caso contrário, não há necessidade de incrementar dispositivos e proteções ao equipamento. Basicamente, há três tipos de ações preventivas:

a) Medidas de proteção individual (EPI): equipamento usado individualmente pelo trabalhador para protegê-lo quando não for possível eliminar os riscos do ambiente onde ele opera.

- Protetor auricular, luvas de algodão, óculos de segurança, sapato de segurança e capacete, por exemplo.

b) Medidas administrativas ou de organização do trabalho: medidas tomadas por uma empresa com relação aos aspectos de trabalho de maneira a garantir a segurança dos operadores.

- Capacitação, treinamento ou qualificação profissional dos envolvidos;
- Estudo ergonômico do ambiente de trabalho, objetivando reduzir as doenças ocupacionais, cansaço ou insalubridade do ambiente;
- Estudo do arranjo físico, ou *lay out*, e das instalações do ambiente de trabalho: os itens 12.6 a 12.13 contêm regras para o planejamento para determinar onde e de que forma os equipamentos usados estarão dispostos;
- Postos de trabalho projetados para permitir as mudanças de postura e movimentação adequada dos trabalhadores para operação da máquina;

- Projeto, construção e manutenção de equipamentos, máquinas e seus comandos observando-se alguns aspectos, como esforço e postura;
- Avisos e sinalização adequada.

c) Medidas de proteção coletiva (EPC): equipamentos e dispositivos utilizados para proteção de segurança, enquanto um grupo de pessoas realiza uma tarefa.

- Proteções fixas ou móveis;
- Dispositivos de proteção, como chaves de segurança, CLP de segurança, barreiras ópticas, como fora demonstrado no tópico 2.2.2.

A prioridade na segurança de máquinas e garantia da melhoria das condições de segurança em equipamentos é eliminar fenômenos perigosos ou reduzir a um nível tolerável o risco na fase de projeto e construção da máquina ou limitar a exposição de pessoas aos perigos que não foram suficientemente reduzidos: a essa técnica dá-se o nome de prevenção intrínseca. Logo, durante as fases iniciais do ciclo de vida da máquina a segurança dos seus operadores também é planejada.

Contudo, em grande parte dos casos a prevenção intrínseca não elimina e exposição dos operadores a certos riscos, portanto medidas de proteção são fundamentais. E na hierarquia das ações de redução de riscos está a adoção de medidas de proteção coletiva, seguida pelas medidas de organização do trabalho e medidas de proteção individual.

3.3.1 Adoção de sistemas de segurança

Os sistemas de segurança são caracterizados por proteções físicas e dispositivos de segurança interligados, selecionados de acordo com a categoria de segurança atribuída na análise de riscos, ditando os requisitos necessários para o sistema, bem como seu comportamento perante uma falha, isto é, seu desempenho perante um ou mais defeitos.

Segundo a norma ABNT NBR 14153, equivalente à norma européia EN ISO 13849-1, há cinco categorias de segurança (B, 1, 2, 3 e 4), as quais determinam

como os dispositivos de segurança instalados devem proceder de forma a responderem corretamente todas as eventuais falhas que possam acontecer, minimizando o risco de acidentes em uma máquina.

A **categoria B** define os requisitos básicos para construção, seleção e montagem das partes do sistema de comando relacionadas à segurança e seus componentes, baseada somente na seleção dos componentes adequados, que devem resistir às influências do trabalho, como temperatura e fadiga. A ocorrência de um único defeito ou imprevisto pode levar à perda da função de segurança, o que pode ou não ser aceitável dependendo do nível de risco. Por exemplo, o uso de relês convencionais em circuitos.

A **categoria 1** aplica os requisitos da categoria B, com a segurança baseada na seleção dos componentes. Porém, neste caso, os sistemas de segurança devem utilizar dispositivos previamente testados e se embasar em princípios de segurança comprovados, apresentando maior confiabilidade em relação à categoria B. Contudo, a ocorrência de defeito isolado ainda pode levar à perda da função de segurança. Um exemplo de sistema de segurança categoria 1 é mostrado abaixo, com uma proteção móvel associada a uma chave de segurança de ação positiva.

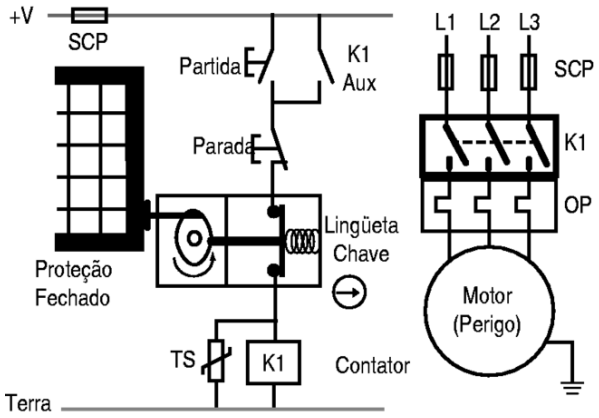

Figura 25 - Sistema de segurança categoria 1. Fonte: Segurança-Categoria de controle de sistemas. Disponível em < http://www.ab.com/pt/epub/catalogs>.

As categorias B e 1 são baseadas na prevenção de falhas e em princípios básicos de segurança, enquanto as próximas categorias de segurança exigem que, se as falhas não podem ser evitadas, devem ser detectadas e tomadas as medidas necessárias.

Para a **categoria 2** devem ser aplicados os requisitos básicos de segurança e sistemas de comando que sejam verificados em intervalos de tempo definidos. Esse teste cíclico é o auto teste, e é executado na partida da máquina, antes de qualquer situação de perigo e ciclicamente durante a operação da máquina caso seja necessário.

Ainda assim, a ocorrência de um defeito pode levar à perda da função de segurança entre duas verificações, o que deve ser verificado no teste que se segue. Dessa maneira, os circuitos de categoria 2 já exigem interfaces de segurança, monitorando o estado dos outros dispositivos e evitando a partida da máquina caso uma falha seja detectada, como exemplifica a Figura 26.

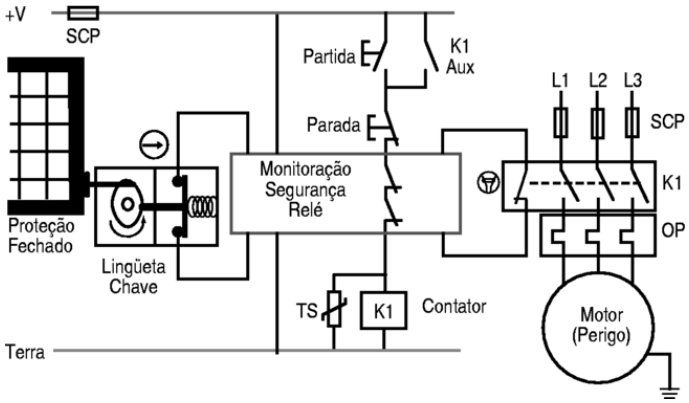

Figura 26 - Circuito de segurança categoria 2. Fonte: Segurança-Categoria de controle de sistemas. Disponível em < http://www.ab.com/pt/epub/catalogs>.

A **categoria 3** exige o bom desempenho do sistema de segurança, onde um defeito isolado deve sempre ser detectado, sem prejudicar o comportamento do circuito de segurança, com algumas exceções, como falhas na fiação e curto-circuito, cujo acúmulo pode levar à falha do circuito de segurança. A maior complexidade dessa categoria exige circuitos com interfaces de segurança e dispositivos redundantes, como o canal duplo de contatos do relê, combinados com monitoramento do circuito. Um exemplo está mostrado na figura a seguir.

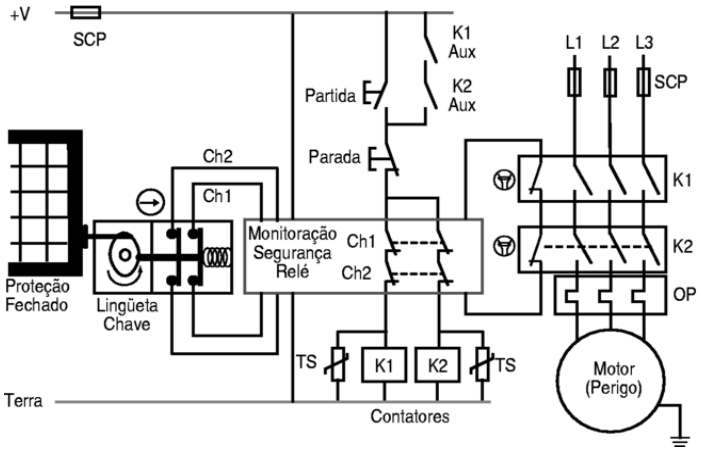

Figura 27 - Categoria 3 de sistema de segurança. Fonte: Segurança-Categoria de controle de sistemas. Disponível em < http://www.ab.com/pt/epub/catalogs>.

A mais completa das categorias de segurança de máquinas e equipamentos é a **categoria 4**. Os componentes do sistema devem ser selecionados e projetados de tal forma que um defeito isolado não leve à perda da função segura, assim como a categoria 3. Caso alguns defeitos não sejam detectados, o acúmulo destes também não deve afetar a função de segurança da máquina.

As técnicas de auto teste periódico, redundância e monitoramento dos componentes e também da interface de segurança são requisitos importantes de projeto, pois tratam se aplicam a máquinas de maior nível de risco. Nessa categoria, não só a prevenção, mas a detecção e correção de falhas são priorizadas.

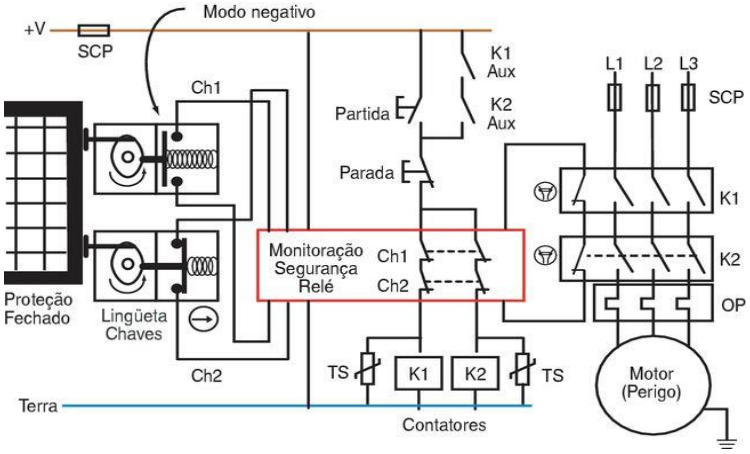

Figura 28 - Sistema de segurança categoria 4. Fonte: Segurança-Categoria de controle de sistemas. Disponível em < http://www.ab.com/pt/epub/catalogs>.

Com as zonas perigosas identificadas e os requisitos para cada categoria de segurança definidos, deve ser feita a seleção dos dispositivos de proteção ideais para a máquina. Como fora citado, nem todos os riscos podem ser evitados durante a concepção da máquina, então medidas de proteção coletivas são fundamentais.

O próximo passo é impedir o acesso a zonas de perigo por meio de barreiras físicas. A Figura 7 e alguns itens a respeito de sistemas de segurança da NR12 mostram como selecionar a proteção adequada: caso não haja acesso contínuo à área de perigo, é aconselhável usar uma proteção fixa.

Contudo, em alguns casos, o acesso ocorre uma ou mais vezes por turno de trabalho, seja para alimentação com matéria-prima, limpeza ou manutenção da máquina – nesses casos utiliza-se uma proteção móvel. Quando a abertura da barreira não permitir acesso ao perigo antes de eliminar o risco, um dispositivo de intertravamento é associado à proteção; caso a abertura permita esse acesso antes de eliminar o risco, recomenda-se dispositivo de intertravamento com bloqueio.

Quando se torna inviável a utilização de proteções físicas, há outros dispositivos que realizam função semelhante, como barreiras ópticas, scanners de área, tapetes de segurança, entre outros. Esses dispositivos são recomendados para categorias com alto nível de risco, sendo à prova de burla e não prejudicando a função de segurança da máquina caso haja defeitos nos dispositivos.

A escolha por um dispositivo específico depende das características da máquina, porém, tanto para a prevenção intrínseca quanto para os sistemas adotados, uma distância mínima de segurança deve ser adotada, detalhada no anexo I da NR12.

Muitos dos riscos oriundos de perigos de caráter mecânico são atenuados respeitando a distância mínima de segurança, mantendo as zonas de perigo longe do alcance de membros dos operadores. O cálculo dessa distância mínima considera fatores como as dimensões e alcance do corpo humano, as dimensões da zona de perigo e o modo de acesso a esta, sendo um aspecto de projeto de segurança indispensável. A Norma ressalta as distâncias seguras para **proteções mecânicas**, **scanners de área** e **detectores optoeletrônicos**, dispositivos mais comumente utilizados.

3.3.2 Requisitos de parada de emergência

Os requisitos gerais para a instalação de componentes de parada de emergência estão dispostos nos itens 12.56 a 12.63.1 da Norma Regulamentadora 12. Resumidamente:

a) As máquinas devem estar equipadas com um ou mais dispositivos de emergência, os quais devem estar disponíveis e operacionais o tempo todo;
b) Esses dispositivos não devem ser usados para partida ou acionamento;
c) Estes devem ser facilmente acessíveis e visíveis por qualquer pessoa que transite ao redor da máquina, devem ser de fácil atuação e seu acionamento aplica o princípio da ação positiva;
d) Devem ser selecionados e montados de forma a suportar as condições de operação, sendo uma medida auxiliar e não alternativa a medidas adequadas de proteção;
e) Prevalecem sobre outros comandos, sendo monitorado por interface de segurança;
f) Seu acionamento resulta na retenção do acionador até uma manobra apropriada o desacione, ou seja, a parada de emergência exige rearme manual realizado após a correção do evento que a originou;
g) Essa função não deve gerar riscos adicionais ou prejudicar a eficiência de sistemas e dispositivos de segurança.

Essa função também possui categorias de atuação, classificadas de forma diferente da observada para os circuitos de segurança. Basicamente, há 3 categorias, onde as paradas de categoria 0 ou 1 executam a função de segurança propriamente dita, diferindo na urgência com que a máquina deve parar:

A **categoria 0** é a classe de parada de emergência prioritária sobre as outras. A parada ocorre pelo desligamento imediato da alimentação dos motores da máquina ou desconexão mecânica entre os elementos de risco e os correspondentes atuadores da máquina.

A **categoria 1** engloba dispositivos de parada de emergência que realizam uma parada controlada da maquina. A alimentação dos atuadores da máquina é mantida até que a parada seja atingida, logo, há uma desenergização temporária. O movimento perigoso é cessado, para então a energia do equipamento ser interrompida.

A **categoria 2** é uma parada controlada, sem interromper a alimentação dos motores. Como exemplo, uma parada de produção comum.

A categoria 0 inclui o acionamento por botão de emergência ou por cabo, em situações onde o risco exige uma parada mais imediata. Recentemente, normas técnicas como a IEC sofreram alterações que permitem o uso de componentes eletrônicos como circuito de parada, por exemplo, CLPs de segurança.

3.3.3 Requisitos de partida, acionamento e parada

Não só os sistemas de segurança de uma máquina possuem exigências previstas na Norma Regulamentadora 12, mas também os dispositivos responsáveis pelo acionamento, partida e parada das máquinas e equipamentos, exigências dispostas nos itens 12.24 a 12.37 da NR12.

Os dispositivos mais utilizados para tal função são o **comando bimanual**, o **pedal de acionamento** e, mais recentemente, a **botoeira eletrônica de esforço zero**, selecionados conforme o tipo de acionamento mais conveniente. Por exemplo, quando a zona de perigo e está está próxima a um dispositivo de acionamento, aconselha-se o uso do comando bimanual.

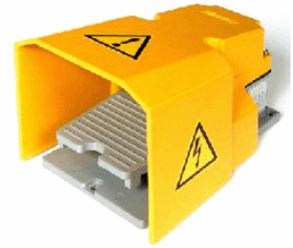

Figura 29 - Pedal de acionamento. Fonte: Produtos STECK. Disponível em: < http://catalogo.steck.com.br/>.

Figura 30 - Acionamento bimanual com botão de parada emergencial SCHMERSAL. Fonte: Produtos e soluções de sistemas SCHMERSAL. Disponível em: < http://www.schmersal.com.br/produtos/>.

O número de comandos deve corresponder ao número de operadores expostos aos riscos da máquina, assim o nível de proteção é o mesmo para cada trabalhador. Nesse caso, é recomendável o uso de chaves seletoras do número de dispositivos de acionamento em utilização.

3.4 REVISÃO E ACOMPANHAMENTO

O processo de avaliação de riscos deve ser revisto em intervalos regulares ou sempre que houver alguma mudança na organização, mudança nas normas regulamentadoras ou algum acidente decorrente da exposição a situações de perigo que não foram contempladas na análise de risco. Portanto, todo o procedimento que fora descrito no tópico 3 é revisto de forma a manter os documentos atualizados.

A Norma Regulamentadora 12 tem como objetivos fornecer informações sobre técnicas e práticas em segurança de máquinas e equipamentos, desde a fase de concepção e projeto até o descarte para máquinas novas e adequação das já existentes e operantes, assim é um instrumento legal que atua em conjunto com a legislação para garantir a saúde e integridade de todos os operadores.

Ao final de qualquer projeto referente a máquinas e equipamentos, é obrigatória a emissão da ART – Anotação de Responsabilidade Técnica – registro que formaliza o compromisso do profissional com a qualidade dos serviços sujeitos à fiscalização do CREA.

4 ESTUDO DE CASO: TERMOFORMADORA

O passo seguinte deste trabalho foi realizar um estudo de caso, que consistiu em aplicar a metodologia apresentada a uma máquina já existente e em operação, porém em desconformidade com alguns itens da Norma Regulamentadora 12. O caso em questão é uma máquina termoformadora que produz potes e copos plásticos descartáveis a partir da prensagem de uma manta plástica pré-aquecida em um molde no formato do objeto desejado, mostrada na imagem abaixo.

Figura 31 - Máquina termoformadora para produção de potes e copos plásticos.

4.1 APLICAÇÃO DA NR12 A UMA MÁQUINA DE TERMOFORMAGEM

Antes de aplicar o procedimento descrito na metodologia, é importante compreender como funciona uma máquina de termoformagem. Esse é um dos processos de transformação de plásticos mais simples e economicamente viáveis, que se inicia pelo pré-aquecimento de uma bobina de plástico em um compartimento denominado pré-estufa.

Figura 32 - Bobinas plásticas ligadas à pré-estufa ao fundo, utilizada para aquecimento da manta.

A manta sai da câmara de pré-aquecimento e entra na máquina através de uma abertura em sua parte traseira, onde então é posicionada entre um molde com formato pré-estabelecido e uma placa com orifícios para ejeção de ar comprimido.

Figura 33 - Manta plástica ejetada da pré-estufa, à direita, para a câmara de termoformagem, à esquerda.

O molde se desloca de modo a prensar a camada plástica entre ele e a placa, a qual então libera ar comprimido conformando essa camada na superfície do molde, em formato pré-estabelecido: esse processo é conhecido como moldagem a pressão e está ilustrado abaixo.

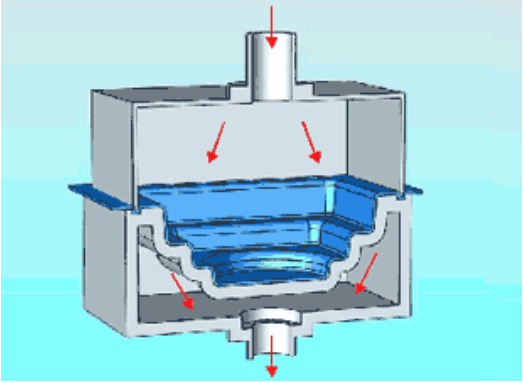

Figura 34 - Representação ilustrativa da conformação da manta plástica.

As peças formadas são resfriadas e removidas sem distorcer, para então serem despejados numa esteira existente na parte frontal da máquina e encaminhados até uma embaladora, enquanto a sobra de manta plástica é enrolada em uma bobina lateral, como na fotografia a seguir.

Figura 35 - Esteira transportadora de copos e bobina para sobra da manta plástica da máquina.

O processo de termoformagem pode ser resumido pela Figura 36 e o modelo a ser analisado será a termoformadora HF 550 RSJ, da empresa HECE Máquinas. Este modelo não é produzido atualmente e o modelo substituto opera em conformidade com as disposições das Normas Regulamentadoras.

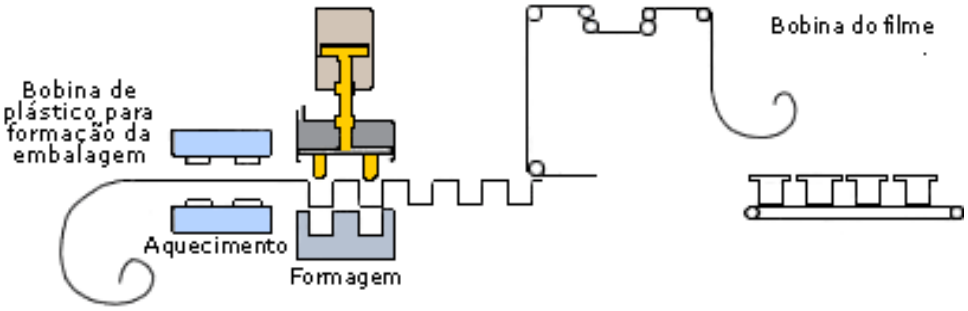

Figura 36 - Resumo figurativo do processo de termoformagem.

Os movimentos do molde da termoformadora ocorrem através de um mecanismo de cames acionados por cilindros pneumáticos e controlados por um CLP. Outros comandos e dispositivos fundamentais ao funcionamento da máquina serão apresentados durante a apreciação de riscos.

4.1.1 Análise de riscos da termoformadora

A máquina termoformadora analisada neste trabalho operava desde o ano de 2010, quando então foi solicitada a adequação do equipamento às normas de segurança vigentes, após um acidente no transportador linear que culminou com o decepamento de parte do membro de um dos operadores, ao final de 2014.

O primeiro passo do procedimento para aplicação da NR12 à máquina é a determinação dos limites de apreciação de riscos da máquina, como as condições em que ela será usada. Não foi constatada a capacitação adequada dos trabalhadores, parte dos manuais não estarem presentes, o que descumpre o item 12.125, e algumas partes da máquina não estavam em condições adequadas de uso.

O acidente decorreu de uma falha humana, porém poderia ter sido evitado caso houvesse dispositivos de proteção adequados instalados na máquina, portanto, a prevenção intrínseca durante a fase de projeto não foi suficiente para eliminar ou reduzir todos os riscos a um nível aceitável, e medidas coletivas de proteção serão adotadas.

A apreciação de riscos segue para identificação de todos os aspectos e situações passíveis de gerar lesões e danos materiais e humanos na máquina e no ambiente em que ela está sendo operada.

4.1.1.1 Identificação dos perigos da termoformadora

O primeiro passo do procedimento para aplicação da NR12 à máquina é a determinação dos limites de apreciação de riscos da máquina, ou seja, as condições em que ela será usada. Constatou-se que os profissionais que operam o equipamento não foram capacitados corretamente para atuá-lo, os manuais de operação não estão totalmente acessíveis, e algumas proteções fixas estavam danificadas, apesar da máquina operar normalmente.

Foi averiguado que um acidente decorreu de falha humana, combinada à falta dos dispositivos de proteção corretos, que culminou no decepamento de um dedo do operador. Portanto, as medidas implantadas durante a fase de projeto da máquina não foram suficientes, e torna-se recomendável optar por medidas de proteção coletiva. A adoção de medidas coerentes para o caso inicia na identificação dos perigos da máquina, onde cada zona perigosa será listada e associada a um registro fotográfico, bem como o item correspondente da NR12 e o risco associado.

a) Parte das embalagens utilizadas no processo é armazenada em local inapropriado, no entorno da máquina, obstruindo a circulação de pessoas. Risco: tropeçamento e queda, itens 12.6.2 e 12.7.

Figura 37 - Armazenamento inadequado de material utilizado no processo.

b) Fontes de energia em alta tensão instaladas no entorno da máquina sem nenhum tipo de proteção adequada, em desacordo com o item 12.14, e falta de aterramento específico na carcaça das estruturas do equipamento, em desacordo com o item 12.15 da NR12 e provocando risco de choque elétrico.

Figura 38 - Fonte de energia em alta tensão exposta e ausência de aterramento para a estrutura.

c) O painel de alimentação principal da máquina apresenta partes energizadas expostas, desrespeitando o item 12.21c e provocando risco de choque elétrico. Este também permanece aberto, sem tranca adequada, permitindo acesso de pessoal não autorizado, em desconformidade com o item 12.18a.

Figura 39 - Bornes energizados expostos no painel de alimentação.

d) Os painéis de comando não possuem sinalização adequada quanto ao risco de choque elétrico e acesso de pessoas sem autorização, não atendendo ao item 12.18.

Figura 40 - Painel de comando sem sinalização ideal.

e) A alimentação dos dispositivos de comando devem ser de até 60 Vcc ou 25 Vac, o que não está evidente, não atendendo o item 12.36. Essa irregularidade pode levar ao choque elétrico em alta tensão caso haja contato com partes energizadas expostas.

Figura 41 - Alimentação dos dispositivos de comandos não está em extra baixa tensão.

f) Parte dos dispositivos de parada e partida se encontram instaladas próximas a zonas de risco, acarretando riscos de corte e esmagamento e desobedecendo ao item 12.24a.

Figura 42 - Um dos dispositivos de acionamento instalados próximo a uma zona de risco.

g) A janela existente na parte traseira do conjunto principal da termoformadora permanece aberta, permitindo acesso às engrenagens e correntes presentes na parte interna da máquina, acarretando risco de corte por cisalhamento, esmagamento e decepamento, contrariando o item 12.38.

Figura 43 - Parte traseira da máquina, onde inserção da manta plástica é feita manualmente.

h) O conjunto de bobinagem lateral das sobras da manta plástica permite acesso a engrenagens e demais partes móveis que geram risco de corte, esmagamento e mutilação, em desacordo com o item 12.38.

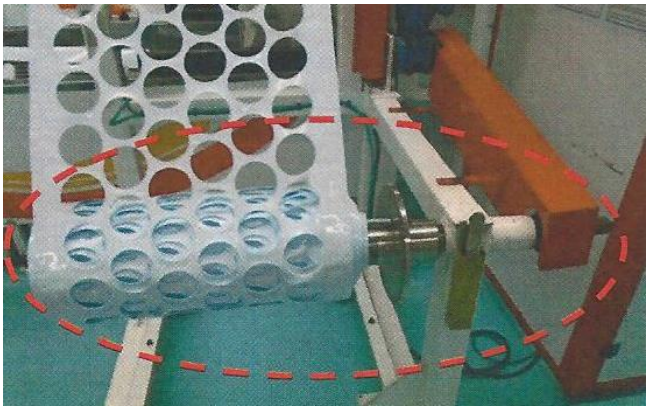

Figura 44 - Partes móveis da bobina lateral indevidamente protegidas.

i) Bobina de alimentação do filme, na parte traseira da máquina, em movimento constante e sem proteção adequada, acarretando risco de esmagamento e agarramento, descumprindo o item 12.38 da NR12.

Figura 45 - Bobinas contendo a manta plástica a ser conformada.

j) Apesar de não possuir meios de acesso permanentes, a parte superior da máquina apresenta eixos, engrenagens e partes móveis que podem levar a esmagamento, corte e mutilação, sem a proteção prevista pelo item 12.38.

Figura 46 - Parte superior da máquina sem proteção adequada das partes móveis.

k) As proteções fixas existentes nas laterais da prensa encontram-se danificadas e sem fixação adequada, permitindo sua retirada e acesso às zonas de risco, o que descumpre o item 12.38 da Norma Regulamentadora 12.

Figura 47 - Proteção fixa danificada e insuficiente para proteção das zonas de risco da lateral da máquina.

l) As portas laterais da pré-estufa existente permanecem abertas sem proteção adequada, permitindo contato com engrenagens, pistões, partes energizadas e aquecidas, acarretando riscos mecânicos e térmicos, descumprindo o item 12.38.

Figura 48 - Áreas de perigo dentro da pré-estufa expostas.

m) A parte frontal da máquina possui um transportador linear, uma embaladora e uma esteira inclinada acoplada a esta, e em todos os casos, há acesso a partes móveis, como engrenagens, correias, correntes e roletes, acarretando risco de corte, esmagamento, agarramento e mutilação, em desacordo com o item 12.38 da NR12 e representada pelas imagens abaixo. Esse módulo da máquina se enquadra como transportador de materiais, mas as irregularidades encontradas são contempladas no tópico “Sistemas de Segurança”, e foram responsáveis pelo acidente relatado.

Figura 49 - Parte superior do módulo transportador sem proteção adequada para as partes móveis.

Figura 50 - Parte inferior do módulo transportador de copos com partes móveis desprotegidas.

Figura 51 - Esteira inclinada da embaladora permite acesso a partes da máquina em movimento.

n) Dispositivos de retenção mecânica devem ser corretamente identificados e suportarem o peso estático total do conjunto de prensagem, de acordo com o item 11 do anexo VIII da NR 12. Em uma operação de manutenção, há risco de esmagamento e mutilação de membros do operador.

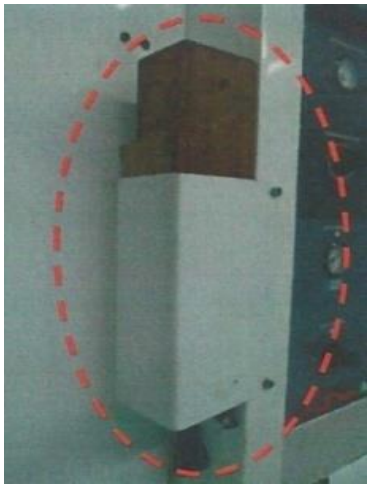

Figura 52 - Calço de segurança inadequado à máquina.

o) As portas laterais do conjunto são acessadas frequentemente, contudo não possuem dispositivo de intertravamento, desobedecendo ao item 12.44a, além do espaço interno ser amplo e permitir a permanência de uma pessoa em seu interior mesmo com o conjunto em operação, deixando de atender o item 12.51.

Figura 53 - Portas da proteção móvel sem dispositivo de intertravamento evidente.

p) Os dispositivos de parada de emergência estão agrupados apenas em uma das laterais da máquina, em desacordo com o item 12.57.

q) É evidente a falta de sinalização de segurança na máquina e no ambiente, de modo a advertir os operadores e terceiros sobre os riscos mecânicos, térmicos e elétricos a que estão expostos, não atendendo os itens 12.116 e 12.119.1 da Norma Regulamentadora 12.

r) Há a necessidade de esforços repetitivos e atuação em pé ao longo do turno de trabalho, o que acarreta riscos ergonômicos. Os itens referentes aos aspectos ergonômicos estão contidos nos itens 12.94 a 12.105 da Norma Regulamentadora 12.

s) Falta de capacitação adequada, seguindo os moldes expostos no anexo II da NR12 e no item 12.136.

t) As rotinas de trabalho não apresentam instruções de trabalho, operação e segurança, em desacordo com o item 12.130.

u) Parte dos manuais não está acessível aos operadores, desrespeitando o item 12.225 da Norma Regulamentadora 12.

4.1.1.2 Estimativa de riscos da termoformadora

O passo seguinte à identificação das áreas e aspectos perigosos da máquina é quantificar os riscos associados a essas zonas de perigo, de modo a avaliar se as medidas de proteção tomadas durante a fase de projeto são suficientes. Ou seja, ela cria informações que serão utilizadas na avaliação de riscos e demonstrarão se são necessárias medidas de redução de risco.

A estimativa de risco deve ser feita para cada zona perigosa pela determinação de parâmetros, explicados no tópico 3.1.2. Dessa forma, os riscos com maior índice seriam priorizados quando medidas fossem adotadas. Contudo, para este trabalho, será escolhido o maior índice HRN como base para decidir se há a necessidade de adoção de medidas; caso haja, todos os riscos serão contemplados com as ações adequadas.

Uma consultoria externa, feita pela empresa TRAFFOS, estipulou como risco mais relevante aquele apresentado pelas Figuras 49, 50 e 51 deste trabalho, onde os parâmetros receberam a seguinte classificação:

a) Risco possível de ocorrer, mas não usual (nota 2);
b) Exposição constante dos operadores ao risco (nota 5);
c) Lesão mais grave que pode ocorrer é amputação de dedos da mão (nota 4);
d) 2 pessoas envolvidas no processo (nota 1).

Esses índices, de acordo com a fórmula 1 do apêndice A, leva a um índice HRN igual a 40. Ainda de acordo com o mesmo apêndice, esse índice está acima do tolerável e medidas devem ser tomadas.

Pela identificação de perigos, é possível concluir que medidas de proteção coletiva deverão ser implantadas e, portanto, será necessário categorizar o sistema de segurança instalado na máquina. Para isso, novamente os parâmetros serão pautados no risco mais relevante e a classificação será baseada na NBR 14153.

A análise dos riscos representados nas Figuras 49 a 51 afirma que a severidade de uma possível lesão é S2, pois amputação é um dano irreversível; os operadores estão frequentemente expostos ao risco (F2).

A possibilidade de evitar o perigo, último parâmetro necessário para definir a categoria de risco, considera, segundo a NBR NM ISO 12100, a qualificação das pessoas expostas ao perigo, o quão rapidamente a situação perigosa pode levar ao dano, o grau de ciência do risco, a capacidade humana de evitar o perigo e a experiência e conhecimento prático os operadores.

Apesar da experiência dos operadores e da ciência do risco, não foi constatada a capacitação adequada quanto à máquina que está sendo operada, nem a presença de manuais e instruções de uso da mesma, além da alta velocidade das partes móveis das áreas de perigo ser capaz de causar uma lesão de forma quase súbita. Esses fatores ajudam a concluir que o contato com a zona perigosa torna muito difícil evitar que a lesão aconteça (P2). Conclui-se que o sistema de segurança implantado na máquina deve ser de categoria 4, a mais alta segundo a NBR 14153.

4.1.1.3 Medidas adotadas

Medidas de proteção inerentes ao projeto consistem no primeiro passo de redução de riscos. Neste trabalho, muitas zonas de perigo não foram demonstradas porque, durante fase de projeto, os riscos associados a essas áreas foram devidamente reduzidos.

Esse tópico trata das medidas de proteção que não foram instaladas nas primeiras fases do ciclo de vida da máquina. Pela ordem de prioridade, após as medidas de proteção intrínsecas, as medidas de proteção coletivas devem ser instaladas de forma correta.

Essas medidas são caracterizadas por dispositivos de proteção, como barreiras físicas e dispositivos apresentados no tópico 2.2.2. Primeiramente, considera-se impedir o acesso do operador a zonas de perigo, além de reduzir níveis de ruído e impedir emissão de gases tóxicos, por meio de proteções fixas.

A Figura 7 mostra um diagrama de seleção de proteção muito utilizado para máquinas e equipamentos. Quando não há acesso às áreas que oferecem risco, durante o ciclo de vida da máquina, ou quando há necessidade de acesso para operações de manutenção e limpeza, porém este é pouco frequente, recomenda-se o uso de proteções fixas, as quais só podem ser removidas com ferramentas específicas.

Transportando para o caso em questão, as áreas e condições perigosas da máquina que estão expostas sem necessidade e não serão acessadas com frequência podem ser protegidas com uma barreira física fixa, se for viável. Cabe analisar cada zona de perigo e a necessidade da presença do operador.

A instalação de proteções fixas são pertinentes para os casos representados pelas seguintes imagens:

a) Figura 38: Fontes de energia instaladas no entorno da máquina e sem proteção adequada. Segundo a NR10, item 10.2.8.2, medidas de proteção coletiva, como uma barreira física, pode ser instalada para isolamento da fonte de tensão. A imagem abaixo representa a medida descrita.

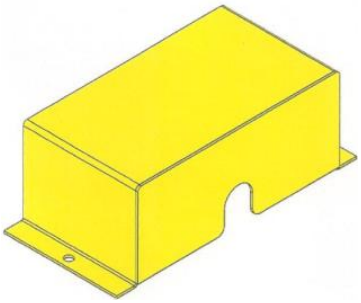

Figura 54 - Proteção fixa para a fonte de tensão exposta.

b) Figura 39: Os bornes de alimentação do painel e outras partes energizadas não necessitam ser acessados por operadores ou terceiros, logo, uma proteção fixa, como uma placa de policarbonato transparente, pode ser instalada.

c) Figura 43: A janela existente na parte traseira para inserção da manta plástica deve ter uma abertura reduzida, de modo a impedir que o operador tenha acesso às engrenagens e correntes na parte interior da termoformadora. Essa deveria ser uma medida de prevenção intrínseca, a ser tomada durante projeto da máquina, entretanto nesse caso poderia ser instalada uma barreira física, mostrada abaixo.

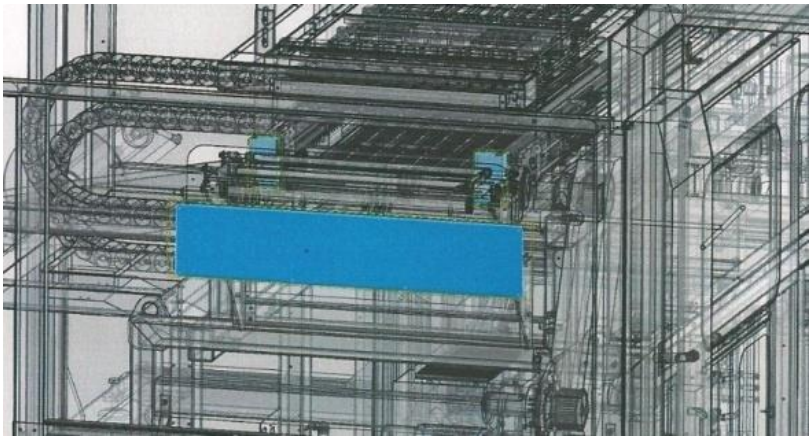

Figura 55 - Proteção fixa instalada na janela de inserção de material plástico.

d) Figura 44: A exposição de partes móveis do conjunto de bobinagem lateral das sobras de material plástico requer a readequação das proteções fixas instaladas, de modo a permitir o contato apenas com o resto de manta plástica, e não com as áreas perigosas.

Figura 56 – Esboço de proteções fixas instaladas de modo a evitar o contato com partes móveis do conjunto lateral de bobinagem da máquina.

e) Figura 45: Uma alternativa de medida de proteção coletiva para o caso de acesso às bobinas de alimentação, na parte traseira da máquina, e suas partes móveis é a instalação de proteção fixa ao redor das mesmas. Essa medida é aconselhável caso o acesso para troca das bobinas ou manutenção seja pouco requisitado.

f) Figura 46: É necessário providenciar a proteção no perímetro da parte superior do maquinário, de forma a eliminar o acesso a todas as zonas perigosas da mesma.

g) Figura 47: Está evidente a necessidade de reinstalar proteções fixas mais efetivas, eliminando totalmente o acesso a zonas de perigo das laterais da máquina.

h) Figura 48: Instalação de barreiras físicas fixas para impedir o acesso a zonas de perigo, como engrenagens e pistões, e isolar termicamente os roletes operando a altas temperaturas.

i) Figuras 49, 50 e 51: Providenciar a instalação de proteções fixas adequadas no entorno do módulo transportador de copos, instalado na parte frontal da máquina, no entorno do transportador linear da entrada da embaladora e no entorno da embaladora, permitindo acesso apenas ao final da esteira inclinada, a qual despeja os copos embalados. O acesso a todos esses componentes da parte frontal da máquina é pouco frequente, apenas para manutenção ou alguma operação especial, o que torna viável a opção pela barreira fixa.

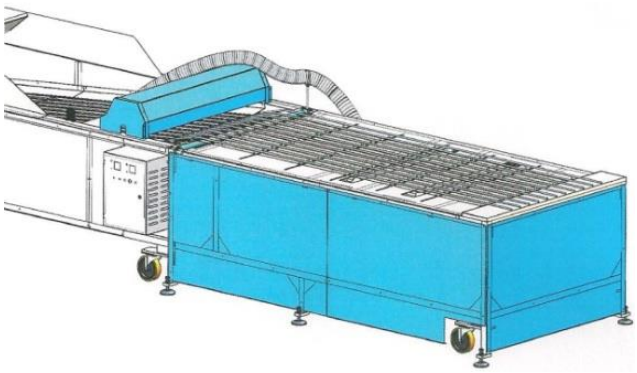

Figura 57 - Proteção fixa instalada no entorno do módulo transportador de copos.

Contudo, há áreas de perigo que requerem acesso frequente, seja para manutenção, limpeza ou reparo; nesses casos, é aconselhável a instalação de proteções móveis com dispositivo de intertravamento associado. Há zonas perigosas apresentadas anteriormente que podem ser isoladas por uma proteção fixa ou uma proteção móvel intertravada. A decisão depende do conhecimento dos responsáveis pela concepção e uso da máquina, ou do quão economicamente viável é a escolha.

Os casos onde proteções móveis podem ser instaladas são aqueles representados pelas seguintes imagens:

a) Figura 45: A bobina de alimentação da máquina, contendo o material plástico a ser conformado, pode ser protegida por uma barreira móvel associada a um dispositivo de intertravamento caso a troca da bobina seja recorrente durante o dia. Como as bobinas giram a uma velocidade baixa, a eliminação do risco, que é o giro do seu eixo, é quase instantânea. Logo, o dispositivo de intertravamento não requer bloqueio.

b) Figura 49, 50 e 51: O acesso aos módulos de transporte de copos é pouco frequente, porém caso seja conveniente, a instalação de barreiras móveis associadas a uma chave de intertravamento é uma opção viável.

c) Figura 53: As portas laterais do conjunto principal da máquina devem possuir dispositivo de intertravamento, visto que atuam como uma proteção móvel. Nesse caso, recomenda-se a utilização de dispositivos com bloqueio, pois a abertura da porta possibilita o acesso à zona perigosa antes da eliminação do risco.

Há casos na termoformadora deste estudo onde o acesso à zona perigosa é necessário, porém o uso de proteção física é inviável. Portanto, a combinação de dispositivos de proteção pode ser eventualmente importante. Como alternativa ao uso de proteções há os sensores de segurança, que associados a proteções, interligados ou por si só, reduzem os riscos de acidentes e outros agravos à saúde dos trabalhadores.

Como exemplos, há as cortinas de luz, os detectores de presença optoeletrônicos, barreiras e sensores ópticos. Esse tipo de dispositivo de segurança visa interromper funções perigosas quando algum membro do operador invade uma área de risco.

a) No caso descrito pela Figura 43, uma barreira óptica ou um sensor óptico pode ser instalado na parte interna da máquina, próxima à janela de entrada da manta plástica, interrompendo o movimento da esteira caso membros do operador adentrem.

b) A Figura 47 demonstra proteções fixas desapropriadas para impedir o acesso a zonas de risco pela lateral da máquina. Nesse caso, a substituição por uma barreira ou cortina de luz é fisicamente viável para a máquina.

c) Retomando a Figura 53, em desacordo com o item 12.51, uma pessoa pode permanecer dentro do conjunto da máquina mesmo com a proteção móvel intertravada fechada. Para impedir o início de movimentos perigosos com um operador próximo ao perigo, aconselha-se o uso de sensores de segurança, como um sensor óptico, uma barreira de luz, respeitando-se as distâncias mínimas de segurança conforme anexo I da NR12, ou um tapete de segurança.

De acordo com o item 12.39e, todos os sistemas de segurança devem estar monitorados por uma interface de segurança, no caso, um CLP. Pela estimativa de riscos, esse sistema de segurança é de categoria 4, logo, um defeito isolado não leva à perda da função de segurança, visto que ele deve ser detectado durante ou antes da próxima demanda da função e segurança. Caso isso não ocorra, o acúmulo de defeitos não deve levar à perda das funções de segurança.

Essa categoria de segurança é caracterizada pelo monitoramento da interface de segurança, auto teste para verificação de falhas e defeitos do sistema de

segurança, redundância e diversidade de dispositivos e componentes. Abaixo um exemplo de circuito de segurança categoria 4 para uma proteção móvel com intertravamento.

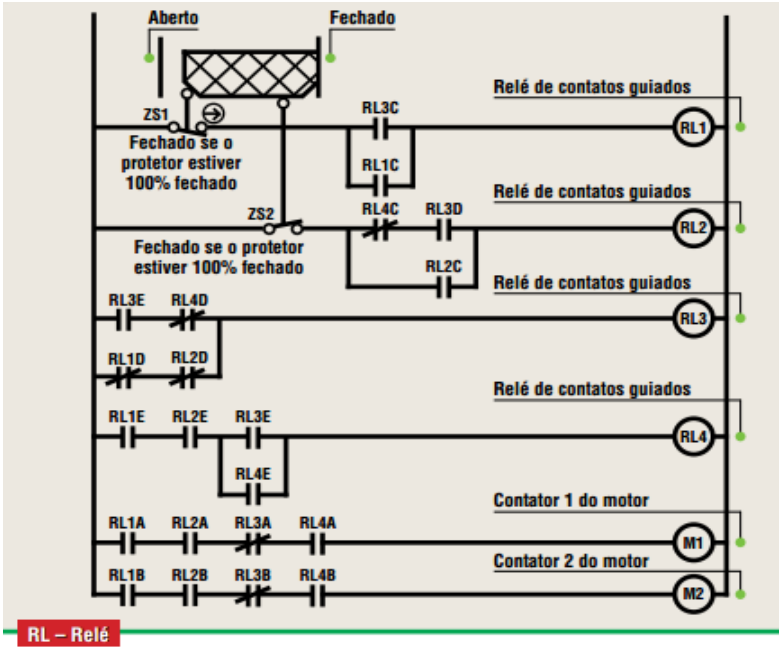

Figura 58 - Exemplo de circuito de segurança de categoria 4. Fonte: FAST Automação. Disponível em: < http://www.fastautomacao.com.br/>.

Quando medidas de proteção coletiva não são suficientes para todos os casos, a solução é adotar medidas administrativas, ou seja, medidas que envolvam a organização do ambiente de trabalho. Essas ações envolvem também a estratégia empresarial atentando a aspectos não necessariamente técnicos, como os ergonômicos. As medidas de caráter administrativo são adequadas aos seguintes casos:

a) Figura 37: O armazenamento das embalagens em local apropriado, como o almoxarifado, evita a obstrução do tráfego de pessoas, atendendo aos itens 12.6 a 12.13 da NR12.

b) Figura 38: É fundamental providenciar a instalação de aterramento adequado na carcaça de todas as estruturas que compõem o conjunto e que ainda que não façam parte do circuito elétrico, possam ficar sob tensão.

c) Figura 39: Deve-se manter a porta trancada adequadamente com chave e sob supervisão de pessoas responsáveis.

d) Figura 40: Instalar placas de sinalização, advertindo operadores e terceiros a respeito dos riscos a que estão expostos, como choque elétrico.

e) Figura 41: É necessário readequar a alimentação dos componentes de partida, acionamento, parada e outros controles que compõem a interface de operação da máquina em extra baixa tensão. No caso de acionamento em CA, utilizar transformador que reduza a tensão da rede elétrica a 25 Volts; para acionamento CC, reduzir a tensão a 60 Volts CA e retificá-la.

f) Figura 42: Realocação dos dispositivos de acionamento e parada instalados próximos a zonas de risco. Caso a área perigosa tenha sido corretamente protegida, essa medida administrativa pode ser desconsiderada.

g) Figura 43: Uma alternativa ao risco de corte e esmagamento representado nesse caso é alterar o processo de fixação da manta plástica na janela traseira, dispensando a presença de operadores próximos à zona de risco.

h) Figura 48: Providenciar o fechamento de todas as portas da pré-estufa, permitindo o acesso em casos específicos e por pessoas autorizadas ou adotar rotinas que evitem a necessidade de contato com os componentes perigosos da estufa.

i) Figura 52: Troca do calço de segurança utilizado por outro adequado, na cor amarela e testado previamente, segundo a Norma Regulamentadora 12.

Além das medidas listadas acima, outras ações são necessárias para cumprir os requisitos da Norma:

a) Instalação de dispositivos de parada de emergência de categoria 0 em locais de fácil acesso e visualização pelos operadores e outras pessoas, de acordo com o item 12.57. Nesse caso, é necessário instalar comandos de parada emergencial em todo o entorno da máquina, associados a um processo de rearme manual que permita a operação do conjunto somente após correção do evento que levou a essa parada, e monitorados por interface de segurança.

b) Providenciar treinamento específico para os trabalhadores que operam e mantêm a máquina, segundo os moldes do conteúdo programático previsto no anexo II da NR12, sobre capacitação para operação segura da máquina.

c) Elaborar e deixar disponíveis manuais a respeito do equipamento, rotinas e instruções de trabalho contemplando as atividades de operação e manutenção dentro da empresa.

d) Adotar sinalização de segurança para as zonas de perigo da máquina e do ambiente, alertando sobre os riscos associados às mesmas.

e) Realizar estudo ergonômico sobre esforços e posturas inadequadas para cada posto de trabalho, conforme indica a NR17. Então, readequar os postos de trabalho de forma a reduzir as doenças ocupacionais, o cansaço excessivo e permitir a movimentação adequada dos operadores durante o turno de trabalho. Sugere-se também práticas de ginástica laboral durante o turno.

Demais riscos a respeito de meios de acesso permanentes, componentes pressurizados e riscos adicionais não foram observados. Além da prevenção intrínseca, métodos coletivos de proteção e técnicas na organização do trabalho, recomenda-se o uso de equipamento de proteção individual, consistindo de óculos de proteção, protetor auricular contra ruídos e sapato de proteção. O EPI é utilizado quando ainda não foi possível eliminar todos os riscos do ambiente de trabalho.

O passo seguinte à adoção de medidas é recalcular o índice HRN de estimativa de riscos. Novamente, com auxílio de consultoria externa realizada pela empresa TRAFFOS, observou-se que:

a) Ocorrência não esperada, nota 1;
b) Frequência de exposição constante, nota 5;
c) Grau máximo de possível lesão leve, nota 0.5;
d) 2 pessoas envolvidas no processo, nota 1.

Portanto, o índice HRN calculado é 2.5, o que configura uma nota tolerável para a estimativa de riscos. Conclui-se que as medidas, se corretamente implementadas, adequarão a máquina de termoformagem às exigências da Norma Regulamentadora 12.

A correta aplicação dos itens da Norma Regulamentadora 12 envolvem não somente tomada de ações técnicas, como também medidas administrativas, como a correta capacitação dos operadores e a providência dos manuais de operação da

termoformadora. Apesar da existência de riscos com índice HRN mais altos, todos os riscos identificados foram contemplados com alguma medida.

4.2 OBTENÇÃO DA ART DA MÁQUINA

Anotação de Responsabilidade Técnica é o instrumento através do qual o profissional registra as atividades técnicas solicitadas por contrato, ou seja, um documento padrão que define o responsável por um serviço, cujo preenchimento é de responsabilidade é do profissional registrado no Conselho Regional de Engenharia, Arquitetura e Agronomia.

Pela Norma Regulamentadora 12, pode ser exigido projeto, diagrama ou esquema dos sistemas de segurança da máquina, com especificações técnicas em língua portuguesa. Toda a documentação deve ser constituída pelo proprietário, sob responsabilidade de profissional habilitado e com a respectiva ART.

Portanto, esse formulário é a confirmação de serviço realizado por profissionais habilitados, no caso, a adequação de uma máquina de termoformagem às regras estipuladas pela NR12.

4.2.1 Revisão da documentação da máquina

A avaliação de riscos deve ser revista regularmente, de modo a se manter atualizada, ou em casos especiais, como quando houver mudanças na organização ou inspeção sobre algum acidente ou evento imprevisto.

Todo o processo descrito no tópico 3 deve ser refeito contando com a participação mútua do empregador, do seu representante e dos operadores envolvidos. Estes devem ser consultados durante o processo de apreciação de riscos e informados sobre as conclusões e medidas extraídas, além de corretamente treinados.

5 CONCLUSÃO

A implantação de medidas de segurança em conformidade com as Normas Regulamentadoras apresentou resultados positivos quanto à prevenção de doenças e acidentes de trabalho. Portanto, a adequação às normas de segurança, além do fator humano, reduz perdas materiais e financeiras, seja pela garantia da integridade do operador, seja pela conformidade com a legislação trabalhista evitando autuações ou embargos.

O gráfico a seguir ilustra a evolução do percentual de acidentes no trabalho, desde o período da implantação das Normas Regulamentadoras até atualmente. Em seguida, uma tabela mostra a quantidade total de trabalhadores legalmente registrados, a quantidade de óbitos decorrentes de acidentes de trabalho, bem como a de acidentes de trabalho nesse período, em relação ao número de trabalhadores.

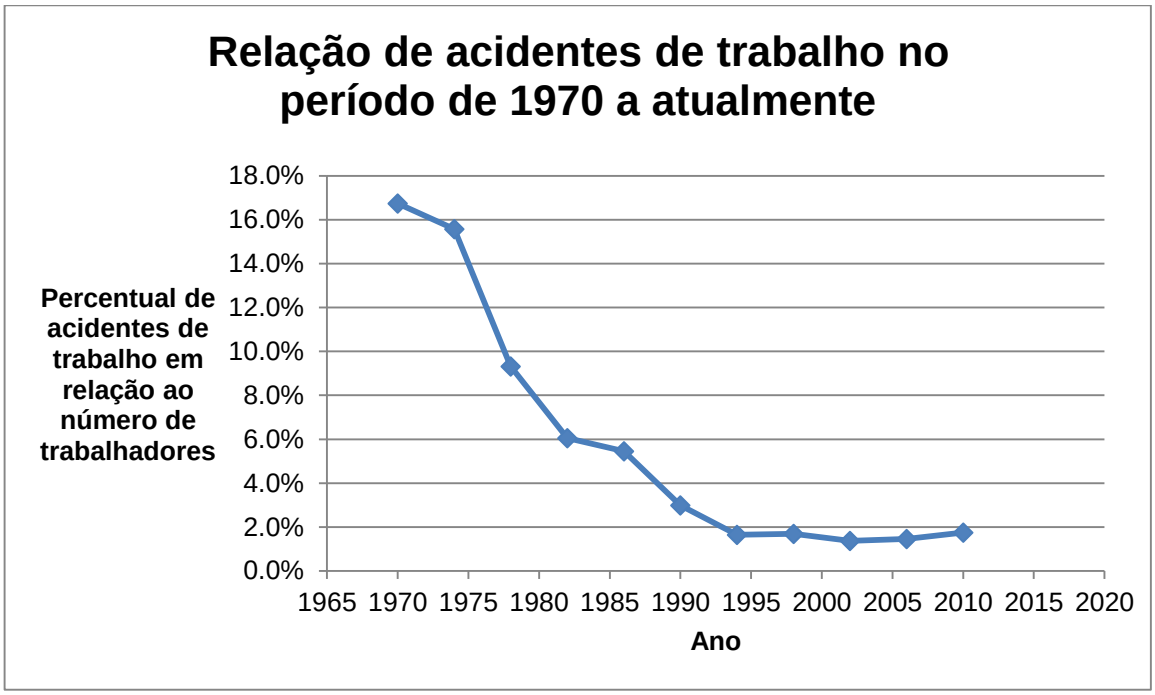

Gráfico 1 - Gráfico relacionando o número de acidentes por trabalhador registrado nos últimos 40 anos.

Ano	Trabalhadores	Óbitos	Total	Percentual de acidentes por trabalhador
1970	7.284.022	2.232	**1.220.111**	16,8%
1974	11.537.024	3.833	**1.796.761**	15,6%
1978	16.638.799	4.342	**1.551.461**	9,3%
1982	19.476.362	4.496	**1.178.472**	6,1%
1986	22.163.827	4.578	**1.207.859**	5,4%
1990	23.198.656	5.355	**693.572**	3,0%
1994	23.667.241	3.129	**388.304**	1,6%
1998	24.491.635	3.793	**414.341**	1,7%
2002	28.683.913	2.968	**393.071**	1,4%
2006	35.155.249	2.798	**512.232**	1,5%
2010	37.607.430	2.845	**659.523**	1,8%

Tabela 2 - Número absoluto registrado de acidentes de trabalho e óbitos por acidentes de trabalho nos últimos 40 anos.

O número de autuações e notificações nesses últimos anos também aumentou consideravelmente. Ainda assim no caso brasileiro, a negligência com as normas vigentes resulta em uma quantidade considerável de ocorrências, aliada muitas vezes também à falta de eficiência dos órgãos responsáveis pela fiscalização. De acordo com o sistema federal de inspeção do trabalho, de 2007 o número de ações dos órgãos de inspeção está representado na seguinte tabela.

Ano	Embargos	Interdições	Autuações	Notificações
2007	10	559	759	6348
2009	12	653	1.243	5360
2011	16	719	2.465	9907
2013	77	1.634	7.237	11378

Tabela 3 - Número absoluto de embargos, interdições, autuações e notificações registrados desde 2007.

Quanto a questões legislativas, de suma importância conhecer os direitos e deveres de empregados e empregadores. Os operadores que sofrerem sequelas causadas por acidente de trabalho têm direito a permanecer na empresa, sem prejuízo na remuneração antes recebida até a aposentadoria. Caso seja comprovado pela Comissão Permanente de Negociação que o acidente de trabalho fora causado por desobediência às normas de proteção específicas no acordo, o empregado não terá direito às garantias previstas.

Para que acidentes de trabalho sejam menos frequentes, é necessário que os empregadores cumpram seus deveres, equipando e mantendo as máquinas com dispositivos de proteção corretos, além de seguir as disposições das Normas Regulamentadoras, caso contrário, estão sujeitos a punições. Nesse contexto, foi realizado este trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADAD, B. C. B. **Princípios básicos de proteção de máquinas**. Curitiba: Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial – PR, 2012.

FREITAS, J. C. **A Nova NR-12: Segurança no Trabalho em Máquinas**. São Paulo: ABIMAQ.

PEINADO, S. E.; AGUIAR, F. **NR-12 para fabricantes de máquinas e equipamentos**. São Paulo: ABIMAQ, 2014.

São Paulo (Estado). Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial. **NR-12: Segurança em atividades com máquina sopradora de materiais plásticos**. 1ª Edição, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14009: Segurança de Máquinas – Princípios de apreciação de riscos.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14153: Segurança de Máquinas – Partes do sistema de comando relacionados à segurança.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR NM ISO 12100: Segurança de Máquinas – Princípios de seleção de categorias de risco.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-10: Segurança em serviços e instalações industriais.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. NR-12: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Métodos de avaliação de risco e ferramentas de estimativa de risco utilizados na Europa considerando Normativas Europeias e o caso brasileiro**. Disponível em <http://sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/risco_mte.pdf>. Acesso em 02/10/2015.

PILZ. **The safety compendium**. Disponível em <https://www.pilz.com/imperia/md/content/editors_mm/safety_compendium_en_2014_01.pdf>. Acesso em 30/08/2015.

Schmersal. **A New Approach to Machine Safety: EN ISO 13 849-1:2006 – Safety-related Parts of Control Systems**. Disponível em <http://www.schmersal.com/fileadmin/download/literature/en/mrl_news/b_prepp2.pdf>. Acesso em 30/08/2015.

Schneider Electric. **Safe Machinery Handbook**. Disponível em <http://www.schneider-electric.cn/documents/original-equipment-manufacturers/pdf/Machine-safety-guide.pdf>. Acesso em 30/08/2015.

SILVA, B. **Treinamento em seguraça do trabalho**. Disponível em: <http://pt.slideshare.net/brasiliodasilva/treinamento-seguranca-dotrabalho-nr12b-rasilio-da-silva?next_slideshow=1>. Acesso em 16/05/2015.

Sistema FIRJAN. **Segurança de máquinas e equipamentos de trabalho**. Disponível em <http://www.fastautomacao.com.br/PDF/download_cartilhas_riscosmecanicosfirjan.pdf>. Acesso em 02/10/2015.

APÊNDICE A – CÁLCULO DO ÍNDICE HRN

O índice HRN é um valor calculado através da seguinte equação:

$$HRN = PO*FE*GPL*NP \quad (1)$$

Onde PO é a probabilidade de ocorrência, FE é a frequência de exposição ao risco, GPL é o grau de possível lesão e NP, o número de pessoas envolvidas. Esses fatores recebem os seguintes valores:

Probabilidade de ocorrência do dano	**PO**
Certamente	15
Esperado	10
Provável	8
Alguma chance	5
Possível	2
Não esperado	1
Praticamente impossível	0.03

Tabela 4 - Valores relativos à probabilidade de ocorrência.

Frequência de exposição ao dano	**FE**
Constantemente	5
Horário	4
Diariamente	2.5
Semanal	1.5
Mensal	1
Anual	0.2
Raramente	0.1

Tabela 5 - Valores relativos à frequência de exposição ao dano.

Grau de possível lesão	**GPL**
Morte	15
Perda de 2 membros/olhos ou doença grave	8
Perda de 1 membro/olho ou doença grave	4
Fratura - ossos importantes ou doença leve	2
Fratura - ossos menores ou doença leve	1
Laceração/Efeito leve na saúde	0.5

Arranhão/Contusão	0.1

Tabela 6 - Valores relativos ao grau da lesão mais grave possível.

Número de pessoas expostas	**NP**
Mais de 50 pessoas	12
16-50 pessoas	8
8-15 pessoas	4
3-7 pessoas	2
1 ou 2 pessoas	1

Tabela 7 - Valores referentes ao número de pessoas expostas ao risco.

HRN	**Risco**	**Descrição**
0~5	Insignificante	Oferece risco muito baixo para saúde, logo, nenhuma ação é requerida
5~50	Significativo	Cotém riscos necessários para a implementação de medidas de segurança e proteção
50~500	Alto	Oferece possíveis riscos, necessitam que sejam utilizadas medidas de controle de segurança urgentemente
500+	Inaceitável	É inaceitável manter a operação do equipamento na situação que se encontra

Tabela 8 - Tabela dos valores HRN com classificação do risco e ação prevista.