



UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA MECÂNICA
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

THALLES ERICLES DE LIMA LINS

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO VS. AVALIAÇÃO PRESCRITIVA: ESTUDO DE
CASO EM UMA FÁBRICA DE BATERIAS**

Recife
2018

THALLES ERICLES DE LIMA LINS

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO VS. AVALIAÇÃO PRESCRITIVA: ESTUDO DE
CASO EM UMA FÁBRICA DE BATERIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Área de concentração: Segurança do Trabalho.

Orientadora: Prof.^a Dra. Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte

Recife
2018

THALLES ERICLES DE LIMA LINS

**AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO VS. AVALIAÇÃO PRESCRITIVA: ESTUDO DE
CASO EM UMA FÁBRICA DE BATERIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Departamento de
Engenharia Mecânica da Universidade
Federal de Pernambuco, como requisito
parcial para a obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica.

Aprovada em: 20 /12 /2018.

BANCA EXAMINADORA

Prof^a. Dr^a. Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte (Orientadora)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Luiz Adeildo Silva Junior (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Prof^o. Dr. Tiago Ancelmo de Carvalho Pires de Oliveira (Examinador Interno)
Universidade Federal de Pernambuco

Catálogo na fonte
Bibliotecária Valdicéa Alves, CRB-4 / 1260

L759a Lins, Thalles Ericles de Lima.

Avaliação de desempenho vs. Avaliação prescritiva: estudo de caso em uma fábrica de baterias rivados / Thalles Ericles de Lima Lins - 2018.

93folhas, Il. e Tab.

Orientador(a): Prof.^aDr^a. Dayse Cavalcanti de Lemos Duarte.

TCC (Graduação) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Curso de Engenharia Mecânica, 2018.

Inclui Referências e Apêndices.

1. Engenharia Mecânica. 2. Acidente de trabalho. 3. NR-12. 4. Identificação de Perigo. 5. FMEA. I. Duarte, Dayse Cavalcanti de Lemos. II. Título.

UFPE

621 CDD (22. ed.)

BCTG/2019-06

AGRADECIMENTOS

É com um imenso prazer que concluo um importante ciclo da minha vida. Agradeço primeiramente a Deus por sempre ter me abençoado e ter iluminado minha trajetória colocando pessoas de bom coração em meu caminho.

À minha família, em especial aos meus pais, Gilmar e Elizabeth, e à minha irmã, Thais, que são a base de tudo e sempre estiveram do meu lado em todos os percalços da graduação. Sem eles eu não seria ninguém.

À minha namorada, Marina, pelo suporte, amor e apoio incondicional.

À minha professora orientadora, Dayse Cavalcanti, por ter contribuído na minha formação acadêmica e ter me guiado na realização deste trabalho.

Aos meus colegas de turma, que comigo compartilharam os grandes desafios da graduação.

À todos que fizeram e fazem parte da EIXO Consultoria, em especial àqueles com quem trabalhei e pude conviver na fase mais importante da minha graduação.

À Universidade Federal de Pernambuco e todos os docentes que a integram, por me fornecerem toda a base necessária para minha formação como engenheiro mecânico.

Aos meus companheiros de trabalho, em especial à Wendell Santos, por ter me ensinado na prática o que é ser um engenheiro.

RESUMO

Conforme dispõe o Art. 19 da Lei nº 8.213/91, o acidente de trabalho é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa ou pelo exercício do trabalho dos segurados referidos no inciso VII do Art. 11 da mesma lei, provocando perturbação funcional ou lesão corporal que cause a morte ou a perda ou redução, permanente ou temporária, da capacidade para executar o trabalho (BRASIL, 1991). Segundo o Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho, (2018) em 2017 ocorreram mais de 570 mil casos de acidentes de trabalho no Brasil. Os acidentes de trabalho custaram R\$26 bilhões à previdência entre 2012 e 2017 (Ministério Público do Trabalho, 2018). Segundo dados da Comunicações de Acidentes de Trabalho ao Instituto Nacional de Seguridade Social (INSS), entre os anos de 2011 e 2013 mais de 600 pessoas morreram vítimas de acidentes de trabalho com máquinas e equipamentos (Tribunal Regional do Trabalho da 6ª Região, 2015). Normas Regulamentadoras como a NR-12 propõem medidas de segurança para reduzir ou mitigar os riscos de ocorrer um acidente de trabalho na utilização de máquinas e equipamentos. Mesmo passado muitos anos desde a sua criação, a Norma Regulamentadora nº12 ainda gera dúvida quanto aos seus conceitos e suas interpretações, por ser uma Norma abrangente que não possui recomendações específicas por tipo de processo. Essa característica pode gerar dúvidas quanto à segurança da máquina adequada a ela. O presente trabalho teve como objetivo analisar o quão suficientemente seguro é uma máquina adequada à NR-12, comparando-a com os resultados da aplicação de uma técnica de identificação de perigo, chamada Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA), realizada na mesma máquina após a adequação. Tudo isso foi feito aplicado a um estudo de caso em uma fábrica de baterias. As conclusões obtidas com este trabalho foram esclarecedoras e importantes para a área de engenharia de segurança do trabalho e para futuros estudos do mesmo segmento. O estudo de caso concluiu que os itens prescritos na NR-12 não são suficientes para assegurar a saúde e a integridade física do trabalhador. As boas práticas de engenharia citadas na norma não dão conta da complexidade existente em cada forma de trabalho.

Palavras-chave: Acidente de trabalho. NR-12. Identificação de perigo. FMEA.

ABSTRACT

According to Article 19 of the Law nº 8.213/91, the work accident occurs due to the exercise of work at the service of the company or by the work of the insured persons referred to in item VII of article 11 of the same law, causing functional disturbance or bodily injury that causes death or the loss or reduction, permanent or temporary, of the ability to perform the work (BRASIL, 1991). According to the Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho, (2018) there were in 2017 occurred more than 570 thousand cases of work accidents in Brazil. Work accidents costs R\$ 26 billion to social security between 2012 and 2017 (Ministério Público do Trabalho, 2018). According to data from the Workplace Accident Communications to Instituto Nacional de Seguridade Social (INSS), between 2011 and 2013 more than 600 people died victims of work accidents with machines and equipment (Tribunal Regional do Trabalho da 6ª Região, 2015). Regulatory Standards such as NR-12 propose occupational safety measures to reduce or mitigate the risk of a work accident with machines and equipment. Even after many years since its creation, the Regulatory Norm number 12 still raises doubts about its concepts and interpretations, since it is a comprehensive Norm that does not have specific recommendations by type of process. This characteristic may cause doubts about the safety of the machine appropriate to it. The objective of this work was to analyze the adequacy of a NR-12 machine, comparing it with the results of the application of a risk identification and evaluation technique, called Failure Mode and Effect Analysis (FMEA), on the same machine after adjustment. All this was done applied to a study case in a battery factory. The conclusions obtained with this work were enlightening and important for the area of work safety engineering and for future studies of the same segment. The study case concluded that the items prescribed in NR-12 are not sufficient to ensure the health and physical integrity of the workers. The good engineering practices cited in the Norm do not account for the complexity in each form of work.

Keywords: Accident at work. NR-12. Hazard identification. FMEA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Linha do tempo das atualizações sofridas pela NR-12.	13
Figura 2 - Alcance sobre estruturas de proteção.....	25
Figura 3 - Alcance das zonas de perigo superiores.	27
Figura 4 - Fluxograma das etapas da metodologia.	35
Figura 5 - Fluxograma do universo em que o objeto de estudo está inserido.	44
Figura 6 - Representação de uma bateria.	45
Figura 7 - Representação do fluxograma da produção das baterias.....	47
Figura 8 - Desenho 3D do Setor de Montagem.....	48
Figura 9 - Fluxograma de máquinas do processo de montagem de bateria.....	49
Figura 10 - Estações 1 e 4 de processo da máquina COS.....	50
Figura 11 - Estações 2 e 3 de processo da máquina COS.....	51
Figura 12 - Estação 1 de processo da COS.....	52
Figura 13 - Estação 2 de processo da COS.....	53
Figura 14 - Estação 3 de processo da COS.....	54
Figura 15 - Cadinho responsável por aquecer o chumbo da COS.....	54
Figura 16 - Estação 4 de processo da COS.....	55
Figura 17 - Representação da instalação de painéis mecânicos modulares.....	59
Figura 18 - Cortina de luz utilizada no projeto.....	60
Figura 19 - Comando bimanual do tipo separado utilizado no projeto.....	61
Figura 20 - Caixa de botoeira com <i>reset</i> e parada de emergência.....	62
Figura 21 - Sensor magnético.....	62
Figura 22 - Representação do sensor magnético instalado.....	63
Figura 23 - Túnel de proteção mecânica localizado na entrada do cadinho.....	64
Figura 24 - Visão geral 1 da máquina COS adequada à NR-12.....	65
Figura 25 - Visão geral 2 da máquina COS adequada à NR-12.....	65
Figura 26 - Visão geral 3 da máquina COS adequada à NR-12.....	66
Figura 27 - Alinhador de placas de chumbo.....	68
Figura 28 - Mesa giratória.....	77
Figura 29 - Distâncias de segurança para a zona de perigo do chumbo líquido.....	80

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Distâncias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo pelos membros superiores.	24
Tabela 2 - Distância segura para o alcance sobre estruturas de proteção (dimensões em mm).....	26
Tabela 3 - Alcance ao redor - movimentos fundamentais (dimensões em mm).....	28
Tabela 4 - Classificação da severidade da falha.	39
Tabela 5 - Classificação da ocorrência da causa do modo de falha.	40
Tabela 6 - Classificação da probabilidade do controle atual de falha detectar uma causa de um específico modo de falha.....	41
Tabela 7 - Exemplo de planilha da FMEA.	43
Tabela 8 - Simbologia de fluxogramas utilizados para processos industriais segundo a ASME.....	46
Tabela 9 - Requisitos da NR-12 que a máquina COS não está adequada.	56
Tabela 10 - Recomendação gerada pela FMEA que não foi contemplada pelos itens prescritivos da NR-12.	81

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	JUSTIFICATIVA.....	12
1.2	OBJETIVOS	15
1.2.1	Objetivo Geral	15
1.2.2	Objetivo Específico	15
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	16
2.1	NORMA REGULAMENTADORA Nº12.....	16
2.1.1	Histórico da NR-12	16
2.2.2	Recomendações da Norma.....	18
2.2	TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE PERIGO	28
2.2.1	Conceitos gerais sobre a FMEA.....	30
3	METODOLOGIA	34
3.1	ADEQUAÇÃO DA MÁQUINA CRÍTICA À NR-12.....	35
3.1.1	Identificação das características específicas da fábrica, do produto, do processo e da máquina.....	35
3.1.2	Identificação dos pontos de não conformidade da máquina perante a Norma e desenvolvimento do sistema de segurança.....	36
3.2	TÉCNICA DE IDENTIFICAÇÃO DE PERIGO FMEA	37
3.3	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA FMEA COM A NR-12.....	43
4	RESULTADOS.....	44
4.1	O OBJETO DE ESTUDO	44
4.1.1	A fábrica	44
4.1.2	O produto	44
4.1.3	O processo.....	46
4.1.4	A máquina	50
4.2	A MÁQUINA E A NR-12	55
4.2.1	Pontos de não conformidade perante a Norma	55
4.2.2	Sistema de segurança.....	57
4.3	A MÁQUINA E A FMEA	66

4.3.1	Alinhador.....	67
4.3.2	Escovas de fluido	71
4.3.3	Molde de solda.....	72
4.3.4	Cadinho	74
4.3.5	Mesa giratória	76
4.4	COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS ENTRE FMEA E NR-12	79
5	CONCLUSÃO	83
	REFERÊNCIAS.....	85
	APÊNDICE I – FMEA DO ALINHADOR	89
	APÊNDICE II – FMEA DAS ESCOVAS DE FLUIDO.....	90
	APÊNDICE III – FMEA DO MOLDE DE SOLDA	91
	APÊNDICE IV – FMEA DO CADINHO.....	92
	APÊNDICE V – FMEA DA MESA GIRATÓRIA	93

1 INTRODUÇÃO

Segundo Mendes (2001), o acidente de trabalho é um dos principais focos de atenção do Ministério do Trabalho e Emprego, busca-se preveni-lo, evita-lo ou então eliminar a possibilidade de sua ocorrência.

Essa prevenção se aplica por meio de medidas antecipadas, assegurando assim a integridade física do trabalhador, o patrimônio da organização e os danos ao meio ambiente, isso tudo em formas de legislações que visam essas questões: Constituição Federal, Código Civil, Código Penal, CLT – Consolidação das Leis do Trabalho, e NR'S – Normas Regulamentadoras.

A Lei nº 6514 de 22 de dezembro de 1977, alterou o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho, relativo à Segurança e Medicina do Trabalho. A Seção XI – Das máquinas e equipamentos do texto legal traz os Artigo 184, 185 e 186, cuja redação é a seguinte (BRASIL 1977):

Art. 184. As máquinas e os equipamentos deverão ser dotados de dispositivos de partida e parada e outros que se fizerem necessários para a prevenção de acidentes do trabalho, especialmente quanto ao risco de acionamento accidental. Parágrafo único. É proibida a fabricação, a importação, a venda, a locação e o uso de máquinas e equipamentos que não atendam ao disposto neste artigo.

Art. 185. Os reparos, limpeza e ajustes somente poderão ser executados com as máquinas paradas, salvo se o movimento for indispensável à realização do ajuste.

Art. 186. O Ministério do Trabalho estabelecerá normas adicionais sobre proteção e medidas de segurança na operação de máquinas e equipamentos, especialmente quanto à proteção das partes móveis, distância entre elas, vias de acesso às máquinas e equipamentos de grandes dimensões, emprego de ferramentas, sua adequação e medidas de proteção exigidas quando motorizadas ou elétricas.

O artigo 184 determina a obrigatoriedade da utilização de dispositivos de partida e parada das máquinas e equipamentos, destacando a importância de impossibilitar o acionamento accidental. Com o objetivo de aumentar a velocidade de reação quando ocorrer uma situação de risco para si mesmo ou para outro trabalhador que estiver próximo à máquina, esse artigo visa conceder ao trabalhador o acesso aos comandos de acionamento e parada da máquina que estiver operando. O parágrafo único deste artigo não autoriza a fabricação, a importação, a venda, a locação e o uso de máquinas e equipamentos que não atendam ao que está disposto no mesmo.

O artigo 185 estabelece que as interferências de manutenção, reparos e limpeza da máquina sejam realizados com ela parada, exceto caso exista a necessidade do movimento para alguns ajustes.

O artigo 186 concede poderes ao Ministério do Trabalho para estabelecer normas adicionais para a proteção de máquinas e equipamentos, o que foi reforçado pelo artigo 200 da CLT (Consolidação das Leis Trabalhistas). Essa autorização foi cumprida através da criação das Normas Regulamentadoras introduzidas no ordenamento jurídico pela Portaria nº 3.214 de 8 de junho de 1978. A NR-12 foi uma dessas normas criadas tratando exclusivamente de máquinas e equipamentos.

Dentro desse contexto o objetivo do presente trabalho é analisar o quão suficientemente seguro é uma máquina que segue os itens de boas práticas de engenharia prescritos na Norma Regulamentadora número 12.

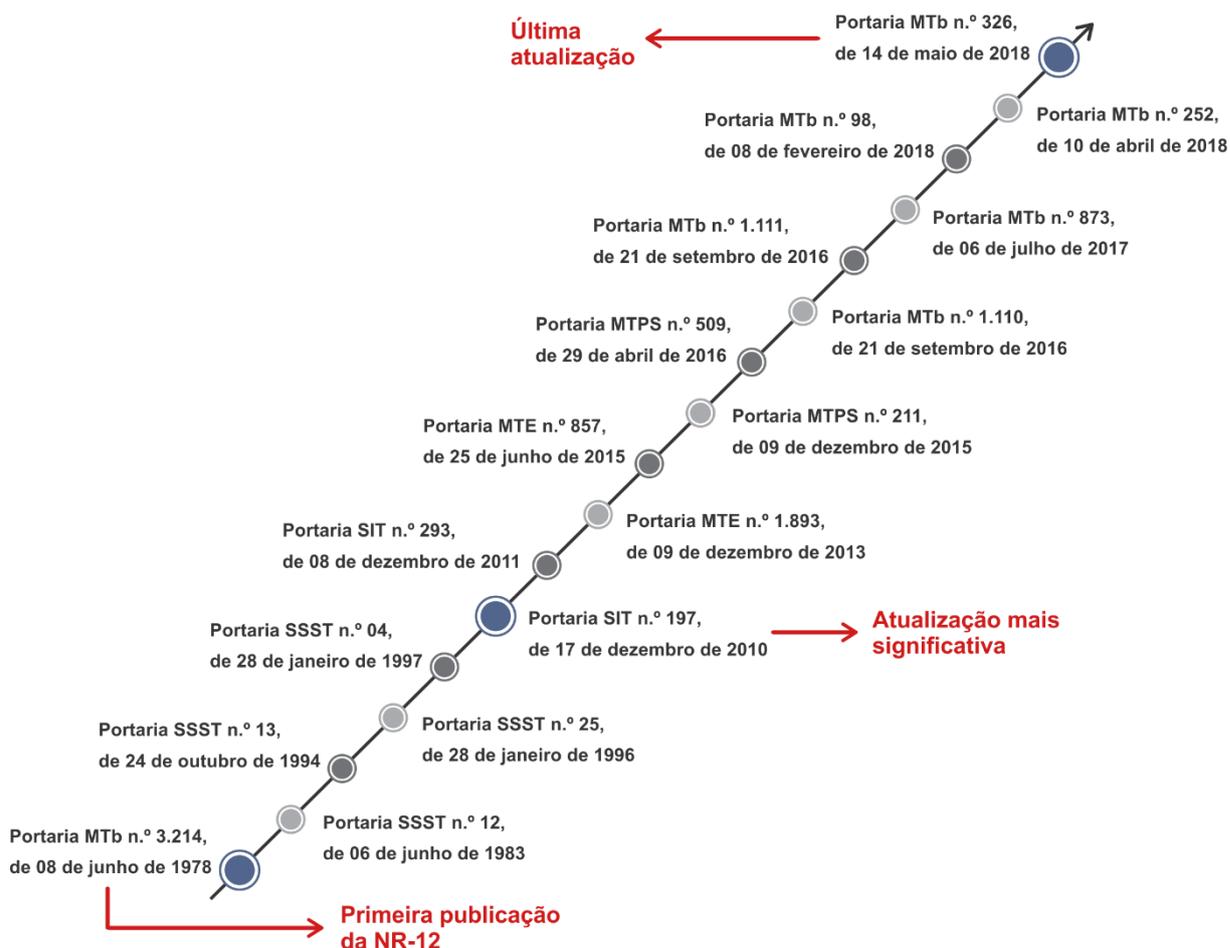
1.1 JUSTIFICATIVA

Quarto lugar no ranking mundial, o Brasil é hoje o país onde a cada 48 segundos acontece um acidente de trabalho e a cada 3h38min um trabalhador perde a vida pela falta de uma cultura de prevenção à saúde e à segurança do trabalho (Ministério Público do Trabalho, 2018). Esses dados, coletados entre os anos de 2012 e 2017, são do site do Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho, do Ministério Público do Trabalho em parceria com a Organização Internacional do Trabalho.

“As Normas Regulamentadoras – NR, relativas à segurança e medicina do trabalho, são de observância obrigatória pelas empresas privadas e públicas e pelos órgãos públicos da administração direta e indireta, bem como pelos órgãos dos Poderes Legislativo e Judiciário, que possuam empregados regidos pela Consolidação das Leis do Trabalho – CLT.” (Ministério do Trabalho, 2015). Uma das mais importantes e extensas das 36 normas regulamentadoras da Consolidação de Leis Trabalhistas, a Norma Regulamentadora número 12, tem como intuito garantir

que máquinas e equipamentos sejam seguros para o uso do trabalhador. Ela passou por diversas atualizações ao longo dos anos, tentando acompanhar o desenvolvimento da indústria nacional, como pode ser observado na figura 1.

Figura 1 – Linha do tempo das atualizações sofridas pela NR-12.



“Está em vigor desde dezembro de 2010 a normativa regulamentadora NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos, reformulada com o foco de reduzir os acidentes com trabalhadores e usuários de equipamentos industriais. A Norma traz informações e conceitos já consagrados em segurança de máquinas, estendendo esta visão desde o projeto até o seu sucateamento” (BAÚ, 2013).

A NR-12 sofreu a sua maior atualização em 2010 com a intenção de tornar máquinas e equipamentos realmente seguros, com requisitos mínimos para que os

mesmos sejam projetados e construídos desta forma, desde o transporte, utilização, manutenção, até o descarte. Simultaneamente, a Norma apresenta maneiras para adequação das máquinas que já estão em utilização há alguns anos, além de indicar a necessidade de capacitação dos trabalhadores, formulando um conceito de atualização contínua, diferentemente da antiga versão. A nova versão contempla a maioria dos diversos tipos de máquinas e equipamentos de distintos processos de trabalho, buscando sempre a segurança dos envolvidos nos métodos de fabricação, e nas demais áreas envolvidas.

Com a reformulação da NR-12, a mesma ampliou sua abrangência de atuação, incluindo máquinas fixas e móveis, equipamentos e ferramentas manuais. Nos subitens referentes às ferramentas manuais, são apresentadas as diferenças conceituais e para as máquinas móveis incluem-se diversos veículos agrícolas, entre outros (CORRÊA, 2011).

Segundo o Observatório Digital de Saúde e Segurança do Trabalho, (2018) em 2017 ocorreram mais de 570 mil casos de acidentes de trabalho em todo o território brasileiro. Os acidentes de trabalho custaram R\$26 bilhões à previdência entre 2012 e 2017 (Ministério Público do Trabalho, 2018). Segundo dados da Comunicações de Acidentes de Trabalho ao Instituto Nacional de Seguridade Social (INSS), entre os anos de 2011 e 2013 mais de 600 pessoas morreram vítimas de acidentes de trabalho com máquinas e equipamentos (Tribunal Regional do Trabalho da 6ª Região, 2015).

De acordo com o Tribunal Regional do Trabalho da 6ª Região, (2015) máquinas e equipamentos provocaram no total 221.843 acidentes, o que representa 17% dos acidentes de trabalho típicos ocorridos no período entre os anos de 2011 e 2013. Foram comunicados ainda 41.993 fraturas (270 por semana) e 13.724 amputações (mais de 12 por dia).

É possível identificar que a sociedade brasileira possui um grande problema em relação aos acidentes de trabalho, especificamente com os que envolve máquina e equipamentos. Diante dessa linha de pesquisa e tendo em vista a problemática abordada, surge a seguinte pergunta:

É possível que máquinas ou equipamentos adequados aos itens prescritivos da NR-12 ainda não estejam suficientemente seguros contra a ocorrência de acidentes?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem o objetivo de, através da comparação da NR-12 com a técnica de identificação de perigo, FMEA, analisar o quão seguro é o suficientemente seguro. Caso todas as recomendações da NR-12 forem implementadas, a máquina estará suficientemente segura e não apresentará riscos à saúde e a integridade física dos trabalhadores?

1.2.2 Objetivo Específico

Para a consolidação do objetivo geral, faz-se necessária a execução das etapas pertinentes ao trabalho proposto:

- I. Descrever o processo de fabricação de baterias no qual será utilizado como estudo de caso;
- II. Identificar a máquina crítica pertencente ao processo que servirá de condição de contorno do estudo de caso;
- III. Adequar a máquina crítica aos itens prescritivos da NR-12;
- IV. Identificar os perigos da máquina após a adequação à Norma;
- V. Comparar os resultados da identificação de perigos com as recomendações da NR-12.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 NORMA REGULAMENTADORA Nº12

2.1.1 Histórico da NR-12

A NR-12 é uma das 36 Normas Regulamentadoras existentes hoje e criadas a partir de uma obrigatoriedade do Ministério do Trabalho e Emprego em desenvolver medidas de prevenção de acidentes, definidas nos Artigos 184, 185 e 186 da Lei de nº 6514 de 22 de dezembro de 1977. Inicialmente foram aprovadas 28 dessas Normas pela Portaria 3.214 em 08 junho de 1978, tendo, portanto, força de lei e devido a isso, o seu cumprimento deve ser obrigatória para todas as empresas e instituições regidas pela CLT – Consolidação das Leis Trabalhistas. Mais outras 8 Normas surgiram ao logo dos anos, completando assim o conjunto de NRs que conhecemos hoje.

Com a intenção de acompanhar o desenvolvimento do setor industrial brasileiro, a NR-12 passou por diversas atualizações desde a sua criação. A figura 1 apresentou anteriormente todas as atualizações sofridas por esta Norma. Como já foi citado, a publicação do primeiro texto da NR-12 ocorreu em 1978, tendo sua primeira atualização apenas 16 anos depois aprovada pela Portaria SSST nº 13, de 24 de outubro de 1994. Nessa renovação foi inserido o item 12.3.9 e o Anexo I, que até então tratava de requisitos específicos para utilização de motosserras, devido ao elevado número de acidentes com este tipo de equipamento.

Devido ao elevado número de acidentes na indústria de panificação, a Portaria SSST Nº 25, de 28 de janeiro de 1996 aprovou a incorporação, ao texto da Norma Regulamentadora nº 12, do item 12.3.10 e, do até então, Anexo II, que tratavam dos requisitos específicos para Cilindros de Massa. Alguns ajustes foram feitos nesse Anexo pela Portaria SSST nº 04, de 28 de janeiro de 1997.

Com início em 2007, um trabalho, contendo a participação da bancada do Governo, dos empregadores e dos trabalhadores, começou a ser desenvolvido com intenção de propor um novo texto para a NR-12. Esse trabalho se estendeu até o final

de 2009 e resultou na aprovação e publicação pela Portaria SIT n.º 197, de 17 de dezembro de 2010, do novo texto proposto. O conteúdo anterior da NR-12 era simples e pouco preciso a respeito das condições de segurança de máquinas e equipamentos e suas obrigações legais. A Norma, que antes trazia por volta de 40 requisitos distribuídos em 3 páginas, passou a conter 18 sessões (sem contar a primeira que fala dos princípios gerais) e 12 anexos.

De acordo com Nascimento (2013), a abrangência dessa grande revisão da NR-12 compreende todas as atividades econômicas onde existam máquinas e equipamentos, sem prejuízo da observância do disposto nas demais Normas Regulamentadoras nacionais ou internacionais, sendo que os principais objetivos são: estabelecer uma nova geração de máquinas com conceitos de segurança desde o projeto, passando pelas fases de utilização até o descarte; adequação as normas das máquinas já existentes; redução das assimetrias regionais quanto a proteção dos trabalhadores; redução dos acidentes típicos e prevenção de doenças ocupacionais.

O constante trabalho de aperfeiçoamento e desenvolvimento do tema continua ocorrendo. Prova disso são as 11 atualizações aprovadas e publicadas após a grade revisão de 2010. A Portaria SIT n.º 293, de 08 de dezembro de 2011 inseriu o Anexo XII que trata sobre equipamentos de guindar para elevação de pessoas e realização de trabalho em altura. Já a Portaria MTE n.º 1.893, de 09 de dezembro de 2013 alterou a definição de proteção fixa do item 12.41, os requisitos para escadas do tipo marinho do item 12.76, o dimensionamento das gaiolas de proteção das escadas do tipo marinho encontrado no item 12.76.1 e o Anexo III que discute sobre os meios de acesso permanentes.

A alteração de diversos itens da Norma, incluindo a mudança do título do capítulo “Projeto, fabricação, importação, venda, locação, leilão, cessão a qualquer título, exposição e utilização” para “Projeto, fabricação, importação, venda, locação, leilão, cessão a qualquer título e exposição” e a exclusão da definição de falha segura do Anexo IV foram introduzidas no ordenamento jurídico pela Portaria MTE n.º 857, de 25 de junho de 2015. Ainda em 2015 a Portaria MTPS n.º 211, de 09 de dezembro alterou alguns itens e incluiu outros no Anexo XI - Máquinas e implementos para uso agrícola e florestal.

No ano de 2016, três atualizações foram feitas: a Portaria MTPS n.º 509, de 29 de abril de 2016, a Portaria MTb n.º 1.110, de 21 de setembro de 2016 e a Portaria MTb n.º 1.111, de 21 de setembro de 2016. Foram adicionados ao Anexo IV os conceitos da aplicação da chave de segurança eletromecânica, a função do rearme manual e a definição de proteção intertravada com comando de partida. As redações para os Anexos VI e VII também foram incluídas nas alterações desse ano.

A Portaria MTb n.º 873, de 06 de julho de 2017 aprovou a redação do Anexo I – Distâncias de segurança e requisitos para o uso de detectores de presença optoeletrônicos, alínea C – Requisitos para uso de sistemas de segurança de detecção multizona – AOPD multizona em dobradeiras hidráulicas e também a redação do Anexo VIII - Prensas e Similares. Essa Portaria incluiu também a definição de AOPD multizona (*Active Opto-electronic Protective Device*).

Em 2018 a Portaria MTb n.º 98, de 08 de fevereiro, a Portaria MTb n.º 252, de 10 de abril e a Portaria MTb n.º 326, de 14 de maio também fizeram algumas atualizações. Entre elas estavam as alterações de definições como a do dispositivo de acionamento bimanual, do dispositivo de ação continuada e do dispositivo de acionamento por movimento limitado passo a passo, todas pertencentes ao Anexo IV.

Atualmente a Norma Regulamentadora n.º12 é composta por 156 itens e seus subitens, divididos em 19 sessões, além de 12 anexos, no qual 4 deles são de suporte ao uso da Norma e outros 8 anexos são de recomendações de segurança para setores específicos da indústria.

2.2.2 Recomendações da Norma

A título de realização deste trabalho, só será abordado alguns dos diversos itens, sessões e anexos presente no texto da NR-12. Entretanto, é importante lembrar que várias recomendações existentes na Norma estão relacionadas umas com as outras e todas as que se aplicavam ao estudo de caso foram seguidas na execução prática do presente trabalho. As sessões e anexos da NR-12 que influenciaram diretamente na realização desta pesquisa foram: Princípios gerais; Arranjo físico e

instalação; Instalações e dispositivos elétricos; Dispositivos de partida, acionamento e parada; Sistema de segurança; Dispositivos de parada de emergência e o Anexo I. Será feita uma pequena síntese de cada uma dessas sessões e anexos baseando-se no texto mais atualizado da NR-12.

A. Princípios gerais

A NR-12 e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas, sem prejuízo da observância do disposto nas demais Normas Regulamentadoras - NR aprovadas pela Portaria n.º 3.214, de 8 de junho de 1978, nas normas técnicas oficiais e, na ausência ou omissão destas, nas normas internacionais aplicáveis (NR-12).

A sessão de Princípios gerais traz uma ordem de prioridade para medidas de proteção a serem adotadas. As primeiras delas são as medidas de proteção coletiva, seguida das medidas administrativas ou de organização de trabalho e, por fim, as medidas de proteção individual. É apresentado nessa sessão para quais tipos de máquinas e equipamentos a NR-12 não se aplica, como por exemplo as máquinas movidas ou impulsionadas por força humana ou animal.

A Norma também prevê que é dever dos empregadores adotarem medidas de proteção para o trabalho em máquinas e equipamentos, capazes de garantir a saúde e a integridade física dos seus trabalhadores, e medidas apropriadas sempre que houver pessoas com deficiência trabalhando relacionadas direta ou indiretamente com o trabalho. Ela cita também uma série de itens que devem ser seguidos pelos trabalhadores afim de zelarem por sua segurança.

B. Arranjo físico e instalações

Esta sessão apresenta recomendações sobre os espaços físicos onde estão

instaladas as máquinas. Ela fala que nos locais de instalação de máquinas e equipamentos, as áreas de circulação devem ser devidamente demarcadas e em conformidade com as normas técnicas oficiais. Delimita também espaços específicos para armazenamento de materiais que são utilizados no processo produtivo e sugere que o dimensionamento, das áreas de circulação e armazenamento de materiais e os espaços em torno das máquinas, seja realizado de forma que os trabalhadores e os transportadores de materiais, mecanizados e manuais, movimentem-se com segurança.

As máquinas estacionárias devem possuir medidas preventivas quanto à sua estabilidade, de modo que não se desloquem intensamente por consequência de vibrações, choques, forças externas previsíveis, forças dinâmicas internas ou qualquer outro motivo acidental. As máquinas móveis que possuem rodas, pelo menos duas delas devem conter travas.

C. Instalações e dispositivos elétricos

As instalações elétricas das máquinas e equipamentos devem ser projetadas e mantidas de modo a prevenir, os perigos de choque elétrico, incêndio, explosão e outros tipos de acidentes, conforme previsto na NR10. Os materiais utilizados nessas instalações elétricas devem assegurar a sua blindagem, estanqueidade, isolamento e aterramento, de forma a suportar o contato direto ou indireto com água ou agentes corrosivos.

Alguns itens dessa sessão apresentam requisitos mínimos de segurança que devem ser seguidos, como por exemplo o item 12.17 que fala sobre os condutores de alimentação elétrica e o item 12.18 que traz os requisitos para quadros de energia. A Norma proíbe a utilização de chave geral como dispositivo de partida e parada, a utilização de chaves tipo faca nos circuitos elétricos e a existência de partes energizadas expostas de circuitos que utilizam energia elétrica. Ela também recomenda que as instalações elétricas das máquinas e equipamentos que utilizem energia elétrica fornecida por fonte externa devem possuir dispositivo protetor contra sobrecorrente, dimensionado conforme a demanda de consumo do circuito.

D. Dispositivos de partida, acionamento e parada

Os comandos de partida ou acionamento das máquinas devem possuir dispositivos que, ao serem energizadas, impeçam seu funcionamento automático. Essa parte da Norma apresenta maneiras que os dispositivos de partida, acionamento e parada das máquinas devem ser projetados, selecionados e instalados. Por exemplo, eles não devem ser localizados em zonas perigosas ou em locais que impeçam o acionamento ou desligamento involuntário pelo operador ou por qualquer outra forma acidental.

A sessão “Dispositivos de partida, acionamento e parada” traz também várias recomendações a respeito da utilização de dispositivos de acionamento do tipo comando bimanual. Ela impõem como requisito mínimo para o bimanual: estar sob monitoramento automático por interface de segurança, possuir distanciamento e barreiras entre os dispositivos de atuação para dificultar a burla do efeito de proteção, o sinal de saída terminar quando houver desacionamento de qualquer um dos botões de atuação, entre outros. Nas máquinas e equipamentos operados por dois ou mais dispositivos de comando bimanual, devem possuir sinal luminoso que indique seu funcionamento e a atuação síncrona é requerida somente para cada um dos dispositivos de acionamento bimanual e não entre dispositivos diferentes, que devem manter simultaneidade entre si.

Um sistema que possibilita o bloqueio de dispositivos de acionamento é utilizado para máquinas e equipamentos, cujo acionamento por pessoas não autorizadas possam oferecer risco à saúde ou integridade física de qualquer pessoa. O acionamento e o desligamento simultâneo por um único meio de comando de um grupo de máquinas e equipamentos ou de máquinas e equipamentos de grande porte devem ser precedidos da emissão de sinal sonoro ou visual. Quando necessárias, devem ser adotadas medidas adicionais de alerta, como sinal visual e dispositivos de telecomunicação, considerando as características do processo produtivo e dos trabalhadores.

E. Sistema de segurança

As zonas de perigo das máquinas e equipamentos devem possuir sistemas de segurança, que tenham em sua composição itens que garantam proteção à saúde e à integridade física dos trabalhadores, como: proteções fixas, proteções móveis e dispositivos de segurança interligados. O desenvolvimento e instalação desses sistemas de segurança devem considerar as características técnicas da máquina e do processo de trabalho e as medidas e alternativas técnicas existentes, de modo a atingir o nível necessário de segurança previsto nesta Norma. Esta sessão da NR-12 indica requisitos básicos para a seleção e instalação de sistemas de segurança. Por exemplo estar sob a responsabilidade técnica de profissional legalmente habilitado, possuir conformidade técnica com o sistema de comando a que são integrados, paralisação dos movimentos perigosos e demais riscos quando ocorrerem falhas ou situações anormais de trabalho e, se indicado pela apreciação de riscos, devem exigir rearme (“reset”) manual.

Também são feitas definições auxiliares para fins de aplicação da NR-12, como a de proteção (elemento especificamente utilizado para prover segurança por meio de barreira física) e dispositivo de segurança (componentes que, por si só ou interligados ou associados a proteções, reduzam os riscos de acidentes e de outros agravos à saúde). A manutenção do estado seguro das máquinas ou equipamentos devem ser garantidos, pelos componentes relacionados aos sistemas de segurança, quando ocorrerem flutuações no nível de energia além dos limites considerados no projeto, incluindo o corte e restabelecimento do fornecimento de energia.

A sessão “Sistema de segurança” apresenta uma série de itens a serem seguidos quanto ao projeto e construção de proteções. Quando a proteção for desenvolvida com material descontínuo, devem ser observadas as distâncias de segurança para impedir o acesso às zonas de perigo, conforme previsto no Anexo I, item A. A Norma fala também que uma proteção móvel deve ser utilizada quando o acesso a uma zona de perigo for requerido uma ou mais vezes por turno de trabalho.

A proteção deve ser associada a um dispositivo de intertravamento quando sua abertura não possibilitar o acesso à zona de perigo antes da eliminação do risco ou a um dispositivo de intertravamento associado a um bloqueio quando sua abertura

permitir o acesso à zona de perigo antes da eliminação do risco.

F. Dispositivos de parada de emergência

Com o objetivo de evitar situações de perigo latentes e existentes, as máquinas devem ser equipadas com um ou mais dispositivos de parada de emergência. Eles não devem ser utilizados como dispositivos de partida ou de acionamento. As únicas exceções para o uso desses tipos de dispositivos são para as máquinas manuais, as máquinas autopropelidas e aquelas nas quais o dispositivo de parada de emergência não possibilita a redução do risco.

Os dispositivos de parada de emergência devem ser instalados em locais de fácil visualização e acesso pelos operadores em seus postos de trabalho e por outras pessoas. Tais dispositivos precisam ser mantidos permanentemente desobstruídos e prevalecer sobre todos os outros comandos. Devem também ser escolhidos, montados e interconectados de modo a suportar as condições de operação previstas e as influências do meio.

A ativação do dispositivo de parada de emergência deve também resultar na retenção do acionador, de tal maneira que no momento em que a ação no botão for descontinuada, este se mantenha retido até que seja desacionado. O desacionamento deve ser permitido apenas como consequência de uma ação manual intencionada sobre o acionador. A parada de emergência deve requerer o uso de rearme, ou reset manual, a ser realizado apenas após a correção do evento que motivou o acionamento da parada de emergência.

G. Anexo I

O Anexo I faz recomendações sobre distâncias de segurança e requisitos para máquinas e equipamentos em geral, devendo ser observadas, quando for o caso, as disposições contidas em anexos e normas específicas. Este anexo apresenta distâncias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo quando utilizada uma barreira, incluindo as barreiras que utilizam material descontínuo como telas de arames. A tabela 1 mostra o critério de segurança utilizado para impedir o acesso a

zonas de perigo pelos membros superiores. No qual “sr” é a distância de segurança e “e” é a abertura, que pode ser uma fenda, um quadrado ou circular.

Tabela 1 - Distâncias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo pelos membros superiores.

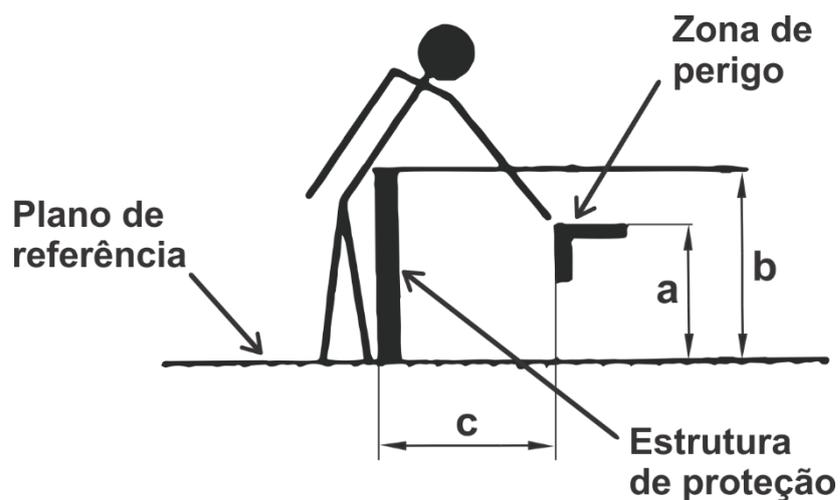
Parte do corpo	Ilustração	Abertura	Distância de segurança <i>sr</i>		
			Fenda	Quadrado	Circular
Ponta do dedo		$e \leq 4$	≥ 2	≥ 2	≥ 2
		$4 < e \leq 6$	≥ 10	≥ 5	≥ 5
Dedo até a articulação com a mão		$6 < e \leq 8$	≥ 20	≥ 15	≥ 5
		$8 < e \leq 10$	≥ 80	≥ 25	≥ 20
		$10 < e \leq 12$	≥ 100	≥ 80	≥ 80
		$12 < e \leq 20$	≥ 120	≥ 120	≥ 120
		$20 < e \leq 30$	$\geq 850^1$	≥ 120	≥ 120
Baço até a junção com o ombro		$30 < e \leq 40$	≥ 850	≥ 200	≥ 120
		$40 < e \leq 120$	≥ 850	≥ 850	≥ 850
¹ Se o comprimento da abertura em forma de fenda é ≤ 65 mm, o polegar atuará como um limitador e a distância de segurança poderá ser reduzida para 200 mm.					

Fonte: ABNT NBRNM-ISO 13852 - Segurança de Máquinas - Distâncias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo pelos membros superiores.

São apresentados também requisitos para assegurar que o trabalhador não se exponha ao risco ao tentar alcançar a zona de perigo sobre as estruturas de proteção. A figura 2 traz uma representação de um operador tentando acessar a zona de perigo pela parte de cima da estrutura de proteção. Pode-se observar na tabela 2 os valores seguros recomendados para as variáveis da figura 2. A letra “a” indica a altura da zona

de perigo, a letra “b” representa a altura da estrutura de proteção e a letra “c” indica a distância horizontal à zona de perigo. Portanto quanto cruza-se duas dessas variáveis, a terceira pode ser adquirida na análise da tabela 2, garantindo assim que a proteção exerça a principal função para o qual ela foi projetada.

Figura 2 - Alcance sobre estruturas de proteção.



Fonte: NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.

Tabela 2 - Distância segura para o alcance sobre estruturas de proteção (dimensões em mm).

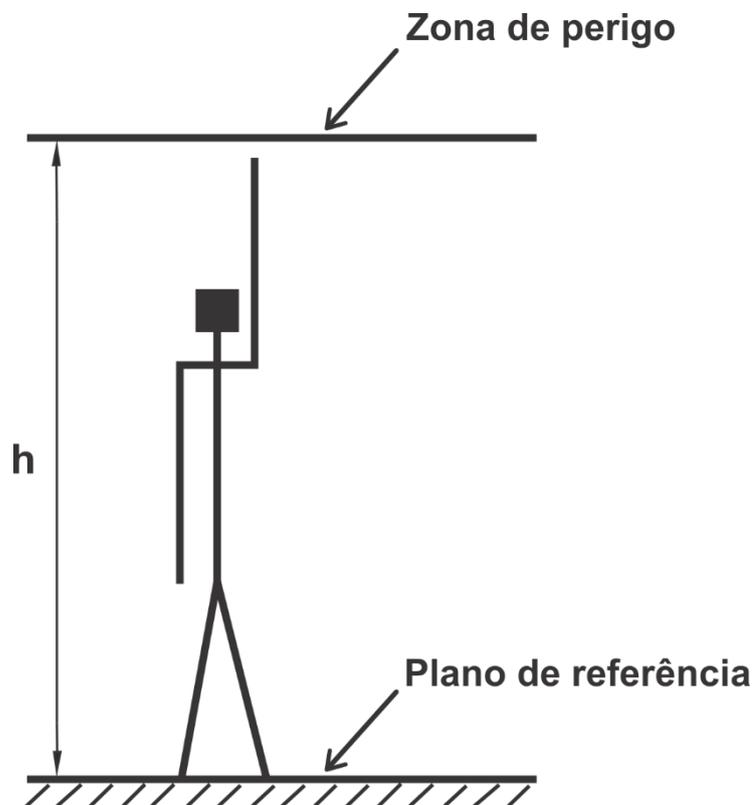
Altura da zona de perigo a	Altura da estrutura de proteção b ¹⁾									
	1000	1200	1400 ²⁾	1600	1800	2000	2200	2400	2500	2700
	Distância horizontal à zona de perigo "c"									
2700 ³⁾	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
2600	900	800	700	600	600	500	400	300	100	-
2400	1100	1100	900	800	700	600	400	300	100	-
2200	1300	1200	1000	900	800	600	400	300	-	-
2000	1400	1300	1100	900	800	600	400	-	-	-
1800	1500	1400	1100	900	800	600	-	-	-	-
1600	1500	1400	1100	900	800	500	-	-	-	-
1400	1500	1400	1100	900	800	-	-	-	-	-
1200	1500	1400	1100	900	700	-	-	-	-	-
1000	1500	1400	1100	800	-	-	-	-	-	-
800	1500	1300	900	600	-	-	-	-	-	-
600	1400	1300	800	-	-	-	-	-	-	-
400	1400	1200	400	-	-	-	-	-	-	-
200	1200	900	-	-	-	-	-	-	-	-
0	1100	500	-	-	-	-	-	-	-	-

1) Estruturas de proteção com altura inferior que 1000 mm (mil milímetros) não estão incluídas por não restringirem suficientemente o acesso do corpo.
2) Estruturas de proteção com altura menor que 1400 mm (mil e quatrocentos milímetros), não devem ser usadas sem medidas adicionais de segurança.
3) Para zonas de perigo com altura superior a 2700 mm (dois mil e setecentos milímetros) ver figura 2.
Não devem ser feitas interpolações dos valores desse quadro; conseqüentemente, quando os valores conhecidos de "a", "b" ou "c" estiverem entre dois valores do quadro, os valores a serem utilizados serão os que propiciarem maior segurança

Fonte: ABNT NBR NM-ISO 13852:2003 - Segurança de Máquinas - Distâncias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo pelos membros superiores.

Para o alcance das zonas de perigo superiores, caso a zona de perigo ofereça baixo risco, o "h" (altura da zona de perigo) deve ser situado a um valor de 2500 mm para que não seja necessário a utilização de proteções. Caso seja identificado um alto risco na zona de perigo, a altura "h" deve ser, no mínimo, de 2700 mm ou devem ser utilizadas outras medidas de segurança. A figura 3 ilustra a situação.

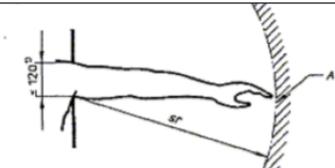
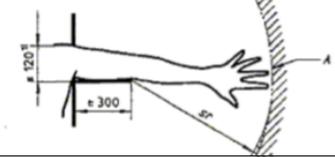
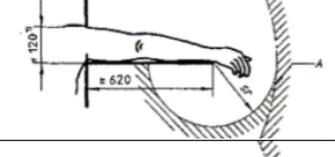
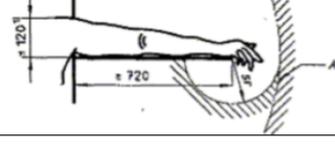
Figura 3 - Alcance das zonas de perigo superiores.



Fonte: NR-12 – Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos.

Quando uma abertura é suficientemente grande para permitir o acesso de todo um braço à zona de perigo, deve-se considerar o alcance ao redor, ou seja, os possíveis movimentos, mesmo que limitados, que as partes do braço podem executar. A tabela 3 mostra esses possíveis movimentos e apresenta uma distância de segurança para associada a cada tipo de limitação do movimento.

Tabela 3 - Alcance ao redor - movimentos fundamentais (dimensões em mm).

Limitação do movimento	Distância de segurança sr	Ilustração
Limitação do movimento apenas no ombro e axila	≥ 850	
Braço apoiado até o cotovelo	≥ 550	
Braço apoiado até o punho	≥ 230	
Braço e mão apoiados até a articulação dos dedos	≥ 130	
<p>A: faixa de movimento do braço ¹⁾ diâmetro de uma abertura circular, lado de uma abertura quadrada ou largura de uma abertura em forma de fenda.</p>		

Fonte: ABNT NBRNM-ISO 13852 - Segurança de Máquinas - Distâncias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo pelos membros superiores.

2.2 TÉCNICAS DE IDENTIFICAÇÃO DE PERIGO

Para entender melhor os conceitos e aplicações das técnicas de identificação de perigo, faz-se necessário conhecer algumas definições importantes.

O perigo é toda e qualquer ação que apresenta o potencial de ocasionar danos. A NBR 14726, (2009) define perigo como: “situação com potencial de provocar lesões pessoais ou danos à saúde, ao meio ambiente ou ao patrimônio, ou combinação destas”. Perigo é uma condição ou um conjunto de circunstâncias que têm o potencial de causar ou contribuir para uma lesão ou morte” (Sanders e McCormick, 1993, p. 675). Perigo é uma característica química ou física inerente que tem o potencial de causar danos a pessoas, propriedades ou ao meio ambiente (Dyadem Press, 2003). No contexto de segurança, perigo pode ser entendido também como fonte de um risco.

De acordo com o ISO Guide 73 (2009), fonte de risco é o elemento que sozinho ou em combinação tem o potencial intrínseco para dar origem a um risco.

Segundo a NBR 14726, (2009), o risco é a “propriedade de um perigo promover danos, com possibilidade de perdas humanas, ambientais, materiais e/ou econômicas, resultante da combinação entre frequência esperada e consequência destas perdas”. Na mesma linha de Dyadem Press, (2003) o risco é definido como o resultado medido do efeito potencial do perigo (consequência) multiplicado pela frequência com que é provável que ele ocorra. O risco é a combinação da probabilidade (frequência) de um evento e de suas consequência (ISO Guide 73, 2009). Geralmente este termo é utilizado quando existe pelo menos a possibilidade de ocorrer consequências negativas. Em alguns casos, o risco decorre da possibilidade de desvio em relação ao evento ou resultado esperado (ISO Guide 73, 2009).

A identificação de perigo é entendida pelo AIChE - American Institute of Chemical Engineers, (2018) como o inventário de material, sistema, processo e características da planta que podem produzir consequências indesejáveis através da ocorrência de um incidente. O risco deve sempre ser gerenciado pelas empresas com o intuito de prevenir a ocorrência de acidentes. Primeiro os perigos devem ser identificados e, em seguida, os riscos devem ser avaliados e determinados como toleráveis ou não. A base para o estabelecimento da maioria das outras atividades de gerenciamento de segurança realizadas pelas empresas é construída pela compreensão do risco criada a partir de uma análise de risco efetiva. Uma percepção incorreta do risco a qualquer momento poderia levar ao uso ineficiente de recursos limitados ou à aceitação inconsciente de riscos que excedam a verdadeira tolerância da empresa ou da comunidade (AIChE - American Institute of Chemical Engineers, 2018).

A identificação de perigos concentra a atenção em cenários específicos e examina (Dyadem Press, 2003):

- Como o acidente pode ocorrer? Quais são as causas?
- O que pode acontecer? Quais as consequências?

- Como é atualmente as proteções contra a ocorrência dos acidentes e suas consequências? Quais são as proteções de segurança?
- O que é preciso fazer se alguém estiver insuficientemente protegido? Quais são as ações requeridas?

Uma análise insatisfatória pode levar a decisões ruins e a análise excessiva desperdiça recursos. Existem várias ferramentas que possibilitam um nível de análise necessário para chegar a uma decisão, como:

- Análise de Perigo e Operabilidade (HAZOP);
- Análise “*What if*”;
- Análise de Modo e Efeito de Falha (FMEA);
- Análise de *Checklist*;
- Análise Preliminar de Perigo (APP).

A Arvore de Falha e a Arvore de Eventos podem ser incluídas, mas elas são mais comumente usadas para quantificar o risco, ao invés de identificar os perigos Dyadem Press, (2003).

O estudo de caso, que se passa em uma fábrica de baterias, possui como seu principal cliente as montadoras de automóveis. O presente trabalho escolheu a técnica de identificação de perigo FMEA para ser aplicada neste estudo de caso, pois ela é uma ferramenta de sucesso adotada por várias montadoras, bem como seus fornecedores, em todo o mundo. Outro grande benefício do processo da FMEA advém de um aumento no conhecimento gerado por discussões em equipe e atividades correlatas CHRYSLER *et al.* (2012).

2.2.1 Conceitos gerais sobre a FMEA

Segundo Sakurada (2001) a FMEA teve sua origem em 1949, como uma disciplina do exército norte americano que utilizava um procedimento militar chamado

MIL-P-1629 (*Military Procedure MIL-P-1629*). Este procedimento foi feito com o intuito de elaborar uma técnica para demonstrar efeitos nos sistemas, falhas em equipamentos e análise de sua criticidade. As falhas eram classificadas de acordo com o sucesso das missões, do contingente e do equipamento.

A NASA (*National Aeronautics and Space Administration*) começou a aplicar a FMEA em meados dos anos 60 no Estados Unidos. Após a aplicação deste método nas viagens espaciais e também na tecnologia nuclear, a FMEA foi implementada em seguida na indústria automobilística a fim de evitar que problemas chegassem até o consumidor.

A metodologia de Análise de Modo e Efeito de Falha, mais conhecida como FMEA (do inglês *Failure Mode and Effect Analysis*), é uma ferramenta que tem como objetivo, evitar que ocorram falhas em um produto ou do processo, por meio da análise das falhas potenciais e propostas de ações de melhoria. A falha pode ser entendida como uma perda de uma ou mais funções definidas como requisitos de um componente, produto ou sistema (BERTSCHE, 2008).

De acordo com Puente *et al.* (2002), a ferramenta FMEA é desenvolvida basicamente em dois grandes estágios. No primeiro estágio, possíveis modos de falhas de um produto, processo ou serviço são identificados e relacionados com suas respectivas causas e efeitos. No segundo estágio, é determinado o nível crítico, ou seja, o índice de risco destas falhas que posteriormente são colocadas em ordem.

Segundo HELMAN E ANDERY (1995), a FMEA é um método que busca evitar, por meio do processo de análises de falhas potenciais e propostas de ações de melhoria, que venham a ocorrer falhas no projeto do processo ou do produto. A FMEA é um método analítico padronizado de detecção e eliminação de problemas potenciais de forma sistemática e completa.

Para (BACK, 1983), o FMEA é de grande utilidade para identificar a necessidade de um reprojeto visando sua confiabilidade, como resultado da análise do projeto ou produto.

A *Ford Company* foi a primeira empresa automotiva a integrar a FMEA em seu conceito de garantia da qualidade (CLARKE, 2005). A indústria automobilística alemã também o fez logo em seguida, segundo procedimentos definidos pela VDA (*Verband der Automobilindustrie*) (BERTSCHE, 2008).

Pode-se aplicar a metodologia da FMEA nas seguintes situações (TOLEDO; AMARAL, 2006):

- Para diminuir a probabilidade da ocorrência de falhas em projetos de novos produtos ou processos;
- Para diminuir a probabilidade de falhas potenciais (ou seja, que ainda não tenham ocorrido) em produtos/processos já em operação;
- Para aumentar a confiabilidade de produtos ou processos já em operação por meio da análise das falhas que já ocorreram;
- Para diminuir os riscos de erros e aumentar a qualidade em procedimentos administrativos.

A ferramenta da FMEA pode ser aplicada em diversos cenários. As etapas e a forma de realização da análise é a mesma, diferenciando-se somente quanto ao tipo de objetivo estudado. A classificação entre os tipos de FMEA varia entre as literaturas. CHRYSLER *et al.* (2012) classifica a FMEA em três tipos:

- FMEA de sistema: na qual são consideradas as falhas que poderão ocorrer com um sistema. Um sistema pode ser entendido como conjunto de subsistemas. Por exemplo, em um universo de uma indústria automobilística, algumas FMEAs de sistema poderiam incluir: sistema de solda da parte inferior da carroceria, sistema de cobertura e fixação do chassi, etc. O foco desse tipo de FMEA é garantir que todas as interfaces e interações foram incluídas entre os vários subsistemas que compõem o sistema.
- FMEA de subsistema: na qual são consideradas as falhas que poderão ocorrer com um subsistema. Uma FMEA de subsistema é, em geral, um subconjunto de um sistema maior. Por exemplo, os robôs são um subconjunto do sistema

de solda da parte interior da carroceria. Assim, o foco desse tipo de FMEA é garantir que todas as interfaces e interações sejam incluídas entre os diversos componentes que compõem o subsistema.

- FMEA de componente: na qual são consideradas as falhas que poderão ocorrer com um componente. Uma FMEA de componente é, em geral, uma FMEA de subconjunto de um subsistema. Por exemplo, a pistola de solda fixada no braço do robô é um componente do robô (que é um subsistema do sistema de solda da parte interior da carroceria).

Segundo CHRYSLER *et al.* (2012) a aplicação da FMEA traz as seguintes vantagens:

- Auxilia na avaliação do objeto e na compreensão da sequência de passos da máquina;
- Provê informações para auxiliar no planejamento de processos eficientes e efetivos de manutenção preventiva;
- Melhora a confiabilidade, a durabilidade e a manutenibilidade da máquina, resultando em aumento da disponibilidade da máquina;
- Desenvolve uma lista priorizada de modos de falha potencial, estabelecendo assim um sistema de prioridades para ações preventivas e corretivas.

3 METODOLOGIA

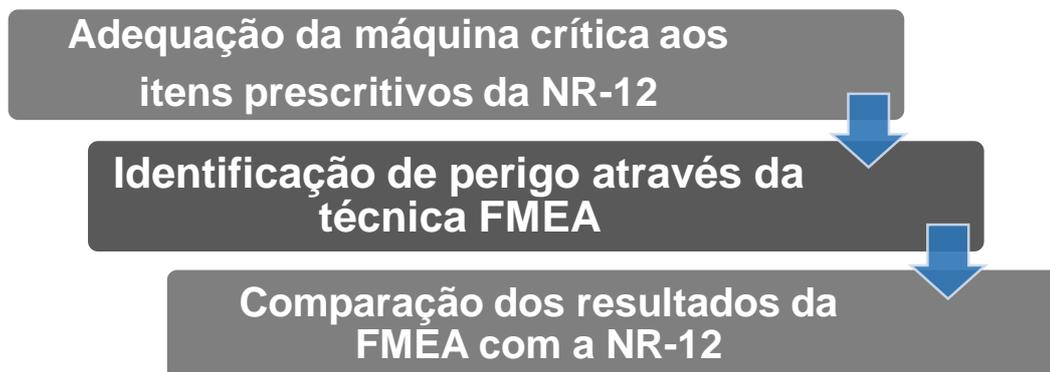
Este trabalho visa identificar se uma máquina ou equipamento adequado à NR-12 está suficientemente seguro. O meio pelo qual isso será verificado, será através da comparação de uma avaliação que utiliza o desempenho como principal componente (FMEA), com uma avaliação prescrita por uma norma regulamentadora (NR-12). Para isso a metodologia que será aplicada no presente trabalho segue as seguintes etapas, figura 4:

- I. Adequação da máquina crítica aos itens prescritivos da NR-12:
 - Identificação das características específicas da fábrica, do produto, do processo e da máquina;
 - Identificação dos pontos de não conformidade da máquina perante a Norma e desenvolvimento do sistema de segurança;

- II. Identificação de perigo através da técnica FMEA:
 - Definição do tipo de FMEA que será aplicada e identificação dos itens mais críticos do objeto de estudo que farão parte da FMEA;
 - Aplicação das etapas da FMEA.

- III. Comparação dos resultados da FMEA com a NR-12 afim de identificar se uma máquina ou equipamento que atende a normativa prescrita está suficientemente seguro, ou seja, possui um nível de risco aceitável.

Figura 4 - Fluxograma das etapas da metodologia.



3.1 ADEQUAÇÃO DA MÁQUINA CRÍTICA À NR-12

3.1.1 Identificação das características específicas da fábrica, do produto, do processo e da máquina

Para uma melhor integração do sistema de segurança com a máquina que será adequada a Norma, faz-se necessário a identificação das características a respeito do estudo de caso. Quanto mais os procedimentos específicos da máquina são conhecidos pelo engenheiro responsável pelo projeto de segurança, melhor será a associação do sistema de segurança ao fluxo de processos já existentes e, conseqüentemente, a probabilidade da aceitação do mesmo por parte dos colaboradores da organização também será alta.

Um projeto de desenvolvimento e instalação de um sistema de segurança envolve diversas partes interessadas. É importante que todas elas estejam representadas nas reuniões de levantamento das características da máquina e das discussões sobre a lógica do sistema de segurança. É imprescindível que, por exemplo, os setores de manutenção, segurança do trabalho, produção e qualidade façam parte das reuniões. Outro representante, muitas vezes deixado de lado, mas indispensável nas discussões é o operador da máquina. É ele que está diariamente em contato com a máquina e pode dar informações relevantes para construção do sistema de segurança.

As reuniões de alinhamento da adequação à NR-12 foram feitas seguindo o escopo abaixo:

- Primeira reunião: levantamento de dados sobre a máquina e sobre o processo em que ela está inserida;
- Segunda reunião: apresentação do modelo proposto para as proteções mecânicas e para os dispositivos elétricos. Também é feito um alinhamento sobre a lógica do sistema de segurança e é discutida as possíveis alterações do projeto;
- Terceira reunião: apresentação das alterações acordadas na reunião anterior e aprovação do modelo final para o sistema de segurança.

3.1.2 Identificação dos pontos de não conformidade da máquina perante a Norma e desenvolvimento do sistema de segurança

Após entender o funcionamento da máquina, a etapa seguinte será a de identificação dos pontos que não estão em conformidade com a Norma, por exemplo através de laudos técnicos de segurança e da experiência do Engenheiro de Segurança responsável. Essas informações coletadas servirão como base para o desenvolvimento do sistema de segurança.

Segundo Dragoni (2011), existem vários meios de se proteger uma máquina, mecanismo ou equipamento para evitar que partes potencialmente perigosas causem danos ao homem, principalmente quando o projeto construtivo não contempla segurança. Esta situação é normalmente encontrada em máquinas antigas e até mesmo em equipamentos onde suas proteções mecânicas e seus dispositivos de segurança são removidos com o intuito de aumentar a produtividade ou diminuir custos com manutenção. Existem uma série de dispositivos de segurança capazes de mitigar ou reduzir os riscos a que os trabalhadores estão submetidos, como por exemplo: cortinas de luz; Scanner laser; Barreiras óticas; Comandos bimanuais; Relés de segurança; Botões de comando; Botoeiras; entre outros.

No projeto do sistema de segurança feito para a máquina que serve como objeto de estudo deste trabalho foram utilizados alguns desses dispositivos. Eles serão apresentados e descritos no Capítulo de Resultados.

A NR-12 possui uma seção específica para sistemas de segurança. Lá ela faz definições, recomendações e apresenta requisitos mínimos que o mesmo deve seguir. Dentre os itens da NR-12, é importante destacar o 12.39.

12.39 Os sistemas de segurança devem ser selecionados e instalados de modo a atender aos seguintes requisitos: (Vide prazos no Art. 4ª da Portaria SIT n.º 197, de 17 de dezembro de 2010)

- a) ter categoria de segurança conforme prévia análise de riscos prevista nas normas técnicas oficiais vigentes;
- b) estar sob a responsabilidade técnica de profissional legalmente habilitado;
- c) possuir conformidade técnica com o sistema de comando a que são integrados;
- d) instalação de modo que não possam ser neutralizados ou burlados;
- e) manterem-se sob vigilância automática, ou seja, monitoramento, de acordo com a categoria de segurança requerida, exceto para dispositivos de segurança exclusivamente mecânicos; e
- f) paralisação dos movimentos perigosos e demais riscos quando ocorrerem falhas ou situações anormais de trabalho.

Todos os tópicos apresentados acima foram seguidos no desenvolvimento do sistema de segurança do objeto de estudo.

3.2 TÉCNICA DE IDENTIFICAÇÃO DE PERIGO FMEA

A aplicação dessa técnica de identificação de perigo segue as etapas abaixo (CHRYSLER *et al.*, 2012; AIAG, 2011; BERTSCHE, 2008):

I. Definir o item (sistema, subsistema ou componente) que será analisado.

O item que será estudado deve ser descrito no nível de abstração coerente com o objetivo da FMEA;

II. Identificar funções, requisitos e especificações do item definido.

Identificar e entender as funções, requisitos e especificações relevantes ao tipo de FMEA definido. O intuito dessa etapa é esclarecer quais são as finalidades do item

analisado. A perda destas funções é o que caracteriza a falha.

III. Identificar modos de falha potencial

Um modo de falha é definido como o caminho ou maneira como um produto ou processo poderia falhar ao atender a função identificada ou os requisitos do processo. Ele consiste no modo pelo qual a falha se apresenta e é observada. Assume-se que a falha pode ocorrer, mas pode não necessariamente ocorrer. Uma definição concisa e compreensível da falha é importante uma vez que ela focaliza evidentemente a análise.

IV. Identificar efeitos potenciais

Efeitos potenciais de falha são ditos como os efeitos do modo de falha, conforme percebido pelo processo, colaborador ou organização. Esses efeitos são as consequências dos respectivos modos de falha nos componentes nos quais ocorre a falha.

V. Identificar causas potenciais

A causa potencial de uma falha é definida como uma indicação de como a falha poderia ocorrer, descrita em termos de algo que possa ser corrigido e pode ser controlado. A causa potencial da falha pode ser uma indicação de um ponto fraco no projeto, cuja consequência é o modo de falha.

VI. Identificar controles atuais de falha

Controles atuais de falha são aquelas atividades que previnem ou detectam a causa da falha ou do modo de falha. Ao se desenvolver controles, é importante se identificar o que está dando errado, por que e como preveni-lo. Os controles de falha se aplicam tanto ao projeto de máquinas como aos processos de fabricação. Controles com foco em prevenção resultarão em um máximo retorno.

VII. Índice de severidade (SEVER)

A severidade da falha deve ser classificada em uma escala de 1 a 10, quanto ao impacto negativo que ela causa no processo, no colaborador ou na organização. Um índice de severidade alto atribuído a um modo de falha caracteriza uma consequência fortemente negativa nos aspectos funcionais do item analisado. Eles serão atribuídos de acordo com a tabela 4, nela observa-se que a severidade da falha pode receber uma classificação que vai de “nenhum” a “extremo”.

Tabela 4 - Classificação da severidade da falha.

	SEVERIDADE	CLASSIFICAÇÃO
Extremo	Pode, sem aviso, afetar a máquina, o operador, o pessoal da manutenção, a segurança e/ou afeta o não cumprimento de regulamentos governamentais.	10
	Pode, com aviso, afetar a máquina, o operador, o pessoal da manutenção, a segurança e/ou afeta o não cumprimento de regulamentos governamentais.	9
Alto	Grandes perturbações à linha, parada de mais de 8 horas na produção ou produção de peças com defeitos por mais de 4 hora.	8
	Produto necessita de ordenação, parada entre 4 e 8 horas na produção ou produção de peças com defeitos entre 3 e 4 hora.	7
Moderado	Menor perturbação para a produção, parada entre 1 e 4 horas na produção ou produção de peças com defeitos entre 1 e 2 hora.	6
	Menor perturbação para a produção, parada entre 30 minutos e 1 horas na produção ou produção de peças com defeitos por até 1 hora.	5
	Menos defeitos notados, produto precisa de ordenação. Parada entre 10 e 30 minutos na produção.	4
Baixo	Ajuste e acabamento, parada de até 10 minutos na produção, mas nenhuma produção de peças com defeito.	3
	A variabilidade do parâmetro de processos não está dentro dos limites da especificação. Ajustes ou outros controles de processos devem ser tomados durante a produção.	2
Nenhum	A variabilidade do parâmetro de processos está dentro dos limites da especificação. Ajustes ou outros controles de processos podem ser realizados durante a manutenção normal.	1

VIII. Índice de ocorrência (OCORR)

A ocorrência da causa do modo de falha em questão é classificada em uma escala de 1 a 10. Este índice pode ser desenvolvido pelo histórico de falhas

semelhantes que ocorreram ou pode também ser estimado pela equipe responsável pela aplicação da FMEA. Um índice de ocorrência alto, como 9 ou 10, aponta alta ocorrência da causa potencial atribuída a um modo de falha específico. Esse índice será indicado seguindo a tabela 5, nela observa-se que a ocorrência da causa do modo de falha também pode possuir uma classificação que vai de “nenhum” a “muito alto”.

Tabela 5 - Classificação da ocorrência da causa do modo de falha.

	OCORRÊNCIA	NÚMERO POSSÍVEL DE FALHAS DENTRO DE TURNOS DE OPERAÇÃO.	CLASSIFICAÇÃO
Muito Alto	Falha é quase inevitável.	1 em 2	10
		1 em 3	9
Alto	Processo não está sob controle estatístico. Processos similares tem sofrido problemas.	1 em 9	8
		1 em 20	7
Moderado	Processo está sob controle estatístico, mas com falhas isoladas. Processo anterior sofre falhas ocasionais ou condições fora de controle.	1 em 80	6
		1 em 400	5
		1 em 2000	4
Baixo	Processo está sob controle estatístico.	1 em 5000	3
Muito Baixo	Processo está sob controle estatístico, somente falhas isoladas associadas com processos quase idênticos.	1 em 15000	2
Nenhum	Falha é improvável, nenhuma falha associada é conhecida em processo parecidos. A falha é eliminada através de controle de processo.	1 em mais do que 15000	1

IX. Índice de detecção (DETEC)

Classificado em uma escala de 1 a 10, o índice de detecção indica a probabilidade do controle atual de falha detectar uma causa de um específico modo de falha, assumindo que a falha tenha ocorrido. Quanto maior o índice de detecção, pior é qualificado o controle atual de falha da causa potencial da falha. Os índices de detecção serão apresentados conforme a tabela 6, nela observa-se que a probabilidade do controle atual detectar uma causa de um específico modo de falha também pode receber uma classificação que vai de “muito alto” a “muito baixa”. Quanto maior o índice de detecção, pior é qualificado o controle atual de falha da

causa potencial da falha.

Tabela 6 - Classificação da probabilidade do controle atual de falha detectar uma causa de um específico modo de falha.

	DETECÇÃO	CLASSIFICAÇÃO
Muito Baixa	Não há controle disponível para detectar o modo de falha.	10
Baixa	Controles tem uma chance remota de detectar as falhas.	9
		8
Moderado	Controles podem detectar a existência da falha.	7
		6
		5
Alto	Controles tem uma boa chance de detectar a existência da falha.	4
		3
Muito Alto	O processo automaticamente detecta a falha. É quase certo que os controles irão detectar as falhas.	2
		1

X. Índice RPN (*Risk Priority Number*)

O Número de Prioridade de Risco (RPN) é calculado pela multiplicação dos índices anteriores (severidade, ocorrência e detecção). Ele indica quais falhas necessitam de uma maior atenção por parte da equipe responsável pela FMEA. Entretanto, não é recomendada a prática de atuação no produto somente nas causas potenciais com os maiores índices RPN (AIAG, 2011). Ou seja, deve ser levado em consideração o bom senso no momento de priorizar as ações.

XI. Ações recomendadas

As ações que são recomendadas consideram o índice de RPN gerado, que levam ao cumprimento dos requisitos que justificaram a aplicação da FMEA. Estas ações podem ser de alteração do processo ou do sistema, instalação de dispositivos de detecção da falha ou até a implementação de uma rotina de revisão preventiva. As ações recomendadas visam, sobretudo, atuar em eliminação ou diminuição da ocorrência de falha, redução da severidade e melhoramento da detecção da falha (BORROR, 2008).

XII. Revisão dos índices de identificação e avaliação do risco

Após as ações recomendadas terem sido implementadas, os índices que caracterizam a identificação e avaliação do risco devem ser recalculados e comparados com os anteriores. Assim a equipe responsável pela FMEA pode observar a eficácia das ações tomadas.

Na tabela 7 pode ser observado um exemplo da FMEA que será utilizada neste trabalho. É importante destacar que os principais resultados da FMEA são as ações recomendadas para diminuição ou mitigação do risco que a operação de um determinado sistema, subsistema ou componente possui.

Tabela 7 - Exemplo de planilha da FMEA.

FMEA - ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA POTENCIAL															
SEGUIMENTO: Segmento em que está inserido o objeto de estudo										PROCESSO: Tipo do processo executado pelo objeto de estudo		Nº: 01			
RESPONSÁVEL: Responsável pela aplicação do FMEA				MÁQUINA: Nome do objeto de estudo				REVISÃO: 00							
ITEM	FUNÇÃO	MODO DE OPERAÇÃO	MODO DE FALHA EM POTENCIAL	EFEITOS POTENCIAIS DA FALHA	S E V E R	CAUSAS POTENCIAIS DA FALHA	O C O R R	CONTROLE DE PROCESSO ATUAL	D E T E C	R P N	AÇÃO RECOMENDADA	RESULTADOS DA AÇÃO			
												S E V E R	O C O R R	D E T E C	R P N
Item analisado 1	Função que o item estudado atua.	Modo que o item estudado opera 1.	Falha no avanço dos cilindros hidráulicos.	Falha na forma de operação do item estudado.		Causa 1 que podem ter ocasionado a falha na operação do item estudado.		Controles de detecção e prevenção existentes.			Ação recomendada para diminuição ou mitigação do risco.				
						Possível causa do efeito da falha.		Controles de detecção e prevenção existentes.			Ação recomendada para diminuição ou mitigação do risco.				
		Modo que o item estudado opera 2.	Fechamento parcial das pinças alinhadoras.	Parada da máquina e consequentemente parada da produção.		Causa 2 que podem ter ocasionado a falha na operação do item estudado.		Controles de detecção e prevenção existentes.			Ação recomendada para diminuição ou mitigação do risco.				
Item analisado 2	Função que o item estudado possui.	Forma que o item estudado opera.	Falha na forma que o item estudado opera.	Consequências da falha de operação no sistema.		Causa 1 que podem ter ocasionado a falha na operação do item estudado.		Controles de detecção e prevenção existentes.			Ação recomendada para diminuição ou mitigação do risco.				
									Causa 2 que podem ter ocasionado a falha na operação do item estudado.		Controles de detecção e prevenção existentes.			Ação recomendada para diminuição ou mitigação do risco.	

3.3 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS DA FMEA COM A NR-12

Esta etapa final será executada afim de identificar se uma máquina que atende a normativa prescrita está suficientemente segura, ou seja, possui um nível de risco aceitável quando realizada uma análise perante seu desempenho de processo. Para isso serão comparados os resultados da criação do sistema de segurança e da adequação à NR-12 da máquina, com as informações geradas pela aplicação da FMEA. O estudo de caso que está sendo realizado por este trabalho contextualiza o objetivo final apresentado anteriormente.

Após o projeto de NR-12 ter sido implementado na máquina, o que espera-se é que os resultados da FMEA não sejam tão alarmantes quanto a saúde e integridade física dos trabalhadores, ou seja, que as recomendações que serão geradas por essa técnica de identificação de perigo estejam contempladas pelos itens da Norma. Esta é a última etapa do trabalho e é nela que será respondida a pergunta que o norteou em sua execução.

4 RESULTADOS

4.1 O OBJETO DE ESTUDO

Antes de iniciar a construção da FMEA e da análise para identificar se uma máquina ou equipamento adequado a NR12 está suficientemente segura, faz-se necessário apresentar informações importantes sobre o estudo de caso. Para isso será descrito a seguir um pouco de cada elemento que constitui o universo da máquina crítica que servirá como condição de contorno para esse trabalho. Tais elementos podem ser observados na figura 5.

Figura 5 - Fluxograma do universo em que o objeto de estudo está inserido.



4.1.1 A fábrica

O estudo de caso se passa em uma indústria fabricante de acumuladores elétricos (baterias). A fábrica em questão é a matriz de uma das maiores fabricantes de baterias do mundo, no qual tem impacto significativo na economia e no ecossistema do local em que está instalada.

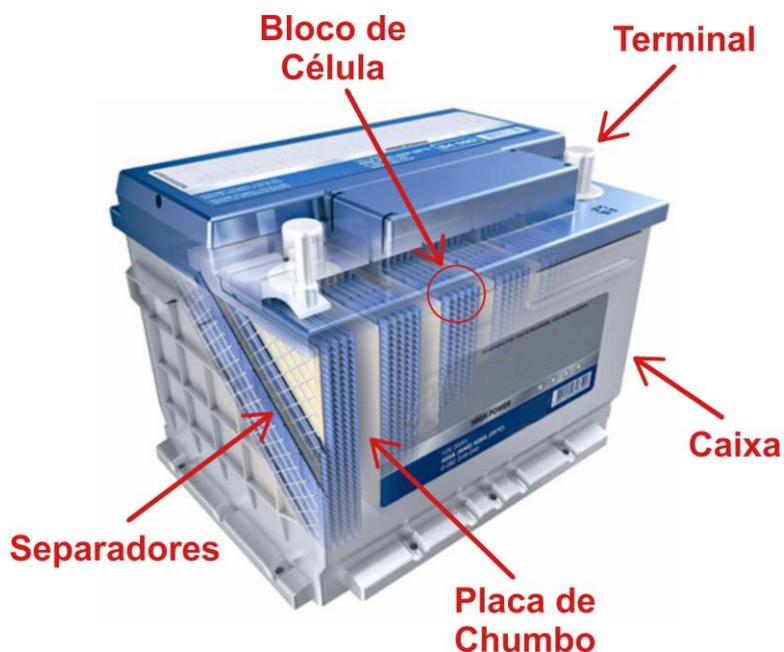
4.1.2 O produto

As baterias produzidas são formadas de placas de chumbo metálicas e óxido de chumbo imersas em um eletrólito. Elas possuem como objetivo armazenar energia química e transforma-la em energia elétrica. Esse tipo de acumulador elétrico também

é denominado bateria de chumbo-ácido. As baterias são definidas pela ABNT TB-170186 CS-3 - Comitê Brasileiro de Eletricidade CT-1 como conjuntos de acumuladores elétricos recarregáveis, interligados convenientemente, construídos e utilizados para receber, armazenar e liberar energia elétrica por meio de reações químicas envolvendo chumbo e ácido sulfúrico.

Uma bateria é composta por 3 ou 6 seções individualmente separadas e conectadas, em série, em uma caixa de polipropileno (figura 6). Cada seção contém um bloco de células. Ele é composto por um bloco de placas de chumbo positivas, negativas e um material microporoso de isolamento (separadores) entre as placas de polaridade opostas. O eletrólito é formado por uma solução de ácido sulfúrico diluído em água destilada permeando os poros das placas e enchendo os espaços livres das células. Os terminais, as conexões das células e das placas são feitas de chumbo.

Figura 6 - Representação de uma bateria.



4.1.3 O processo

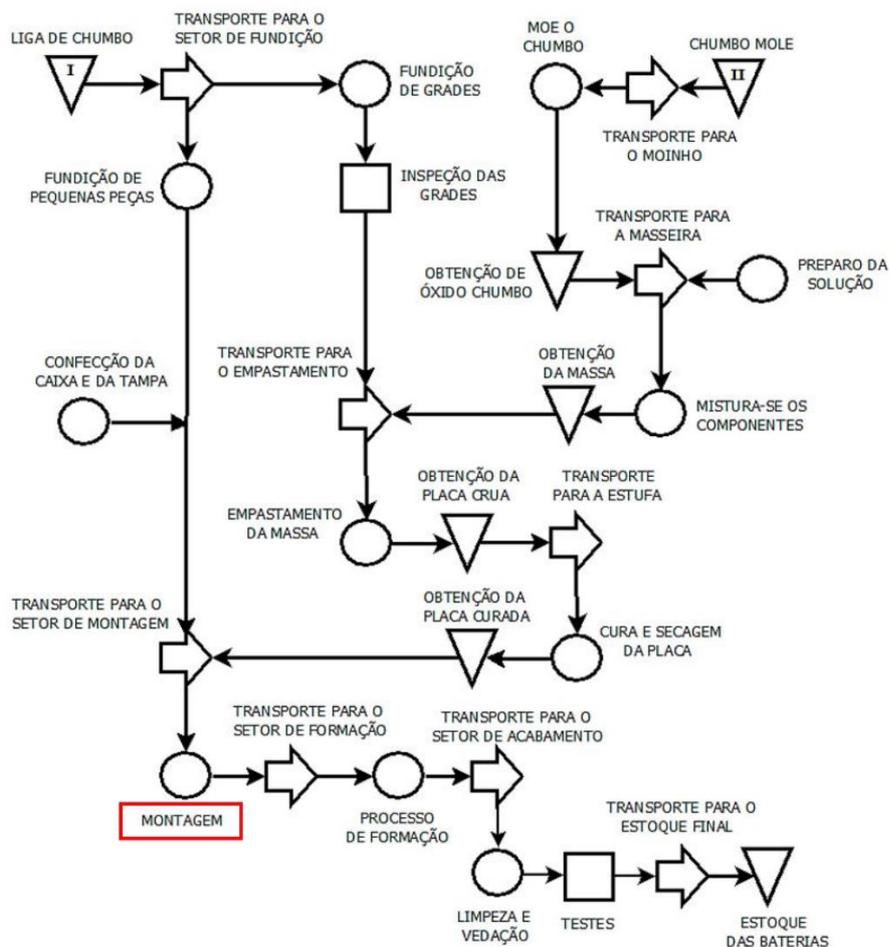
Existem muitas etapas que compõem o processo de fabricação de uma bateria automotiva. Então para facilitar o entendimento de onde está localizado o nosso objeto de estudo e permitir uma visão global das etapas, foi utilizado o fluxograma mostrado na figura 7. Esse fluxograma foi criado com base na simbologia para processos industriais segundo a ASME (tabela 8).

Tabela 8 - Simbologia de fluxogramas utilizados para processos industriais segundo a ASME.

SÍMBOLO	DESCRIÇÃO
○	Operação: ocorre quando se modifica intencionalmente um objeto em qualquer de suas características físicas ou químicas, ou também quando se monta ou desmontam componentes e partes.
⇒	Transporte: ocorre quando um objeto ou matéria-prima é transferido de um lugar para o outro, de uma seção para outra, de um prédio para outro.
D	Espera: Ocorre quando um objeto ou matéria prima é colocado intencionalmente numa posição estática. O material permanece aguardando processamento ou encaminhamento.
□	Inspeção: ocorre quando um objeto ou matéria-prima é examinado para sua identificação, quantidade ou condição de qualidade.
▽	Armazenagem: ocorre quando um objeto ou matéria-prima é mantido em área protegida específica na forma de estoque.

Fonte: Peinado e Graeml (2007)

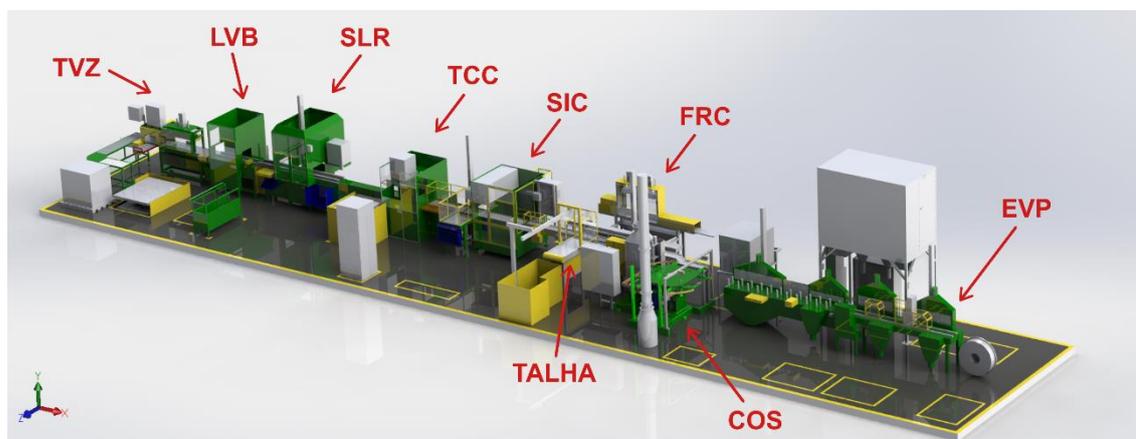
Figura 7 - Representação do fluxograma da produção das baterias.



Fonte: Silva, Rodrigues, Casado, Freitas e Santos (2015).

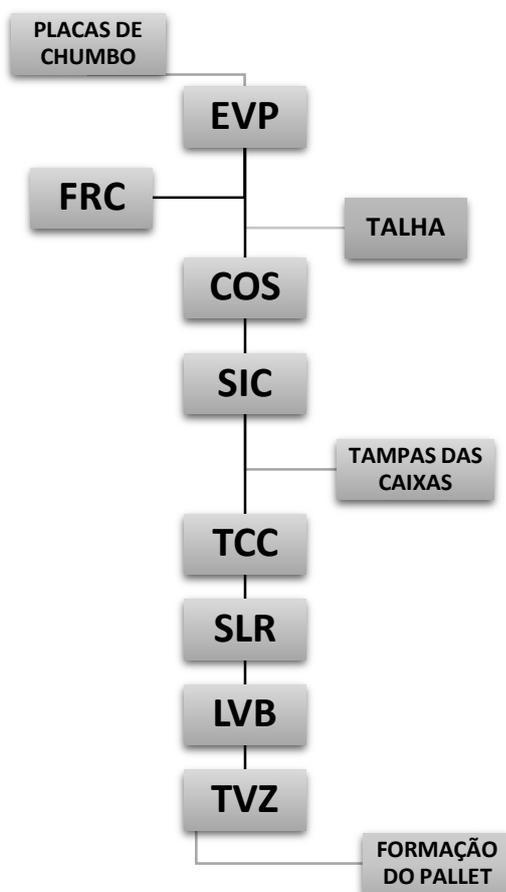
O processo produtivo em que a máquina crítica está inserida é o Setor de Montagem e, como é possível observar na figura 8, o setor é composta pelas máquinas EVP, COS, FRC, TALHA, SIC, TCC, SLR, LVB, e TVZ.

Figura 8 - Desenho 3D do Setor de Montagem.



Como mostra a figura 9, o processo de montagem de bateria estudado tem início na máquina EVP. Esta máquina é alimentada manualmente por placas de chumbo produzidas anteriormente. A EVP possui como finalidade envolver as placas em uma folha de polietileno e separá-las em uma quantidade predeterminada. Na sequência esse material é colocado pelos operadores em uma máquina chamada COS, esta será a máquina crítica que será estudada por este trabalho. A COS é responsável basicamente por alinhar o conjunto de placas de chumbo, escová-las e anexá-las a uma peça pré-moldada constituída também de chumbo. Logo após, as placas são inseridas em uma caixa de polipropileno e o conjunto segue pela esteira em direção ao próximo passo da montagem da bateria. A caixa de polipropileno, que foi inserida no processo, passa previamente pela máquina FRC, onde recebe furos importantes para a sequência da montagem. O molde de chumbo que é utilizado para construir as peças pré-moldadas da COS é alimentado pela máquina TALHA através de lingotes de chumbo fabricados em um processo anterior.

Figura 9 - Fluxograma de máquinas do processo de montagem de bateria.



Dando continuidade à montagem da bateria, a máquina SIC atua aplicando uma solda intercelular nos conectores de chumbo ao passar uma corrente elétrica durante um tempo controlado. Antes de entrar na próxima máquina da linha de produção, é anexado manualmente ao conjunto uma tampa também de polipropileno dando a bateria a forma conhecida popularmente. Na máquina TCC a bateria é submetida por um teste de curto circuito, separando os produtos rejeitados, que precisam ser reavaliados, dos aprovadas que seguem adiante. Posteriormente a bateria é levada a máquina SLR, no qual passa pelo processo de selamento permanente da tampa de polipropileno na caixa de bateria. A penúltima máquina da Linha de Montagem é a LVB. Essa máquina é responsável por realizar o levantamento dos bornes da bateria, também conhecidos como terminais (parte da bateria à qual o circuito elétrico externo é conectado). A figura 6, que foi apresentada anteriormente, indica onde este componente da bateria está localizado. Finalizando a montagem do produto, o conjunto é submetido a um teste de vazamento na máquina TVZ, rejeitando

as baterias que não estão aptas para seguir para a próxima fase da produção desses acumuladores elétricos. Por fim, as baterias são separadas e organizadas em pallets.

4.1.4 A máquina

Como foi dito anteriormente, este trabalho terá como foco o estudo de caso da máquina COS na realização de uma análise da probabilidade de ocorrer acidentes em uma máquina ou equipamento adequado a NR12. Para isso faz-se necessário entender um pouco mais sobre seus princípios de funcionalidade. A COS é composta por quatro estações, como mostra a figura 10 e figura 11: carga (estação 1), preparação (estação 2), soldagem (estação 3) e descarga (estação 4). Essa máquina possui como modo de operação base o deslocamento da mesa giratória fazendo com que as placas de chumbo passem pelas quatro estações de processo.

Figura 10 - Estações 1 e 4 de processo da máquina COS.

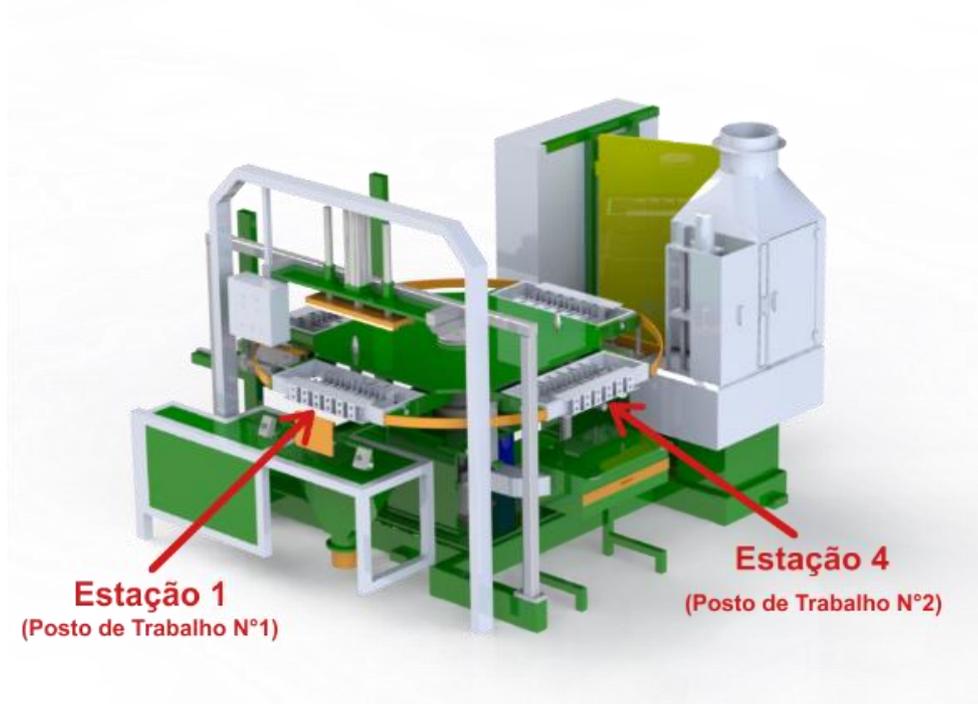
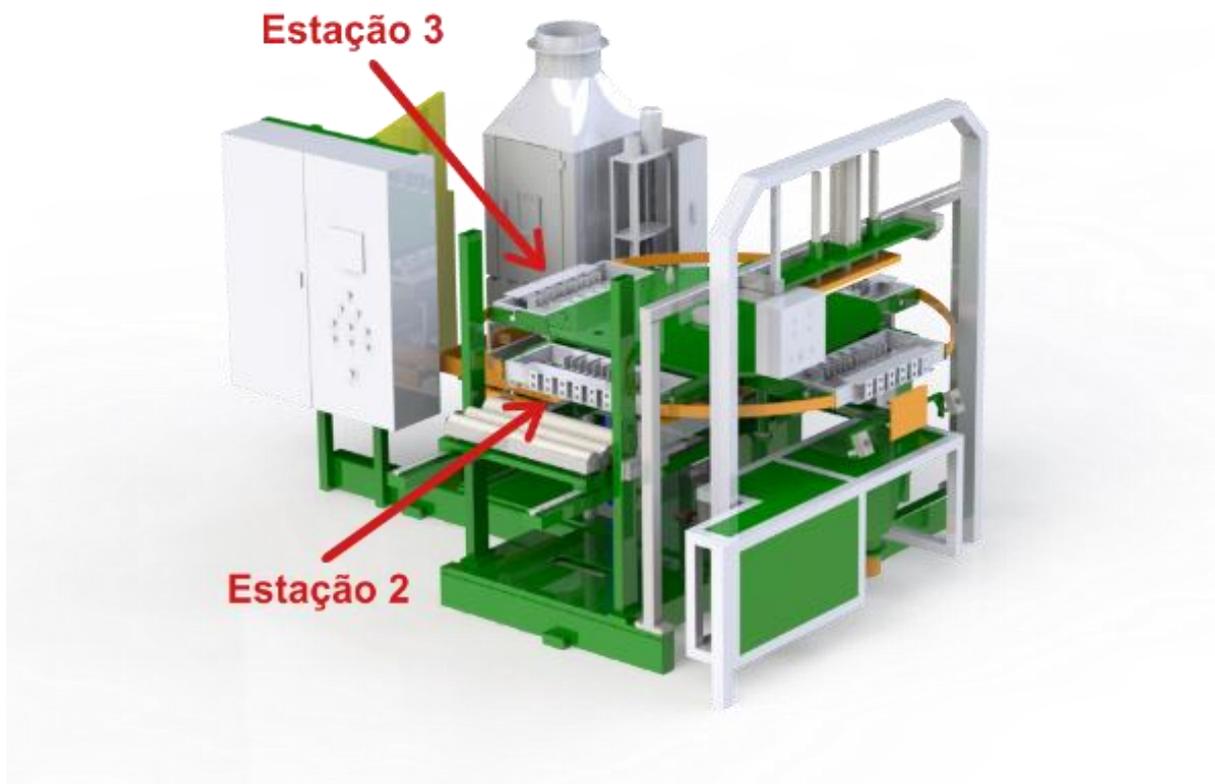


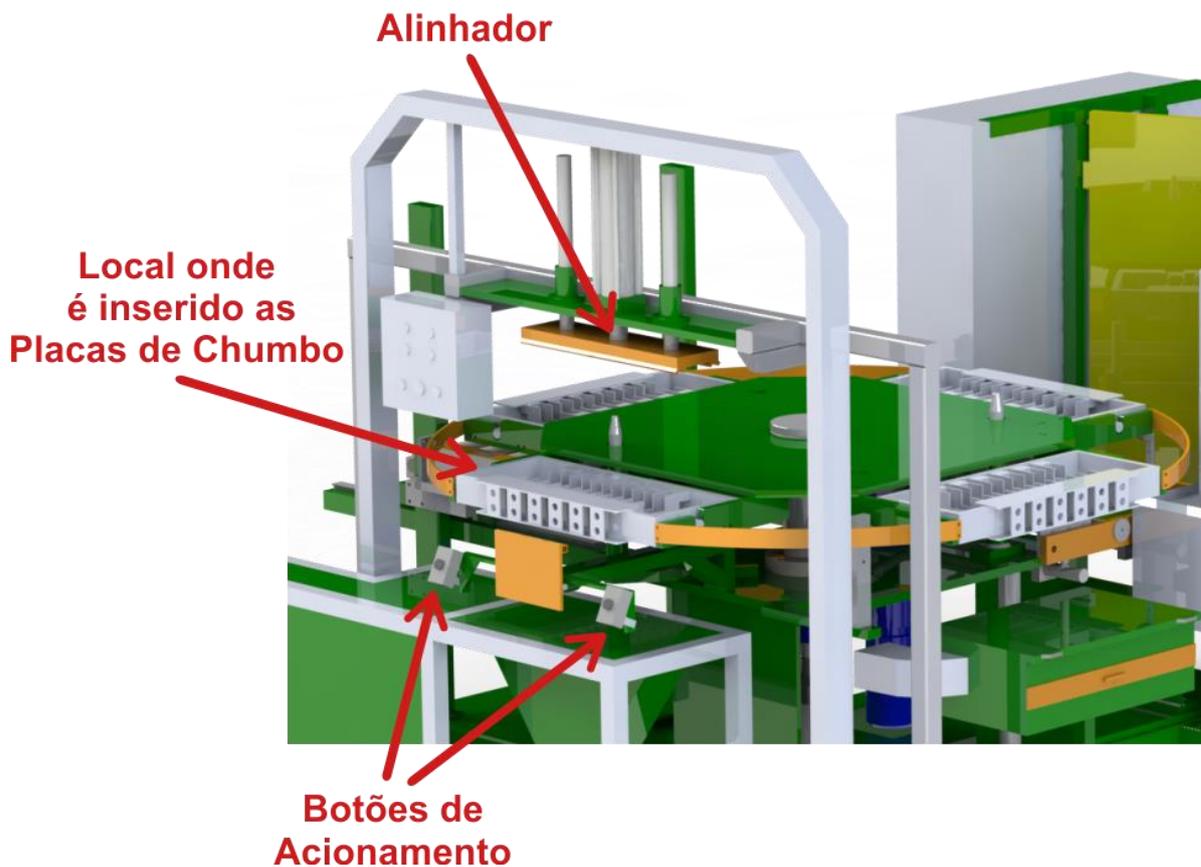
Figura 11 - Estações 2 e 3 de processo da máquina COS.



I. Carga

O operador do posto de trabalho 1 carrega manualmente a matriz da COS com os blocos de placas vindos da EVP (máquina anterior da linha de montagem). Em seguida ele dispara o primeiro pulso nos botões fazendo com que o alinhador desça em direção ao bloco de placas e, com um segundo pulso nos botões, executa o alinhamento das placas, figura 12.

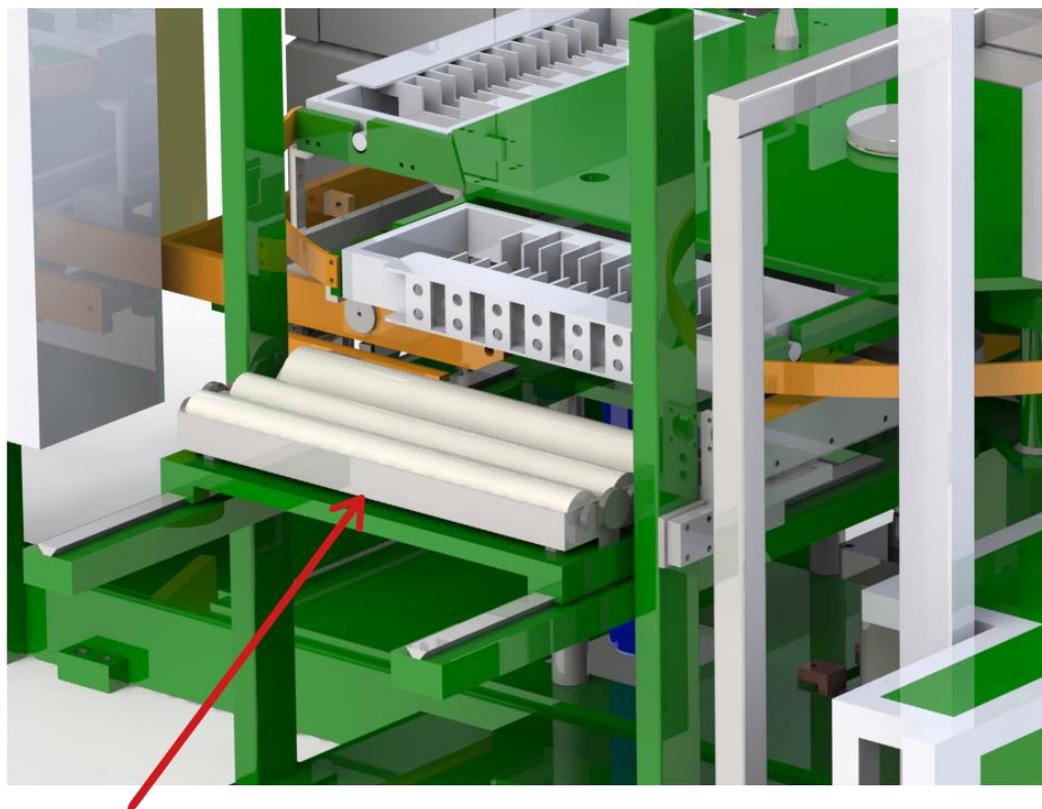
Figura 12 - Estação 1 de processo da COS.



II. Preparação

Nessa segunda estação os blocos de placas são preparados para serem soldados, figura 13. O conjunto é escovado utilizando um fluido especial com o objetivo de remover qualquer sujeira ou resíduo que pudesse dificultar a execução da próxima estação.

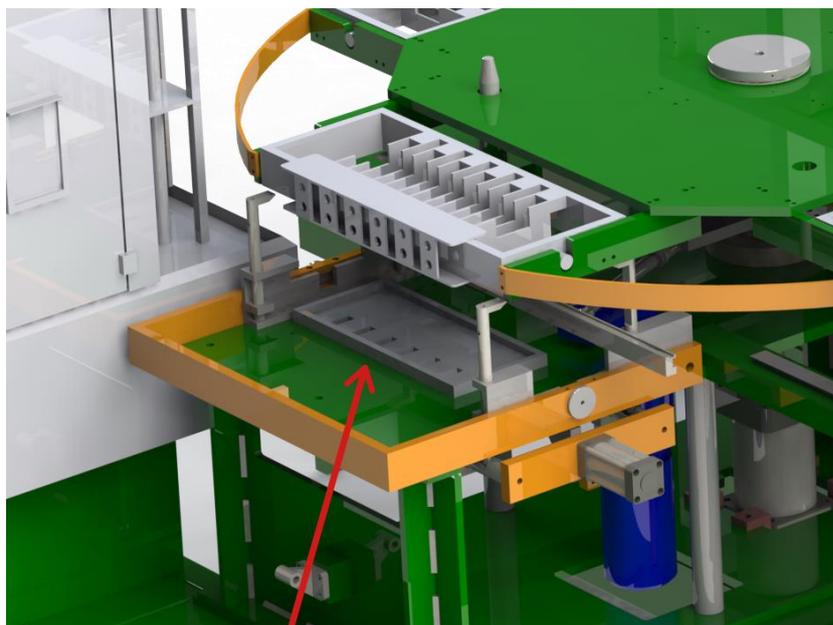
Figura 13 - Estação 2 de processo da COS.

**Escovas de Fluido**

III. Soldagem

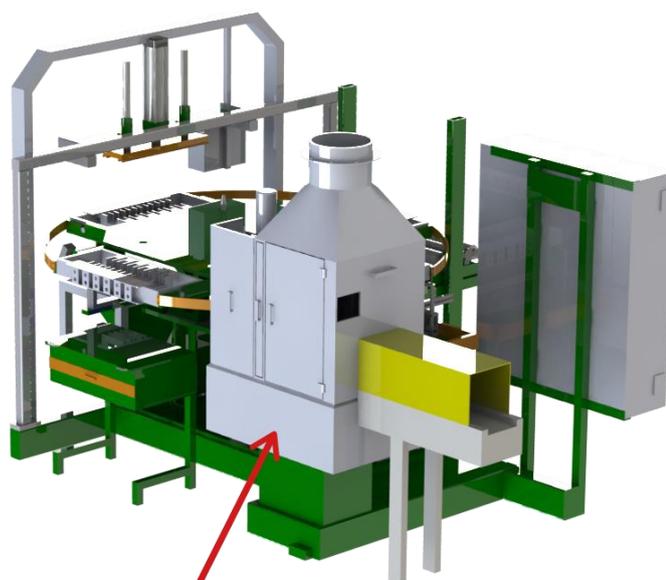
Essa é a principal fase do ciclo da COS, figura 14. A soldagem tem como função unir através da solda por imersão em um molde cheio de chumbo líquido, as placas da mesma polaridade com seus respectivos conectores de pinos. O chumbo líquido depositado no molde, é aquecido em altas temperaturas por um cadinho anexado a COS antes do início da estação de soldagem. Esse cadinho, apresentado na figura 15, é alimentado por lingotes de chumbo através da máquina TALHA, com a intenção de manter um nível mínimo para execução do processo.

Figura 14 - Estação 3 de processo da COS.



**Molde das
Peças de Chumbo**

Figura 15 - Cadinho responsável por aquecer o chumbo da COS.

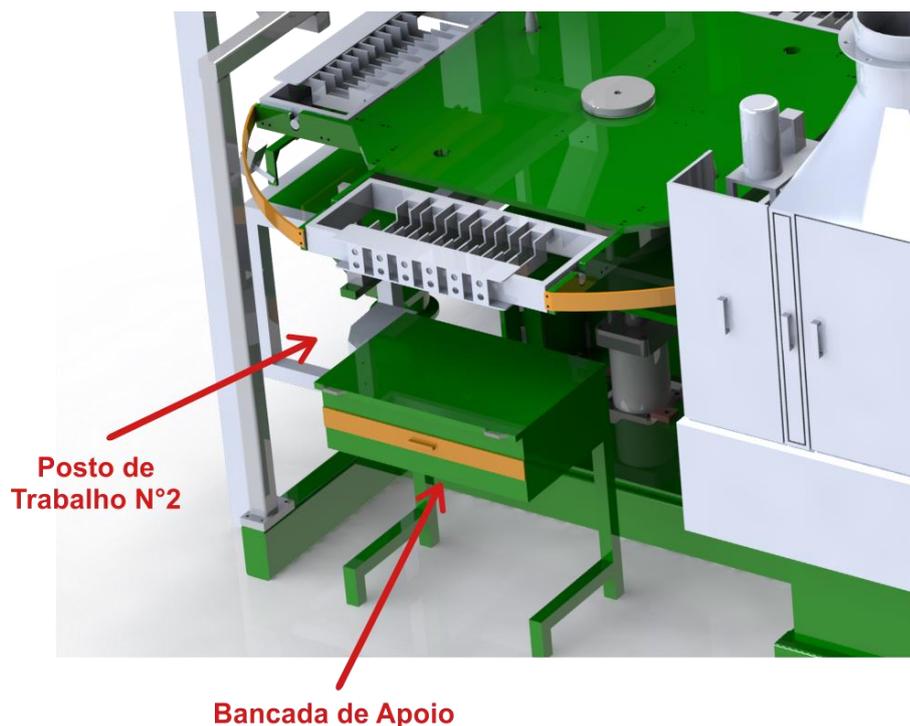


Cadinho

IV. Descarga

Por fim, o operador do posto de trabalho 2, indicado pela figura 16, descarrega os blocos de placas de chumbo colocando-os em uma caixa de polipropileno (vinda da máquina FRC) para que o conjunto siga adiante pela linha de montagem.

Figura 16 - Estação 4 de processo da COS.



4.2 A MÁQUINA E A NR-12

4.2.1 Pontos de não conformidade perante a Norma

De acordo com a NR-12, esta Norma Regulamentadora e seus anexos definem referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para garantir a saúde e a integridade física dos trabalhadores e estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos de todos os tipos, e ainda à sua fabricação, importação, comercialização, exposição e cessão a qualquer título, em todas as atividades econômicas, sem prejuízo da observância do disposto nas demais Normas

Regulamentadoras - NR aprovadas pela Portaria n.º 3.214, de 8 de junho de 1978, nas normas técnicas oficiais e, na ausência ou omissão destas, nas normas internacionais aplicáveis (NR-12).

A máquina não estava adequada antes da execução do presente trabalho. Foi realizada uma análise dos pontos de não conformidade perante a Norma Regulamentadora de nº 12 encontrados na máquina COS. Tais pontos podem ser vistos na tabela 9.

Tabela 9 - Requisitos da NR-12 que a máquina COS não está adequada.

NR-12 Requisitos	Máquina COS
Item 12.6 – Nos locais de instalação de máquinas e equipamentos, as áreas de circulação devem ser devidamente demarcadas e em conformidade com as normas técnicas oficiais.	Há demarcações de área para posição da máquina, contudo há pouco espaço e demarcações se apagando.
Item 12.14 – As instalações elétricas das máquinas e equipamentos devem ser projetadas e mantidas de modo a prevenir, por meios seguros, os perigos de choque elétrico, incêndio, explosão e outros tipos de acidentes, conforme previsto na NR10.	Não foi apresentado nenhum laudo de inspeção e medição do sistema de aterramento elétrico existente na máquina.
Item 12.38 – As zonas de perigo das máquinas e equipamentos devem possuir sistemas de segurança, caracterizados por proteções fixas, proteções móveis e dispositivos de segurança interligados, que garantam proteção à saúde e à integridade física dos trabalhadores.	A máquina apresenta proteções laterais em algumas áreas e outras não, o que permite ao operador se expor a locais perigosos.
Item 12.42 – Para fins de aplicação desta Norma, consideram-se dispositivos de segurança os componentes que, por si só ou interligados ou associados a proteções, reduzam os riscos de acidentes e de outros agravos à saúde.	Não há dispositivos de segurança, interligados a interface de segurança (Relê ou PLC), instalados na máquina.
Item 12.56 – As máquinas devem ser equipadas com um ou mais dispositivos de parada de emergência, por meio dos quais possam ser evitadas situações de perigo latentes e existentes.	Não foi encontrado dispositivos de parada de emergência suficiente para todo os acessos da máquina.
Item 12.57 – Os dispositivos de parada de emergência devem ser posicionados em locais de	Um dos acessos da máquina não possuía um dispositivo de parada de emergência de fácil acesso.

fácil acesso e visualização pelos operadores em seus postos de trabalho e por outras pessoas, e mantidos permanentemente desobstruídos.	
Item 12.116 – As máquinas e equipamentos, bem como as instalações em que se encontram, devem possuir sinalização de segurança para advertir os trabalhadores e terceiros sobre os riscos a que estão expostos, as instruções de operação e manutenção e outras informações necessárias para garantir a integridade física e a saúde dos trabalhadores.	Não foi identificada sinalizações de segurança na máquina e tampouco no seu entorno, estando em desconformidade com a NR 12.
Item 12.125 – As máquinas e equipamentos devem possuir manual de instruções fornecido pelo fabricante ou importador, com informações relativas à segurança em todas as fases de utilização.	Não foi apresentado nenhum esquema elétrico, então foi considerado que a máquina não possui diagramas elétricos.
Item 12.131 – Ao início de cada turno de trabalho ou após nova preparação da máquina ou equipamento, o operador deve efetuar inspeção rotineira das condições de operacionalidade e segurança e, se constatadas anormalidades que afetem a segurança, as atividades devem ser interrompidas, com a comunicação ao superior hierárquico.	Não existe um <i>checklist</i> , para que o operador faça a averiguação dos itens de segurança, antes de iniciar as atividades.

4.2.2 Sistema de segurança

Segundo o tópico 12.4 da NR-12, são consideradas medidas de proteção, a serem adotadas pelo empregador nessa ordem de prioridade: medidas de proteção coletiva; medidas administrativas ou de organização do trabalho; e medidas de proteção individual. A empresa responsável por adequar a máquina COS seguiu essa linha de raciocínio e implantou medidas de proteção coletiva através de proteções mecânicas de perímetro com proteções fixas e móveis. O sistema de segurança implementado é composto basicamente por:

- Painéis mecânicos com 3 portas de acesso a máquina;
- 2 cortinas de luz localizadas nos postos de trabalho 1 e 2, onde ficam os

operadores da máquina;

- 1 comando bimanual que substituiu os botões de acionamento da máquina;
- 4 botões *resets* para reiniciar o ciclo da máquina e 4 botões de parada de emergência;
- 5 sensores magnéticos, 3 nas portas de acesso e 2 em partes móveis da máquina;
- 1 túnel de proteção mecânica na entrada de alimentação do cadinho.

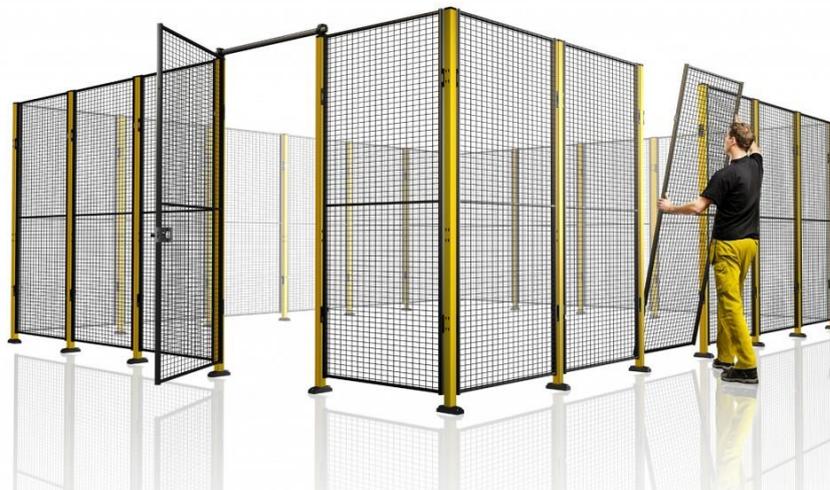
Para um melhor entendimento dos elementos que compõem o sistema de segurança, será feita uma breve descrição de cada um deles.

I. Painel mecânico

O painel mecânico, ou grade de proteção mecânica, tem como objetivo proteger o operador da exposição ao perigo. Essa barreira física de proteção possui sete diferentes medidas de largura, fazendo com que as peças sejam instaladas de forma modular e uniforme, garantindo o mesmo nível de proteção para qualquer especificidade de um projeto. Por ser uma solução modular a montagem é simples e rápida, o que facilita a adaptação da empresa perante o sistema de segurança instalado (figura 17).

A fabricação e instalação dos painéis mecânicos usados na adequação da máquina COS está de acordo com o tópico 12.50 e do Anexo I, item A da NR-12, que fala sobre a confecção da proteção e atenta para as distâncias seguras do acesso a zonas de perigo.

Figura 17 - Representação da instalação de painéis mecânicos modulares.

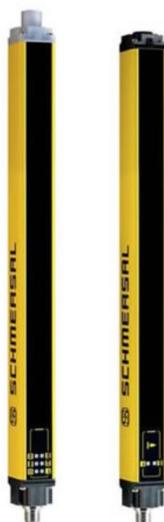


II. Cortinas de luz

A cortina de luz é um equipamento de segurança avançado que oferece liberdade, flexibilidade e redução da fadiga do operador quando a comparamos aos métodos tradicionais de proteção, figura 18. As cortinas de luz são classificadas como sensores de segurança pelo tópico 12.42 da NR-12, que argumenta sobre quais equipamentos podem ser considerados dispositivos de segurança para fins de aplicação desta Norma. Esse equipamento de segurança é ideal para detecção de pessoas e objetos, através da interrupção de seus feixes de luz infravermelha, ocasionando a parada da máquina. As cortinas de luz de segurança tem como objetivo principal o monitoramento de uma zona de operação perigosa simplificando as tarefas de rotina, como a operação, setup, manutenção e reparo da máquina.

Algumas características importantes da máquina devem ser consideradas na instalação de cortinas de luz, como por exemplo o tempo máximo necessário para a paralisação da máquina quando um ou mais dos feixes de luz desse equipamento de segurança é interrompido. Caso contrário, as cortinas de luz ficariam subutilizadas pois ainda trariam riscos ao operador. A máquina COS possui duas cortinas de luz como parte do seu sistema de segurança, localizadas próximas às zonas de perigo. Isso só é possível pois a máquina apresenta parada imediata, após o término do sinal de saída dos dispositivos de segurança.

Figura 18 - Cortina de luz utilizada no projeto.



III. Comando bimanual

O comando bimanual é um equipamento de segurança que possui seu acionamento através de seus dois botões, ocorrendo apenas quando houver o acionamento simultâneo entre eles, figura 19. O comando bimanual é utilizado em trabalhos que necessitam que o operador mantenha as duas mãos longe da zona de perigo de modo a assegurar sua integridade física. O acionamento de máquinas através desse equipamento vem para solucionar problemas com processos de manufatura onde não é possível o uso de barreiras de proteção para impedir o acesso do operador às zonas de perigo, para ajustes de ferramentas ou para acionamento de máquinas especiais.

Os requisitos que um dispositivo de acionamento do tipo bimanual deve possuir citados pelo tópico 12.26 da NR-12, foram seguidos na concepção do comando bimanual que compõem o sistema de segurança implantado na máquina COS. Outras normas também foram seguidas como a NBR 14152 (Segurança em máquinas - dispositivos de comando bimanuais - aspectos fundamentais e princípios para projeto) e a NBR 14153 (Segurança em máquinas - partes de sistemas de comando relacionados à segurança - princípios gerais para projeto).

Figura 19 - Comando bimanual do tipo separado utilizado no projeto.



IV. Botão *reset* manual e parada de emergência

O botão *reset* manual, ou rearme manual, é utilizado quando existe a necessidade de garantir que o ciclo só reinicie ao apertar deste botão. Ele está representado na figura 20. Segundo o tópico 12.40 da NR-12 os sistemas de segurança, se indicado pela apreciação de riscos, devem exigir rearme (*reset*) manual. As máquinas devem ser equipadas com um ou mais dispositivos de parada de emergência, por meio dos quais possam ser evitadas situações de perigo latentes e existentes (NR-12 12.56). A Norma também fala, no item 12.63, que a parada de emergência deve exigir *reset* manual, a ser realizado somente após a correção do evento que motivou o acionamento da parada de emergência.

A máquina COS possui em seu sistema de segurança quatro botões *resets* e quatro botões de parada de emergência distribuídos em conjuntos ao redor da máquina. Os botões *resets* são interligados aos sensores magnéticos, podendo identificar se há alguma proteção móvel aberta e impedindo assim o reinício do ciclo da máquina.

Figura 20 - Caixa de botoeira com reset e parada de emergência.



V. Sensores magnéticos

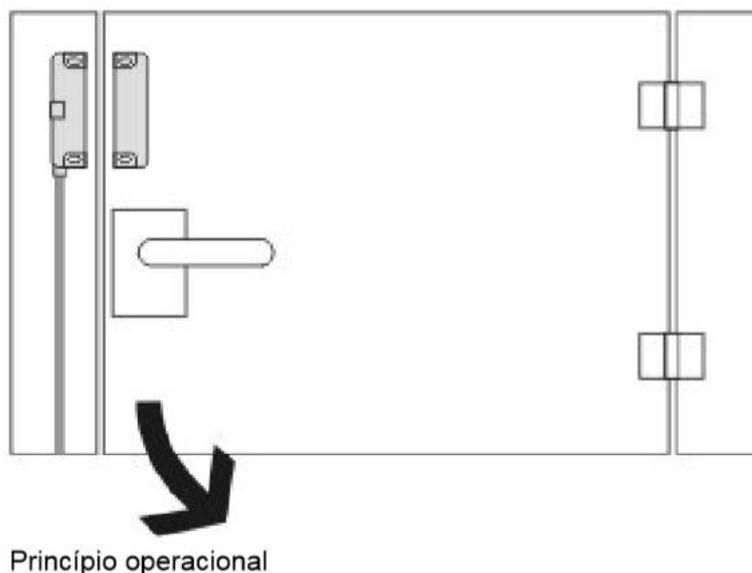
Os sensores magnéticos são sensores acionados a partir de um campo magnético normalmente gerado por um ímã permanente ou de uma bobina. Composto por duas partes, os sensores magnéticos de segurança funcionam basicamente como uma chave liga/desliga e tem como principal objetivo monitorar portas de acesso à áreas de risco de máquinas e equipamentos (figura 21).

O sistema de segurança da máquina COS contém três sensores magnéticos para monitoramento de portas de acesso e dois sensores para monitoramento de partes móveis da máquina. Caso um desses sensores não esteja localizado no seu devido lugar, seja por uma porta aberta ou por falta de alguma das peças móveis da máquina, o ciclo de produção não é iniciado. O sensor magnético instalado em uma proteção móvel está representado na figura 22.

Figura 21 - Sensor magnético.



Figura 22 - Representação do sensor magnético instalado.

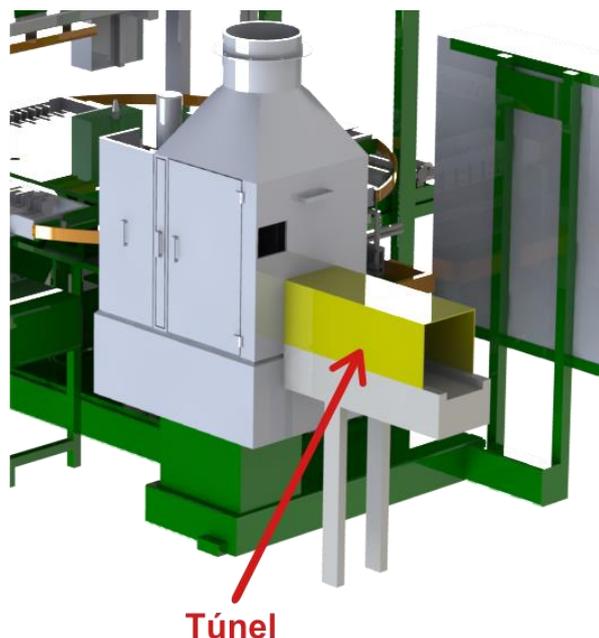


VI. Túnel de proteção mecânica

O túnel de proteção mecânica é considerada uma proteção fixa então, segundo o tópico 12.41 item a da NR-12, deve ser mantido em sua posição de maneira permanente ou por meio de elementos de fixação que só permitam sua remoção ou abertura com o uso de ferramentas. A confecção desse túnel, que pode ser visto na figura 23, seguiu os requisitos do tópico 12.50 e do Anexo I, item A da NR-12, que apresenta uma tabela de distâncias de segurança para impedir o acesso a zonas de perigo pelos membros superiores. Para uma abertura quadrada com $40\text{ mm} \leq e \leq 120\text{ mm}$, sendo “*e*” a altura da abertura, a distância segura para o comprimento do túnel é de 850 mm . Essas informações pode ser observadas na tabela 1 apresentada anteriormente no capítulo “Fundamentação Teórica”.

A função do túnel de proteção mecânica instalado na máquina COS é dificultar o acesso do operador à entrada do cadinho (local onde é aquecido o chumbo), garantindo proteção à saúde e à integridade física do trabalhador.

Figura 23 - Túnel de proteção mecânica localizado na entrada do cadinho.



O sistema de segurança que foi implementado é simples e intuitivo. Quando o operador acessar a máquina ou interromper os feixes de luz infravermelha da cortina de luz, ela simplesmente irá parar o processo que está executando, garantindo a integridade física do colaborador e dando-o liberdade de manuseio da máquina. As proteções mecânicas e os dispositivos de segurança instalados na COS para adequação a Norma foram pensados para atuar juntamente com o PLC da máquina. As figuras 24, 25 e 26 apresentam uma visão geral da COS após a adequada à NR-12, na imagem é possível observar alguns dos dispositivos que compõem o sistema de segurança.

Figura 24 - Visão geral 1 da máquina COS adequada à NR-12.

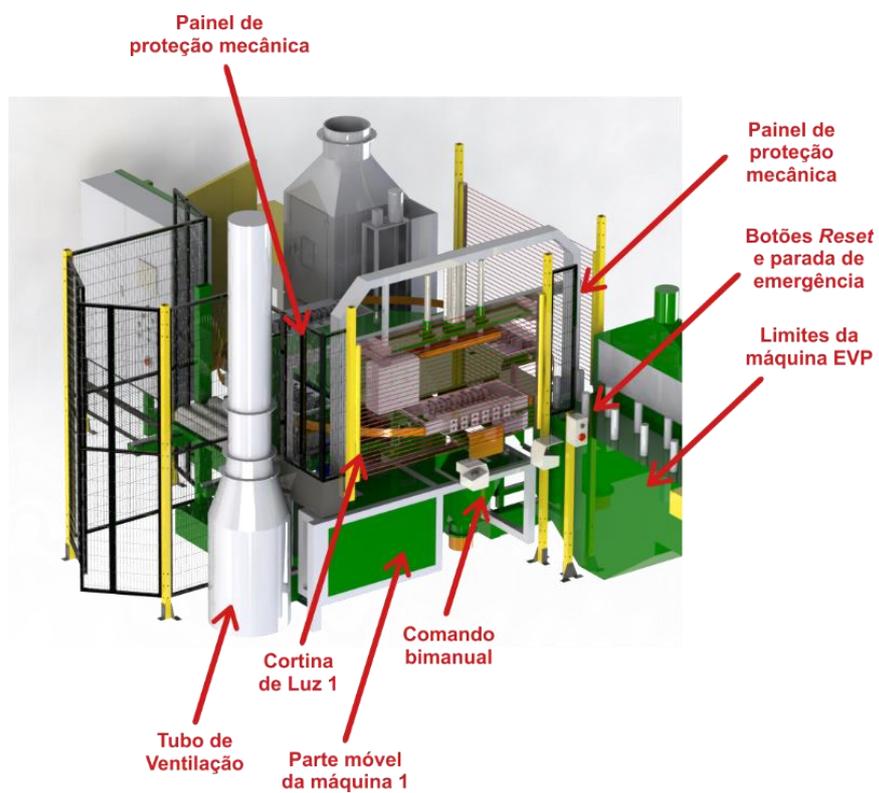


Figura 25 - Visão geral 2 da máquina COS adequada à NR-12.

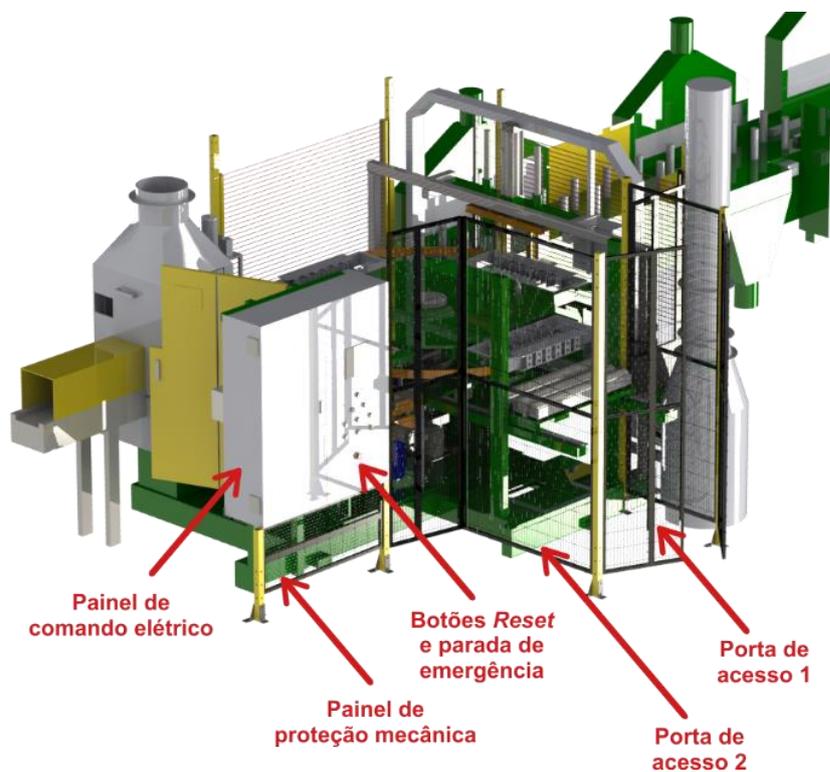
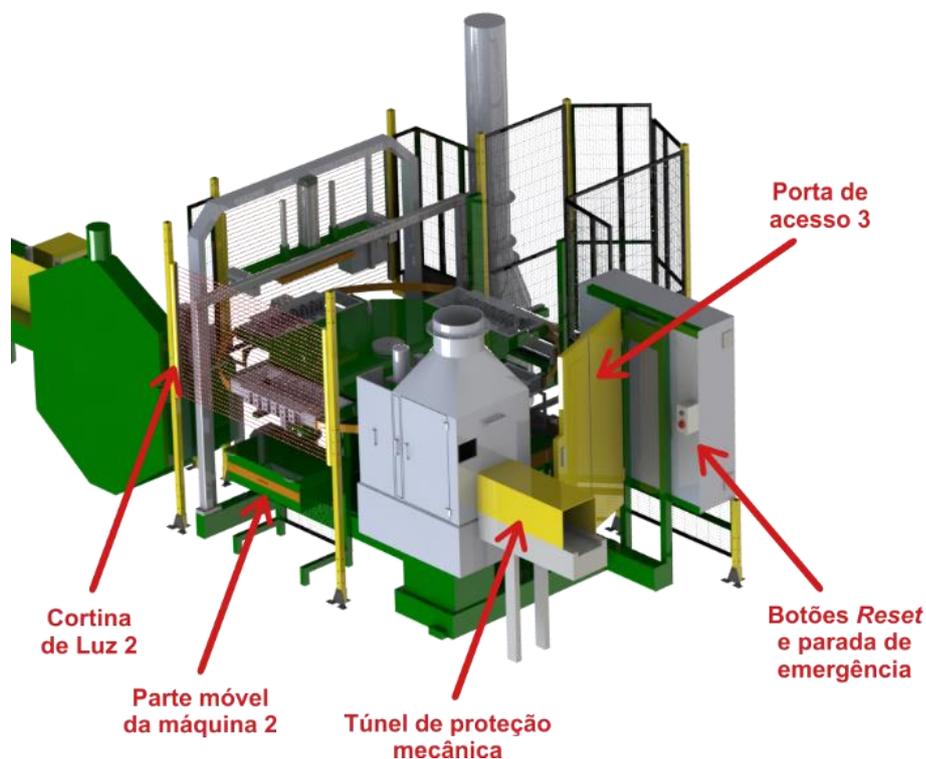


Figura 26 - Visão geral 3 da máquina COS adequada à NR-12.



4.3 A MÁQUINA E A FMEA

O processo de preparo da FMEA se inicia com a compreensão total do que se espera que a máquina faça ou não faça, em um dado ambiente, sob condições pré-estabelecidas, e por um período de tempo definido (CHRYSLER *et al.*, 2012). Essas informações necessárias para aplicação da FMEA foram coletadas durante as reuniões iniciais do desenvolvimento do sistema de segurança necessário para adequação da máquina à NR-12.

Os responsáveis pela aplicação da FMEA devem decidir no que constitui um sistema, subsistema ou componente de suas atividades específicas. Os limites reais que dividem um sistema, subsistema ou componente são arbitrários e devem ser estabelecidos pelos responsáveis pela execução dessa técnica de identificação e avaliação do risco (CHRYSLER *et al.*, 2012).

Foi definido que essa será uma FMEA classificada como subsistema. O entendimento dessa escolha vem com a consideração de que o sistema é a linha

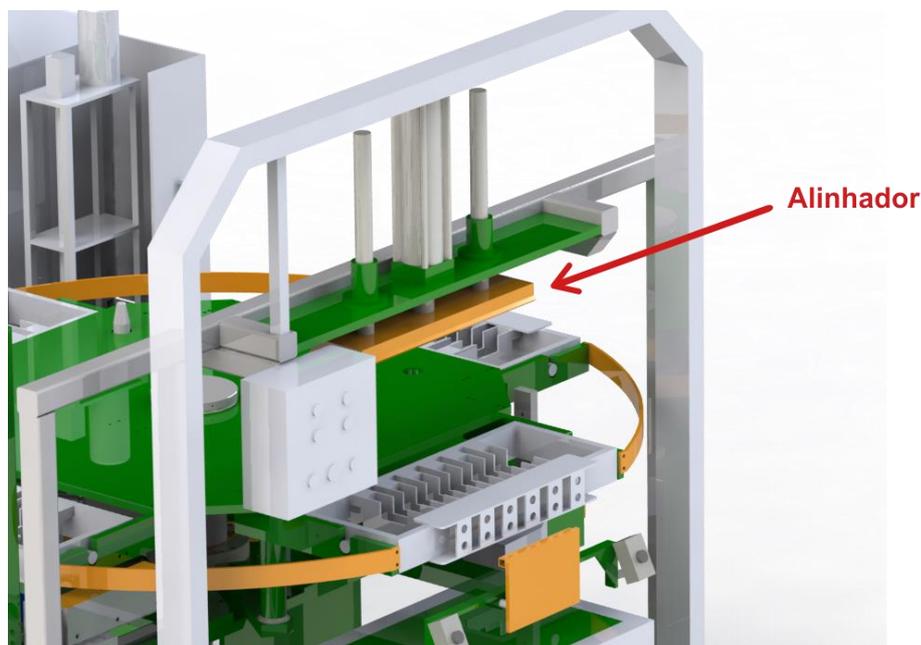
produtiva em que a máquina está inserida, a máquina é o subsistema que será estudado e os componentes são os itens potenciais a falha que compõem a máquina. O foco desse tipo de FMEA é garantir que todas as interfaces e interações sejam incluídas entre os diversos componentes que compõem o subsistema (CHRYSLER et al., 2012). A título de execução deste trabalho, foram selecionados apenas os componentes mais críticos.

Com o objetivo de analisar se uma máquina adequada a NR-12 está suficientemente segura, foi aplicada a ferramenta FMEA nos componentes mais críticos da máquina COS. São eles: o alinhador, as escovas de fluido, o molde de solda, o cadinho e a mesa giratória.

4.3.1 Alinhador

O alinhador é um componente mecânico da COS que está localizado na estação de processo 1, figura 27. Ele atua alinhando as placas de chumbo para que o procedimento da próxima estação seja melhor executado. O alinhador possui como modo de operação o avanço dos cilindros hidráulicos e o fechamento das pinças alinhadoras. Está localizado no APÊNDICE I deste trabalho a FMEA criada para o alinhador.

Figura 27 - Alinhador de placas de chumbo.



4.3.1.1 Avanço dos cilindros hidráulicos

O modo de falha potencial que pode ocorrer nessa operação é a falha no avanço dos cilindros hidráulicos, tendo como efeito potencial da falha a parada da máquina e consequentemente a parada da produção. Tal efeito possui 3 causas potenciais de falha: má lubrificação dos cilindros hidráulicos; Desgaste dos cilindros hidráulicos; Falha no comando elétrico do avanço dos cilindros hidráulicos.

- A má lubrificação dos cilindros hidráulicos possui severidade de número 3, ocorrência de número 1 e detecção de número 6, de acordo com o critério escolhido e descrito no capítulo da fundamentação teórica. Essa causa potencial de falha não possui nenhum controle de processo atual. O valor resultante do RPN, número de prioridade do risco, é de 18. A ação recomendada, para controlar ou eliminar esse modo de falha, foi a criação de um procedimento para lubrificação periódica dos cilindros hidráulicos, usando como base o histórico de falhas ou a indicação do fabricante na criação do calendário de manutenção. Atentar sempre para a qualidade e viscosidade do fluido de lubrificação. Caso a ação tomada seja a implementação de um

checklist de manutenção periódica contendo o item lubrificação dos cilindros hidráulicos, ocorrerá uma diminuição no índice do RPN e o valor chegará a 9.

- O desgaste dos cilindros hidráulicos tem como índices de severidade, ocorrência e detecção os números 6, 1 e 6 respectivamente. Essa causa potencial de falha também não possui nenhum controle de processo atual. O valor calculado para o RPN é de 36. A ação recomendada para controlar ou eliminar esse modo de falha foi a manutenção ou substituição periódica dos cilindros hidráulicos de acordo com a vida útil descrita pelo fabricante. É recomendado também a utilização de kits de reparo para reposição das vedações. Reposição essa que deverá ser feita em todo o cilindro, pois uma troca parcial ocasiona um número maior de reparos e, por consequência, mais interrupções na produção. Devem ser examinadas cuidadosamente as superfícies metálicas de trabalho, onde deslizam hastes, tubos, verificando se estes não apresentam ranhuras, pancadas ou rebarbas. De um modo geral, empresas especializadas em cilindros hidráulicos indicam que a manutenção preventiva deve ser feita em intervalos que variam entre 3 e 12 meses. Se a ação tomada for a implementação de um *checklist* de manutenção periódica contendo o item substituição ou manutenção dos cilindros hidráulicos, usando as recomendações citadas anteriormente, o índice do RPN irá diminuir para 18.
- A falha no comando elétrico do avanço dos cilindros hidráulicos teve seus índices calculados nos valores de 6 para severidade, 3 para ocorrência e 10 para a detecção. Não existe nenhum controle de processo atual para essa causa potencial de falha. O resultado para o cálculo do RPN foi de 180. A ação recomendada para controlar ou eliminar esse modo de falha foi a inserção de uma cultura de manutenção elétrica preventiva. O cronograma de manutenção preventiva deve ser criado com base em um histórico de ocorrências de manutenção corretiva, vida útil dos equipamentos e trocas de componentes elétricos. A análise de tensão e corrente respeitando os limites do fabricante é essencial na conservação dos componentes elétricos. A ação tomada prevista para controlar ou eliminar o modo de falha em potencial é a criação de um procedimento de manutenção elétrica periódica dos comandos elétricos da máquina. Recalculando os índices, o RPN chegará a um valor de 48.

4.3.1.2 Fechamento das pinças alinhadoras

Essa operação tem como modo de falha potencial o fechamento parcial das pinças alinhadoras, tendo a parada da máquina e conseqüentemente parada da produção como efeito potencial da falha. Essa conseqüência da falha pode possuir como causa potencial a má lubrificação das pinças alinhadoras, o desgaste das pinças alinhadoras e a falha no comando elétrico do fechamento das pinças.

- A má lubrificação das pinças alinhadoras possui severidade 3, ocorrência 2 e detecção 6. Essa causa potencial de falha não possui nenhum controle de processo atual. O valor do RPN calculado é de 36. A ação recomendada para controlar ou eliminar esse modo de falha foi a criação de um procedimento para lubrificação periódica das pinças alinhadoras. Caso a ação tomada seja a implementação de um *checklist* de manutenção periódica contendo o item lubrificação das pinças alinhadoras, ocorrerá uma diminuição no índice do RPN e o valor chegará a 9.
- O desgaste das pinças alinhadoras tem seus índices nos valores 6, 2 e 6 para severidade, ocorrência e detecção respectivamente. Essa causa potencial de falha também não possui nenhum controle de processo atual. O índice do RPN calculado é de 72. A ação recomendada para controlar ou eliminar esse modo de falha foi a manutenção ou substituição periódica das pinças alinhadoras de acordo com a vida útil descrita pelo fabricante. Se a ação tomada for a implementação de um *checklist* de manutenção periódica contendo o item substituição das pinças alinhadoras, o valor do RPN diminuirá para 18.
- A falha no comando elétrico do fechamento das pinças teve seus índices calculados nos valores de 6 para severidade, 3 para ocorrência e 10 para a detecção. Não existe nenhum controle de processo atual para essa causa potencial de falha. O resultado para o cálculo do RPN foi de 180. A ação recomendada para controlar ou eliminar esse modo de falha foi a inserção de uma cultura de manutenção elétrica preventiva. O planejamento de manutenção preventiva deve ser desenvolvido utilizando um histórico de

ocorrências de manutenção corretiva, vida útil dos equipamentos e trocas de componentes elétricos. É essencial na conservação dos componentes elétricos o uso de tensão e corrente respeitando os limites do fabricante. A ação tomada prevista para controlar ou eliminar o modo de falha em potencial é a criação de um procedimento de manutenção elétrica periódica dos comandos elétricos da máquina. Com a reformulação dos índices, o RPN chegará a um valor de 48.

4.3.2 Escovas de fluido

As escovas de fluido estão localizadas na estação de processo 2 e são essenciais para a produção da COS. Elas remover todo e qualquer resíduo que possa dificultar a execução da solda por imersão e podem ser vistas na figura 13 anteriormente apresentada. A FMEA feita para as escovas de fluido pode ser observada no APÊNDICE II deste trabalho. As escovas de fluido tem como modo de operação o movimento de rotação das escovas de fluido para limpeza das placas de chumbo.

4.3.2.1 Rotação das escovas de fluido para limpeza das placas de chumbo

O modo de falha potencial que pode ocorrer nessa operação é a não rotação das escovas de fluido, tendo como efeito potencial da falha a perda da bateria produzida. As principais causas potenciais de falha são: escovas de fluido com cerdas danificadas; Má lubrificação dos eixos das escovas; Desgaste dos rolamentos.

- Escovas de fluido com cerdas danificadas possui severidade de número 5, ocorrência de número 2 e detecção de número 7. Não foi identificado controle de processo atual nessa causa potencial de falha. O valor resultante do RPN, é de 70. A ação recomendada para controlar ou eliminar esse modo de falha foi a manutenção ou substituição periódica das escovas de fluido de acordo com a vida útil descrita pelo fabricante. Caso a ação tomada seja implementação de um *checklist* de manutenção periódica contendo o item

substituição das escovas de fluido, ocorrerá uma diminuição no índice do RPN e o valor chegará a 20.

- A má lubrificação dos eixos das escovas tem como índices de severidade, ocorrência e detecção os números 4, 2 e 9 respectivamente. Essa causa potencial de falha não possui nenhum controle de processo atual. O valor calculado para o RPN é de 72. A ação recomendada para controlar ou eliminar esse modo de falha foi a criação de procedimento para lubrificação periódica dos eixos das escovas de fluido. Se a ação tomada for relacionada à ação recomendada, como por exemplo implementar um *checklist* de manutenção periódica contendo o item lubrificação dos eixos das escovas de fluido, o índice do RPN irá alcançar um valor de 16.
- O desgaste dos rolamentos teve seus índices calculados nos valores de 5 para severidade, 1 para ocorrência e 9 para a detecção. Essa causa potencial de falha também não possui nenhum controle de processo atual. O resultado para o cálculo do RPN foi de 45. A ação recomendada para controlar ou eliminar esse modo de falha foi a manutenção ou substituição periódica dos rolamentos de acordo com a vida útil descrita pelo fabricante. A ação que poderia ser tomada para controlar ou eliminar o modo de falha em potencial é a implementação de um *checklist* de manutenção periódica contendo o item substituição dos rolamentos. Recalculando os índices, o RPN chegará a um valor de 20.

4.3.3 Molde de solda

O molde de solda, ou matriz de solda, é o principal componente da estação 3 de processo da máquina COS. Ele pode ser visto na figura 14 que foi apresentada anteriormente. Este componente tem como função armazenar e moldar o chumbo líquido em peças para unir as placas de chumbo de mesma polaridade. A FMEA do item molde de solda está representada no APÊNDICE III do presente trabalho. O molde de solda tem como modo de operação o fechamento do molde para formação de peças de chumbo.

4.3.3.1 *Fechamento do molde para formação de peças de chumbo*

O modo de falha potencial que pode ocorrer nessa operação é o não fechamento do molde, tendo como efeito potencial da falha a perda da bateria produzida. Foi identificado como causas potenciais desse efeito: nível desregulado de chumbo líquido que alimenta o molde; Limpeza mal executada no molde; Não substituição regular do molde.

- O nível desregulado de chumbo líquido que alimenta o molde apresenta valores de 4 para severidade, 3 para ocorrência e 10 para detecção. Essa causa potencial de falha não possui nenhum controle de processo atual. O índice calculado para o RPN foi de 120. Para controlar ou eliminar esse modo de falha, a ação recomendada foi a criação de um mecanismo com um sensor interligado a um IHM que identifique o vazamento. O desenvolvimento e instalação de um mecanismo com um sensor magnético anexado ao IHM da máquina seria uma ação que poderia ser implementada. Os índices foram recalculados caso as recomendações fossem seguidas e o RPN alcançaria um valor de 24.
- A limpeza mal executada no molde possui índices nos valores de 5 para severidade, 4 para ocorrência e 4 para detecção. O procedimento de controle de processo atual é a limpeza periódica do molde de solda. Considerando esses dados, o resultado para o cálculo do NPR foi de 80. A ação recomendada para controlar ou eliminar esse modo de falha foi a inspeção periódica da limpeza executada no molde. Caso a ação tomada seja a implementação de um procedimento de inspeção periódica da execução da limpeza do molde de solda, o valor do NPR mudará para 30.
- A não substituição regular do molde tem como índices de severidade, ocorrência e detecção os números 6, 1 e 3 respectivamente. O procedimento de controle de processo atual é a substituição periódica do molde. Com isso, o NPR possui um valor de 18. A ação recomendada para controlar ou eliminar esse modo de falha foi a verificação da substituição periódica do molde de solda. Se a ação tomada for a implementação de um procedimento de verificação periódica da substituição do molde de solda, o novo valor do NPR

será de 6.

4.3.4 Cadinho

O Cadinho, equipamento anexado a COS, compõem a estação 4 de processo da máquina que está sendo estudada (ver figura 15 apresentada anteriormente). Ele atua transformando chumbo sólido em líquido, isolando-o e mantendo-o aquecido. A FMEA do item cadinho está representada no APÊNDICE IV deste trabalho. O cadinho tem como modo de operação o aquecimento do chumbo e o isolamento do chumbo líquido aquecido.

4.3.4.1 Aquecimento do chumbo

Essa operação tem como modo de falha potencial o aquecimento insuficiente do chumbo, tendo a má formação das peças de chumbo na solda por imersão, o acúmulo de chumbo sólido no cadinho e a quebra do misturador de chumbo líquido como efeitos potenciais da falha.

A) Má formação das peças de chumbo na solda por imersão

Esse efeito potencial da falha é consequência da deterioração do queimador do cadinho, ou seja, o queimador danificado é a causa potencial da falha. Com esse efeito potencial de falha, o queimador do cadinho danificado possui severidade de número 6, ocorrência de número 2 e detecção de número 10. Essa causa potencial de falha não possui nenhum controle de processo atual. O valor resultante do RPN é de 120. A ação recomendada para controlar ou eliminar esse modo de falha foi a manutenção preventiva do queimador. Caso a ação tomada seja a implementação de um *checklist* de manutenção periódica contendo o item queimador do cadinho, ocorrerá uma diminuição no índice do RPN e o valor chegará a 24.

B) Acúmulo de chumbo sólido no cadinho

O acúmulo de chumbo sólido no cadinho tem como causa potencial da falha o queimador do cadinho danificado. Nesse efeito potencial de falha, o queimador do cadinho danificado possui índices 7 para severidade, 2 para ocorrência e 10 para detecção. Essa causa potencial de falha também não possui nenhum controle de processo atual. O valor do cálculo do RPN é de 140. Para controlar ou eliminar esse modo de falha, ação recomendada foi a manutenção preventiva do queimador. Se a ação tomada for, por exemplo, a implementação de um *checklist* de manutenção periódica contendo o item queimador do cadinho, o valor do RPN chegará a 28.

C) Quebra do misturador de chumbo líquido

A quebra do misturador de chumbo líquido também possui como causa potencial da falha o queimador do cadinho danificado. Nesse caso a causa potencial de falha, que é o queimador do cadinho danificado, teve seus índices calculados nos valores de 7 para severidade, 2 para ocorrência e 10 para a detecção. Mais uma vez, essa causa potencial de falha não possui nenhum controle de processo atual. De acordo com esses dados, o RPN possui um valor de 140. Para controlar ou eliminar esse modo de falha, a ação recomendada foi a manutenção preventiva do queimador. Caso a ação tomada siga a recomendação que foi proposta, como por exemplo, a implementação de um *checklist* de manutenção periódica contendo o item queimador do cadinho, o índice calculado do RPN irá para 28.

4.3.4.2 Isolamento do chumbo líquido aquecido

O modo de falha potencial que pode ocorrer no modo de operação “isolamento do chumbo líquido aquecido” é exatamente a falha nesse isolamento. A explosão do cadinho e a perda de material são os efeitos potenciais de falha desse modo de falha potencial.

A) Explosão do cadinho

A explosão do cadinho possui como causa potencial da falha o contato da água com o chumbo líquido. Tal causa tem como valor da severidade o número 10, da ocorrência o número 3 e da detecção o número 10. Não existe controle de processo que atue nessa causa. Levando em conta esses índices, o valor do RPN é de 300, o maior calculado no presente trabalho. A ação recomendada para controlar ou eliminar esse modo de falha foi o desenvolvimento de uma proteção mecânica para isolar o chumbo armazenado pelo cadinho. Caso as recomendações fossem seguidas e as ações tomadas fossem algo similar à criação e instalação da proteção mecânica de isolamento do chumbo armazenado pelo cadinho, o novo valor do NPR seria 60. Uma diminuição drástica comparado ao valor inicial do NPR.

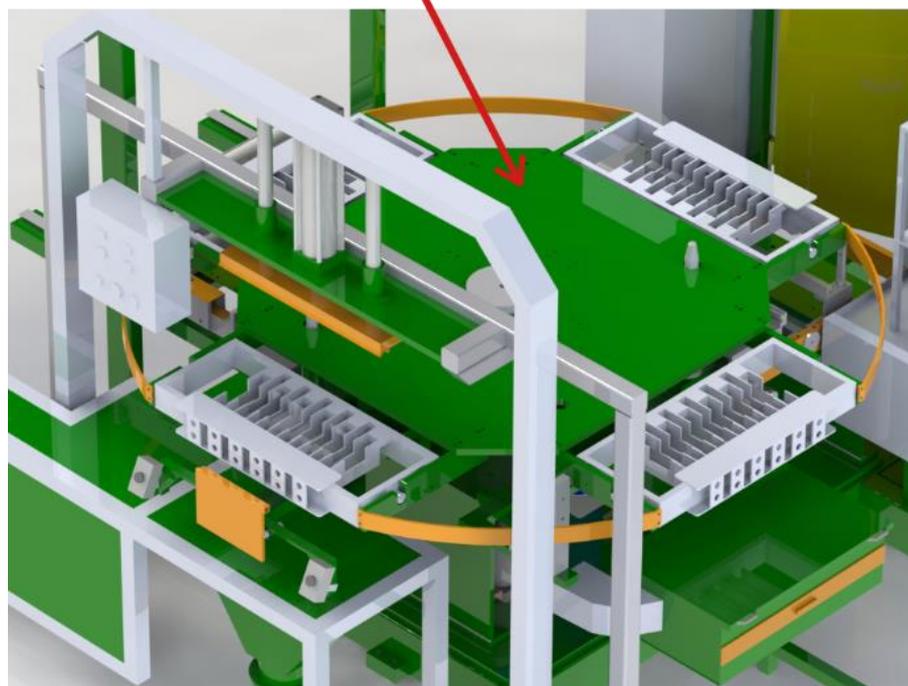
B) Perda de material

A perda de material tem como causa potencial da falha o vazamento do chumbo líquido. Essa causa potencial possui índices de 6, 5 e 8 para severidade, ocorrência e detecção respectivamente. Essa causa potencial de falha não possui nenhum controle de processo atual. O valor calculado para o RPN foi de 240. Para controlar ou eliminar esse modo de falha, a ação recomendada foi a inspeção periódica do recipiente de armazenamento do cadinho. Se a ação tomada for, por exemplo, a implementação de um procedimento de verificação periódica do recipiente de armazenamento do cadinho, o índice do RPN terá um novo valor de 54.

4.3.5 Mesa giratória

A mesa giratória é um dos principais componentes da COS e pode ser observada na figura 28. Ela tem como função mover os suportes das placas de chumbo fazendo com que eles passem por todas as 4 estações da máquina. A mesa giratória possui como modo de operação a rotação da mesa giratória no sentido horário e a translação da mesa giratória na direção vertical. O APÊNDICE V deste trabalho mostra em detalhes a FMEA criada para esse importante item da máquina COS.

Figura 28 - Mesa giratória.

Mesa Giratória

4.3.5.1 Rotação da mesa giratória no sentido horário

O modo de falha potencial que pode ocorrer nessa operação é a falha na rotação, tendo como efeito potencial da falha a parada da máquina e consequentemente parada da produção. Esse efeito potencial tem os desgastes das engrenagens e a falha no comando elétrico da rotação da mesa giratória como causas potenciais de falha.

- Os desgastes das engrenagens tem para severidade, ocorrência e detecção os índices 7, 1 e 8 respectivamente. Não existe nenhum controle de processo relacionada a causa potencial em questão. O valor calculado para o RPN é de 56. A ação recomendada para controlar ou eliminar a causa dos desgastes das engrenagens foi a manutenção ou substituição periódica das engrenagens de acordo com a vida útil descrita pelo fabricante. Se a ação tomada for a implementação de um *checklist* de manutenção periódica contendo o item

substituição das engrenagens de movimentação da mesa giratória, o índice do NPR irá diminuir para 28.

- A falha no comando elétrico da rotação da mesa giratória teve seus índices calculados nos valores de 6 para severidade, 3 para ocorrência e 10 para a detecção. Essa causa potencial de falha não possui nenhum controle de processo atual. Analisando esses dados, o valor do RPN calculado foi de 180. Para controlar ou eliminar esse modo de falha, a ação recomendada foi a inserção de uma cultura de manutenção elétrica preventiva. O cronograma de manutenção preventiva deve ser criado com base em um histórico de ocorrências de manutenção corretiva, vida útil dos equipamentos e trocas de componentes elétricos. A análise de tensão e corrente respeitando os limites do fabricante é essencial na conservação dos componentes elétricos. Algumas ações podem ser tomadas para controlar ou eliminar o modo de falha em potencial, como por exemplo, a criação de um procedimento de manutenção elétrica periódica dos comandos elétricos da máquina. Recalculando os índices, o RPN atingirá um valor de 48.

4.3.5.2 Translação da mesa giratória na direção vertical

Nessa operação, o modo de falha potencial que pode ocorrer é a falha no movimento de translação vertical, tendo como efeito potencial da falha a parada da máquina e conseqüentemente parada da produção. A parada da máquina, efeito potencial da falha, tem os desgaste dos cilindros hidráulicos e a falha no comando elétrico da translação vertical da mesa giratória como causas potenciais de falha.

- O desgaste dos cilindros hidráulicos possui índices de 7, 1 e 8 para severidade, ocorrência e detecção respectivamente. Nenhum controle de processo foi identificado no levantamento de dados. Levando em conta esses índices, o valor do RPN é de 56. Com o objetivo de eliminar ou controlar a causa da parada da máquina, a ação recomendada foi a manutenção ou substituição periódica dos cilindros hidráulicos de acordo com a vida útil descrita pelo fabricante. É recomendado também a utilização de kits de reparo para reposição das vedações. Reposição essa que deverá ser feita em todo o

cilindro, pois uma troca parcial ocasiona um número maior de reparos e, por consequência, mais interrupções na produção. Devem ser examinadas cuidadosamente as superfícies metálicas de trabalho, onde deslizam hastes, tubos, verificando se estes não apresentam ranhuras, pancadas ou rebarbas. De um modo geral, empresas especializadas em cilindros hidráulicos indicam que a manutenção preventiva deve ser feita em intervalos que variam entre 3 e 12 meses. Caso a ação tomada for, por exemplo, a implementação de um *checklist* de manutenção periódica contendo o item lubrificação dos cilindros hidráulicos, ocorrerá uma diminuição no índice do RPN e o valor chegará a 28.

- A falha no comando elétrico da translação vertical da mesa giratória tem como severidade de número 6, ocorrência de número 3 e detecção de número 10. Essa causa potencial de falha não possui nenhum controle de processo atual. O valor resultante do RPN é de 180. A ação recomendada para controlar ou eliminar a causa da parada da máquina foi a inserção de uma cultura de manutenção elétrica preventiva. O planejamento de manutenção preventiva deve ser desenvolvido utilizando um histórico de ocorrências de manutenção corretiva, vida útil dos equipamentos e trocas de componentes elétricos. É essencial na conservação dos componentes elétricos o uso de tensão e corrente respeitando os limites do fabricante. A ação a ser tomada para controlar ou eliminar a causa do efeito potencial da falha é a criação de um procedimento de manutenção elétrica periódica dos comandos elétricos da máquina. Com a reformulação dos índices, o RPN chegará a um valor de 48.

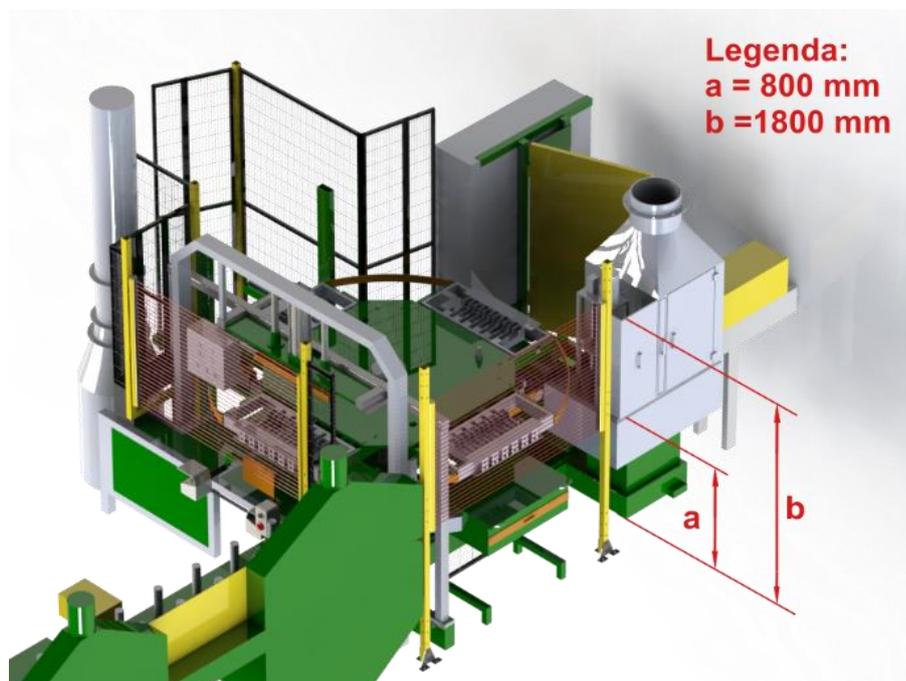
4.4 COMPARAÇÃO DOS RESULTADOS ENTRE FMEA E NR-12

A aplicação da técnica de identificação de perigo, FMEA, resultou em uma série de ações recomendadas que visam a eliminação ou mitigação das chances de ocorrer consequências negativas para o trabalhador, para o processo produtivo ou para a empresa. Muitas vezes essas consequências são os acidentes de trabalho. Tais ações recomendadas foram comparadas com os itens prescritivos da NR-12 e os resultados são apresentados a seguir.

O Cadinho, um dos componentes críticos da COS, possui como um de seus modos de operação o isolamento do chumbo líquido aquecido. A falha desse modo de operação pode acarretar na explosão do cadinho. Dentre todos os efeitos potenciais de falha identificados pela FMEA esse foi o mais grave, tendo um valor para o RPN de 300, o maior índice calculado neste trabalho. Ao ser realizada a comparação dos resultados entre a FMEA e a NR-12, foi identificado que exatamente a ação preventiva contra a causa da explosão do Cadinho não foi contemplada pela Norma.

O Anexo I, item A da NR-12 apresenta uma distância mínima de segurança para que o trabalhador não se exponha ao risco ao tentar alcançar a zona de perigo sobre as estruturas de proteção. A implementação do sistema de segurança seguiu à risca essa recomendação de segurança. Na figura 29 é possível observar que os valores das distâncias “a”, “b” e “c” estão de acordo com os valores da tabela 2 apresentada no capítulo “Referencial Teórico”. Para valores de 800 mm e 1800 mm para “a” e “b” respectivamente, a zona de perigo está protegida para qualquer que seja o valor de “c”. Portanto, este item está adequado a Norma.

Figura 29 - Distâncias de segurança para a zona de perigo do chumbo líquido.



Mesmo seguindo os itens da NR-12 o Cadinho ainda oferece risco aos trabalhadores que operam a máquina, ao processo e à empresa. Caso o chumbo líquido em alta temperatura entre em contato com a água, seja da chuva devido a algum vazamento no teto da fábrica, ou de algum respingo devido a uma limpeza de algum componente da máquina, poderá ocorrer um grave acidente de trabalho. A FMEA identificou esse problema no Cadinho e, com isso, pôde ser gerada a recomendação de desenvolver uma proteção mecânica especial e adaptada para esse componente específico da máquina COS, com a intenção de isolar de forma eficaz o chumbo líquido aquecido.

A tabela 10 apresenta a recomendação gerada pela FMEA que não foi contemplada pelos itens prescritivos da NR-12. O presente trabalho se limitou a destacar apenas o item que pusesse a saúde e a integridade física do trabalhador em risco. Outras ações recomendadas geradas pela FMEA não estão presentes na NR-12, mas como são relacionadas a produtividade da produção e não a segurança do trabalhador, não foram destacadas.

Tabela 10 - Recomendação gerada pela FMEA que não foi contemplada pelos itens prescritivos da NR-12.

Componente da COS relacionado à ação recomendada	Ação recomendada pela FMEA que não foi contemplada pela NR-12	RPN relacionado à ação recomendada
Cadinho	Desenvolvimento de uma proteção mecânica para isolar o chumbo armazenado pelo cadinho.	300

As recomendações da Norma Regulamentadora nº 12 foram implementadas e, portanto, a máquina COS está adequada à NR-12, mas ainda assim não está suficientemente segura pois ainda existe a possibilidade de ocorrer um acidente. Por isso faz-se necessário a utilização de uma técnica de identificação de perigo para auxiliar na criação do sistema de segurança de proteção contra acidentes. A combinação das boas práticas de engenharia prescritas na NR-12 com as

recomendações vindas da aplicação de uma técnica de identificação de perigo garantirá uma melhor proteção contra riscos à saúde e a integridade física dos trabalhadores.

Os objetivos definidos no início do trabalho foram alcançados e a pergunta que norteou o trabalho foi respondida. O estudo de caso concluiu que os itens prescritos na NR-12 não são suficientes para assegurar a saúde e a integridade física do trabalhador. As boas práticas de engenharia citadas na norma não dão conta da complexidade existente em cada forma de trabalho.

5 CONCLUSÃO

Este capítulo apresenta as conclusões finais deste trabalho. O estudo visava identificar, por meio da comparação entre uma avaliação por desempenho (FMEA) e uma avaliação prescritiva (norma regulamentadora), se uma máquina adequada aos termos da NR-12 poderia causar riscos à saúde e a integridade física dos trabalhadores. Foi utilizado um estudo de caso para contextualizar o assunto. De modo geral, como foi mostrado no capítulo anterior, os objetivos determinados no início deste estudo foram alcançados.

Dados importantes para a execução do trabalho, como o segmento de mercado da fábrica, o tipo de produto produzido, as etapas do processo produtivo e informações sobre componentes mais críticos da máquina COS que oferecem riscos aos trabalhadores, ao processo ou à empresa foram levantados por uma equipe qualificada pertencente à fábrica onde se passou o estudo de caso.

Pontos de não conformidade da COS perante a NR-12, máquina crítica que serviu de condição de contorno para este estudo de caso, foram identificados, possibilitando assim a adequação da mesma à Norma. A técnica de identificação de perigo, FMEA, foi aplicada na COS e seus resultados foram comparados com as recomendações da NR-12.

Por fim a pergunta feita no início do trabalho foi respondida. Existe sim a possibilidade de uma máquina, que cumpre os requisitos impostos pelo Ministério do Trabalho e Emprego, não está totalmente livre dos riscos de ocorrer acidentes. Isso ocorre pois a norma prescrita abrange diversos seguimentos de trabalho, mas não aprofunda suas recomendações nesses vários tipos de processos produtivos existentes.

As normas regulamentadoras estão em constante evolução. Prova disto é que apenas a NR-12 sofreu três alterações em 2016 (até setembro). Apesar disto, a norma ainda é muito voltada a prensas e dobradeiras e difícil de ser interpretada para máquinas diferentes (SANTOS, 2017).

Por mais elaborada e bem difundida que seja a metodologia da FMEA utilizada

para realização das recomendações para atuar na prevenção de potenciais causas de potenciais falhas, nada é possível sem que exista engajamento dos participantes da equipe segurança do trabalho, das lideranças e dos setores envolvidos no processo produtivo. O sucesso e efetividade da FMEA vem de uma análise com informações detalhadas do sistema e também da reaplicação em intervalos regulares da ferramenta. Segundo BERTSCHE (2008) o FMEA é um documento vivo que deve ser revisado e preenchido periodicamente.

Pode-se concluir que, para uma melhor segurança de todos os colaboradores de uma organização, a NR-12 deve ser aplicada em conjunto com uma ferramenta que identifique o risco de acordo com o processo produtivo da máquina ou equipamento em questão.

O presente trabalho se limitou a explorar mais os componentes mecânicos da máquina que serviu como objeto de estudo. Após a execução da FMEA, foi identificado que o Cadinho é um equipamento da máquina COS que merece uma atenção maior, visto que estava nele o item com o maior índice de RPN. Diante dos objetivos alcançados e as limitações apresentadas, algumas sugestões para trabalhos acadêmicos futuros são fornecidas:

- Refazer este trabalho incluindo os aspectos elétricos tanto na explicação do sistema de segurança para adequação à NR-12, quanto na aplicação da FMEA.
- Reaplicar a FMEA com mais riqueza de detalhes para o Cadinho e para outros equipamentos que também fazem parte da máquina COS e não foram citados neste trabalho.
- Utilizar este trabalho como um primeiro passo para criação de um método de avaliação por desempenho voltado especificamente para a NR-12.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991. Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l8213cons.htm>. Acesso em: 10 nov. 2018.

OBSERVATÓRIO DIGITAL DE SAÚDE E SEGURANÇA NO TRABALHO (MPT-OIT): 2017. Disponível em: <<http://observatoriosst.mpt.mp.br>>. Acesso em: 13 nov. 2018.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO TRABALHO. Perdas com acidentes de trabalho custam mais de R\$ 26 bi da Previdência. 2018. Disponível em: <http://portal.mpt.mp.br/wps/portal/portal_mpt/mpt/sala-imprensa/mpt-noticias/57067f73-133e-4a0a-aed0-9cb43a1332d1>. Acesso em: 10 nov. 2018.

MINISTÉRIO PÚBLICO DO TRABALHO. Brasil é quarto lugar no ranking mundial de acidentes de trabalho. 2018. Disponível em: <http://portal.mpt.mp.br/wps/portal/portal_mpt/mpt/sala-imprensa/mpt-noticias/7441f527-ad53-4a0a-901f-66e40f1a1cae>. Acesso em: 10 nov. 2018.

TRIBUNAL REGIONAL DO TRABALHO DA 6ª REGIÃO. 600 pessoas morreram vítimas de acidentes de trabalho com máquinas e equipamentos entre 2011 e 2013. 2015. Disponível em: <<http://www.trt6.jus.br/portal/noticias/2015/04/28/600-pessoas-morreram-vitimas-de-acidentes-de-trabalho-com-maquinas-e>>. Acesso em: 09 nov. 2018.

MENDES, R. Máquinas e acidentes de trabalho. Brasília: TEM/SIT; MPAS, 2001. Coleção Previdência Social; v. 13.

BRASIL. Lei Nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977. Altera o Capítulo V do Título II da Consolidação das Leis do Trabalho, relativo a segurança e medicina do trabalho e dá outras providências. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l6514.htm>. Acesso em: 20 out. 2018.

MINISTÉRIO DO TRABALHO. Normas Regulamentadoras. 2015. Disponível em:

<<http://trabalho.gov.br/seguranca-e-saude-no-trabalho/normatizacao/normas-regulamentadoras>>. Acesso em: 25 out. 2018.

BAÚ, M. Nova NR-12 e as grandes mudanças para as empresas e os usuários. CREA-SC, 2013. Disponível em: <<http://www.crea-sc.org.br/portal/index.php?cmd=artigos-detalle&id=2661#.XAasxmhKg2w>>. Acesso em: 05 nov. 2018.

CORRÊA, M. U. Sistematização e aplicações da NR-12 na segurança em máquinas e equipamentos, 2011, Monografia (Pós Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho) – Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, 2011.

NASCIMENTO, L. A. NR12. 4º seminário de trefilação, 2013. Disponível em <http://www.abmbrasil.com.br/cim/download/Palestra_NR12_Trefilacao_2013_Leonardo_Nascimento.pdf>. Acesso em 25 out. 2018.

BRASIL. Norma Regulamentadora nº 12: Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, Portaria MTb n.º 326, de 14 de maio de 2018, (DOU de 15/05/18) República Federativa do Brasil.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 14726: Brigada de incêndio – Normas para brigada de incêndio. Rio de Janeiro, 2006.

SANDERS, M.S.; McCORMICK, E. J. Human Factors in Engineering and Design. 7th ed. New York: McGraw-Hill, 1993. chap. 20, p. 655 - 695.

DYADEM PRESS. Guidelines for Process Hazards Analysis, Hazards Identification & Risk Analysis. Ontario, 2003.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. ISO guide 73: Risk management – vocabulary. Switzerland, 2009

AICHe - AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. Hazard Identification. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers.

Disponível em: <<https://www.aiche.org/ccps/resources/glossary/process-safety-glossary/hazard-identification>>. Acesso em 16 nov. 2018.

AICHE - AMERICAN INSTITUTE OF CHEMICAL ENGINEERS. Introduction to Hazard Identification and Risk Analysis. Center for Chemical Process Safety of the American Institute of Chemical Engineers. Disponível em: <<https://www.aiche.org/ccps/topics/elements-process-safety/understand-hazard-risk/hazard-identification-and-risk-analysis/introduction>>. Acesso em 16 nov. 2018.

CHRYSLER GROUP LLC, FORD MOTOR COMPANY, GENERAL MOTORS CORPORATION. Análise de modo e efeitos de falha potencial para ferramentas e equipamentos. 2º edição, 2012.

SAKURADA, E. Y. As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Árvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtos. Florianópolis: Eng. Mecânica/UFSC, (Dissertação de mestrado), 2001.

BERTSCHE, B. Reliability in Automotive and Mechanical Engineering: Determination of Component and System Reliability. Berlin: Springer, 2008.

PUENTE, J. et al. International Journal of Quality & Reliability Management, nº 2, v. 19, 2002.

HELMAN, H.; ANDERY, P. R. P. Análise de falhas: aplicação dos métodos de FMEA e FTA. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1 ed, 1995.

BACK, N. Metodologia de projeto de produtos industriais. Rio de Janeiro: Guanabara Dois, 1983.

CLARKE, C. Automotive Production Systems and Standardisation: From Ford to the Case of Mercedes-Benz. Physica-Verlag Heidelberg, 2005.

TOLEDO, José C; AMARAL, Daniel C. FMEA – Análise do Tipo e Efeito de Falha. Ed. GEPEQ – Grupo de Estudos e Pesquisa em Qualidade. UFSCar, 2006.

DRAGONI, José Fausto. Proteção de máquinas, equipamentos, mecanismos e cadeado de segurança. São Paulo: LTC, 2011.

AIAG. FMEA – Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial. 4º edição, 2011.

BORROR, Connie M. The Certified Quality Engineer. 3º edição. ASQ Quality Press, 2008.

SANTOS, E. C. P. Análise da Adequação à NR-12 de uma Prensa Desempenadeira: um estudo de caso. Curitiba, 2017.

APÊNDICE I – FMEA DO ALINHADOR

FMEA - ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA POTENCIAL															
SEGUIMENTO: Fabricante de acumuladores elétricos.				PROCESSO: Montagem de Baterias.				Nº: 01							
RESPONSÁVEL: Thalles Lins				MÁQUINA: COS				REVISÃO: 00							
ITEM	FUNÇÃO	MODO DE OPERAÇÃO	MODO DE FALHA EM POTENCIAL	EFEITOS POTENCIAIS DA FALHA	SEVER	CAUSAS POTENCIAIS DA FALHA	OCORR	CONTROLE DE PROCESSO ATUAL	DET	RPN	AÇÃO RECOMENDADA	RESULTADOS DA AÇÃO			
												SEVER	OCORR	DET	RPN
Alinhador	Alinhar as placas de chumbo.	Avanço dos cilindros hidráulicos.	Falha no avanço dos cilindros hidráulicos.	Parada da máquina e consequentemente parada da produção.	3	Má lubrificação dos cilindros hidráulicos.	1	Nenhum.	6	18	Criação de procedimento para lubrificação periódica dos cilindros hidráulicos.	3	1	3	9
					6	Desgaste dos cilindros hidráulicos.	1	Nenhum.	6	36	Manutenção ou substituição periódica dos cilindros hidráulicos de acordo com a vida útil descrita pelo fabricante.	6	1	3	18
					6	Falha no comando elétrico do avanço dos cilindros hidráulicos.	3	Nenhum.	10	180	Inserção de uma cultura de manutenção elétrica preventiva.	6	2	4	48
	Fechamento das pinças alinhadoras.	Fechamento parcial das pinças alinhadoras.	Parada da máquina e consequentemente parada da produção.	3	Má lubrificação das pinças alinhadoras.	2	Nenhum.	6	36	Criação de procedimento para lubrificação periódica das pinças alinhadoras.	3	1	3	9	
				6	Desgaste das pinças alinhadoras.	2	Nenhum.	6	72	Manutenção ou substituição periódica das pinças alinhadoras de acordo com a vida útil descrita pelo fabricante.	6	1	3	18	
				6	Falha no comando elétrico do fechamento das pinças.	3	Nenhum.	10	180	Inserção de uma cultura de manutenção elétrica preventiva.	6	2	4	48	

APÊNDICE II – FMEA DAS ESCOVAS DE FLUIDO

FMEA - ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA POTENCIAL															
SEGUIMENTO: Fabricante de acumuladores elétricos.				PROCESSO: Montagem de Baterias.				Nº: 01							
RESPONSÁVEL: Thalles Lins				MÁQUINA: COS				REVISÃO: 00							
ITEM	FUNÇÃO	MODO DE OPERAÇÃO	MODO DE FALHA EM POTENCIAL	EFEITOS POTENCIAIS DA FALHA	SEVER	CAUSAS POTENCIAIS DA FALHA	OCORR	CONTROLE DE PROCESSO ATUAL	DETEC	RPN	AÇÃO RECOMENDADA	RESULTADOS DA AÇÃO			
												SEVER	OCORR	DETEC	RPN
Escovas de Fluido	Remover todo e qualquer resíduo que possa dificultar a execução da solda por imersão.	Rotação das escovas de fluido para limpeza das placas de chumbo.	Não rotação das escovas de fluido.	Perda da bateria produzida.	5	Escovas de fluido com cerdas danificadas.	2	Nenhum.	7	70	Manutenção ou substituição periódica das escovas de fluido de acordo com a vida útil descrita pelo fabricante.	5	1	4	20
					4	Má lubrificação dos eixos das escovas.	2	Nenhum.	9	72	Criação de procedimento para lubrificação periódica dos eixos das escovas de fluido.	4	1	4	16
					5	Desgaste dos rolamentos.	1	Nenhum.	9	45	Manutenção ou substituição periódica dos rolamentos de acordo com a vida útil descrita pelo fabricante.	5	1	4	20

APÊNDICE III – FMEA DO MOLDE DE SOLDA

FMEA - ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA POTENCIAL															
SEGUIMENTO: Fabricante de acumuladores elétricos.				PROCESSO: Montagem de Baterias.				Nº: 01							
RESPONSÁVEL: Thalles Lins				MÁQUINA: COS				REVISÃO: 00							
ITEM	FUNÇÃO	MODO DE OPERAÇÃO	MODO DE FALHA EM POTENCIAL	EFEITOS POTENCIAIS DA FALHA	SEVER	CAUSAS POTENCIAIS DA FALHA	OCORR	CONTROLE DE PROCESSO ATUAL	DETEC	RPN	AÇÃO RECOMENDADA	RESULTADOS DA AÇÃO			
												SEVER	OCORR	DETEC	RPN
Molde de solda	Armazenar e moldar o chumbo líquido em peças para unir as placas de chumbo de mesma polaridade.	Fechamento do molde para formação de peças de chumbo.	Não fechamento do molde.	Perda da bateria produzida.	4	Nível desregulado de chumbo líquido que alimenta o molde.	3	Nenhum.	10	120	Criação de um mecanismo com um sensor interligado a um IHM que identifique o vazamento.	4	2	3	24
					5	Limpeza mal executada no molde.	4	Limpeza Periódica.	4	80	Inspeção periódica da limpeza executada no molde.	5	3	2	30
					6	Não substituição regular do molde.	1	Substituição periódica do molde.	3	18	Verificação da substituição periódica do molde.	6	1	1	6

APÊNDICE IV – FMEA DO CADINHO

FMEA - ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA POTENCIAL															
SEGUIMENTO: Fabricante de acumuladores elétricos.				PROCESSO: Montagem de Baterias.				N°: 01							
RESPONSÁVEL: Thalles Lins				MÁQUINA: COS				REVISÃO: 00							
ITEM	FUNÇÃO	MODO DE OPERAÇÃO	MODO DE FALHA EM POTENCIAL	EFEITOS POTENCIAIS DA FALHA	SEVER	CAUSAS POTENCIAIS DA FALHA	OCORR	CONTROLE DE PROCESSO ATUAL	DETEC	RPN	AÇÃO RECOMENDADA	RESULTADOS DA AÇÃO			
												SEVER	OCORR	DETEC	RPN
Cadinho	Transformar chumbo sólido em líquido, isolando-o e mantendo-o aquecido.	Aquecimento do chumbo.	Aquecimento insuficiente do chumbo.	Má formação das peças de chumbo na solda por imersão.	6	Queimador do cadinho danificado.	2	Nenhum.	10	120	Manutenção preventiva do queimador.	6	1	4	24
				Acúmulo de chumbo sólido no cadinho.	7	Queimador do cadinho danificado.	2	Nenhum.	10	140	Manutenção preventiva do queimador.	7	1	4	28
				Quebra do misturador de chumbo líquido.	7	Queimador do cadinho danificado.	2	Nenhum.	10	140	Manutenção preventiva do queimador.	7	1	4	28
		Isolamento do chumbo líquido aquecido.	Falha no isolamento do chumbo líquido aquecido.	Explosão do cadinho.	10	Contato da água com o chumbo líquido.	3	Nenhum.	10	300	Desenvolvimento de uma proteção mecânica para isolar o chumbo armazenado pelo cadinho.	10	2	3	60
				Perda de material.	6	Vazamento do chumbo líquido.	5	Nenhum.	8	240	Inspeção periódica do recipiente de armazenamento do cadinho.	6	3	3	54

APÊNDICE V – FMEA DA MESA GIRATÓRIA

FMEA - ANÁLISE DE MODO E EFEITO DE FALHA POTENCIAL															
SEGUIMENTO: Fabricante de acumuladores elétricos.				PROCESSO: Montagem de Baterias.				N°: 01							
RESPONSÁVEL: Thalles Lins				MÁQUINA: COS				REVISÃO: 00							
ITEM	FUNÇÃO	MODO DE OPERAÇÃO	MODO DE FALHA EM POTENCIAL	EFEITOS POTENCIAIS DA FALHA	S E V E R	CAUSAS POTENCIAIS DA FALHA	O C O R R	CONTROLE DE PROCESSO ATUAL	D E T E C	R P N	AÇÃO RECOMENDADA	RESULTADOS DA AÇÃO			
												S E V E R	O C O R R	D E T E C	R P N
Mesa Giratória	Mover os suportes das placas de chumbo fazendo com que eles passem por todas as 4 estações da máquina.	Rotação da mesa giratória no sentido horário.	Falha na rotação.	Parada da máquina.	7	Desgaste das engrenagens.	1	Nenhum.	8	56	Manutenção ou substituição periódica das engrenagens de acordo com a vida útil descrita pelo fabricante.	7	1	4	28
					6	Falha no comando elétrico da rotação da mesa giratória.	3	Nenhum.	10	180	Inserção de uma cultura de manutenção elétrica preventiva.	6	2	4	48
		Translação da mesa giratória na direção vertical.	Falha na translação.	Parada da máquina.	7	Desgaste dos cilindros hidráulicos.	1	Nenhum.	8	56	Manutenção ou substituição periódica dos cilindros hidráulicos de acordo com a vida útil descrita pelo fabricante.	7	1	4	28
					6	Falha no comando elétrico da translação da mesa giratória.	3	Nenhum.	10	180	Inserção de uma cultura de manutenção elétrica preventiva.	6	2	4	48