

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JULIANNE OLIVEIRA DE MELO

**IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS E ADEQUAÇÃO DO PROCESSO DE IMPRESSÃO
DE SOLDA (*SOLDER PRINTER*) ÀS NORMAS DE SEGURANÇA EM UM
LABORATÓRIO DE MANUFATURA AVANÇADA**

Manaus, AM

2024

UNIVERSIDADE DO ESTADO DO AMAZONAS
ESCOLA SUPERIOR DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO

JULIANNE OLIVEIRA DE MELO

**IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS E ADEQUAÇÃO DO PROCESSO DE IMPRESSÃO
DE SOLDA (*SOLDER PRINTER*) ÀS NORMAS DE SEGURANÇA EM UM
LABORATÓRIO DE MANUFATURA AVANÇADA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia de Produção da Escola Superior de Tecnologia da Universidade do Estado do Amazonas, como parte dos requisitos para a obtenção do grau de Engenheira de Produção.

Orientadora: Prof. Dra. Nadja Poliana Cabete.

Manaus, AM

2024

JULIANNE OLIVEIRA DE MELO

**IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS E ADEQUAÇÃO DO PROCESSO DE IMPRESSÃO
DE SOLDA (*SOLDER PRINTER*) ÀS NORMAS DE SEGURANÇA EM UM
LABORATÓRIO DE MANUFATURA AVANÇADA**

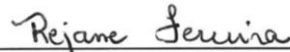
Trabalho apresentado ao curso de Engenharia de Produção da Universidade do Estado do Amazonas, como requisito parcial para a obtenção grau de Bacharel em Engenharia de Produção.

Data de aprovação: Manaus (AM), 17 de julho de 2024.


Banca examinadora:



Prof(a). Nadja Polyana Felizola Cabete, Dra.
Universidade do Estado do Amazonas



Prof(a). Rejane Gomes Ferreira, Me.
Universidade do Estado do Amazonas



Prof. Silvio Romero Adjar Marques, Me.
Universidade do Estado do Amazonas

AGRADECIMENTOS

A Deus por me conceder a oportunidade de vivenciar cada momento e me permitir crescer durante esses longos anos.

Aos meus pais, que me incentivaram a seguir este curso, mesmo que isso tenha significado eu me mudar para outra cidade. Agradeço por nunca desistirem de mim, mesmo nos momentos mais difíceis e distantes desta jornada.

Aos colegas e amigos do Hub Tecnologia e Inovação, que não apenas tornaram possível este trabalho, mas também me apoiaram desde a busca por referências até a implementação.

Aos amigos que estiveram ao meu lado durante toda a minha vida acadêmica, tornando esses anos mais leves e alegres, mesmo nos dias difíceis.

Um agradecimento especial ao Jovair, Vinícius, Fernanda, Ian e Jeniffer pelo suporte fundamental quanto aos materiais, no apoio ao desenvolvimento, pelo suporte emocional e na revisão do texto.

Aos demais que não citei, mas que possam ter contribuído de forma direta ou indireta com o desenvolvimento desse trabalho.

Por último, expresso minha gratidão à minha querida professora e orientadora Nadja, a quem admiro profundamente pela orientação proporcionada, apoio constante e pelo conhecimento compartilhado. É uma honra tê-la acompanhando de perto o desenvolvimento deste trabalho.

RESUMO

Uma parceria estratégica entre uma empresa do Polo Industrial de Manaus e a Universidade do Estado do Amazonas culminou na criação de uma especialização dedicada à Manufatura Avançada e na instalação de um laboratório. Este estudo concentra-se em investigar e propor soluções eficazes para mitigar os riscos relacionados à operação da máquina semiautomática de impressão de pasta de solda do laboratório, conhecida como *Solder Printer*, fundamental para o processo de montagem de componentes em Placas de Circuito Impresso (PCIs). Considerando a importação do equipamento, há a necessidade de adaptação às normas regulamentadoras brasileiras. Utilizando uma abordagem aplicada e qualitativa, com o método de pesquisa-ação, o estudo busca identificar e mitigar os riscos associados à operação da *Solder Printer*, proporcionando assim um ambiente de estudo e trabalho seguro para os alunos, pesquisadores e professores da universidade, em conformidade com as normas de segurança vigentes. Utilizou-se um *checklist* baseado na NR-12 para verificação inicial de conformidades. Posteriormente, a apreciação de riscos foi realizada segundo os métodos das normas ABNT NBR ISO 12100:2013 e ABNT NBR ISO/TR 14121-2:2018. Como resultados obteve-se a identificação de riscos significativos à segurança dos usuários da máquina, como cortes e esmagamentos. A partir disso, elaborou-se uma proposta com as adequações necessárias no intuito de mitigar os riscos identificados e assegurar a conformidade com as normas de segurança brasileiras. As principais adequações sugeridas foram implementadas e validadas, demonstrando eficácia na redução dos riscos. Conclui-se que o *retrofitting* da *Solder Printer* semiautomática foi capaz de promover um ambiente mais seguro, alinhado com as regulamentações nacionais, além de se mostrar uma opção econômica e eficaz para o laboratório de manufatura.

Palavras-chave: segurança do trabalho; *solder printer*; apreciação de riscos.

ABSTRACT

A strategic partnership between a company from the Manaus Industrial Pole and the University of the State of Amazonas led to the creation of a specialization in Advanced Manufacturing and the establishment of a laboratory. This study focuses on investigating and proposing effective solutions to mitigate risks related to the operation of the laboratory's semi-automatic solder paste printing machine, known as the Solder Printer, crucial for assembling components on Printed Circuit Boards (PCBs). Considering the equipment's importation, there is a need for adaptation to Brazilian regulatory standards. Using an applied qualitative approach with the action research method, the study aims to identify and mitigate risks associated with the Solder Printer's operation, thereby providing a safe study and work environment for university students, researchers, and professors, in compliance with current safety standards. A checklist based on NR-12 was used for initial compliance verification. Subsequently, risk assessment was conducted following the methods of ABNT NBR ISO 12100:2013 and ABNT NBR ISO/TR 14121-2:2018 standards. Significant risks to user safety, such as cuts and crushing, were identified as results. Accordingly, a proposal with necessary adaptations was developed to mitigate identified risks and ensure compliance with Brazilian safety standards. The main suggested adaptations were implemented and validated, demonstrating effectiveness in risk reduction. It is concluded that the retrofitting of the semi-automatic Solder Printer was able to promote a safer environment, aligned with national regulations, and proved to be an economical and effective option for the manufacturing laboratory.

Keywords: *occupational safety; solder printer; risk assessment.*

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Etapas da apreciação de riscos.....	18
Figura 2 - Representação esquemática do processo de apreciação e redução de riscos.....	19
Figura 3 - Formulário exemplo de identificação de perigo.....	23
Figura 4 - Exemplo de matriz de estimativa de riscos.....	24
Figura 5 - Formulário para gráfico de riscos.....	27
Figura 6 - Gráfico de riscos.....	28
Figura 7 - Categorias usadas na pontuação de riscos.....	29
Figura 8 - Exemplo de ferramenta híbrida.....	29
Figura 9 - <i>Solder Printer</i> automática DEK.....	31
Figura 10 - Deposição de pasta de solda.....	31
Figura 11 - <i>Pick and place</i> neoden br8.....	32
Figura 12 - <i>Nozzles</i> da <i>pick and place</i>	32
Figura 13 - <i>Reflow oven</i>	33
Figura 14 - Etapas do processo SMT.....	33
Figura 15 - Categorização da pesquisa.....	34
Figura 16 - Linha SMT do laboratório.....	37
Figura 17 - <i>Solder Printer</i>	38
Figura 18 - <i>Solder Printer</i> modelada com <i>inventor</i>	39
Figura 19 - <i>Checklist</i> da NR-12.....	41
Figura 20 - Verificação do alinhamento do estêncil.....	43
Figura 21 - Suporte do estêncil elevado.....	43
Figura 22 - Limpeza dos <i>squeegees</i>	44
Figura 23 - Esboço inicial da proposta de adequação.....	47
Figura 24 - Proposta final de proteção utilizando <i>inventor</i>	48
Figura 25 - Proteção instalada.....	48
Figura 26 - Dispositivo de intertravamento.....	49

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Perigos identificados.....	45
Quadro 2 - Formulário de análise de risco.....	46

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	Problema da pesquisa	11
1.2	Hipóteses	11
1.3	Objetivo geral	11
1.3.1	Objetivos específicos	11
1.4	Justificativa	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	13
2.1	Segurança do Trabalho	13
2.1.1	Acidente de trabalho	13
2.2	Normas regulamentadoras	14
2.2.1	NR-12	14
2.2.1.1	Dispositivos de segurança	15
2.2.2	ABNT NBR ISO 12100:2013	17
2.2.3	ABNT ISO/TR 14121-2:2018	21
2.2.3.1	Matriz de risco	23
2.2.3.2	Gráfico de riscos	25
2.2.3.3	Pontuação numérica	28
2.2.3.4	Ferramenta híbrida	29
2.3	<i>Retrofitting</i>	30
2.4	SMT	30
3	MATERIAIS E MÉTODOS	34
3.1	Categorização da pesquisa	34
3.2	Descrição da empresa	35
3.3	Delimitação da pesquisa	36
3.4	Etapas da pesquisa	38
3.5	Ferramentas	39
3.5.1	<i>Inventor</i>	39
3.5.2	<i>Excel</i>	40
3.5.3	<i>Checklist</i>	40
4	RESULTADOS	40
4.1	Análise por meio de <i>checklist</i>	40
4.2	Apreciação de riscos	42
4.2.1	Determinação dos limites da máquina	42
4.2.1.1	Limites de uso	42
4.2.1.2	Limites de espaço	44
4.2.1.3	Limites de tempo	44
4.2.1.4	Outros limites	44
4.2.2	Identificação de perigos	45
4.2.3	Estimativa de riscos	45
4.3	Avaliação de riscos	46
4.3.1	Medidas de controle e redução de riscos	47
4.3.2	Validação das proteções	49
4.4	Análise de custos	49
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS	50
	REFERÊNCIAS	53

1 INTRODUÇÃO

Em âmbito mundial, o Brasil é o 7º país em que mais ocorrem acidentes de trabalho e o 3º país em que ocorrem mais mortes causadas por acidentes de trabalho como informa o Anuário Brasileiro de Proteção 2023¹. Segundo dados do Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho (2023), de 2020 até 2022 houve um aumento gradativo dos casos de notificação de acidentes de trabalho e dos acidentes que ocasionaram em fatalidades. Apenas em 2022 foram 612,9 mil acidentes e 2.538 óbitos registrados. Estima-se que cerca de 116 mil casos não foram notificados. Vale ressaltar que esses números são relacionados aos casos notificados em trabalhos formais, deixando margem para números ainda mais alarmantes se somados aos acidentes em decorrência dos trabalhos informais.

Dentre os diversos processos produtivos realizados na indústria, o processo de *Surface Mount Technology* (SMT) é o processo responsável pela montagem dos componentes na superfície de Placas de Circuito Impresso (PCI's) e é um dos processos mais comuns no ramo da indústria eletroeletrônica. Esse processo inicia na deposição da pasta de solda na placa, passa pela montagem de componentes e por fim, ocorre a passagem da placa pelo forno de refusão.

A Universidade do Estado do Amazonas dispõe de um Centro de Pesquisa, o Hub Tecnologia e Inovação, que desenvolve parcerias com empresas para inovação e uma delas resultou na proposta de criação de um Laboratório de Manufatura Avançada, equipado com uma linha de processo SMT e uma célula robótica para montagem, como uma pequena fábrica para atividades práticas e aquisição de conhecimento, proporcionando aos alunos infraestrutura avançada para aprimorar suas habilidades e experiências com este tipo de processo. Porém, por não se tratar de uma atividade que emprega trabalhadores regidos pela Consolidação das Leis Trabalhistas, não há a obrigatoriedade do cumprimento da NR-1 no exercício dessas atividades e tampouco haverá acompanhamento destas atividades pelo Ministério do Trabalho, inferindo-se que eventuais acidentes de trabalho sejam subnotificados.

Porém, devido ao compromisso da UEA com a segurança de suas atividades e com o objetivo de mitigar as ocorrências de acidentes, foi realizado um estudo das recomendações das normas de segurança do Ministério do Trabalho, a fim de adequar o novo laboratório aos requisitos de segurança na operação com máquinas e equipamentos. Para isso, foi utilizada a NR-12 (Norma Regulamentadora - Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos) como orientação para referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção para

¹ Disponível em: <https://www.protecao.com.br/mundo-2023>. Acesso em: 15 nov 2023.

resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores, norma esta que estabelece requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho nas fases de projeto e de utilização de máquinas e equipamentos (Brasil, 2022), além de outras normas relacionadas.

1.1 Problema da pesquisa

A linha de Tecnologia de Montagem em Superfície (SMT) do laboratório conta com uma *Solder Printer* responsável pela deposição precisa da pasta de solda na Placa de Circuito Integrado (PCI). Considerando que o equipamento foi obtido por meio de importação, a fabricação não foi realizada no Brasil, sua instalação torna-se um fator de atenção e cuidados, no intuito de estar adequada às normas brasileiras e de salvaguardar os trabalhadores contra os riscos associados a esta implementação. Com isso surge o seguinte questionamento: *Quais são os riscos de acidentes de trabalho associados a instalação e operação da Solder Printer adquirida para o laboratório por meio de importação, e como esses riscos podem ser mitigados através da adequação da máquina às normas brasileiras vigentes de segurança?*

1.2 Hipóteses

- a) a instalação desse equipamento pode causar riscos leves ou moderados:
 - o suporte do estêncil pode causar esmagamento das mãos do operador;
 - os *squeegees* podem ocasionar cortes ao operador.
- b) a instalação desse equipamento pode causar riscos graves ou substanciais.

1.3 Objetivo geral

O objetivo geral desta pesquisa é investigar e propor soluções eficazes para a mitigação dos riscos de acidentes de trabalho associados à instalação e operação da *Solder Printer* em um laboratório universitário, por meio da adequação da máquina às normas brasileiras de segurança para máquinas e equipamentos, visando contribuir para a promoção de um ambiente seguro, alinhado com as regulamentações nacionais.

1.3.1 Objetivos específicos

- a) Realizar uma análise de riscos do processo de instalação e operação da *Solder Printer* baseada nas normas de segurança vigentes;
- b) Definir os requisitos exigidos pelas normas de segurança vigentes para projeto e implementação;
- c) Desenvolver proposta de adequação da máquina *Solder Printer* às normas de segurança;

- d) Levantar os custos da implementação da máquina, considerando sua adequação às normas de segurança.

1.4 Justificativa

A crescente complexidade técnica e organizacional dos processos industriais, associada ao desenvolvimento das novas tecnologias provocadas pela Indústria 4.0, tem gerado novos desafios que não se limitam apenas ao aspecto financeiro, mas também estão relacionados com a qualificação e disponibilidade de recursos humanos nos diferentes níveis organizacionais, capazes de lidar com o aumento da complexidade dos futuros sistemas de produção (Aires; Moreira; Freire, 2017). Ainda segundo os autores, o aumento da digitalização de processos requer que as pessoas de todas as áreas envolvidas na automatização desenvolvam competências técnicas específicas para atender aos requisitos impostos pelas áreas produtivas e para acompanharem os avanços tecnológicos promovidos pela Indústria 4.0.

Devido à necessidade de dispor de profissionais com conhecimento em tecnologias habilitadoras para a Indústria 4.0, o HUB Tecnologia e Inovação, por meio de um projeto de Pesquisa e Desenvolvimento, propôs a realização do curso de Pós-graduação Lato Sensu, em nível de especialização, na área de manufatura avançada, que caracteriza os processos produtivos da Indústria 4.0, resultando na concepção de um laboratório de manufatura avançada que consiste em um espaço que simula uma pequena fábrica onde são produzidos produtos industriais a partir de um processo SMT. Além disso, cada componente do laboratório foi cuidadosamente planejado para integrar as mais recentes inovações em *Internet* das Coisas (*IoT*), Inteligência Artificial, *Big Data* e Sistemas Ciber-Físicos.

O objeto deste estudo trata-se do processo de deposição da pastas de solda no estêncil, realizado pela máquina denominada *Solder Printer*, sobre o qual foi observado durante as fases de testes que este pode *apresentar possíveis riscos de segurança, que se dão principalmente por se tratar de uma máquina semiautomática, ou seja, precisa de uma pessoa operando-a. Com isso, viu-se a necessidade de realizar um estudo mais aprofundado para analisar os riscos que a máquina oferece e o que as normas regulamentadoras referente à segurança de máquinas sugerem.*

Posto isto, o desenvolvimento do presente trabalho se justifica pela tentativa de proporcionar um ambiente de trabalho seguro e em conformidade com as normas regulamentadoras que se tornam cruciais na prevenção de acidentes de trabalho.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Segurança do Trabalho

Mattos e Másculo (2011) afirmam que a Segurança do Trabalho pode ser entendida como uma disciplina que faz parte da área tecnológica, com foco no estudo e aplicação de métodos para a prevenção e diminuição de acidentes de trabalho, doenças ocupacionais e outras formas de agravos à saúde do trabalhador.

Carvalho (2014) define Segurança do Trabalho como a ciência e a arte do conhecimento, avaliação e controle dos riscos de acidentes, sendo responsável por estudar os meios de segurança aplicados ao trabalhador e ao ambiente de trabalho para a prevenção de acidentes e de doenças ocupacionais, tendo em vista a legislação específica para a área ocupacional.

A prevenção é feita a partir da identificação e da avaliação dos fatores de riscos e cargas de trabalho oriundas do processo de trabalho e na forma de organização adotados, além da implantação de medidas para eliminação ou minimização desses fatores de riscos e cargas (Mattos; Másculo, 2011).

Assim, Barsano e Barbosa (2018) sugerem que a Segurança do Trabalho atinge sua finalidade quando é capaz de proporcionar tanto para o empregado quanto para o colaborador, um ambiente de trabalho seguro e saudável, buscando laborar em um ambiente agradável e podendo voltar aos seus lares para suas famílias após sua jornada de trabalho.

2.1.1 Acidente de trabalho

O Acidente de Trabalho (AT) pode ser considerado uma das possíveis perdas dos ativos intangíveis de um processo de trabalho, cuja gestão da produção apresenta falhas de concepção e de funcionamento. Os acidentes de trabalho são um problema antigo. Durante a Revolução Industrial, as condições de trabalho eram degradantes, com inúmeros casos de acidentes graves, mutilantes e fatais, causados principalmente pela falta de proteção das máquinas e de treinamento adequado para sua operação. O estudo da Higiene e Segurança do Trabalho (HST) só começou a ganhar relevância na sociedade após esse período, com a necessidade fundamental de regulamentar as condições de trabalho e, assim, prevenir a ocorrência de acidentes e doenças ocupacionais (Mattos; Másculo, 2011).

Os autores ainda afirmam que os altos índices de ocorrências de acidentes de trabalho são reflexo de um planejamento insuficiente do processo de trabalho, pois um planejamento adequado é capaz de prever e de propor soluções para prevenir ou reduzir o risco de exposição dos colaboradores aos riscos de acidentes.

No âmbito da Segurança do Trabalho, as definições de acidente de trabalho podem ser categorizadas em dois tipos: o técnico ou prevencionista e o legal (Barsano, 2015).

Definição técnico ou prevencionista: Acidente do trabalho é caracterizado como uma ocorrência não programada, podendo ser inesperada ou não, que interfere no andamento normal de um trabalho qualquer, ocasionando perda de tempo e/ou lesão nos trabalhadores ou perdas materiais (Carvalho, 2014).

Definição Legal: O artigo 19 da Lei nº 8.213, datada de 21/07/1991 (Brasil, 1991), referente ao Seguro de Acidente de Trabalho (SAT), estabelece que um acidente de trabalho é considerado “aquele que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço da empresa (...), provocando lesão corporal ou perturbação funcional que cause a morte, ou perda, ou redução, permanente ou temporária da capacidade para o trabalho”.

Para efeito de concessão de benefícios ao trabalhador, a legislação equipara os acidentes de trabalho típicos a eventos que incluem doenças profissionais, doenças do trabalho e acidentes de trajeto. Cumpre salientar que a lei apenas considera evento acidente quando a vítima se trata de um trabalhador formalmente empregado. Assim, são desconsideradas situações em que o trabalhador possui regime de trabalho informal, sem qualquer vínculo empregatício.

2.2 Normas regulamentadoras

O órgão responsável pela padronização técnica no Brasil é a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), que representa diversas entidades internacionais no país, tais como a ISO (*International Organization for Standardization*), a IEC (*International Electrotechnical Commission*), a COPANT (Comissão Panamericana de Normas Técnicas) e a AMN (Associação MERCOSUL de Normatização). A adoção de normas internacionais no Brasil é regulada pela Organização Mundial do Comércio (OMC). As normas ISO são de natureza voluntária, e a decisão de sua adoção como normas nacionais cabe aos membros pertinentes. Quando adotada como norma brasileira, uma norma ISO recebe a designação NBR ISO. As normas brasileiras e internacionais são identificadas por siglas específicas, tais como NR (Norma Regulamentadora), NBR (Norma Técnica Brasileira), NBR NM (Norma Técnica do Mercosul) e NBR ISO (Norma Técnica Internacional) para normas brasileiras, e ISO, EN (European Normalization) e IEC para normas internacionais (Machado, 2021).

2.2.1 NR-12

A norma regulamentadora 12 (NR-12) é responsável por definir referências técnicas, princípios fundamentais e medidas de proteção com intuito de resguardar a saúde e integridade

física dos trabalhadores além de estabelecer requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e doenças do trabalho (Brasil, 2022).

Fagundes (2023) enfatiza que essa norma tem como objetivo proteger a saúde e a integridade física dos trabalhadores, estabelecendo medidas de proteção que devem ser seguidas em todas as etapas do uso de máquinas e equipamentos, desde a fabricação até a sua comercialização e uso em atividades econômicas. Cabe ressaltar que essas medidas devem ser implementadas mesmo na presença de outras regras já aprovadas ou normas internacionais aplicáveis.

Machado (2021) destaca que a norma possui 18 tópicos estruturados para aprimorar as condições de trabalho, além de 12 anexos. Os anexos de I a IV fornecem informações adicionais para atender ao corpo da norma, enquanto os anexos de V a XII são dedicados a tipos específicos de máquinas.

No contexto da concepção do laboratório de manufatura foi adquirido uma máquina de deposição de solda internacional e semiautomática, devendo, portanto, ser adequada às normas brasileiras vigentes de segurança, considerando principalmente que o equipamento pode ser utilizado de forma demonstrativa aos discentes durante operação. Dessa forma, a adequação da *Solder Printer* se faz essencial para mitigar os riscos de eventuais acidentes decorrentes da operação da máquina.

2.2.1.1 Dispositivos de segurança

No item 12.5.1, a norma apresenta os sistemas de segurança exigidos para as zonas de perigo das máquinas e equipamentos. Fagundes (2023) descreve que esses sistemas são compostos por proteções fixas (como grades ou barreiras), proteções móveis (como portas ou cortinas) e dispositivos de segurança interligados (como sensores ou chaves de segurança), que devem oferecer a proteção da saúde e da integridade física dos trabalhadores.

Schneider (2011) afirma que, ao instalar as proteções físicas e conectar os dispositivos elétricos nos pontos corretos do circuito da máquina, obtém-se uma solução de segurança confiável tanto em termos de funcionalidade quanto de parada da máquina.

O item 12.5.2 determina que os sistemas de segurança utilizados em máquinas e equipamentos atendam aos requisitos específicos visando assegurar a proteção dos trabalhadores. Entre esses requisitos, destaca-se a necessidade de escolher e instalar o sistema de segurança conforme a categoria de segurança indicada pela avaliação de riscos, conforme estipulado pelas normas técnicas oficiais. A categoria de segurança representa uma medida da eficácia do sistema de segurança, sendo determinada pela gravidade potencial das lesões e pela

probabilidade de sua ocorrência. Assim, a seleção e instalação apropriadas do sistema de segurança desempenham um papel crucial para proporcionar a segurança dos trabalhadores. (Fagundes, 2023).

O item 12.5.4 da norma trata como proteção:

[...] o elemento especificamente utilizado para prover segurança por meio de barreira física, podendo ser:

- a) proteção fixa, que deve ser mantida 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;
- b) proteção móvel, que pode ser aberta sem o uso de ferramentas, geralmente ligada por elementos mecânicos à estrutura da máquina ou a um elemento fixo próximo, e deve se associar a dispositivos de intertravamento (Brasil, 2022, p. 11).

O item 12.5.7 aborda sobre proteções móveis associadas a dispositivos de intertravamento que devem ser capazes de operar somente com as proteções fechadas; paralisar funções perigosas quando as proteções forem abertas durante a operação; e garantir que o fechamento das proteções por si só não possa dar início às funções perigosas.

No item 12.5.8 trata dos dispositivos de intertravamento com bloqueio associados às proteções móveis das máquinas e equipamentos que devem:

- a) permitir a operação somente enquanto a proteção estiver fechada e bloqueada;
- b) manter a proteção fechada e bloqueada até que tenha sido eliminado o risco de lesão devido às funções perigosas da máquina ou do equipamento; e
- c) garantir que o fechamento e bloqueio da proteção por si só não possa dar início às funções perigosas da máquina ou do equipamento (Brasil, 2022, p. 12).

De modo geral, ao se referir aos dispositivos de partida, acionamento e parada, Cruz (2019) afirma que todos esses dispositivos estão sujeitos a exigências da NR-12, as quais são:

- a) devem estar localizados fora de suas zonas perigosas;
- b) quando houver emergência, os dispositivos devem estar aptos a serem desligados ou acionados por qualquer pessoa e não somente pelo operador;
- c) devem ser capazes de impedir qualquer acionamento ou desligamento involuntário;
- d) devem evitar riscos adicionais e não podem ser burlados.

Referente à sinalização de segurança da máquina, o item 12.12.2 informa que esta deve estar destacada e em localização claramente visível na máquina ou equipamento, além de ser de fácil compreensão. O item 12.12.4 aponta que as sinalizações devem ser escritas na língua portuguesa brasileira e ser legíveis, ademais o item 12.12.4.1 acrescenta que devem indicar

claramente o risco e a parte da máquina ou equipamento a que se referem, e não deve ser utilizada somente a inscrição de “perigo”.

2.2.2 ABNT NBR ISO 12100:2013

A ABNT NBR ISO 12100 foi elaborada no Comitê Brasileiro de Máquinas e Equipamentos Mecânicos, pela Comissão de Estudo de Segurança de Máquinas de Uso Geral (ABNT, 2013).

Esta Norma é uma adoção idêntica, em conteúdo técnico, estrutura e redação, à ISO 12100:2010, que foi elaborada pelo *Technical Committee Safety of machinery*, conforme ISO/IEC Guide 21-1:2005.

A ABNT NBR ISO 12100:2013 detalha princípios gerais e metodologia destinados a buscar a obtenção de segurança em projetos de máquinas. Essa norma especifica princípios para apreciação e redução de riscos que contribuem no alcance desse objetivo.

Na norma encontram-se apresentados procedimentos que visam facilitar a identificação de perigos, assim como a estimativa e avaliação dos riscos ao longo de todas as fases da vida útil da máquina, que englobam não apenas o momento de operação, mas todas as interações entre uma pessoa e a máquina. Além disso, esses procedimentos visam auxiliar na eliminação dos perigos ou proporcionar uma redução adequada do risco. O documento também oferece orientações para a documentação e verificação do processo de apreciação e redução de riscos.

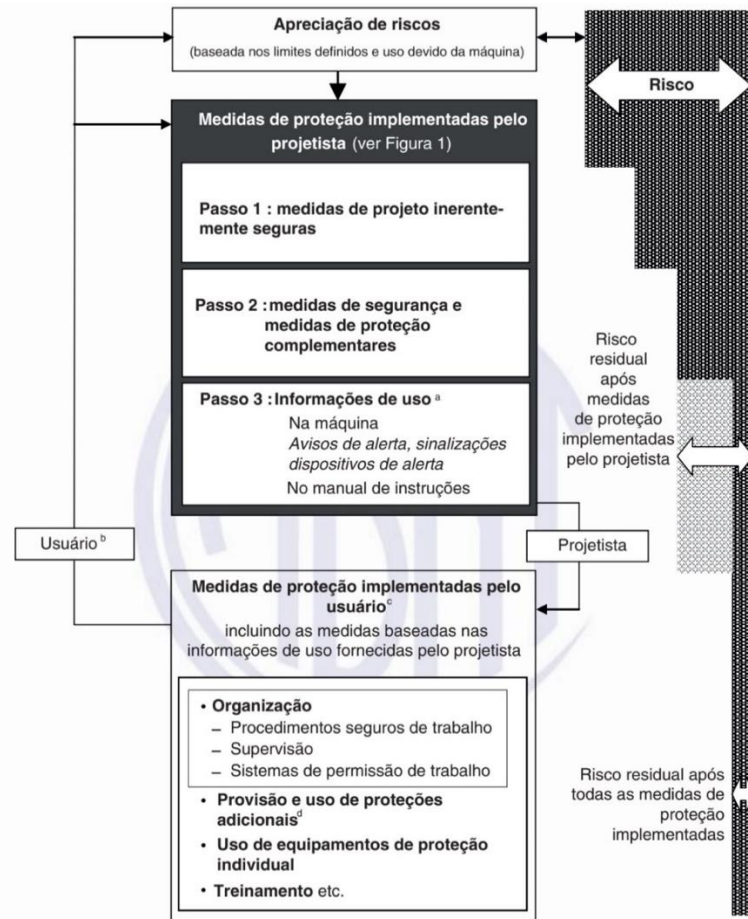
Segundo a ABNT (2013), a apreciação de riscos é composta por uma série de etapas que permite, de forma sistemática, analisar e avaliar os riscos associados à máquina.

O processo de execução da apreciação de riscos conforme a ABNT NBR ISO 12100 compreende as seguintes etapas:

- a) análise de riscos que, por sua vez, consiste:
 - determinação dos limites da máquina,
 - identificação dos perigos, e
 - estimativa dos riscos, e
- b) avaliação de riscos.

Ao passo que cada etapa da apreciação de riscos é realizada, os riscos aos quais os usuários do laboratório estarão expostos diminuem como pode-se observar na Figura 1.

Figura 1 - Etapas da apreciação de riscos

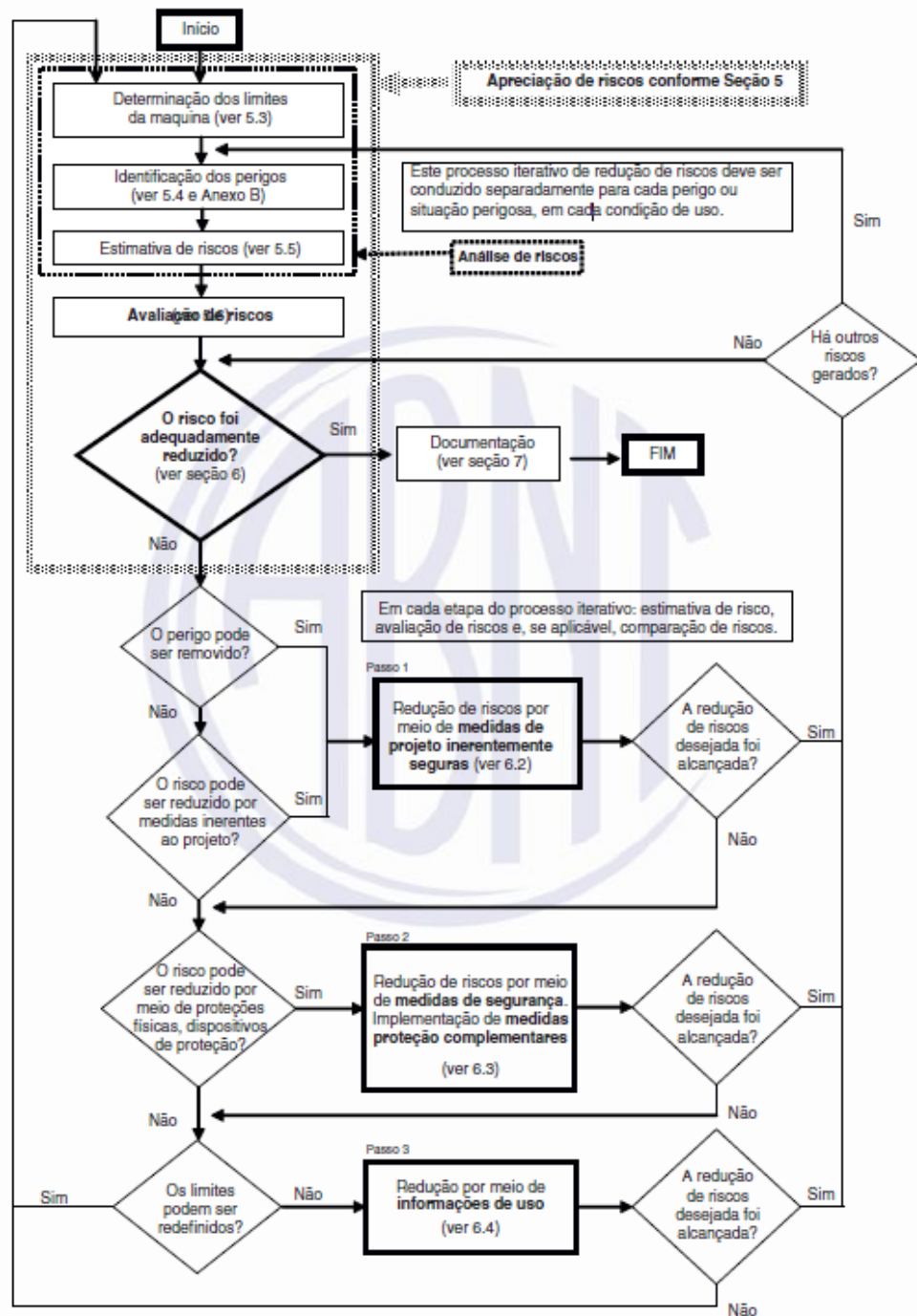


Fonte: ABNT (2013)

Após o processo de apreciação de riscos, sempre que julgado necessário, passa-se para a fase de redução de riscos. A repetição deste processo pode ser essencial para eliminar o maior número possível de perigos e, ao mesmo tempo, reduzir eficazmente os riscos por meio da implementação de medidas de proteção.

A representação do esquema de etapas a serem seguidas podem ser visualizadas na Figura 2.

Figura 2 - Representação esquemática do processo de apreciação e redução de riscos



Fonte: ABNT (2013)

Quanto aos elementos de risco, o item 5.5.2 da norma estabelece que os riscos associados a uma determinada situação perigosa depende dos seguintes parâmetros:

- a) a gravidade do dano;
- b) a probabilidade de ocorrência desse dano, que é função:
 - da exposição de pessoa(s) ao perigo,
 - da ocorrência de eventos perigosos, e
 - das possibilidades técnicas e humanas de se evitar ou limitar os danos.

Em relação ao que se entende por gravidade do dano, a norma considera que seria o resultado do perigo considerado. Enquanto a probabilidade de ocorrência do dano depende de alguns fatores como exposição de pessoas, a ocorrência de eventos perigosos e possibilidade de evitar ou limitar o dano.

No que diz respeito a gravidade do dano ela pode ser classificada como leve, grave ou fatal além de considerar-se a extensão do dano que avalia se é causado a uma ou várias pessoas. A norma propõe que nesta etapa,

Ao se realizar uma avaliação de risco, o risco a ser considerado para cada perigo deve ser aquele relativo à severidade mais provável, por sua vez, referente ao dano mais provável, entretanto, a maior gravidade previsível deve também ser levada em consideração, mesmo que a probabilidade de tal ocorrência não seja alta (ABNT, 2013, p. 19).

Quanto a probabilidade de ocorrência de danos, o item 5.5.2.3 engloba alguns pontos necessários para avaliação.

O item 5.5.2.3.1 informa que a exposição de pessoas ao perigo influencia a probabilidade de ocorrência de um dano. Fatores a serem considerados ao estimar a exposição incluem:

- a) a necessidade de acesso à zona de perigo (para a operação normal, ajustes ou correções no funcionamento, manutenção ou reparo etc.);
- b) a natureza do acesso (por exemplo, para alimentação manual);
- c) o tempo de permanência na zona de perigo;
- d) o número de pessoas que necessitam de acesso;
- e) a frequência de acesso.

O item 5.5.2.3.2 aborda a ocorrência de eventos perigosos como um fator que influencia a probabilidade de ocorrência de um dano. Fatores a serem considerados ao estimar a ocorrência de um evento perigoso incluem, entre outros:

- a) a confiabilidade e outros dados estatísticos;
- b) o histórico de acidentes;
- c) o histórico de danos à saúde;
- d) a comparação de riscos.

O item 5.5.2.3.3 destaca que a possibilidade de se evitar ou limitar um dano influencia a probabilidade de ocorrência do dano. Fatores a serem considerados ao estimar a possibilidade de se evitar ou limitar danos incluem:

- a) diferentes pessoas que possam estar expostas ao(s) perigo(s), por exemplo:
 - qualificadas;
 - não qualificadas.
- b) quão rapidamente a situação perigosa pode levar ao dano, por exemplo:
 - subitamente;
 - rapidamente;
 - lentamente.
- c) grau de ciência do risco, por exemplo:
 - por meio de informações de caráter geral, em especial, contidas nas instruções de uso;
 - pela observação direta;
 - por meio de sinais de alerta e dispositivos indicadores, em particular, dispostos na própria máquina;
- d) a capacidade humana de evitar ou limitar o dano (por exemplo, reflexo, agilidade, possibilidade de fuga);
- e) a experiência prática e conhecimento, por exemplo:
 - das máquinas;
 - de máquinas semelhantes;
 - nenhuma experiência.

2.2.3 ABNT ISO/TR 14121-2:2018

Como um guia prático para a implementação da ABNT NBR 12100:2013, surge a ABNT ISO/TR 14121-2:2018 exemplificando e destrinchando os métodos de apreciação de riscos. A norma orienta sobre a utilização de diversos métodos e ferramentas acessíveis para alcançar o objetivo de apreciação de riscos. A ABNT (2018) ressalta que não há grande relevância especificamente em qual método se escolhe e sim na eficácia de sua execução, pois o método implementado será escolhido exclusivamente por meio de particularidades de cada empresa, processo ou preferências pessoais.

Para a apreciação de riscos tomou-se como referência principal de consulta de ferramentas e métodos a ISO/TR 14121-2:2018, que é o documento que

(...) fornece orientação prática sobre a realização de apreciação de riscos para máquinas de acordo com a ABNT NBR ISO 12100 e descreve vários métodos e ferramentas para cada etapa do processo. Ele fornece exemplos de diferentes medidas que podem ser usadas para reduzir os riscos e é destinado a ser utilizado para a apreciação de riscos em uma ampla variedade de máquinas em termos de complexidade e potencial de dano. Seus usuários pretendidos são os envolvidos no projeto, instalação ou modificação de máquinas (ABNT, 2018, p. 1).

Segundo a norma, a apreciação de riscos tem como objetivo identificar os perigos, além de estimar e avaliar os riscos para que possam ser reduzidos. A norma prevê a necessidade de revisão da apreciação de riscos quando ocorrer a finalização projeto, quando existir um protótipo e após a utilização da máquina.

A determinação de limites da máquina tem como objetivo obter uma descrição clara das características mecânicas e físicas da máquina, sua capacidade funcional, sua intenção de uso e possíveis usos indevidos previsíveis, além do ambiente típico onde será operada e mantida. Isso é facilitado pela análise das funções da máquina e das tarefas relacionadas à forma como ela é utilizada.

É de referir que assim como na ISO/TR 14121-2:2018 quanto na ABNT NBR ISO 12100, assume-se que a identificação de perigos é o passo mais importante em qualquer apreciação de riscos, pois segundo as normas, somente quando um perigo tiver sido identificado, é possível tomar medidas para reduzir os riscos associados com ele. O propósito da identificação de perigos é gerar um inventário de perigos, situações perigosas e/ou eventos perigosos que possibilitem descrever os cenários potenciais de acidentes, especificando como e quando uma situação perigosa pode resultar em danos. A norma ISO/TR 14121-2 apresenta um exemplo de um formulário fictício para identificação de perigos (Figura 3), servindo como referência.

Figura 3 - Formulário exemplo de identificação de perigo

Apreciação de risco (identificação de perigo)								
Máquina		Máquina: moldureira de eixo vertical (tupia)			Analista		<Nome>	
Fontes		Especificações de projeto preliminar			Versão atual		3.0	
Extensão		Fase de uso: ajuste e operação			Data			
Método		Lista de verificação: ABNT NBR ISO 12100:2013, Anexo B			Página		1	
Ref. nº	Ciclo da vida	Tarefa	Zona de perigo	Perigo	Situação perigosa	Cenário de acidente	Evento perigoso	Ref. nº
2	Fase de uso montagem	Troca de ferramenta	Zona de trabalho	Corte de dedos ou das mãos na bordas afiadas da ferramenta	Trabalho próximo/com a ferramenta (aperto e desaperto)		Contato com bordas afiadas devido à rotação do eixo causado pela força de aperto/desaperto	2
3							Contato com bordas afiadas devido à perda de controle no uso inadequado de ferramentas manuais utilizadas para fixação da fresa	3
9			Zona de transmissão	Peças que se tornaram vivas sob condições de falha	Trabalho próximo/com a ferramenta (aperto e desaperto)		Contato indireto	9
16		Testes	Zona de trabalho e entorno da máquina	Impacto por ferramentas ejetadas, partes da máquina (por exemplo, guia)	Operador e outras pessoas expostas à ejeção de partes (ajustar a altura do eixo, alimentação de peças de trabalho)		Quebra da fresa ou partes da guia, (causada por uma regulagem incorreta da altura do eixo, um ajuste indevido da agulha, uma peça de trabalho inadequada por seu material; tamanho ou forma uma fresa inadequada uma velocidade inadequada da fresa fixação inadequada etc.)	16
18	Fase de uso: operação	Fresagem	Zona de trabalho	Corte dos dedos ou das mãos, enroscar em elementos rotativos (fresa)	Trabalho próximo à fresa (alimentação de peças de trabalho)		Contato com partes móveis devido à perda de controle de peça trabalhada (material defeituoso da peça de trabalho alimentação da peça de trabalho na mesma direção que a rotação da fresa - fresamento concordante (<i>climb cutting</i>) velocidade de alimentação da peça de trabalho inadequada etc.)	18
28				Fogo	Operador e outras pessoas expostas		Ignição de pó/cavaco devido à fonte de energia elétrica	28

Fonte: ABNT (2018)

Sobre as estimativas de riscos a norma assume que estas expressam o risco estimado por meio qualitativo ou quantitativo. Engloba a gravidade do dano e a probabilidade de ocorrência deste dano. Existem muitas abordagens que podem ser utilizadas para este fim. A norma sugere e exemplifica algumas ferramentas de estimativas de riscos. Sendo estas: Matriz de riscos, gráfico de riscos, pontuação numérica e híbrida.

2.2.3.1 Matriz de risco

O item 6.2 da norma trata da matriz de risco que é definida como uma representação por meio de uma tabela, que realiza a combinação de classes de gravidade do dano com a sua probabilidade de ocorrência (Figura 4).

A utilização de uma matriz de riscos é uma prática direta e eficaz. Para cada situação de perigo identificada, são selecionadas classes para cada parâmetro, de acordo com as definições estabelecidas. O valor contido na célula em que as colunas e linhas correspondentes a cada categoria se cruzam indica o nível estimado de risco para a situação identificada. Esse resultado pode ser expresso através de um índice numérico (por exemplo, de 1 a 6 ou de A a D) ou por meio de termos qualitativos como "baixo", "médio", "alto" ou equivalentes.

Figura 4 - Exemplo de matriz de estimativa de riscos

Probabilidade de ocorrência do dano	Gravidade do dano			
	Catastrófica	Grave	Moderada	Baixa
Muito provável	Alto	Alto	Alto	Médio
Provável	Alto	Alto	Médio	Baixo
Improável	Médio	Médio	Baixo	Desprezível
Remota	Baixo	Baixo	Desprezível	Desprezível

Fonte: ABNT (2018)

Para cada perigo ou situação perigosa, é recomendável estimar a gravidade dos danos ou consequências potenciais que podem ocorrer. A gravidade geralmente é avaliada em termos de lesão ou dano à saúde, utilizando a matriz de riscos apropriada. Por exemplo, os níveis de gravidade da Figura 4 são descritos como:

- a) **catastrófica:** morte ou lesão incapacitante permanente, ou doença que impossibilita o retorno ao trabalho.
- b) **grave:** lesão grave debilitante ou doença que permite retorno ao trabalho após um período.
- c) **moderada:** lesão significativa ou doença que requer tratamento além de primeiros socorros, mas permite retorno ao mesmo posto de trabalho.
- d) **baixa:** ausência de lesão ou lesão leve que necessita apenas de primeiros socorros, com pouco ou nenhum tempo de trabalho perdido.

É de referir que a estimativa da gravidade geralmente incide sobre o pior dano grave que pode ocorrer de forma realista (pior possível), em vez de a pior consequência concebível.

Para cada perigo ou situação perigosa (tarefa), convém que seja estimada também a probabilidade de ocorrência de danos. Em relação a estimativa da probabilidade de ocorrência de danos deve-se considerar:

- a) frequência e duração da exposição a um perigo;
- b) número de pessoas expostas;
- c) pessoal que executa as tarefas;
- d) história da máquina/tarefa;
- e) ambiente de trabalho;
- f) fatores humanos;
- g) confiança das funções de segurança;

- h) possibilidade de burlar ou contornar as medidas de proteção e de redução de risco;
- i) capacidade de manter as medidas de proteção e de redução de riscos;
- j) capacidade de evitar danos.

Assim como na avaliação da gravidade, existem várias escalas utilizadas para estimar a probabilidade de ocorrência de danos. Alguns métodos se limitam aos termos utilizados sem fornecer outras descrições. Outras matrizes oferecem detalhamentos adicionais, como exemplificado na Figura 4:

- a) muito provável: quase certo de ocorrer;
- b) provável: pode ocorrer;
- c) improvável: não é provável ocorrer;
- d) remota: tão improvável como estar perto de zero.

Após estimar a probabilidade e a gravidade, um nível inicial de risco pode ser determinado utilizando a matriz de riscos escolhida. Esta matriz mapeia os fatores de risco para diferentes níveis de risco, conforme exemplificado na Figura 4.

Utilizando a Figura 4 como referência, por exemplo, uma situação classificada como "grave" em gravidade e "provável" em probabilidade resulta em um nível de risco considerado "alto". A forma como a combinação dos fatores de gravidade e probabilidade é feita varia entre diferentes matrizes de riscos. O resultado dessa combinação geralmente é representado em uma escala de baixo a alto risco. Devido à natureza geralmente subjetiva da estimativa de riscos, os níveis de risco também são subjetivos.

2.2.3.2 Gráfico de riscos

O item 6.3 define que um gráfico de riscos é construído com base em uma árvore de decisão. Cada nó no gráfico representa um aspecto do risco (como gravidade, exposição, probabilidade de ocorrência de um evento perigoso e possibilidade de evitá-lo), enquanto cada ramo partindo de um nó representa uma categoria desse aspecto (por exemplo, gravidade leve ou gravidade grave).

A norma destaca que os gráficos de riscos são úteis para ilustrar a quantidade de redução de riscos proporcionada por uma medida de proteção, redução dos riscos e qual elemento de risco ela influencia.

O item 6.3.2 da norma menciona os quatro elementos de risco, conforme estabelecido cada um com suas limitações específicas:

Gravidade do dano: S

- a) S1: lesão leve (geralmente reversível; exemplos: arranhão, laceração, contusão, ferida que requer primeiros socorros, etc.). Incapacidade de executar a mesma tarefa por até dois dias;
- b) S2: lesão grave (normalmente irreversível, podendo resultar em fatalidade; exemplos: fraturas, amputações, esmagamentos, lesões que exigem sutura, trauma musculoesquelético severo, etc.). Incapacidade de executar a mesma tarefa por mais de dois dias;

Frequência e/ou duração da exposição ao perigo: F

- a) F1: raro a muito frequente e/ou curta duração da exposição. Duas vezes ou menos por turno de trabalho ou menos de 15 minutos de exposição acumulada por turno de trabalho;
- b) F2: frequente a contínua e/ou longa duração da exposição. Mais do que duas vezes por turno de trabalho ou mais de 15 minutos acumulados de exposição por turno de trabalho.

Probabilidade de ocorrência de um evento perigoso: O

- a) O1: baixa (tão remota que pode ser assumido que a ocorrência pode não ser experimentada). Tecnologia madura, comprovada e reconhecida em aplicação de segurança; robustez;
- b) O2: média (possível de ocorrer em algum momento). Falha técnica observada nos dois últimos anos. Ação humana inadequada por uma pessoa bem treinada, ciente dos riscos e com mais de seis meses de experiência na estação de trabalho;
- c) O3: alta (possível de ocorrer com frequência). Falha técnica observada regularmente (a cada seis meses ou menos). Ação humana inadequada por uma pessoa inexperiente, com menos de seis meses de experiência na estação de trabalho.

Possibilidade de evitar ou reduzir os danos: A

- a) A1: possível sob certas condições:
 - se as peças se moverem a uma velocidade inferior a 0,25 m/s e o trabalhador exposto estiver familiarizado com o risco e com a indicação

- de uma situação perigosa ou de um evento iminente; o trabalhador também deve ser capaz de observar a situação perigosa e reagir;
- dependendo das condições específicas (temperatura, ruído, ergonômicas, etc.).

b) A2: impossível.

Conforme ABNT ISO/TR 14121-2:2018, antes de estimar o risco utilizando o gráfico de riscos, é recomendado descrever o perigo relacionado, a situação perigosa, o evento perigoso e os danos potenciais conforme as diretrizes estabelecidas na ABNT NBR ISO 12100:2013, seção 5.4. A ABNT ISO/TR 14121-2:2018 possui em anexo várias tabelas com exemplos de perigo relacionado, situação perigosa e evento perigoso para diversas atividades para auxiliar nessa descrição. Além disso, a norma também fornece em anexo um exemplo de formulário (Figura 5) que pode ser utilizado para registrar os resultados desta primeira estimativa dos riscos.

Figura 5 - Formulário para gráfico de riscos

Análise de risco inicial e após a redução do risco										
Atividade		Condições perigosas				Estimativa de risco cálculo do índice de risco				
Nº	Atividade	Perigo	Situação Perigosa	Evento perigoso	Possibilidade de dano	Gravidade (S1/S2)	Frequência/Exposição (F1/F2)	Probabilidade de ocorrência (O1/O2/O3)	Possibilidade de evitar (A1/A2)	Índice de risco (1 a 6)
1										
2										
3										
4										
5										
6										

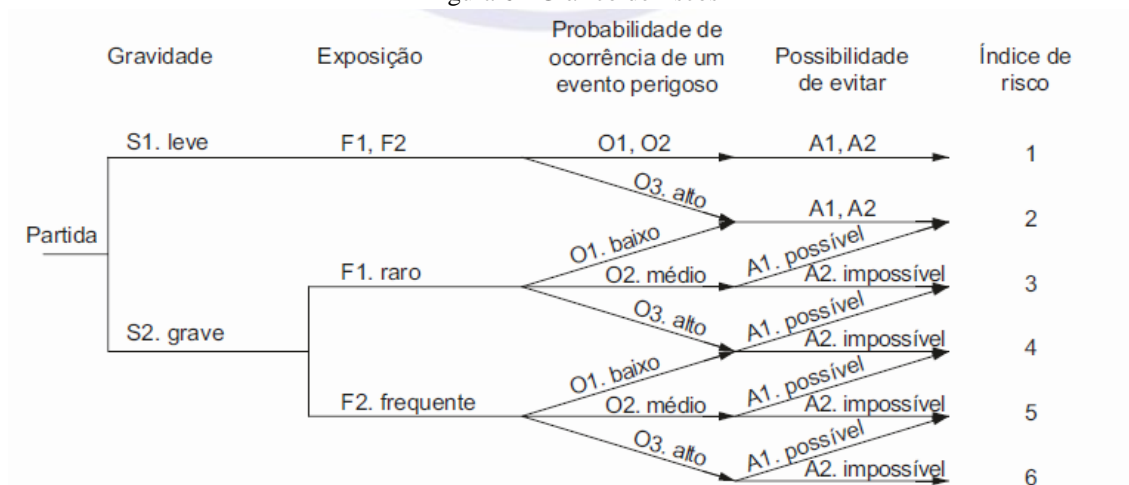
Fonte: ABNT (2018)

O formulário é preenchido com o resultado desta primeira estimativa dos riscos; para cada situação perigosa, é atribuído um índice de risco. Neste exemplo, a estimativa de cada situação perigosa é categorizada da seguinte forma:

- a) um índice de risco de 1 ou 2 corresponde ao menor risco;
- b) um índice de risco de 3 ou 4 corresponde a um risco médio;
- c) um índice de risco de 5 ou 6 corresponde ao risco mais elevado.

Após uma análise das possíveis medidas para reduzir o risco, recomenda-se que ele seja posteriormente estimado novamente, utilizando o mesmo gráfico de riscos da mesma forma que no projeto inicial.

Figura 6 - Gráfico de riscos



Fonte: ABNT (2018)

O item 6.3.3 da norma destaca que o gráfico de riscos proposto não é ideal para avaliar os riscos associados a certos perigos à saúde, como o ruído ou problemas ergonômicos.

2.2.3.3 Pontuação numérica

O item 6.4 aborda as ferramentas de pontuação numéricas. Essas utilizam dois ou mais parâmetros, os quais são categorizados em várias classes de forma similar às matrizes e gráficos de risco. Embora a utilização de valores numéricos possa transmitir uma impressão de objetividade na avaliação do nível de risco, a atribuição de pontuações a cada elemento de risco permanece altamente subjetiva.

O item 6.4.2 revela que são levados em consideração dois parâmetros, gravidade e probabilidade de ocorrência de danos, cada um dividido em quatro classes.

O parâmetro de gravidade possui as seguintes pontuações:

- catastrófica: $SS = 100$;
- grave: $90 \leq SS \leq 99$;
- moderada: $30 \leq SS \leq 89$;
- baixa: $0 \leq SS \leq 29$.

A probabilidade de ocorrência de danos é classificada com as seguintes pontuações:

- muito provável: $PS = 100$ (provável ou certo de ocorrer);
- provável: $70 \leq PS \leq 99$ (pode ocorrer, mas não é provável);

- c) improvável: $30 \leq PS \leq 69$ (não é suscetível de ocorrer);
 d) remota: $0 \leq PS \leq 29$ (ocorrência de forma remota, essencialmente zero).

Neste exemplo, a fórmula para a combinação da probabilidade de ocorrência de danos e a gravidade é dada por $PS + SS = RS$, onde RS é a pontuação dos riscos. Um exemplo pode ser observado na Figura 7.

Figura 7 – Categorias usadas na pontuação de riscos

$160 \leq$	alta	-
$120 \leq$	média	≤ 159
$90 \leq$	baixa	≤ 119
$0 \leq$	desprezível	≤ 89

Fonte: ABNT (2018)

2.2.3.4 Ferramenta híbrida

O item 6.5 trata de ferramentas híbridas para a estimativa de riscos que são métodos que combinam duas abordagens distintas. Frequentemente, esses métodos são representados por gráficos de riscos que incorporam matrizes ou sistemas de pontuação para um dos elementos de risco. Este método de estimativa de riscos quantifica os parâmetros qualitativos, representando uma abordagem híbrida que integra uma pontuação numérica e uma matriz de riscos. Um exemplo é dado na Figura 8.

Figura 8 – Exemplo de ferramenta híbrida

Produto _____ Documento nº _____
 Publicado por: _____ Parte do documento nº _____
 Data: _____

Estimativa de risco

Área preta = Alto risco
 Área cinza = Médio risco
 Área branca = Baixo risco

Estimativa de risco preliminar

Consequências	Gravidade Se	Classe CI (Fr + Pr + Av)				Frequência Fr	Probabilidade Pr	Probabilidade de evitar Av
		4	5 - 7	8 - 10	11 - 13			
Perda de um olho ou braço, morte	4					$\geq 1h$	Muito alta	5
Perda dos dedos permanentemente	3					$< 1h$ a $\geq 24h$	Provável	4
Reversível, necessidade de atenção médica	2					$< 24h$ a $\geq 2sem.$	Possível	3
Reversível, somente primeiros socorros	1					$< 2sem.$ a $\geq 1ano$	Raramente	2
						$< 1ano$	Desprezível	1

Ref. nº.	Tipo Perigo nº.	Perigo	Se	Fr	Pr	Av	CI
1							
2							
3							

Detalhes (descrição do cenário do acidente) da referência nº.

1	
2	
3	

Fonte: ABNT (2018)

2.3 *Retrofitting*

Para Muller (2023), quando uma corporação necessita aumentar a capacidade produtiva de uma máquina devido ao incremento na demanda, à adaptação a novas especificações do produto, ao fornecimento de segurança operacional ou à superação de limitações funcionais, ela se depara com três alternativas: adquirir um equipamento pronto no mercado, construir uma nova máquina ou modernizar uma máquina existente. Em todas essas opções, é imperativo assegurar que o equipamento esteja em total conformidade com os requisitos estabelecidos pela Norma Regulamentadora NR-12.

A aquisição de uma máquina nova implica em diversos custos, como transporte logístico, ajustes de layout, instalação na linha de produção e treinamento dos operadores. Enquanto a modernização de uma máquina não apenas reduz a probabilidade de necessidade de manutenção corretiva diante de falhas ou quebras, mas também engloba o *retrofitting* do equipamento, que consiste na reformulação e na modernização de suas partes e componentes mecânicos desgastados (Muller, 2023).

Diante desses três cenários, é razoável concluir que o *retrofitting* é a melhor opção financeira porque o retorno ocorre em um horizonte de tempo de curto a médio prazo, e o conhecimento da máquina se mantém com os próprios funcionários da empresa (Muller, 2023).

Em muitas circunstâncias, tomar o *retrofitting* como estratégia representa a solução mais prática e economicamente vantajosa para a atualização de máquinas obsoletas que não apresentam mais o mesmo desempenho, preservando suas características originais (Araújo, 2019).

2.4 SMT

O processo SMT (Tecnologia de Montagem em Superfície) é um método de fixação e conexão de componentes em PCIs (Placas de Circuito Impresso), que atualmente é amplamente utilizado para conjuntos eletrônicos de consumo de baixo custo e alta produção (Licari e Swanson, 2011).

Juha (1988) descreve que neste processo são utilizados componentes SMDs (Dispositivo Montado na Superfície) que permanecem fixados na PCI exclusivamente por meio de suas conexões de solda, indicando que a conexão eletromecânica da placa está intrinsecamente ligada à resistência da conexão de solda.

No início da montagem SMT, a aplicação da pasta de solda é efetuada através da *Solder Printer* que pode ser manual, semiautomática ou automática (Figura 9), utilizando a técnica de serigrafia com um estêncil metálico posicionado acima da superfície da placa, no qual um rodo

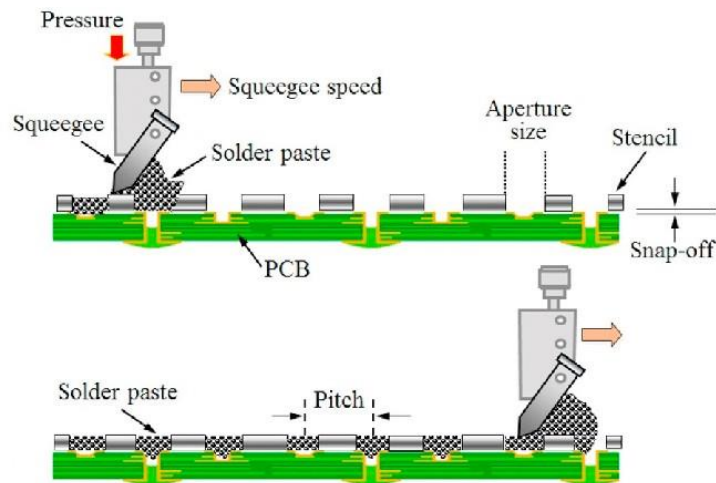
metálico pressiona e espalha a pasta de solda sobre um estêncil, permitindo a passagem da pasta somente sobre os *pads* da placa em que serão inseridos os componentes (Figura 10).

Figura 9 - Solder Printer automática DEK



Fonte: Hi-Tech (2023)²

Figura 10 - Deposição de pasta de solda



Fonte: Khader e Yoon (2018)

Após a inspeção visual a placa é transportada para alocação de componentes em uma máquina insersora denominada *Pick and Place* (Figura 11), que retira os componentes com bicos denominados *nozzles* (Figura 12) dos *feeders*, de uma fita ou de uma bandeja com componentes e os insere na PCI de acordo com a programação realizada. Como descreve Strauss (1998), a colocação de dispositivos montados em superfície (SMDs) é simples e as máquinas *Pick and Place* podem lidar com uma variedade de componentes.

² Disponível em: <https://hitech5.com/dek-horizon-011x-stencil-printer/>. Acesso em: 19 dez. 2023

Os modelos de inseroras possuem variações que são determinadas de acordo com as especificações e requisitos das placas projetadas, considerando não apenas o tamanho, mas também a complexidade de leitura dos componentes. Isso permite uma escolha mais precisa de acordo com as exigências específicas de cada projeto em termos de características e requisitos dos componentes e da programação para cada placa.

Figura 11 - *Pick and place* NeoDen BR8



Fonte: Ipesi (2021)³

Figura 12 - *Nozzles* da *Pick and Place*



Fonte: M-Tek (2023)⁴

Após a deposição da pasta de solda e da inserção de todos os componentes, a PCI é direcionada ao forno de refusão (Figura 13) para a soldagem dos componentes na placa por meio da refusão da pasta de solda. O forno possui zonas de aquecimento e resfriamento, além de uma esteira rolante que transporta a placa por todas as zonas.

Uhlmann (2015) descreve as etapas de refusão em:

³ Disponível em: www.ipesi.com.br. Acesso em 19 dez. 2023.

⁴ Disponível em: www.mtek.co.uk. Acesso em 19 dez. 2023.

- a) pré-aquecimento: durante esta etapa, os componentes, a PCI e a pasta de solda têm sua temperatura elevada até a evaporação dos solventes da pasta de solda;
- b) desgaseificação: nesta fase a temperatura é elevada de maneira uniforme com o propósito de ativar o fluxo e igualar a temperatura na placa;
- c) refusão: nesta etapa a temperatura é superior ao ponto de refusão da pasta de solda, para que as esferas de solda se fundam, formando então a junta de solda, e;
- d) resfriamento: a placa com todos seus componentes refundidos tem sua temperatura reduzida gradativamente.

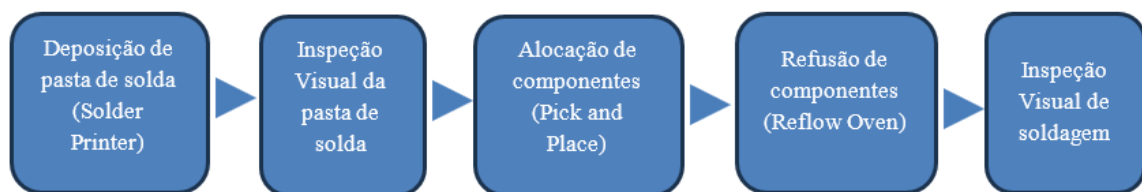
Figura 13 - *Reflow Oven*



Fonte: All Point (2023)⁵

Em termos gerais, as fases do processo SMT podem ser ilustradas pelas etapas apresentadas na Figura 14.

Figura 14 - Etapas do processo SMT



Fonte: Autora (2023)

Vale ressaltar que a tecnologia empregada na utilização para a montagem de componentes na PCI depende da complexidade do projeto da placa eletrônica e da tecnologia dos componentes.

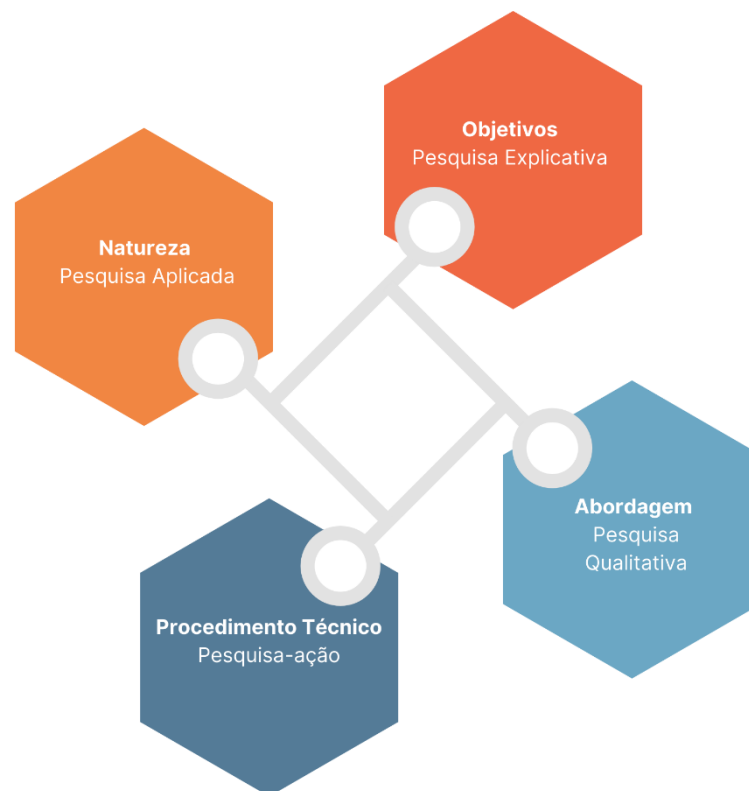
⁵ Disponível em: www.allpoint.com.br. Acesso em: 19 dez. 2023.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 Categorização da pesquisa

Quanto aos procedimentos metodológicos, esta pesquisa se caracteriza por ser de natureza aplicada; adota uma abordagem do problema de forma qualitativa; em relação aos objetivos, seu propósito é explicativo e será utilizado o procedimento técnico de pesquisa-ação (Figura 15).

Figura 15 - Categorização da pesquisa



Fonte: Autora (2024)

Por natureza aplicada, entende-se que a pesquisa tem como objetivo principal gerar conhecimentos que possam ser utilizados em uma aplicação prática em prol de solucionar problemas específicos (Prodanov, 2013). Lakatos e Marconi (2003, p. 160) complementam que a pesquisa aplicada é aquela que “estuda um problema relativo ao conhecimento científico ou à sua aplicabilidade”.

Quanto a sua abordagem qualitativa é dita assim, pois em seu processo trabalha com a interpretação dos fenômenos e a atribuição de significados (Prodanov, 2013). Em relação aos objetivos de uma pesquisa explicativa, o autor ainda aponta que esta é utilizada com fins de explicar os motivos pelos quais ocorrem algo e suas causas, no qual se faz necessário o registro,

a análise, a classificação e a interpretação dos fenômenos observados. Ressalta-se que “esse é o tipo de pesquisa que mais aprofunda o conhecimento da realidade, porque explica a razão, o porquê das coisas” (Gil, 2002, p. 42).

O procedimento técnico da pesquisa-ação envolve o estudo de um objeto com o propósito de aprimorá-lo. Nesse tipo de pesquisa, o pesquisador desempenha simultaneamente o papel de investigador e agente ativo na promoção de melhorias no objeto de estudo. Gil (2008) relata que esse método se caracteriza pelo envolvimento dos pesquisadores e dos pesquisados no processo de pesquisa. Mello *et al.* (2012) corroboram com o autor afirmando que na pesquisa-ação, o pesquisador utiliza a observação participante, interfere no objeto de estudo de modo cooperativo com os demais participantes da ação, buscando resolver um problema e contribuir para a base de conhecimento.

Os ciclos do processo da pesquisa-ação seguem cinco fases: planejamento; coleta de dados; análise de dados e planejamento de ações; implementação; avaliação de resultados e elaboração do relatório (Mello *et al.*, 2012).

Para Tripp (2005), a pesquisa-ação varia do termo investigação-ação na qual se empregam técnicas de pesquisa para informar o planejamento e a avaliação das melhorias obtidas e se enquadra como pesquisa-ação técnica, pois constitui uma abordagem na qual o pesquisador toma uma prática existente como ponto de referência e a implementa em sua própria esfera de prática para realizar uma melhoria. Ainda para o autor, se diz "técnica" dado que o pesquisador age de modo inteiramente mecânico, seguindo uma espécie de manual, no qual lhe é fornecido informações racionais, objetivos, materiais e procedimentos que devem de alguma maneira se aplicar ao projeto em questão, mantendo-se alinhados aos objetivos e resultados originais na medida do possível.

3.2 Descrição da empresa

O Hub Tecnologia e Inovação é um Centro de Pesquisa vinculado à Universidade do Estado do Amazonas (UEA), com foco no avanço de competências em Pessoas, Tecnologia, Inovação e Negócios. Ele oferece soluções abrangentes em áreas que abarcam Software, Hardware, Automação, Química e Empreendedorismo.

O surgimento do HUB foi resultado de uma iniciativa pioneira no campo de sistemas embarcados na UEA-EST. Através de um edital publicado pela Finep, o projeto foi aprovado, dando início às obras em 2013. A inauguração do edifício ocorreu em outubro de 2015. Em julho de 2016, o prédio recebeu a certificação de eficiência energética, marcando o início de inúmeros projetos realizados dentro do HUB.

O Hub Tecnologia e Inovação tem como missão primordial potencializar o desenvolvimento técnico e pessoal de nossos parceiros, promovendo a integração do conhecimento em um ambiente caracterizado por uma gestão eficiente, criativa e ética, que opera com total transparência. Nossa dedicação visa fornecer soluções tecnológicas, inovadoras e sustentáveis para atender às necessidades em constante evolução de nossos clientes e colaboradores. Possui como visão ser reconhecido como um referencial no desenvolvimento tecnológico e humano, adotando abordagens inovadoras e sustentáveis que transcendam os desafios do nosso tempo. Como valores, se destacam a entrega das promessas realizadas, se comprometendo dessa forma a prometer apenas o que se pode cumprir, mantendo sempre a integridade e a excelência como pilares fundamentais de atuação.

3.3 Delimitação da pesquisa

Os cursos de engenharia no Brasil enfrentam o desafio de adaptar seus processos para preparar os alunos para os desafios da Indústria 4.0. Nesse contexto, a parceria estratégica entre uma empresa localizada no Polo Industrial de Manaus e a Universidade do Estado do Amazonas deu origem à iniciativa de criar uma especialização em Manufatura Avançada. Com essa especialização, emergiu a necessidade de desenvolver um Laboratório de Manufatura Avançada.

Este laboratório tem o objetivo de fornecer aos alunos, durante as aulas da especialização, uma infraestrutura avançada que permita aprimorar suas habilidades e experiências, preparando-os para as demandas do mercado atual. Optou-se por implementar uma linha de processo de SMT (Figura 16) devido à sua relevância na produção eletrônica moderna. Contudo, a ideia inicial sobre criação de uma linha de produção totalmente automatizada apresentou desafios significativos, incluindo a complexidade técnica e a necessidade de investimentos substanciais em tecnologia e treinamento especializado. Por este motivo optou-se pelo investimento em uma linha simplificada com equipamentos semiautomáticos.

Figura 16 – Linha SMT do laboratório



Fonte: Universidade do Estado do Amazonas (2023)

O objeto de estudo do presente trabalho é o processo de impressão de pasta de solda, com foco específico na máquina de impressão de pasta solda, também conhecida como *Solder Printer* (Figura 17). Esta máquina é responsável pela etapa de deposição da pasta de solda nas PCI's. A escolha desse processo se fundamenta em sua alta criticidade dentro do contexto da fabricação de PCIs por meio da *Solder Printer*. Este processo é identificado como o mais crítico devido à sua significativa contribuição e o frequente surgimento de defeitos durante a etapa de deposição de pasta de solda, onde a precisão e a qualidade da aplicação influenciam diretamente na integridade e desempenho dos circuitos eletrônicos.

Sob uma perspectiva de segurança, essa máquina foi identificada como apresentando maior risco para a integridade física dos operadores devido à proximidade necessária das áreas em movimento com lâminas durante a operação, bem como devido aos movimentos ascendentes e descendentes de suas partes móveis. Além disso, a necessidade frequente de limpeza da máquina contribui para aumentar a complexidade dos cuidados exigidos com a segurança no ambiente de trabalho.

Figura 17 - *Solder Printer*

Fonte: iTech (2023)

3.4 Etapas da pesquisa

O desenvolvimento da pesquisa começou com uma análise minuciosa e abrangente do laboratório de manufatura avançada, visando identificar as condições existentes e os potenciais riscos à segurança. Em seguida, procedeu-se à avaliação detalhada dos conceitos de segurança do trabalho, com ênfase nos requisitos específicos aplicáveis à operação do laboratório. Esta análise foi conduzida conforme as diretrizes normativas brasileiras pertinentes.

Durante a implementação do laboratório, houve uma avaliação dos riscos ocupacionais associados e a subsequente adequação dos procedimentos operacionais para atingir a conformidade com as normas de segurança. Foram levantados preliminarmente os perigos associados às atividades do laboratório, incluindo incêndio, choques elétricos, contaminação por substância tóxica, cegueira e/ou acidentes com as máquinas, por se tratar de novas instalações e novos processos. A partir dos perigos identificados foram avaliados seus relativos riscos. Assim, buscou-se assegurar um ambiente de trabalho seguro e em total conformidade com os requisitos legais.

Para avaliar a conformidade da *Solder Printer* com os requisitos normativos, foram utilizadas duas ferramentas distintas: uma apreciação de riscos associados a operação do equipamento baseada na NBR 12100 e na ISO/TR 14121-2:2018; e um *checklist* de itens baseados na NR-12, para verificar pontos de conformidade e não conformidade da máquina em relação aos requisitos da legislação.

Em posse dos resultados dessa avaliação de riscos foi então elaborada uma proposta com as sugestões de alterações e adequações necessárias com o objetivo principal de mitigar os

riscos inerentes à *Solder Printer* aos indivíduos que possam vir a operá-la, bem como realizar o cumprimento da legislação.

Com a proposta de adequação elaborada, foi possível solicitar os orçamentos com fornecedores, para fins de comparação de custos da adequação de uma máquina semiautomática em relação a aquisição de uma máquina automática que ofereceria menos riscos para um operador.

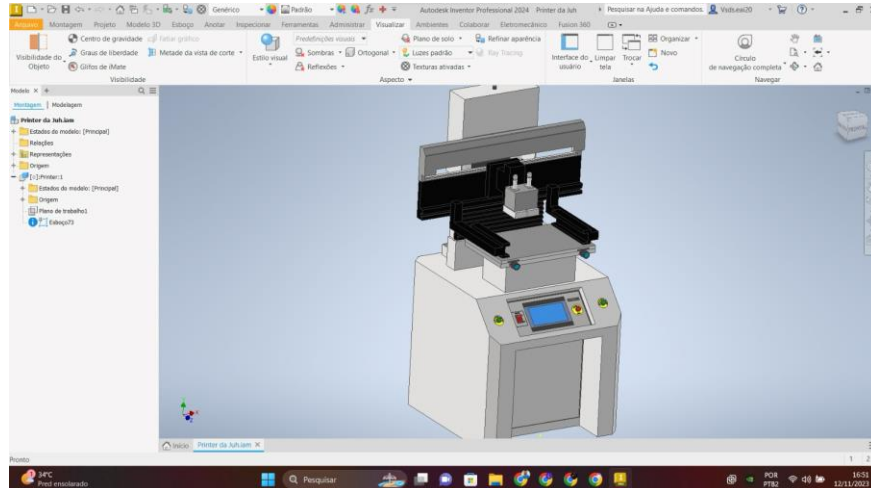
Após realizar as adaptações necessárias, foi executada a validação da adequação durante a operação da *Solder Printer*. Este procedimento tem como finalidade avaliar a eficácia da implementação sugerida, mantendo a conformidade com a norma, que requer a reavaliação periódica das proteções e a necessidade de sua manutenção, sempre que necessário.

3.5 Ferramentas

3.5.1 *Inventor*

Uma das ferramentas utilizados para auxiliar no estudo foi o *software Inventor*, que é um *software* de design CAD 3D da *Autodesk*, amplamente utilizado para a criação de projetos mecânicos por possuir ferramentas integradas para projeto de máquinas, chapas metálicas, projeto de estruturas, tubos e tubulações, cabos e chicotes, apresentações, renderização, simulação, entre outros (Autodesk, 2024). Sua aplicação neste estudo permitiu a modelagem precisa da proposta final de adequação da máquina *Solder Printer*, possibilitando realizar simulações avançadas que ajudam a prever falhas e a implementar melhorias no design, reduzindo significativamente os riscos associados ao processo de desenvolvimento.

Figura 18 – *Solder Printer* modelada com *Inventor*



Fonte: Autora (2023)

3.5.2 *Excel*

O *Microsoft Excel* foi outra ferramenta essencial utilizada neste trabalho, particularmente na criação e preenchimento de formulários durante a apreciação de riscos. O *Excel*, com sua capacidade de organização e análise de dados, foi empregado para compilar e avaliar os perigos identificados no processo de impressão de pasta de solda. Especificamente, foram desenvolvidos e preenchidos formulários para registrar os eventos perigosos e os tipos de risco associados, como mostrado no Quadro 1 e Quadro 2 do documento. Essa abordagem sistemática permitiu uma fácil visualização, preenchimento, armazenamento e facilidade em uma possível posterior necessidade de modificação dos dados, facilitando a análise detalhada e fundamentada dos dados coletados durante a pesquisa.

3.5.3 *Checklist*

Outra ferramenta utilizada no estudo foi o *checklist*, que constitui uma relação previamente estabelecida de atividades ou itens a serem conferidos. Geralmente, é aplicada na verificação de procedimentos repetitivos ou padronizados. O *checklist* permite o controle na execução de tarefas e possibilita sua posterior avaliação. Devido à sua simplicidade e utilidade, esta ferramenta é amplamente utilizada na elaboração de manuais de procedimentos em geral e manuais de qualidade (Lins, 1993).

Um *checklist* é um instrumento composto por uma lista previamente definida de atividades ou itens a serem verificados, utilizado para assegurar a execução precisa e padronizada de procedimentos repetitivos. Sua finalidade é permitir o controle detalhado durante a execução de tarefas e facilitar sua avaliação subsequente. Devido à sua simplicidade e eficácia, o *checklist* é amplamente adotado na criação de manuais de procedimentos e de qualidade, exigindo clareza e precisão por parte dos envolvidos na execução das atividades listadas (Mello *et al.*, 2017).

4 RESULTADOS

4.1 Análise por meio de *checklist*

De acordo com os requisitos estabelecidos na NR-12, elaborou-se um *checklist* detalhado abrangendo cada item da norma. Em seguida, realizou-se a análise de conformidade de cada um dos pontos em relação ao equipamento. O *checklist* (Figura 19) foi desenvolvido com o intuito de identificar e mitigar potenciais perigos associados à operação desta máquina. É de referir que os itens da norma considerados no *checklist* foram apenas os aplicáveis ao equipamento.

Figura 19 – Checklist da NR-12

Item	Descrição do Item	Descrição do Item	Conformidade
12.1.7	Medidas de proteção para trabalhadores	Confirmar a existência e a eficácia das medidas de proteção para os trabalhadores	Não
12.1.9.1	Sistemas de segurança nas zonas de perigo	Verificar a presença de sistemas de segurança nas zonas de perigo, de modo a atingir o nível necessário de segurança	Não
12.1.10	Responsabilidades dos trabalhadores	Confirmar que os trabalhadores foram informados de suas responsabilidades de segurança	Sim
12.2	Arranjo físico e instalações		
12.2.1	Disposições gerais sobre arranjo físico	Verificar se as áreas de circulação estão devidamente demarcadas em conformidade com as normas técnicas oficiais	Sim
12.2.2	Acesso seguro aos componentes	Confirmar que há distância mínima entre máquinas, em conformidade com suas características e aplicações	Sim
12.3	Instalações e dispositivos elétricos		
12.3.1	Conformidade com normas técnicas	Verificar se as instalações elétricas estão conforme as normas técnicas aplicáveis	Sim
12.3.2	Proteção contra contatos elétricos diretos e indiretos	Confirmar a existência de aterramento	Sim
12.4	Dispositivos de partida, acionamento e parada		
12.4.1	Localização e características dos dispositivos	Verificar a localização e as características dos dispositivos de partida, acionamento e parada	Sim
12.4.2	Proteção contra partida intempestiva	Confirmar se os comandos de partida ou acionamento possuem dispositivos que impeçam seu funcionamento automático ao serem energizadas.	Sim
12.5	Sistemas de segurança		
12.5.1	Requisitos gerais para sistemas de segurança	Verificar existência de sistemas de segurança, caracterizados por proteções fixas, proteções móveis e dispositivos de segurança interligados	Não
12.5.2	Proteções móveis e intertravamentos	Confirmar a existência e o funcionamento adequado de proteções móveis e intertravamentos	Não
12.6	Dispositivos de parada de emergência		
12.6.1	Características dos dispositivos de emergência	Verificar existência de dispositivos de parada de emergência	Sim
12.6.2	Localização e funcionamento	Confirmar a localização e o funcionamento adequado dos dispositivos de parada de emergência	Sim
12.7	Componentes pressurizados		
12.7.1	Normas e requisitos para componentes pressurizados	Verificar a conformidade dos componentes pressurizados com as normas aplicáveis	Sim
12.9	Aspectos ergonômicos		
12.9.1	Princípios de ergonomia no trabalho	Confirmar que os princípios de ergonomia são aplicados na operação da máquina	Sim
12.9.2	Adaptação do trabalho ao trabalhador	Verificar se o trabalho é adaptado às características do trabalhador para evitar lesões	Sim
12.11	Manutenção, inspeção, preparação, ajuste, reparo e limpeza		
12.11.1	Procedimentos para manutenção e inspeção	Verificar a existência de procedimentos claros para manutenção e inspeção	Sim
12.11.2	Segurança durante a manutenção	Confirmar que medidas de segurança adequadas são seguidas durante a manutenção	Sim
12.12	Sinalização		
12.12.1	Requisitos para sinalização de segurança	Verificar se a sinalização de segurança está conforme os requisitos da norma	Não
12.12.2	Manutenção da sinalização	Confirmar que a sinalização está em bom estado de conservação e legível	Não
12.13	Manuais		
12.13.1	Conteúdo dos manuais de instruções	Verificar se os manuais contêm todas as informações necessárias e estão atualizados	Sim
12.13.2	Disponibilização dos manuais aos trabalhadores	Confirmar que os manuais estão disponíveis para todos os trabalhadores envolvidos	Sim

Fonte: Autora (2024)

Com a avaliação e preenchimento do *checklist*, foi possível identificar alguns itens nos quais a máquina não estava em conformidade com os requisitos de segurança.

O item 12.1.7 propõe que sejam adotadas medidas de proteção para o trabalho em máquinas e equipamentos, capazes de resguardar a saúde e a integridade física dos trabalhadores. Em relação a esse item, foi possível observar a existência de dois principais riscos à integridade física dos operadores:

- a) lâminas (*squeegees*) não possuem proteção, podendo ocasionar cortes ou decepamento;
- b) suporte do estêncil que possui movimentação na vertical, podendo causar esmagamento.

No que se refere ao item 12.1.9.1, os dispositivos de parada que a máquina possui são

os de acionamento bi-manual e o botão de parada de emergência. Porém, apenas esses dois dispositivos não são suficientes para preservar a integridade física durante a operação, sendo necessário complementá-los. O sistema de segurança da máquina em questão deve ser complementado por um tipo de proteção fixa, uma proteção móvel (como portas) e um dispositivo de segurança interligado. Estes devem proporcionar a integridade física dos operadores, conforme proposto no item 12.5.1 da norma. O item 12.5.2 determina a necessidade de escolher e instalar sistemas de segurança adequados aos riscos presentes.

Ademais, o item 12.5.7 aborda as proteções móveis associadas a dispositivos de intertravamento que devem ser capazes de operar somente com as proteções fechadas, paralisar funções perigosas quando as proteções forem abertas durante a operação e garantir que o fechamento das proteções por si só não possa dar início às funções perigosas.

Referente à sinalização de segurança da máquina, o item 12.12.2 informa que esta deve estar destacada e em localização claramente visível na máquina ou equipamento, além de ser de fácil compreensão. O item 12.12.4 aponta que as sinalizações devem ser escritas na língua portuguesa brasileira e ser legíveis, ademais o item 12.12.4.1 acrescenta que devem indicar claramente o risco e a parte da máquina ou equipamento a que se referem, e não deve ser utilizada somente a inscrição de “perigo”.

4.2 Avaliação de riscos

4.2.1 Determinação dos limites da máquina

4.2.1.1 Limites de uso

- a) a operação da máquina deve ser realizada por indivíduos qualificados para essa função, sem restrição de gênero, mas não deve ser executada por pessoas com limitações físicas;
- b) quanto a alimentação da máquina, a PCB é posicionada nos pinos de suporte da *Solder Printer*. Com a pasta de solda há um contato próximo com os *squeegees*, uma vez que é necessário levantar a cabeça da máquina para aplicar a pasta de solda, permitindo que o *squeegee* distribua uniformemente a pasta sobre o estêncil;
- c) durante a etapa inicial, a operação da *Solder Printer* consiste na descida do suporte com o estêncil. Em seguida, o operador verifica o alinhamento do estêncil com a placa (Figura 20) e ajusta se necessário por meio do ajuste fino da máquina;

Figura 20 - Verificação do alinhamento do estêncil



Fonte: Autora (2024)

- d) após isso, se inicia a aplicação da pasta de solda, momento em que os *squeegees* se movem para realizar a distribuição da pasta de solda;
- e) ao término de cada impressão, o suporte com o estêncil eleva-se automaticamente (Figura 21), permitindo que o operador retire a placa e coloque a próxima;

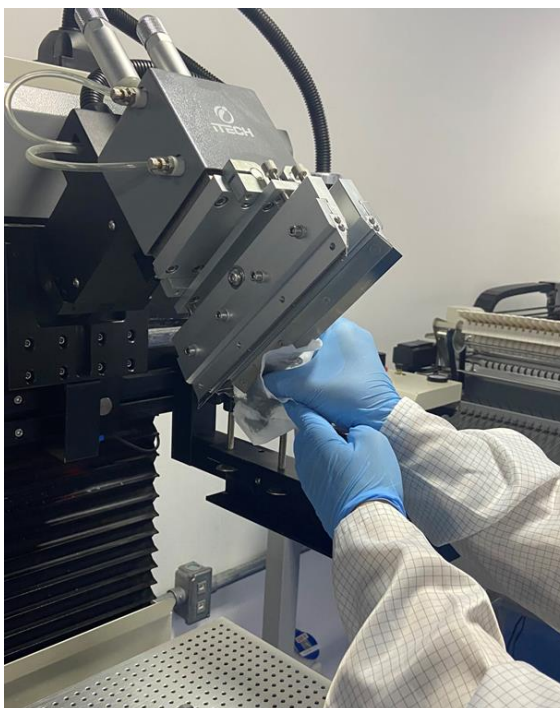
Figura 21 - Suporte do estêncil elevado



Fonte: Autora (2024)

- f) no final do processo, a limpeza é realizada pelo mesmo operador com a máquina desligada (Figura 22).

Figura 22 - Limpeza dos *squeegees*



Fonte: Autora (2024)

4.2.1.2 Limites de espaço

- a) o operador fica à frente da *Solder Printer*, muito próximo à zona de perigo;
- b) para instalação e utilização, é necessária uma área plana de pelo menos 920 mm x 550 mm, livre de obstáculos, colunas etc.

4.2.1.3 Limites de tempo

- a) a pasta de solda e seus resquícios não devem permanecer no estêncil ou na máquina após o final do processo pois é um material que pode ocasionar desgaste e até mesmo gerar danos ao equipamento e ao estêncil, portanto a limpeza da máquina deve ser realizada imediatamente após o uso;
- b) deve ser feita manutenção regular da máquina, para sua melhor conservação.

4.2.1.4 Outros limites

- a) operação inadequada por parte do colaborador.

4.2.2 Identificação de perigos

A partir da determinação dos limites da máquina, a identificação de perigos foi realizada conforme o que estabelece a ABNT NBR ISO 12100. Conforme apresentado no Quadro 1, foram identificados os seguintes perigos e eventos perigosos associados: os *squeegees* apresentaram um risco significativo de cortes ou decepamento, sendo classificado como um risco mecânico; o movimento vertical do suporte do estêncil revelou um risco de esmagamento e fratura leve de ossos, também categorizado como risco mecânico. Essa análise permite uma compreensão dos potenciais riscos existentes, proporcionando a base necessária para o desenvolvimento da estimativa de riscos e posteriormente de medidas de mitigação eficazes.

Quadro 1 - Perigos identificados

FORMULÁRIO DE IDENTIFICAÇÃO DE RISCOS					
Máquina:	Solder Printer			Elaborado por:	Julianne Oliveira
Método:	Lista de verificação ABNT NBR ISO 12100:2013. Anexo B			Versão atual:	1.0
Ciclo de vida	Tarefa	Zona de perigo	Perigo	Situação perigosa	Evento perigoso
Fase de uso: operação	Verificação de alinhamento de estêncil	Zona de trabalho	Esmagamento ou fratura de ossos de mãos ou braços	Trabalho próximo ao suporte	Contato com partes móveis devido à movimentação vertical pneumática
Fase de uso: operação	Alimentação da pasta de solda	Zona de trabalho	Corte de dedos ou das mãos nas lâminas dos <i>squeegees</i>	Usuário exposto a um possível desprendimento da trava de segurança	Não travar corretamente o suporte dos <i>squeegees</i>
Fase de uso: limpeza	Limpeza da máquina	Zona de trabalho	Corte de dedos ou das mãos nas lâminas dos <i>squeegees</i>	Usuário exposto a um possível desprendimento da trava de segurança	Não travar corretamente o suporte dos <i>squeegees</i>

Fonte: Autora (2024)

4.2.3 Estimativa de riscos

Após a identificação dos possíveis perigos aos quais a *Solder Printer* expunha seus usuários, foi realizada uma estimativa dos riscos conforme indicado na ABNT NBR ISO 12100. Foi escolhida a utilização de um gráfico de riscos para determinar o índice de riscos de cada perigo identificado. O item 6.3.2 da norma menciona os quatro elementos de risco, sendo estes: Severidade (S), Frequência (F), Probabilidade de ocorrência (O) e Possibilidade de evitar ou reduzir danos (A).

A severidade do dano relacionada as atividades 1, 2 e 3 foram classificadas como S2, indicando lesões graves, normalmente irreversíveis e potencialmente fatais, como fraturas, amputações, esmagamentos, lesões que exigem sutura e traumas musculoesqueléticos severos. Esse tipo de lesão resulta na incapacidade de executar a mesma tarefa por mais de dois dias.

A frequência e/ou duração da exposição ao perigo foi classificada como F1 para as atividades 2 e 3 dada sua rápida e não frequente exposição e F2 para a atividade 1, indicando

uma exposição frequente a contínua e/ou de longa duração, ou seja, mais de duas vezes por turno de trabalho e mais de 15 minutos acumulados de exposição por turno de utilização.

A probabilidade de ocorrência de um evento perigoso foi classificada para as atividades 1, 2 e 3 como O2, indicando uma probabilidade média, possível de ocorrer em algum momento. Essa classificação se baseia em ações humanas inadequadas cometidas por uma pessoa bem treinada, ciente dos riscos e com mais de seis meses de experiência na estação de trabalho, como sugere a norma.

A possibilidade de evitar ou reduzir os danos foi classificada como A1 em todas as atividades descritas, indicando que é possível sob certas condições.

Após isso verificou-se o gráfico modelo (Figura 6) que consta na ABNT NBR ISO 12100 para identificar os índices de riscos vinculados. O índice de risco ficou em 2 para as atividades 2 e 3, o que representa um menor risco e em nível 4 para a atividade 1, que representa um risco médio, segundo a ABNT ISO/TR 14121-2. Esses resultados estão expressos no Quadro 2.

Quadro 2 - Formulário de análise de risco

FORMULÁRIO DE ANÁLISE DE RISCO									
Máquina:		Solder Printer				Elaborado por:			Julianne Oliveira
Método:		Lista de verificação ABNT NBR ISO/TR 14121-2:2018. Anexo A.4				Versão atual:			1.0
n	Tarefa	Perigo	Situação perigosa	Evento perigoso	Severidade (S1/S2)	Frequência de exposição (F1/F2)	Prob. de Ocorrência (O1/O2/O3)	Pos. de evitar (A1/A2)	
1	Verificação de alinhamento de estêncil	Esmagamento ou fratura de ossos de mãos ou braços	Trabalho próximo ao suporte	Contato com partes móveis devido à movimentação vertical pneumática	S2	F2	O2	A1	
2	Alimentação da pasta de solda	Corte de dedos ou das mãos nas lâminas dos <i>squeegees</i>	Usuário exposto a um possível desprendimento da trava de segurança	Não travar corretamente o suporte dos <i>squeegees</i>	S2	F1	O2	A1	
3	Limpeza da máquina	Corte de dedos ou das mãos nas lâminas dos <i>squeegees</i>	Usuário exposto a um possível desprendimento da trava de segurança	Não travar corretamente o suporte dos <i>squeegees</i>	S2	F1	O2	A1	

Fonte: Autora (2024)

4.3 Avaliação de riscos

Na etapa de avaliação de riscos, a decisão sobre quais riscos serão tratados é fundamental para oferecer segurança aos usuários e a eficácia das medidas de controle. Após a identificação e estimativa dos riscos conforme a ABNT NBR ISO 12100, utilizou-se o gráfico de riscos sugerido na ABNT NBR ISO/TR 14121-2 (Figura 6) para determinar o índice de risco de cada perigo identificado. Foram encontrados índices de risco 2 e 4. Com base nessa análise, decidiu-se priorizar a resolução do perigo classificado com índice de risco 4, por ser o mais crítico.

4.3.1 Medidas de controle e redução de riscos

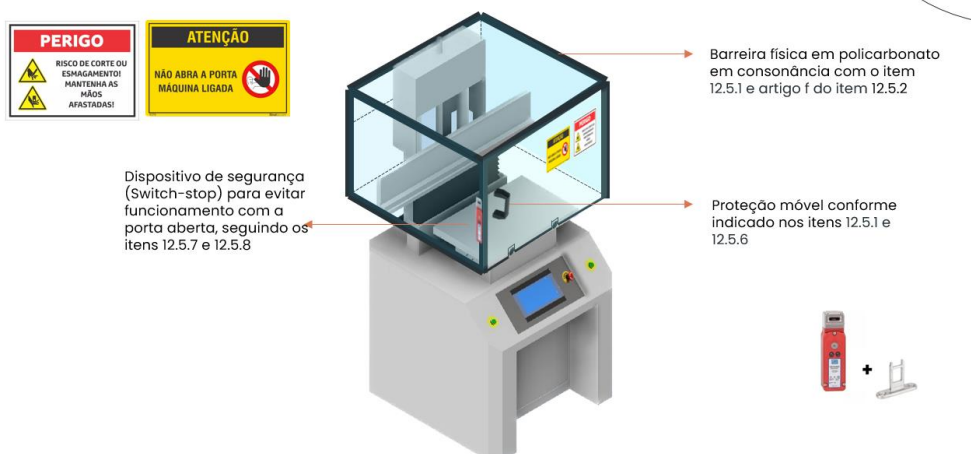
Considerando todos os itens em estado de não conformidade, foi elaborada uma proposta de medidas corretivas (Figura 23), incluindo:

- utilização de uma barreira fixa com proteções móveis para isolar as áreas de atuação da *Solder Printer*, permitindo a interação com o operador por meio de uma janela de transferência equipada com dispositivo de segurança *switch-stop*;
- sinalização do equipamento para alertar sobre os riscos de esmagamento e corte das mãos, além de uma placa de aviso advertindo contra a abertura da janela de transferência durante o funcionamento do equipamento.

Um esboço simples foi elaborado (Figura 23) para representar a adequação desejada, seguido da apresentação de ideias a algumas empresas para que pudessem fabricar a proteção necessária. Foram requisitos principais:

- barreira física em policarbonato em consonância com o item 12.5.1 e artigo f do item 12.5.2;
- proteção móvel conforme os itens 12.5.1 e 12.5.6 da norma;
- dispositivo de segurança para evitar abertura durante o funcionamento da máquina seguindo os itens 12.5.7 e 12.5.8 da norma.

Figura 23 - Esboço inicial da proposta de adequação



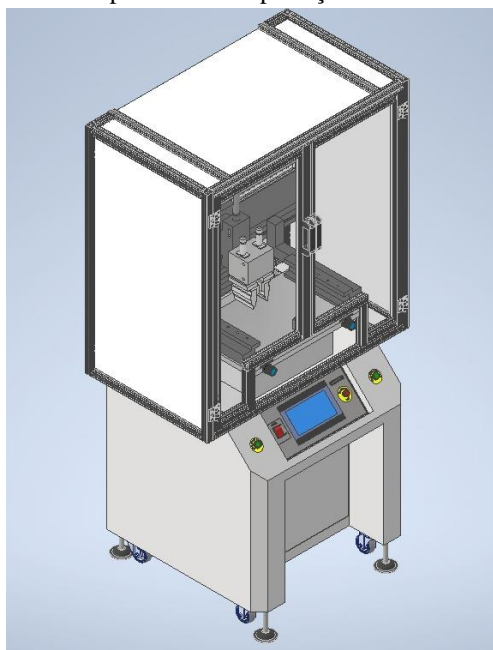
Fonte: Autora (2024)

Após diversas reuniões com fabricantes, optou-se por realizar alterações significativas, que incluíram a utilização do material ACM para a fabricação de partes laterais da proteção e uma proteção móvel de duas portas (Figura 24).

Verificou-se a estrutura da máquina para certificar-se de que não houvesse partes elétricas que pudessem ser danificadas durante a perfuração para a instalação dos parafusos

necessários para as adaptações.

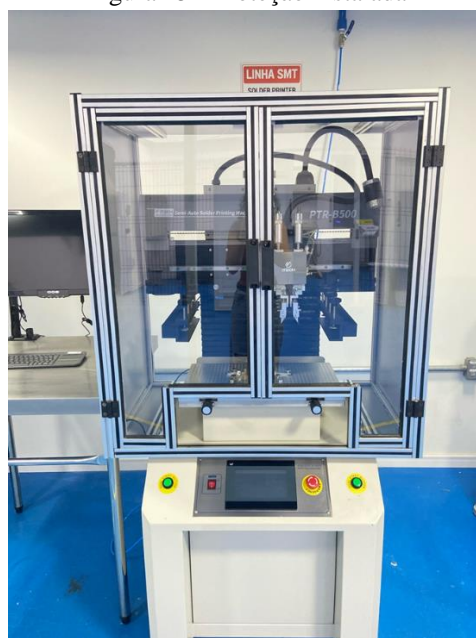
Figura 24 - Proposta final de proteção utilizando *Inventor*



Fonte: Autora (2024)

A implementação das proteções propostas para a *Solder Printer* foi concluída com êxito (Figura 25) conforme o projeto aprovado. Conforme especificado no projeto final, a proteção está equipada com duas portas que incluem um dispositivo de intertravamento (Figura 26), projetado para interromper o funcionamento caso uma das portas seja aberta ou não seja fechada corretamente durante a operação da máquina.

Figura 25 - Proteção instalada



Fonte: Autora (2024)

Figura 26 - Dispositivo de intertravamento



Fonte: Autora (2024)

Além das melhorias físicas na estrutura da máquina, a instalação de sinalização adequada e placas de advertência tem sido planejada para aumentar a conscientização dos operadores sobre os perigos potenciais e as precauções necessárias durante o uso do equipamento. No entanto, é importante ressaltar que a implementação dessas melhorias ainda está pendente e aguarda a conclusão das etapas finais de planejamento e execução.

4.3.2 Validação das proteções

A implementação das proteções foi realizada sem a introdução de novos riscos associados à utilização da máquina. Após a implementação, foram conduzidos testes de funcionalidade para avaliar a possível existência de novos perigos, bem como a eficácia das proteções projetadas para esta máquina. A adequação das proteções funcionou conforme esperado. No entanto, observou-se que o encaixe do estêncil no suporte carecia de uma trava que garantisse que o estêncil não colidisse com a porta de proteção na área onde se encontra o *switch-stop*, o que poderia causar danos à máquina.

4.4 Análise de custos

A máquina *Solder Printer* semiautomática do laboratório foi adquirida por um preço de R\$36.000,00, enquanto os custos adicionais para realizar o *retrofitting* necessário foram no total de R\$6.000,00. Por outro lado, máquinas totalmente automáticas custam no mercado cerca de

R\$650.000,00, o que tornaria sua compra inviável dentro das restrições orçamentárias do laboratório.

A aquisição e o *retrofitting* da máquina semiautomática se mostraram opções muito mais econômicas e adequadas para o laboratório de manufatura em questão, visto que a linha SMT do laboratório tem hoje como principal função fornecer placas montadas para a etapa final de montagem de produtos executada pela célula robótica. Além disso, a escolha de uma máquina totalmente automática teria sido excessivamente dispendiosa e não seria plenamente aproveitada, dada a natureza do laboratório e a ausência de tecnologia avançada como esteiras automatizadas. Portanto, a impressora semiautomática foi considerada ideal para atender a esse propósito específico de forma eficaz e econômica.

Além dos benefícios econômicos, a adequação da máquina também contribuiu significativamente para a segurança dos alunos e demais usuários do laboratório. A implementação das melhorias e dos dispositivos de segurança durante o *retrofitting* possibilitou que o equipamento operasse de maneira segura, minimizando os riscos potenciais associados às operações diárias. Isso é crucial para manter um ambiente de trabalho seguro e proteger os alunos durante suas atividades práticas no laboratório.

Essa decisão de investimento não apenas otimizou os recursos financeiros disponíveis, mas também possibilitou que a funcionalidade da máquina atendesse às demandas específicas da linha de produção do laboratório, proporcionando um ambiente seguro e produtivo para todos os envolvidos.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A adequação da *Solder Printer* às normas brasileiras de segurança foi um processo meticuloso que envolveu diversas etapas cruciais, desde a identificação de perigos até a implementação de medidas de mitigação. Utilizando a NR-12, a ABNT NBR ISO 12100 e a ABNT NBR ISO/TR 14121-2 como referências, foi possível realizar uma análise detalhada dos riscos associados à operação da máquina.

Na fase inicial do estudo, foram identificados alguns perigos relacionados ao uso da *Solder Printer* por meio de *checklist*. Entre eles, destacaram-se os riscos de cortes, esmagamentos e fraturas, devido ao movimento das partes mecânicas da máquina. Após o desenvolvimento e preenchimento do *checklist* com a identificação desses perigos, realizou-se então a apreciação de riscos baseada nas normas ABNT NBR ISO 12100 e ABNT NBR ISO/TR 14121-2, onde cada perigo foi classificado de acordo com seu índice de risco.

De acordo com a apreciação de riscos realizada, o índice de risco foi classificado em níveis diferentes para as atividades analisadas: para as atividades 2 e 3, que incluem a alimentação de pasta de solda e a manipulação do suporte dos *squeegees* para limpeza, o índice de risco foi classificado como 2, representando um menor risco. Para a atividade 1, que envolve partes mecânicas móveis da *Solder Printer*, o índice de risco foi classificado como 4, indicando um risco médio.

Assim, se confirmou a hipótese de que a *Solder Printer* poderia causar riscos leves ou moderados aos alunos e demais usuários. Este processo de classificação foi essencial para priorizar as ações de mitigação, fazendo com que os perigos mais críticos fossem abordados primeiro. A decisão de focar na mitigação do perigo com o índice de risco mais elevado demonstrou-se estratégica. Implementar proteções eficazes para esses riscos críticos reduziu a probabilidade de acidentes graves entre os alunos que venham a operar a máquina no futuro, além de estabelecer uma base sólida para uma possível abordagem relacionada aos perigos de menor gravidade posteriormente.

As proteções implementadas incluíram a instalação de barreiras físicas fixas e móveis, além de dispositivos de intertravamento que interrompem automaticamente o funcionamento da máquina caso as portas de proteção sejam abertas durante a operação. Essa estrutura permite uma interação segura entre o operador e a máquina por meio de uma janela de transferência equipada com um dispositivo de segurança *switch-stop*, fornecendo a proteção do operador durante o uso. Além disso, foi sugerido que o equipamento seja adequadamente sinalizado com avisos claros sobre os riscos associados, como esmagamento e cortes, além de uma placa de advertência destacando a importância de não abrir a janela de transferência durante o funcionamento da máquina. Se faz necessário também realizar atualizações nas instruções de trabalho do equipamento.

As medidas implementadas foram devidamente validadas através de testes, confirmando que a implementação ocorreu sem a introdução de novos riscos e assegurando a eficácia das proteções. Durante o processo de validação, foram identificadas áreas para desenvolvimento em trabalhos futuros. Um ponto específico que emergiu foi a necessidade de desenvolver mecanismos adicionais para garantir o correto encaixe do estêncil no suporte, evitando possíveis danos tanto à máquina quanto ao estêncil. A ausência de uma trava que assegurasse o encaixe correto do estêncil representa um risco potencial de dano à porta de proteção na área do *switch-stop*. Este aspecto deve ser abordado em trabalhos futuros, visando a contínua evolução das práticas de segurança e eficiência operacional no laboratório.

A análise de viabilidade econômica revelou que a aquisição e o *retrofitting* da *Solder Printer* semiautomática foram opções não apenas viáveis, mas também altamente eficazes em termos de custo-benefício. O custo total foi significativamente menor do que o de uma máquina totalmente automática, permitindo uma alocação mais eficiente dos recursos financeiros do laboratório. Esta decisão estratégica possibilitou a otimização dos investimentos sem comprometer a segurança ou a funcionalidade da linha de produção.

Em resumo, a proposta de adequação da *Solder Printer* às normas brasileiras de segurança foi realizada com êxito, resultando em um ambiente de trabalho mais seguro. A implementação das proteções e a validação de sua eficácia destacam a importância de seguir rigorosamente as normas regulamentadoras e de investir em melhorias contínuas para fornecer a segurança dos usuários e a qualidade das operações do laboratório.

REFERÊNCIAS

- AIRES, R. W. A; MOREIRA, F. K; FREIRE, P. S. **Indústria 4.0**: competências requeridas aos profissionais da quarta revolução industrial. Disponível em: <https://proceeding.ciki.ufsc.br/index.php/ciki/article/view/314/153>. Acesso em: 7 jul. 2024.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO 12100:2013**: segurança de máquinas: princípios gerais de projeto: apreciação e redução de riscos. Rio de Janeiro, 2014.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **ABNT NBR ISO/TR 14121-2:2018**: segurança de máquinas: apreciação de riscos: parte 2: guia prático e exemplos de métodos. Rio de Janeiro, 2018.
- ANUÁRIO BRASILEIRO DE PROTEÇÃO. Disponível em: <https://www.protecao.com.br/mundo-2023/>. Acesso em: 15 nov. 2023.
- ARAUJO, E. P.; GASPAROTTO, A. M. S. Aplicação da norma regulamentadora NR 12 para adequação de máquinas e equipamentos. **SIMTEC - Simpósio de Tecnologia da Fatec Taquaritinga**, v. 6, n. 1, p. 210-221, 22 dez. 2019. Disponível em: <https://simtec.fatectq.edu.br/index.php/simtec/article/view/442>. Acesso em: 16 jun. 2024.
- BARSAÑO, P. R; BARBOSA, R. P. **Segurança do trabalho**: guia prático e didático. 2. ed. São Paulo: Saraiva, 2018.
- BARSAÑO, P. R. **Segurança do trabalho para concursos públicos**. 3. ed. São Paulo: Saraiva, 2015.
- BRASIL. Lei N. 8213 de 24 de julho de 1991. Dispõe sobre os Planos de Benefícios da Previdência Social e dá outras providências. **Diário Oficial da União**: seção 1, Brasília, DF, 1991 - nº142, p. 14856, 25 jul. 1991. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L8213compilado.htm. Acesso em: 15 dez. 2023.
- BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. Portaria MTP n.º 4.219, de 20 de dezembro de 2022. **NR-12 - Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos**. 2022. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-emprego/pt-br/aceso-a-informacao/participacao-social/conselhos-e-orgaos-colegiados/comissao-tripartite-partitaria-permanente/arquivos/normas-regulamentadoras/nr-12-atualizada-2022-1.pdf>. Acesso em: 20 out. 2023.
- CARVALHO, G. M. **Enfermagem do trabalho**. 2. ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan, 2014.
- CRUZ, Y. J. S. **Norma regulamentadora nº10 (NR-10) e norma regulamentadora nº12 (NR-12)**. 2019. 64 f. Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Elétrica, Ufu, Uberlândia, 2019. Cap. 6. Disponível em: <http://clyde.dr.ufu.br/bitstream/123456789/28044/1/ExemploConformidadeNorma.pdf>.

FAGUNDES, L. E. **Segurança e Saúde no Trabalho: comentadas & explicadas**. 1. ed. 2023. Disponível em: normasregulamentadorascomentadas.com. Acesso em: 16 dez. 2023.

GIL, A. C. **Como elaborar projeto de pesquisa**. 4. ed. São Paulo: Atlas, 2002.

GIL, A. C. **Métodos e técnicas de pesquisa social**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2008.

JUHA, Michael. **Micro-Focus X-Ray Imaging**. Electronics Reliability and Measurement Technology, William Andrew Publishing, 1988. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-081551171-7.50010-X>. Acesso em: 19 dez. 2023.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Fundamentos de metodologia científica**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2003.

LICARI, J. J.; SWANSON, D. W. **Adhesives Technology for Electronic Applications: Materials, Processing, Reliability**. 2. Ed. Electronics Reliability and Measurement Technology, William Andrew Publishing, 2011. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/C2009-0-64364-6>. Acesso em: 19 dez. 2023.

LINS, Bernardo FE. **Ferramentas básicas da qualidade**. Ciência da Informação, v. 22, n. 2, 1993. Disponível em: <https://doi.org/10.18225/ci.inf.v22i2.502>. Acesso: 07 jul. 2024.

KHADER, Nourma; YOON, Sang Won. **Online control of stencil printing parameters using reinforcement learning approach**. Procedia Manufacturing. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.018>. Acesso em: 19 dez. 2023.

MACHADO, A. C. P.; SCHMIDT, I.; THOMAZ, M. R. Apreciação de risco de uma máquina de corte a plasma e oxicorte. **Anais de Engenharia Mecânica / ISSN 2594-4649**, [S.l.], v. 6, n. 1, p. 49 - 67, ago. 2022. ISSN 2594-4649. Disponível em: <https://uceff.edu.br/anais/index.php/engmec/article/view/410>. Acesso em: 02 jun. 2024.

MATTOS, U.; MÁSCULO, F. **Higiene e segurança do trabalho**. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2011.

MELLO, C.; TURRIONI, J; XAVIER, A.; CAMPOS, D. Pesquisa-ação na engenharia de produção: proposta de estruturação para sua condução. **Produção**, v. 22, n. 1, p. 1-13, jan./fev. 2012. Disponível em: [10.1590/S0103-65132011005000056](https://doi.org/10.1590/S0103-65132011005000056). Acesso em: 20 jun. 2024.

MELLO, M.; CUNHA, L.; SILVA, N.; ARAÚJO, A. A importância da utilização de ferramentas da qualidade como suporte para melhoria de processo em indústria metal mecânica – um estudo de caso. **Exacta**, [S. l.], v. 15, n. 4, 2017. Disponível em: <https://periodicos.uninove.br/exacta/article/view/6898>. Acesso em: 7 jul. 2024.

MULLER, D. **Retrofitting para automação de máquina destinada a abertura de ferramentas de estampo**. IFFAR. 2023. Disponível em: <https://arandu.iffarroupilha.edu.br/handle/itemid/413>. Acesso em: 16 jun. 2024.

OBSERVATÓRIO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO. Disponível em: <https://smartlabbr.org/sst/localidade/0?dimensao=frequenciaAcidentes>. Acesso em: 15 nov. 2023.

PRODANOV, C. C.; FREITAS, E. C. de. **Metodologia do trabalho científico: métodos e técnicas da pesquisa e do trabalho acadêmico**. 2. ed. Novo Hamburgo: Feevale, 2013.

SCHNEIDER, E. E. **Instalações de dispositivos de segurança para máquinas operatrizes conforme a norma regulamentadora nº12 com ênfase em dispositivos elétricos**. 2011. 47 f. Monografia (Especialização) – Curso de Engenharia de Segurança do Trabalho, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2011. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br/items/a44c4042-500e-4968-b590-b8e8d6d706b1>. Acesso em: 16 jun 2024.

STRAUSS, R. **SMT soldering handbook**. 2. ed. Newnes, 1998. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/B978-075063589-9/50001-1>. Acesso em: 19 dez. 2023.

TRIPP, D. **Pesquisa-ação: uma introdução metodológica**, Educação e Pesquisa. Faculdade de Educação da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2005. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/ep/a/3DkbXnqBQyyq5bV4TCL9NSH#>. Acesso em: 21 jan. 2024.