

**UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
UNIDADE ACADÊMICA DE GRADUAÇÃO
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

CLÉBER AUGUSTO DIEFENTHAELER

**SEGURANÇA DE MÁQUINAS: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DUAS
METODOLOGIAS**

PORTO ALEGRE

2021

Cléber Augusto Diefenthaler

**SEGURANÇA DE MÁQUINAS: UM ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DUAS
METODOLOGIAS**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado como requisito parcial para
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia de Produção, pelo Curso de
Engenharia de Produção da Universidade
do Vale do Rio dos Sinos - UNISINOS

Orientadora: Prof. Dra. Maria Isabel Wolf Motta Morandi

Porto Alegre

2021

AGRADECIMENTOS

Gratulo a minha família que sempre apoiou minhas decisões e me confortou nos momentos de dificuldades. Agradeço a minha mãe Helena, ao meu pai Carlos (*in memoriam*), ao meu irmão Cristiano, a minha cunhada Francine e meus afilhados Luiza e Bruno.

Aos meus amigos Kyung H. Choi (*in memoriam*) e Haidi L. Ahlert que sempre foram meus incentivadores na escolha e conclusão do curso de engenharia.

Aos meus professores que nunca mediram esforços em compartilhar seus conhecimentos.

A minha orientadora, Dra. Maria Isabel Wolf Motta Morandi que com sua dedicação incansável sempre me atendeu no mais alto nível e me ajudou muito na conclusão deste trabalho.

Por fim, escrevo esses agradecimentos da recepção do hospital, pois meu filho Pedro acaba de nascer. Agradeço imensamente a Deus por tudo que estás me permitindo e por ter colocado no meu caminho minha mulher Cristiana. Ela me trouxe paz e me proporcionou a maior alegria que eu tive na minha vida. Obrigado, meu amor...

“O que faz andar o barco não é a vela enfunada,
mas o vento que não se vê.” (PLATÃO)

RESUMO

Para que situações perigosas na indústria sejam reduzidas é necessário que as máquinas e equipamentos sejam projetados levando em consideração a redução de riscos. A presente pesquisa aborda duas metodologias para apreciação de risco em máquinas industriais. O objetivo é comparar de forma teórica e prática o desempenho das metodologias HRN (STEEL, 1990) e SCRAM (SORANNO; GÖRNEMANN; SCHUMACHER, 2019). Além disso, busca-se identificar as diferenças de resultados com base nos parâmetros utilizados por cada metodologia, a influência no resultado levando em consideração o número de níveis para cada parâmetro e a influência dos níveis de risco. A ausência de comparabilidade entre métodos de estimativa de riscos pode trazer a incerteza entre resultados obtidos com diferentes metodologias de estimativa de riscos. Cabe ressaltar que para identificar os perigos de uma máquina é necessário a realização de uma apreciação de risco e aplicar medidas de segurança para a redução do risco. A estimativa de risco da máquina desempenha um papel crucial na escolha e priorização dos métodos de redução de risco. Conceitualmente, a probabilidade de um evento indesejado específico ocorrer dentro de um período específico, juntamente com as consequências desse evento específico pode ser considerado como risco e para identificação desses riscos foram analisados 20 (vinte) cenários de risco em uma planta industrial no Estado de São Paulo. Foram aplicadas as metodologias HRN e SCRAM nesses cenários de risco e identificados quantos cenários de risco apresentaram resultados idênticos, quantos cenários de risco apresentaram resultados similares e quantos cenários de risco apresentaram divergência de resultados. Embora, não tenha apresentado resultados idênticos, não é possível afirmar que uma metodologia seja superior à outra em termos de estimação de risco.

Palavras-chave: apreciação de risco, segurança de máquinas, métodos para estimativa de riscos.

ABSTRACT

For the hazardous situations in the industry are reduced it is necessary that machines and equipment are designed taking into account the risk reduction. This research addresses two methodologies for risk assessment in industrial machinery. The objective is to compare theoretically and practically the performance of the HRN (STEEL, 1990) and SCRAM (SORANNO; GÖRNEMANN; SCHUMACHER, 2019) methodologies. In addition, this research seeks to identify differences in results based on the parameters used by each methodology, the influence on the result considering the number of levels for each parameter and the influence of risk levels. The lack of comparability between risk estimation methods can lead to uncertainty between results obtained with different risk estimation tools. It should be noted that to identify the hazards of a machine, it is necessary to carry out a risk assessment and apply safety measures to reduce the risk. Machine risk estimation plays a crucial role in choosing and prioritizing risk reduction methods. Conceptually, the probability of a specific unwanted event occurring within a specific period, together with the consequences of that specific event can be considered as a risk and to identify these risks, 20 (twenty) risk scenarios were analyzed in an industrial plant in the State of São Paulo. The HRN and SCRAM methodologies were applied in these risk scenarios and identified how many risk scenarios showed identical results, how many risk scenarios showed similar results and how many risk scenarios showed divergent results. Although it has not presented identical results, it is not possible to state that one methodology is superior to the other in terms of risk estimation.

Keywords: risk assessment, safety machinery, risk assessment methods.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Método para a Revisão Sistemática da Literatura.....	19
Figura 2 – Pirâmide Níveis de Normalização	26
Figura 3 – Resumo dos dispositivos de proteção e respectivas normas.....	28
Figura 4 – Representação esquemática do processo de redução de riscos incluindo o método iterativo em três passos.....	32
Figura 5 – Gráfico de Risco (ISO/PDTR 14121-2)	35
Figura 6 – Gráfico de risco para determinação do PLr (nível de desempenho requerido) para a função de segurança.....	36
Figura 7 – Seleção possível de categorias.....	39
Figura 8 – Pêndulo representativo da condução de pesquisas científicas	60
Figura 9 – Passo a passo para condução da pesquisa.....	64
Figura 10 – Passo a passo para realização da apreciação de risco com método SCRAM	70
Figura 11 – Passo a passo para realização da apreciação de risco com método HRN	70
Figura 12 – Nível de risco equivalente versus número de níveis no parâmetro severidade.....	92
Figura 13 – Influência dos números de níveis de risco	93

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Protocolo de Revisão Sistemática da Literatura.....	20
Quadro 2 – Resultados da pesquisa RSL	21
Quadro 3 – Artigos Critérios de Inclusão.....	22
Quadro 4 – Exemplo de matriz de estimativa de riscos	35
Quadro 5 – Determinação do nível de integridade de segurança (SIL) conforme norma IEC 62061	37
Quadro 6 – Frequência do evento perigoso (F) conforme norma IEC 62061	37
Quadro 7 – Probabilidade de ocorrência evento perigoso (W) conforme norma IEC 62061.....	38
Quadro 8 – Possibilidade de evitar ou limitar um evento perigoso (P) conforme norma IEC 62061	38
Quadro 9 – Possibilidade – Metodologia de cinco estágios para realização da pesquisa	49
Quadro 10 – Critérios de exclusão dos métodos com base em conceitos técnicos da norma ISO 14121-1: 2007	50
Quadro 11 – Métodos de estimativa de riscos utilizados na pesquisa	50
Quadro 12 – Parâmetros definidos como equivalentes	52
Quadro 13 – Padrão analítico para análise de resultados	54
Quadro 14 – Posicionamento metodológico da pesquisa	62
Quadro 15 - Método de trabalho da pesquisa acadêmica.....	63
Quadro 16 – Equipamentos selecionados versus cenários de risco	65
Quadro 17 – Caracterização dos cenários de risco.....	66
Quadro 18 - Técnica de coleta de dados e tipos de dados utilizados na pesquisa ..	72
Quadro 19 - Informações relativas à experiência de uso.....	73
Quadro 20 - Informações relativas à limites de uso	73
Quadro 21 - Informações relativas à qualidade de vida no trabalho	74
Quadro 22 – Guia para levantamento de dados – apreciação de risco.....	74
Quadro 23 - Parâmetros de equivalência para estimação de risco.....	75
Quadro 24 – Entrevistas qualitativas com manutenção e operação	80

Quadro 25 – Resultado da Apreciação de Risco no cenário 1 com metodologia SCRAM e HRN	82
Quadro 26 – Cenário 12 – Guia para levantamento de dados – apreciação de risco	88

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Probabilidade de exposição/contato com perigo (PE).....	40
Tabela 2 – Frequência de exposição ao perigo (FE).....	40
Tabela 3 – Perda máxima provável (MPL)	41
Tabela 4 – Número de pessoas em risco (NP).....	41
Tabela 5 – Tabela de ações	42
Tabela 6 – SCRAM – tabela principal	43
Tabela 7 – SCRAM – medidas de redução de risco a serem implementadas	45
Tabela 8 – SCRAM – acrônimos referentes à Tabela 7	45
Tabela 9 – SCRAM – parâmetros de Severidade do dano (<i>severity of harm</i>).....	46
Tabela 10 – SCRAM – parâmetros para Exposição ao perigo (<i>exposure to hazard</i>)	47
Tabela 11 – SCRAM – parâmetros de Possibilidade de evitar ou limitar o dano (<i>possibility of avoidance</i>)	47
Tabela 12 – SCRAM – parâmetros para Possibilidade de ocorrência (<i>possibility of occurrence</i>)	48
Tabela 13 – Parâmetros de equivalência das escalas de risco.....	76
Tabela 14 – Número de limites/níveis de cada parâmetro	77
Tabela 15 – Nível de risco dos cenários	84
Tabela 16 – Frequência dos cenários por grupo de risco	85
Tabela 17 – Cenários de risco por nível de risco equivalente e grupo de risco	86
Tabela 18 – Avaliação de risco com metodologia SCRAM para cenário 12	88
Tabela 19 – Avaliação de risco com metodologia HRN para cenário 12	89
Tabela 20 – Parâmetros de Severidade S3 e S4 – metodologia SCRAM.....	90
Tabela 21 – Parâmetros 15 e 8 para Perda máxima provável (MPL) na metodologia HRN	91
Tabela 22 – Avaliação de risco com metodologia HRN para cenário 12 alterando o parâmetro Perda máxima provável (MPL).....	91

LISTA DE SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
CDC	Código de Defesa do Consumidor
ENIT	Escola Nacional da Inspeção do Trabalho
INSS	Instituto Nacional de Seguro Social
IRSST	<i>Institut de recherche Robert-Sauvé</i>
NR	Norma Regulamentadora
OIT	Organização Internacional do Trabalho
OMS	Organização Mundial da Saúde
OSST	Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho
SRP/CS	Partes de Sistemas de Comando Relacionadas à Segurança
TST	Tribunal Superior do Trabalho
HRN	<i>Hazard Rating Number</i>
HSL	<i>Health and Safety Laboratory</i>

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA.....	16
1.2 OBJETIVOS	17
1.2.1 Objetivo Geral	17
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 JUSTIFICATIVA	18
1.3.1 Para a Sociedade	18
1.3.2 Para a Academia	19
1.4 DELIMITAÇÕES.....	23
1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO.....	24
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	26
2.1 APRECIÇÃO DE RISCOS – CONCEITOS BÁSICOS	26
2.1.2 Regramentos Normativos e Legislação	26
2.1.2 Avaliação de Riscos	29
2.1.3 Perigo e Risco	33
2.1.4 Estimativa de Riscos	34
2.2 METODOLOGIAS DE ESTIMATIVA DE RISCOS	39
2.2.1 HRN – Hazard rating number	39
2.2.2 SCRAM – Scalable risk analysis and evaluation method	43
2.3 ANÁLISE EXPERIMENTAL DE METODOLOGIAS USADAS PARA ESTIMATIVA DE RISCO ASSOCIADO.....	48
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	59
3.1 DELINEAMENTO DE PESQUISA.....	59
3.2 MÉTODO CIENTÍFICO E MÉTODO DE PESQUISA	61
3.3 MÉTODO DE TRABALHO	63
3.4 TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS	71
3.5 ANÁLISE DOS DADOS.....	74
4 ANÁLISE DOS RESULTADOS	80
4.1 ANÁLISE DAS DIFERENÇAS DE RESULTADOS.....	84
4.2 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS TIPOS DE PARÂMETROS E NÚMERO DE PARÂMETROS	87
4.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE LIMITES.....	91

4.4 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE NÍVEIS DE RISCO.....	93
5 CONCLUSÃO	94
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	97
APÊNDICE A – APRECIÇÕES DE RISCO – DADOS FINAIS.....	101
ANEXO A – TABELAS DE APOIO MÉTODO SCRAM.....	121

1 INTRODUÇÃO

Ao fazer uma análise da Revolução Industrial, que iniciou no século XVIII na Inglaterra, percebe-se que os produtos que até então eram produzidos de forma manual começaram a ser produzidos por máquinas. Essa mecanização, segundo Hobsbawm (2010), foi necessária devido à enorme pressão na redução dos custos de produção através da diminuição da mão-de-obra. Esses movimentos de mecanização, em prol do capitalismo, influenciaram a revolução tecnológica fazendo com que aparecesse a interação entre o homem e a máquina e, assim, surgisse a necessidade de pensar em saúde, segurança e bem-estar do trabalhador.

A Organização Mundial da Saúde (OMS) define saúde como: “Um estado de completo bem-estar físico, mental e social e não meramente a ausência de doença” (OMS, 2010, p.11). Essa definição é importante, porém, ao observar o número de acidentes de trabalho, é possível verificar o tamanho do desafio que a sociedade precisa enfrentar. Segundo dados da Organização Internacional do Trabalho (OIT), “A cada 15 segundos, morre um(a) trabalhador(a) em virtude de um acidente de trabalho ou de doença relacionada com a sua atividade profissional” (OIT, [2020?]). Ainda nesse sentido, segundo o Observatório de Segurança e Saúde no Trabalho (OSST) ([2020?]), desde 2012 foram 5 (cinco) milhões e 500.000 (quinhentos mil) acidentes de trabalho notificados com carteira assinada. Estima-se que entre 2012 e 2018 os valores de pagamento pelo Instituto Nacional de Seguro Social (INSS) de benefícios de natureza acidentária, incluindo benefícios iniciados em anos anteriores, chegaram a setenta e nove bilhões de reais (um real gasto a cada dois milissegundos). Cabe ressaltar que, conforme disposto no artigo 19 da Lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991, acidente do trabalho é o que ocorre pelo exercício do trabalho a serviço de empresa ou de empregador doméstico ou pelo exercício do trabalho do segurado especial, provocando lesão corporal ou perturbação funcional, de caráter temporário ou permanente (AEAT, 2017). De acordo com o Tribunal Superior do Trabalho (TST) ([2020?]), no segmento industrial os acidentes com máquinas e equipamentos representaram, entre 2011 e 2013, mais de 600 (seiscentas) vítimas fatais e provocaram quase 222.000 (duzentos e vinte e dois mil) acidentes.

Conforme lição de Raafat (1989), no campo de segurança de máquinas o risco de acidente pode ser descrito como a chance anual de que um determinado acidente ocorra, juntamente com o grau ou gravidade da lesão resultante.

Para que essas situações perigosas relacionadas às máquinas sejam reduzidas, as máquinas devem ser projetadas ou modificadas levando em consideração a redução dos riscos. Porém, sem a realização de uma avaliação de riscos específica é difícil escolher qual caminho deve ser seguido para mitigá-los. Os procedimentos para avaliar os riscos associados às máquinas industriais perigosas são geralmente baseados em normas internacionais (BRASIL, 2015). A apreciação de risco em máquinas é uma série de etapas usadas para examinar os perigos associados e consiste em duas fases, nomeadamente de análise de risco e avaliação de risco. A análise de risco geralmente consiste em três etapas, ou seja, determinar os limites da máquina, identificar o perigo e estimar o risco (IRSST, 2011).

O produto desse processo metodológico (princípios gerais de projeto – apreciação e redução de risco) que é definido pela norma ABNT NBR 12100:2013 leva o projetista da máquina a pensar em medidas de proteção. Essas medidas normalmente dividem-se em três etapas: (1) medidas de projeto inerentemente seguras; (2) medidas de segurança e medidas de proteção complementares; e (3) informações de uso. Prover os requisitos de segurança com a correta integração de partes de sistemas de comando relacionados à segurança é um dos desafios do projetista. Conceitos como falha perigosa, falha sistemática, uso devido de uma máquina e mau uso razoavelmente previsível deve ser levados em consideração. De acordo com a norma ABNT NBR ISO 13849-1:2019, o projetista muitas vezes optará como parte da estratégia da redução de risco de uma máquina utilizar dispositivos de segurança que empregam uma ou mais funções de segurança para atingir alguma medição de redução de risco.

De acordo com Allen (2012), há mais de duas décadas os países da Europa começaram a incorporar requisitos de avaliação de risco nas normas de segurança e isso fez com que os outros países do mundo também seguissem nesse sentido. Esse movimento abriu o caminho para regulamentações mais granulares e consenso em padrões, à medida que as organizações que elaboram os padrões passaram a apreciar o poder, a lógica e a flexibilidade das avaliações de risco. O autor cita algumas razões importantes para estar em conformidade com as normas. Primeiro, fornece maior proteção contra incidentes e lesões aos trabalhadores. Esses padrões representam o estado da arte no que há de mais moderno sobre segurança. Segundo, as responsabilidades podem ser reduzidas, pois uma abordagem sistemática, lógica e documentada para a conformidade pode reduzir as responsabilidades, mesmo se a

conformidade completa não for alcançada. Como exemplo, no caso de um acidente onde o réu seja capaz de provar que a empresa avaliou o equipamento de acordo com os padrões de avaliação de risco relevantes, e que uma abordagem objetiva, equilibrada e priorizada foi implantada para diminuir ou mitigar os riscos mais elevados, a responsabilidade associada ao caso muitas vezes pode ser reduzida por meio da demonstração de boa reputação do réu. Ainda nesse sentido, o autor cita que quando realizada a apreciação de risco associada à implementação dos sistemas de segurança, surgem benefícios como: redução de custos, aumento da produtividade e qualidade por meio de aprimorados controles, aumento da flexibilidade da máquina, aumento da confiança do operador, bem como da preservação da reputação do proprietário do equipamento (ALLEN, 2012).

Nesse sentido, o tema do presente trabalho é a estimativa de riscos associado às máquinas industriais.

1.1 OBJETO E PROBLEMA DE PESQUISA

De acordo com Paques, Gauthier e Perez (2007, p. 2, tradução nossa) “existem uma grande diversidade de métodos e ferramentas disponíveis para estimativa de riscos”. Novas ferramentas e formas para estimar os riscos das máquinas regularmente estão sendo propostos. Essa diversidade pode ser explicada pelas diferentes características de um parque fabril para outro.

Ainda neste sentido, de acordo com Gauthier, Lambert e Chinniah (2012, p. 7, tradução nossa),

Idealmente que níveis de riscos obtidos por diferentes usuários ao aplicar as diferentes ferramentas aos mesmos cenários de risco devem ser mais ou menos semelhantes. Os níveis de riscos obtidos pelos mesmos usuários ao aplicar as diferentes ferramentas para os mesmos cenários de risco em momentos diferentes também devem apresentar certas semelhanças. Dessa forma, qualquer variabilidade importante nas estimativas de riscos pode ser atribuída a falhas ou desvios nas ferramentas, e estes podem se baseados em parâmetros ou nas arquiteturas das ferramentas.

Conforme a publicação Apoio aos Diálogos Setoriais UE-Brasil, “[...] qualquer ferramenta de estimativa de risco que utiliza um número limitado de limiares para permitir uma abordagem simplificada irá tender a superestimar ou subestimar os riscos” (BRASIL, 2015, p. 20).

De acordo com Gauthier, Lambert e Chinniah (2012, p. 4, tradução nossa), com base em experimentos, “[...] certas variabilidades nos resultados podem ser consideradas naturais, mas uma dispersão muito grande pode levar a meios errôneos de redução de risco”. Os autores citam ainda que, em alguns casos, até os níveis de segurança necessários para as medidas de segurança podem ser diferentes.

Conforme Woodruff (2005, p. 3), para estimativas de riscos, metodologias como matriz de estimativa de riscos são habitualmente utilizadas. Essas apresentam escalas para gravidade e probabilidade de danos, com termos descritivos ou valores numéricos.

No Brasil, um exemplo de instrumento amplamente utilizado que apresenta escalas numéricas para gravidade e probabilidade de danos é a metodologia *Hazard Rating Number* – HRN (BRASIL, 2015, p. 55). Metodologias com conceitos similares também podem ser verificadas no estudo realizado por Gauthier, Lambert e Chinniah (2012), onde foram analisadas 31 (trinta e uma) metodologias qualitativas para estimativa de riscos para segurança de máquinas.

Ao aprofundar as pesquisas científicas referente ao método HRN, não é possível identificar estudos que realizam comparações desse método com outras metodologias. Ainda neste sentido, no estudo realizado por Gauthier, Lambert e Chinniah (2012), a metodologia HRN não foi considerada. Posto isto, não se sabe o quanto a ferramenta HRN se aproxima ou se distancia tecnicamente das ferramentas mais utilizadas no mundo. É sabido que as empresas investem em sistemas de segurança para as máquinas, porém, devido a variabilidades que possam existir nas estimativas de riscos, decisões técnicas, gerenciais e financeiras podem ser executadas de forma errada

Dessa forma, o presente trabalho propõe-se a responder à seguinte questão de pesquisa: Como o método HRN se desempenha quando comparado com uma metodologia internacional para apreciação de risco?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem como objetivo ampliar o estudo realizado por Gauthier, Lambert e Chinniah (2012), a fim de comparar de forma teórica e prática o

desempenho entre as metodologias para estimativa de riscos HRN (STEEL, 1990) e a SCRAM (SORANNO; GÖRNEMANN; SCHUMACHER, 2019) e avaliar se as metodologias estimam os riscos de maneira uniforme.

1.2.2 Objetivos Específicos

Como contribuições adicionais do trabalho a presente pesquisa buscará atender os mesmos objetivos específicos de Gauthier, Lambert e Chinniah (2012), conforme seguem:

- a) Quais são as diferenças nos resultados ao aplicar ferramentas diferentes para a mesma situação de perigo?
- b) Qual a influência dos tipos de parâmetros usados para definir o risco em cada ferramenta nos níveis de risco resultantes?
- c) Qual a influência do número de parâmetros usados para definir o risco em cada ferramenta nos níveis de risco resultantes?
- d) Qual a influência do número de limites ou níveis para cada parâmetro nos níveis de risco resultantes?
- e) Qual a influência do número de níveis de risco nos resultados obtidos ao aplicar cada ferramenta de estimativa de risco?

1.3 JUSTIFICATIVA

Esta seção apresenta a justificativa para a realização deste trabalho e assim está dividida para dois públicos diferentes: sociedade e academia.

1.3.1 Para a Sociedade

É perceptível a preocupação com a segurança, saúde e bem-estar dos trabalhadores. Organizações mundiais, como o caso da OMS, traçam objetivos a fim de elaborar e implementar instrumentos de políticas e normas para a saúde do trabalhador. Mas poderia ser questionado qual é o real impacto dessas ações quando se depara com curvas de crescimento referente aos acidentes. Isto só é possível com a conscientização da importância deste tema nas mais diversas classes envolvidas,

como a sociedade, composta pela classe trabalhadora, empresários, órgãos governamentais e especialistas do ramo de segurança de máquinas. O conhecimento em segurança de máquinas, bem como os processos existentes, são fatores fundamentais para evitar acidentes.

É nessa linha que este trabalho visa o esclarecimento de um destes processos técnicos. A ausência de comparabilidade entre métodos de estimativa de riscos pode trazer a incerteza entre resultados obtidos com diferentes ferramentas de estimativa de riscos. O tempo e recursos dispendidos no processo de apreciação de risco deve trazer os resultados esperados. Conhecer a influência dos parâmetros usados para definir o risco, identificar a influência dos níveis de cada parâmetro nos níveis de risco e ter como resultante o nível de desempenho requerido após o processo de estimativa de riscos pode ser fundamental na decisão da aplicação dos recursos.

1.3.2 Para a Academia

A fim de realizar a conscientização sobre o problema e identificar os trabalhos já publicados, foi realizada uma Revisão Sistemática da Literatura seguindo o método proposto por Morandi e Camargo (2015), conforme demonstrado na Figura 1.

Figura 1 - Método para a Revisão Sistemática da Literatura



Fonte: Morandi e Camargo (2015, p. 167).

Para tanto, foram definidos os termos de busca, as fontes de pesquisa, horizonte, idioma e os critérios de inclusão e exclusão que compõem o Protocolo de RSL demonstrado no Quadro 1.

Quadro 1 – Protocolo de Revisão Sistemática da Literatura

Critério Utilizado	Definição
Framework conceitual	Para identificar os perigos de uma máquina é necessário a realização de uma apreciação de risco e aplicar medidas de segurança para a redução do risco. A estimativa de risco da máquina desempenha um papel crucial na escolha e priorização dos métodos de redução de risco.
Contexto	Segurança de máquinas e processo de estimativa de riscos para máquinas industriais.
Horizonte	Artigos a partir de 1989. Esse ano foi escolhido devido ser 02 décadas anterior a publicação da Norma Regulamentadora 12 e pesquisas demonstram estudos internacionais anteriores a publicação da norma brasileira.
Idiomas	Inglês e português
Questão de revisão	Estudos comparativos existentes sobre ferramentas de estimativa de riscos para segurança de máquinas.
Estratégia de revisão	() Agregativa (X) Configurativa
Critérios de Inclusão	Periódicos e artigos científicos que abordam normas tipo A. ¹ Periódicos e artigos científicos que apresentem o processo de apreciação de risco, o processo de estimativa de riscos e que abordam ferramentas de estimativa de riscos.
Critérios de Exclusão	Periódicos e artigos científicos que abordam unicamente as normas tipo B e C, especificação para partes de sistema de comandos, validação, <i>lockout tagout</i> . Periódicos e artigos científicos com duplicidade de informações. Periódicos e artigos científicos com idioma diferente do Português e Inglês.
Termos de Busca	<i>Machine Risk Assessment</i>
	Apreciação de risco em máquinas
	<i>Risk analysis method</i>
	Métodos para estimativa de riscos
Fontes de busca	EBSCOhost
	Google Acadêmico
	Scielo

¹ As normas do tipo A, B e C pertencem a uma hierarquia de normas divididas em categorias, a fim de evitar a repetição de tarefas e para criar uma lógica que permita um trabalho rápido, facilitando a referência cruzada entre estas (ABNT NBR 1200, 2013, p.7).

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Após realizada a estratégia, foram realizadas as pesquisas nas bases de dados e os resultados estão apresentados no Quadro 2.

Quadro 2 – Resultados da pesquisa RSL

Fonte de busca	Termos de Busca	Índices de Pesquisa	Resultados	Títulos Lidos	Resumos Lidos	Artigos lidos na Integra
EBSCOhost	<i>Machine Risk Assessment</i>	Título e resumo	10	10	8	3
	Apreciação de risco em máquinas	Título e resumo	0	0	0	0
	<i>Risk analysis method</i>	Título e resumo	138	50	6	3
	Métodos para estimativa de riscos	Título e resumo	0	0	0	0
Google Acadêmico	<i>Machine Risk assessment</i>	Título e resumo	229.000	50	10	2
	Apreciação de risco em máquinas	Título e resumo	15.400	50	5	2
	<i>Risk analysis method</i>	Título e resumo	24.700	50	4	3
	Métodos para estimativa de riscos	Título e resumo	15.100	50	7	0
SciELO	<i>Machine Risk assessment</i>	Título e resumo	7	7	2	0
	Apreciação de risco em máquinas	Título e resumo	0	0	3	0
	<i>Risk analysis method</i>	Título e resumo	1.562	50	1	1
	Métodos para estimativa de riscos	Título e resumo	43	43	2	1

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Após a busca dos artigos, conforme Morandi e Camargo (2015), foi realizada uma leitura inspeccional. O critério adotado para seleção dos artigos foi a leitura dos 50 (cinquenta) primeiros títulos conforme ordenação e relevância em cada base de dados selecionada. Do total lido, 49 artigos foram classificados como úteis com base no critério de inclusão e, destes, 15 artigos foram lidos na íntegra conforme o Quadro 3.

Quadro 3 – Artigos Critérios de Inclusão

Título	Autor	Ano	Ref.	Síntese
<i>Risk Assessment and Machinery Safety</i>	Raafat	1989	1	Avaliação de risco probabilística como uma abordagem moderna para a segurança de máquinas através de um histórico de caso e propõe um guia para a aceitabilidade do risco.
<i>Risk Estimation</i>	Steel	1990	2	Apresentação de uma metodologia para apreciação e estimativa de riscos.
<i>Small business success: Identifying safety hazards and safety risks</i>	Esterhuyzen e Louw	1996	3	Este artigo relata uma análise de dados secundários da literatura relevante sobre perigos e riscos à segurança e seu papel no sucesso de pequenas empresas.
<i>Review of 62 risk analysis methodologies of industrial plants</i>	Tixier, Dussere, Salvi e Gaston	2002	4	Estudo aborda 62 metodologias para análise de risco.
<i>Consequence and likelihood in risk estimation: A matter of balance in UK health and safety risk assessment practice</i>	Woodruff	2005	5	Apresentação de metodologias semiquantitativas de estimativa de risco existentes comumente aplicadas na prática de avaliação de risco.
<i>Scalable Risk Analysis and Evaluation Method</i>	Görnermann	2007	6	Apresentação de uma metodologia para apreciação e estimativa de riscos.
<i>Industrial Machine Systems Risk Assessment: A Critical Review of Concepts and Methods</i>	Etherton	2007	7	Revisão crítica de conceitos e métodos. Como várias ferramentas de estimativa de risco se traduzem em informações de risco, decisões sobre design e uso de sistemas de máquinas industriais.
<i>Towards safety level definition based on the HRN approach for industrial robots in collaborative activities</i>	Hippertta, Junior, Szejkaa, Junior, Louresa, Santos	2010	8	Atribuição de níveis de segurança através da ferramenta HRN que permitam que um robô execute uma atividade colaborativa.
<i>Risk estimation studies in the context of a machine control function</i>	Hietikko, Malm, Alanen	2011	9	Apresenta um processo de estimativa de risco de uma função de controle relacionada à segurança. Realizado três estudos de caso, incluindo uma estimativa de risco para os mesmos controles relacionados à segurança de uma máquina.

<i>Experimental Analysis of Tools Used for Estimating Risk Associated with Industrial Machines</i>	Chinniah, Gauthier, Lambert e Moulet	2011	10	Estudo referente a 31 ferramentas qualitativas utilizadas para estimar riscos associados à máquinas industriais.
Fiabilidade na Avaliação de Risco	Carvalho	2013	11	Estudo comparativo de métodos semi-quantitativos de Avaliação de Risco em contexto ocupacional
Métodos de avaliação de risco e Ferramentas de estimativa de risco	Becker, Pires, Görnermann, Pinto, Dias, Almeida, Lima, Barbosa	2015	12	Abordagem europeia no tema apreciação de risco, bem como avaliação dos métodos existentes de avaliação de risco e ferramentas para avaliação de risco.
<i>Analysis and Classification of the Tools for Assessing the Risks Associated With Industrial Machines</i>	Paques, Gauthier e Perez	2015	13	Apresentação dos principais resultados quantitativos da análise de métodos e ferramentas de estimativa de riscos.
<i>Experimental Analysis of 31 Risk Estimation Tools Applied to Safety of Machinery</i>	Gauthier, Lambert e Chinniah	2015	14	Estudo das diferenças nos resultados do uso de diferentes ferramentas de estimativa de risco nas mesmas situações perigosas envolvendo máquinas perigosas.
<i>Validation of the impact of architectural flaws in six machine risk estimation tools</i>	Chinniah, Gauthier, Aucourt e Vienney	2018	15	Estudo para testar possíveis falhas em 6 ferramentas realizado por 25 especialistas em segurança de máquinas.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Pesquisas na área de segurança de máquinas com estudos aplicados na estimativa de riscos não são comuns, principalmente quando relacionado a métodos utilizados no Brasil. Isso eleva a importância do trabalho, especialmente quando um estudo internacional é replicado realizando comparações técnicas com um dos métodos de estimativa de riscos mais utilizado no Brasil.

1.4 DELIMITAÇÕES

O processo de apreciação de risco é extenso e complexo e, para a correta aplicação, é necessário um amplo conhecimento normativo e tácito. Cabe ressaltar

que mesmo sendo um assunto de caráter técnico, ao longo do processo de estimativa são percebidas avaliações subjetivas.

Para este estudo, foi considerada apenas uma parte do processo de apreciação de risco: o processo de estimativa de riscos.

O foco da pesquisa será a análise de apenas duas ferramentas para estimativa de riscos com base nos princípios técnicos da norma ISO 14121-1: 2007, comparando os parâmetros de estimativa de riscos e aplicando as duas ferramentas para estimativa de riscos em 20 (vinte) situações de perigo diferentes.

Essa avaliação será realizada em máquinas de uma linha de produção industrial do segmento de não tecidos numa empresa chamada Alfa (nome fictício atribuído para preservação da identidade) no Estado de São Paulo. Serão realizadas entrevistas com os operadores das máquinas e a avaliação será conduzida pelo acadêmico e por mais um profissional da área de engenharia.

A revisão bibliográfica desta pesquisa está limitada em publicações de 1989 até 2020 com foco nas publicações internacionais.

A ferramenta para estimativa de riscos escolhida para efeitos de comparação ao método HRN é a metodologia SCRAM. Esse método foi escolhido pelo autor da metodologia SCRAM ser um dos peritos do Projeto de Apoio ao Diálogos Setoriais da União Europeia – Brasil.

1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A monografia está estruturada em cinco capítulos. O primeiro capítulo apresenta a introdução, contextualizando os assuntos que serão abordados e apresenta o objeto e problema de pesquisa, bem como o objetivo geral e objetivos específicos. Além disso, traz justificativa para a sociedade e academia. As delimitações também estão presentes no primeiro capítulo.

O segundo capítulo traz uma revisão bibliográfica do processo de apreciação de risco, para proporcionar ao leitor um conhecimento básico do tema. Após, é apresentado o estudo comparativo entre as duas ferramentas de estimativa de riscos levando em consideração os critérios adotados para a análise. No terceiro capítulo, é apresentada a metodologia para a elaboração do trabalho, o método de pesquisa, os métodos de coleta de dados e o processo de análise e delimitações.

O quarto capítulo demonstra os resultados e análises realizadas através da aplicação teórica e prática das duas ferramentas de estimativa de riscos. O quinto e último capítulo traz as discussões e conclusões acerca da pesquisa.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Este capítulo apresenta a sustentação teórica desta pesquisa. O capítulo inicia-se apresentando os conceitos básicos de apreciação de risco, bem como a abordagem de duas ferramentas de estimativa de riscos. Por fim, realiza-se uma apresentação referente ao artigo-análise experimental de ferramentas usadas para estimativa de risco associado.

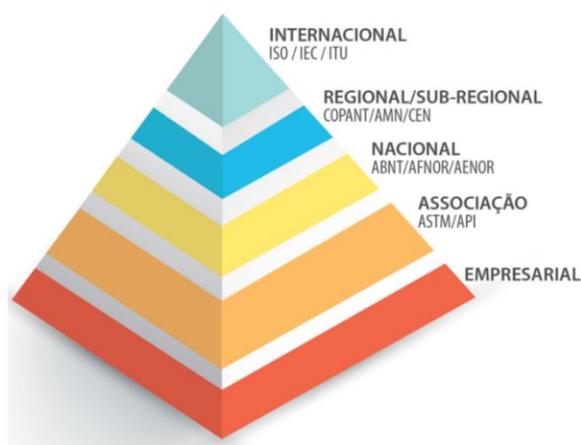
2.1 APRECIÇÃO DE RISCOS – CONCEITOS BÁSICOS

Esta seção inicia-se apresentando a legislação e regramentos normativos vigentes. Na sequência, apresenta-se os conceitos referente apreciação de risco, bem como as definições conceituais referentes a perigo e risco. Por fim, apresenta-se a etapa de estimativa de risco.

2.1.2 Regramentos Normativos e Legislação

Nível de normalização é considerado o alcance geográfico, político ou econômico das normas e este pode ser dividido em um país, uma região ou vários países do mundo (ABNT, [2020?]). Estes níveis de normalização geralmente são apresentados em forma de pirâmide, conforme Figura 2:

Figura 2 - Pirâmide Níveis de Normalização



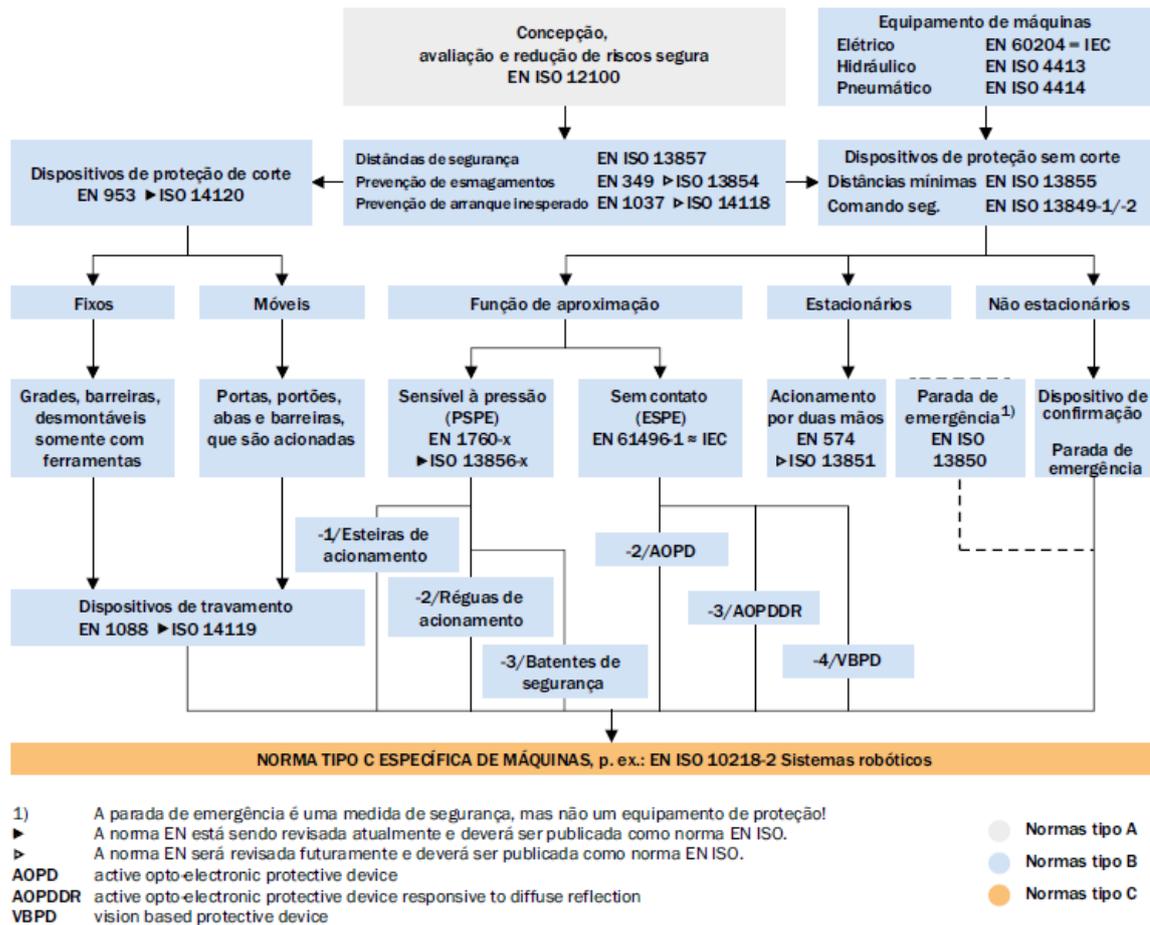
Fonte: ABNT [2020?]

A norma é um documento estabelecido por várias associações de interesse (fabricante, consumidor e entidades neutras, como as certificadoras e as governamentais) e que fornecem regras, diretrizes ou aspectos mínimos que devem ser cumpridos (SICK AG, 2015). O reconhecimento das normas e sua aplicabilidade garante produtos mais seguros e eficientes, facilitando assim a introdução dos produtos e serviços no mercado (ABNT, [2020?]). Por princípio, a norma é de uso voluntário e normalmente representa o estado da arte em determinado assunto.

Em âmbito internacional, as principais organizações e estruturas do processo de normalização são a Organização Internacional de Normalização (ISO - *International Standardization Organization*) e a Comissão Eletrotécnica Internacional (IEC - *International Electrotechnical Commission*). A ISO tem um enfoque em tecnologias não elétrica e a IEC possui um enfoque no setor eletrotécnico, como, por exemplo, normas para sistemas eletrônicos, telecomunicações e compatibilidade eletromagnética. Em âmbito regional, destaca-se o Comitê Europeu de Normalização organização (CEN - *Comité Européen de Normalisation*). O CEN pertence aos Estados Membros da União Europeia e é responsável pela elaboração das normas da União Europeia (EN) dos setores não elétricos. Observa-se uma estreita colaboração entre as normas ISO e CEN, onde, através de um processo de votação, o CEN determina se as normas ISO serão aprovadas (SICK AG, 2015). O objetivo deste processo de votação é manter a consonância entre as normas EN e as normas ISO dentro da comunidade europeia.

Na Figura 3 é apresentado um resumo dos dispositivos de proteção, bem como as principais normas de segurança para estes dispositivos em seu caráter hierárquico.

Figura 3 – Resumo dos dispositivos de proteção e respectivas normas



Fonte: SICK AG (2015).

Em âmbito nacional, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) é responsável pela elaboração das normas brasileiras (ABNT NBR), bem como pela elaboração dos comitês brasileiros (ABNT/CB) e organismos de normalização setorial (ABNT/NOS) e comissões de estudos especiais (ABNT/CEE). A ABNT é uma entidade privada e sem fins lucrativos, e é membro fundador da ISO (ABNT, [2020?]). Cabe destacar que, mesmo a norma sendo de uso voluntário, no Brasil, de acordo com o Artigo 39, inciso VIII, do Código de Defesa do Consumidor (CDC), é vedado ao fornecedor de produtos ou serviços colocar no mercado de consumo qualquer produto ou serviço em desacordo com as normas expedidas pelos órgãos oficiais (BRASIL, 2017, p. 18). É nesse sentido que se faz necessário a observância das normas técnicas brasileiras, assim como as estruturas hierárquicas que as compõem. A norma ABNT NBR ISO 12100:2013 é a norma técnica que apoia a sociedade e demais interessados a entender as necessidades no campo de segurança de máquinas. Essa

norma aborda conceitos gerais de projeto, especificando os princípios necessários para o desenvolvimento da apreciação de risco e apresenta procedimentos, orientações e documentos para apoiar o processo de desenvolvimento da apreciação e redução do risco. Ressalta-se que no ambiente normativo existe uma hierarquia nos processos de elaboração e que estes são divididos em categorias a fim de evitar repetições de tarefas e criar uma sequência lógica. As normas são estruturadas em 03 (três) tipos. De acordo com a norma ABNT NBR ISO 12100:2013 as normas do tipo A são normas indispensáveis e básicas de segurança, no qual estabelecem os conceitos principais e diversos aspectos técnicos estruturais para todos os tipos de máquinas. As normas do tipo B são normas de segurança relativas a um grupo e que tratam de um aspecto ou de um tipo de dispositivo de segurança, aplicáveis a uma gama extensa de máquinas e são subdivididas em dois grupos: o grupo B1 aborda aspectos específicos de segurança, como, por exemplo, as distâncias de segurança e temperatura de superfícies; o grupo B2 aborda mais especificamente os dispositivos de segurança, como, por exemplo, comandos bimanuais, dispositivos de intertravamento e dispositivos sensíveis à pressão. As normas do tipo C são normas de segurança por categoria de máquinas, que dão orientações detalhadas de segurança aplicáveis a uma máquina em particular ou a um grupo de máquinas (ABNT NBR ISO 12100:2013).

Cabe ressaltar que, além das normas técnicas brasileiras, o Brasil possui 37 (trinta e sete) normas regulamentadoras. Essas normas regulamentadoras têm por objetivo garantir o trabalho seguro e sadio, prevenindo a ocorrência de doenças e acidentes de trabalho (BRASIL, [2020?]). No que tange a segurança de máquinas, a Norma Regulamentadora 12 (NR12, 2010) tem objetivo de reduzir a ocorrência de acidentes relacionados a operação em máquinas e equipamentos e é essa NR que define referências técnicas, princípios fundamentais, medidas de proteção e indica a realização da apreciação de riscos. Destaca-se que as normas regulamentadoras consistem em obrigações, direitos e deveres a serem cumpridos por empregados e trabalhadores no âmbito da força da lei (MTE, 2015).

2.1.2 Apreciação de Riscos

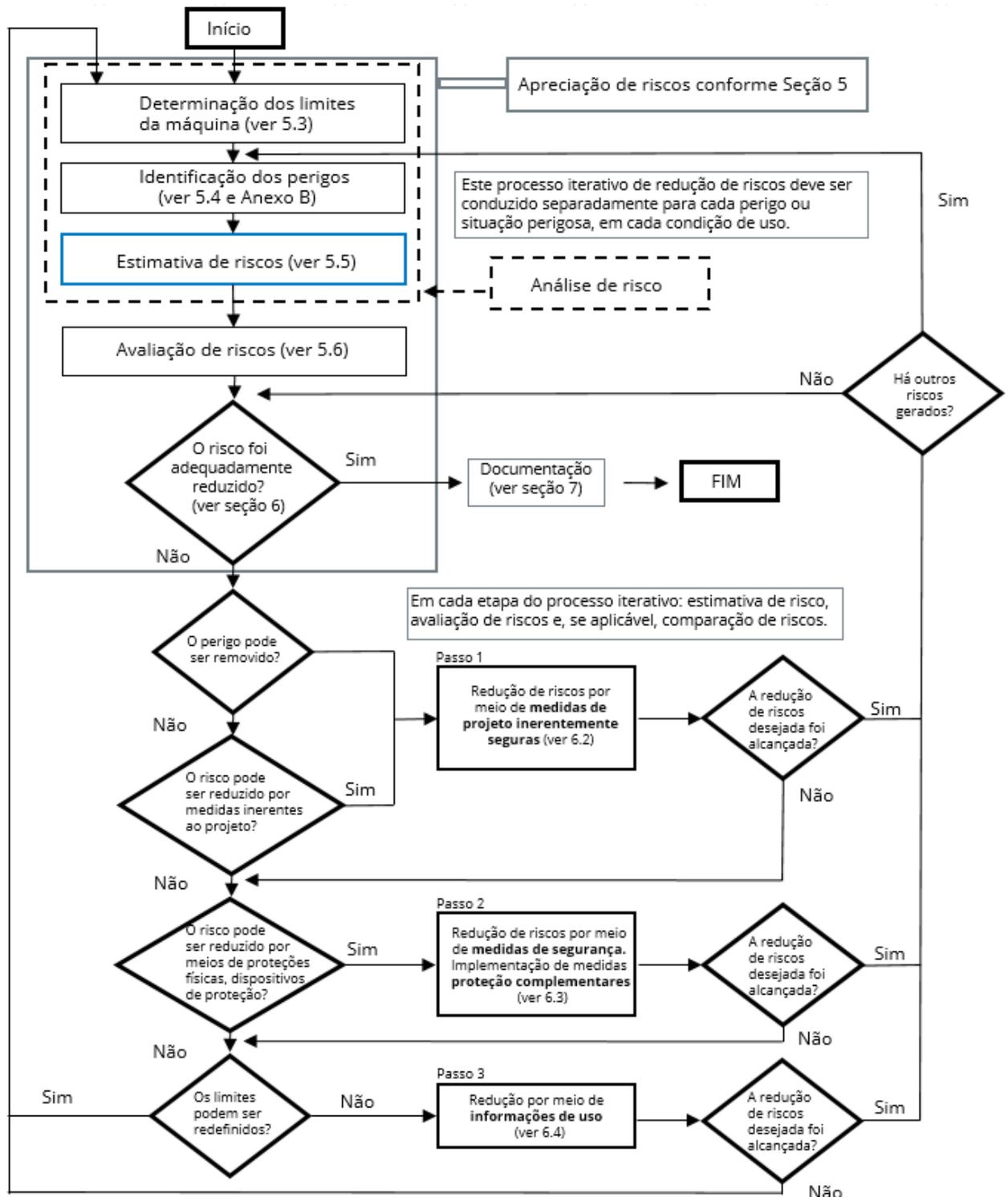
Os perigos de uma máquina nem sempre são visíveis e óbvios. O reconhecimento destes perigos se dá por um processo técnico conhecido como

apreciação de risco. Conforme Carvalho (2013, p. 9) “uma apreciação de risco não é mais do que um exame cuidadoso, realizado nos locais de trabalho, de forma a detectar os componentes capazes de causar danos aos trabalhadores expostos”. Ainda neste sentido, “a apreciação de risco é um processo composto por uma série de etapas que permite, de forma sistemática, analisar e avaliar os riscos associados à máquina” (ABNT NBR 12100, 2013, p. 10). Implementar o processo de apreciação de risco no parque fabril pode levar a uma redução da frequência de acidentes ou mortes relacionadas as máquinas. Para Etherton (2007), a realização de uma apreciação de risco pode ter como consequência o alcance de medidas de proteção que reduzam a probabilidade ou gravidade da lesão para os trabalhadores que operam e mantêm as máquinas. Além disso, segundo Gauthier, Lambert e Chinniah (2012, p. 1) a “apreciação de risco garante um sistema de gestão de saúde e segurança bem-sucedido [...]. Para Hietikko, Malm e Alanen (2011, p. 1, tradução nossa), “a apreciação de riscos na fase inicial do projeto é importante por muitos motivos. A maior parte de todos os requisitos de segurança da máquina pode ser formada com base na avaliação de risco”.

Uma vez que seja identificada a necessidade da realização de uma apreciação de risco, o profissional deve estar preparado tecnicamente para a correta implementação do processo, segundo os preceitos das normas vigentes. De acordo com Brasil (2015), é surpreendente o desconhecimento das pessoas em relação a técnica para apreciação de risco, mesmo após vários anos de vigência de normas técnicas desse teor. Para a realização da apreciação de risco, o profissional deve realizar o processo de análise de riscos, composto pela determinação dos limites da máquina, identificação dos perigos e estimativa dos riscos. De acordo com Raafat (1989, p. 41), “a análise de risco é uma parte essencial do procedimento geral de apreciação de risco”. Segundo o autor, antes de iniciar um estudo, seus objetivos e escopos devem ser definidos explicitamente. Após realizada a análise de riscos, a avaliação de riscos permitirá que sejam tomadas decisões sobre a segurança da máquina (GAUTHIER; LAMBERT; CHINNIAH, 2012). Ainda nesse sentido, percorrido os processos de análise de riscos e avaliação de riscos, o responsável deve eliminar o perigo com base no processo de redução de risco. Para Hietikko, Malm e Alanen (2011, p. 1, tradução nossa), “a redução de risco na fase de desenvolvimento de um sistema é mais econômica se houver informações suficientes disponíveis sobre o sistema que está sendo projetado”. À medida que as etapas são implementadas,

conforme demonstrado na Figura 3, o objetivo de reduzir o risco é alcançado. Ressalta-se que para alcançar a plena redução do risco é necessário levar em consideração a segurança da máquina em todos os ciclos de vida do equipamento. Por conceito, fases do ciclo de vida da máquina podem ser caracterizados como transporte, montagem, instalação, ajuste, operação, limpeza, manutenção, inspeção, desativação e desmonte da máquina (NR 12, 2010).

Figura 4 – Representação esquemática do processo de redução de riscos incluindo o método iterativo em três passos²



Fonte: ABNT NBR ISO 12100 (2013, p. 11).

² Destacado em azul está o processo de estimativa de riscos, etapa na qual serão aplicadas as duas metodologias de estimativa de riscos para efeitos de comparação.

2.1.3 Perigo e Risco

Reconhecer as diferenças entre perigo e risco se faz necessário não exclusivamente aos profissionais do ramo de segurança de máquinas, mas sim para toda a sociedade. De acordo com Etherton (2007), os perigos fazem parte do nosso cotidiano e, independentemente do que estejam fazendo, as pessoas estão envolvidas com algum tipo de risco. Em processos de apreciação de risco, a identificação dos perigos é a segunda etapa do processo de análise dos riscos. De acordo com Raafat (1989, p.4/ 2, tradução nossa), “é importante distinguir entre os perigos contínuos (perigos inerentes ao processo ou máquina, por exemplo perigo mecânico, ruído ou propriedades tóxicas e inflamáveis) e os perigos resultantes de falhas do equipamento [...]”. Para Gauthier, Lambert e Chinniah (2012, p. 1, tradução nossa), “na etapa de identificação de perigos nas máquinas, é necessário considerar diferentes formas de perigos”. Destaca-se ainda, segundo Gauthier, Lambert e Chinniah (2012), que, em geral, as principais categorias de perigo existentes em máquinas são relacionadas aos grupos de perigos mecânicos e elétricos. Ainda neste sentido cabe destacar os diferentes significados entre as palavras perigo e risco. De acordo com Carvalho (2013), muitas vezes os termos e conceitos utilizados na avaliação de risco podem trazer um certo nível de confusão e assumem diferentes significados. De acordo com a norma ABNT NBR ISO 12100 (2013, p. 2), “perigo é uma fonte potencial de dano”. Já o risco tem por definição, segundo Raafat (1998, p. 39, tradução nossa), que “risco é a probabilidade de um evento indesejado específico ocorrer dentro de um período específico, juntamente com as consequências desse evento específico”. O termo risco possui uma relação direta com probabilidade e ocorrência, podendo ser definido como a combinação de probabilidade de ocorrência de um dano e da severidade deste (ABNT NBR ISO 12100, 2013). Ressalta-se que o dano é definido como uma lesão física ou prejuízo à saúde (ABNT NBR ISO 12100, 2013) e a severidade ou gravidade pode ser caracterizado como medida das possíveis consequências de um perigo (ABNT NBR ISO 14971, 2009).

Acentuam-se as diferenças entre as definições perigo e risco quando se apresenta um caso real como o acidente ocorrido no Porto de Beirute em 04 (quatro) de agosto de 2020 (dois mil e vinte). Ao analisar o ocorrido, evidencia-se que a fonte potencial de dano (perigo) era o nitrato de amônio (perigo químico) com potenciais consequências de explosão. O risco era a relação direta entre a severidade do dano

(morte) com a probabilidade (exposição de pessoas, ocorrência de eventos perigosos e possibilidade de evitar ou limitar o dano) de ocorrência do dano. Esse acidente ocasionou a morte de 117 (cento e dezessete) pessoas, deixando outros milhares de pessoas feridas na capital Libanesa (RFI, 2019).

2.1.4 Estimativa de Riscos

Após finalizado o processo de identificação de perigo, a estimativa de risco é o passo seguinte no processo de análise de risco, devendo ser realizada para cada perigo e risco (GAUTHIER; LAMBERT; CHINNIAN, 2012). De acordo com Brasil (2015, p. 14), “a estimativa de risco deve determinar o nível de risco, considerando os parâmetros de risco, principalmente o possível resultado de um evento perigoso e a probabilidade de sua ocorrência”.

Segundo Marhavidas, Koulouriotis e Gemeni (2011), a literatura apresenta 03 (três) categorias de métodos para a estimativa de riscos: os métodos qualitativos, os métodos quantitativos e os métodos híbridos (qualitativo + quantitativo). Os métodos qualitativos são baseados em processos de estimativa analítica e na habilidade dos profissionais da área de segurança. Esse método baseia-se puramente em avaliações qualitativas da severidade e da probabilidade, sem que haja qualquer registro numérico associado (CARVALHO, 2013). Ainda neste sentido, cita-se como exemplo de técnicas qualitativas documentos de *checklist*³ e análise de tarefas (*task analysis*). Já os métodos quantitativos consideram o risco como uma quantidade e buscam uma resposta numérica para o nível de risco, com base no cálculo da probabilidade e severidade do dano (MARHAVILAS; KOULOURIOTIS; GEMENI, 2011). No que tange os métodos híbridos, esses geralmente recorrem a escalas de hierarquização da probabilidade, severidade e do nível de risco, apresentando uma relação entre os fatores. Conforme Görnemann (2007), ferramentas de estimativa de riscos, sejam elas baseadas em métodos qualitativos ou quantitativos, devem levar em consideração pelo menos dois elementos principais de riscos, a severidade do dano e a probabilidade de ocorrência do dano. Ainda neste sentido, em alguns métodos verifica-se a utilização de parâmetros adicionais, tais como a exposição de pessoas

³ *Checklist* – lista de verificação: é uma avaliação sistemática em relação a critérios pré-estabelecidos na forma de uma ou mais listas de verificação, referentes às questões de operação, organização, manutenção e outras áreas de preocupação com a segurança da instalação. Representam o método mais simples usado para identificação de perigos (MARHAVILAS; KOULOURIOTIS; GEMENI, 2011).

aos perigos, a ocorrência de eventos perigosos e a possibilidade de evitar ou limitar o dano.

Para a combinação de probabilidade e severidade, os métodos qualitativos se valem de algumas ferramentas, tais como matriz ou gráfico de risco. Matriz de risco é uma tabela multidimensional que permite a combinação de qualquer classe de severidade do dano com qualquer classe de probabilidade de ocorrência do dano, conforme ilustrado no Quadro 4.

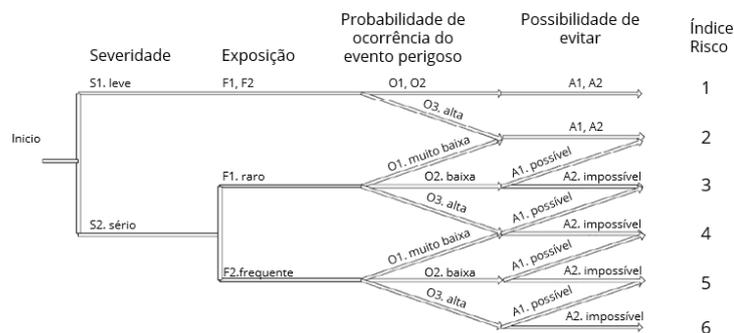
Quadro 4 – Exemplo de matriz de estimativa de riscos

Probability of Occurrence of Harm	Severity of Harm			
	Catastrophic	Serious	Moderate	Minor
Very Likely	High	High	High	Medium
Likely	High	High	Medium	Low
Unlikely	Medium	Medium	Low	Negligible
Remote	Low	Low	Negligible	Negligible

Fonte: Görnemann (2007).

Os gráficos de risco, por sua vez, são estruturas similares a árvores nas quais, a partir de um ponto de partida, decisões devem ser tomadas baseadas em parâmetros para obtenção da estimativa do risco, conforme ilustrado na Figura 5.

Figura 5 – Gráfico de Risco (ISO/PDTR 14121-2)

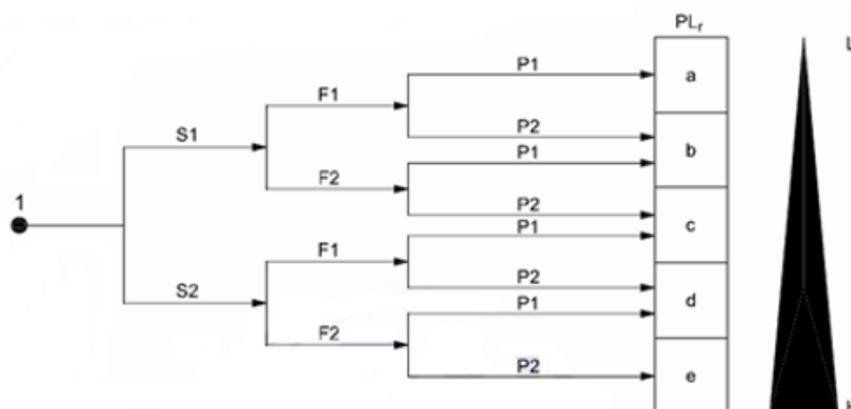


Fonte: Görnemann (2007).

A norma ABNT NBR ISO 12100:2013 não determina um método específico de estimativa de risco, então sugere-se considerar as ferramentas de estimativa de risco contidas nas normas tipo B, tais como ABNT NBR ISO 13849-1:2019 e a EN 62061

(BRASIL, 2015). A norma ABNT NBR ISO 13849-1:2019 possui em seu anexo A um gráfico de risco para determinação do nível de desempenho requerido, conforme Figura 6.

Figura 6 – Gráfico de risco para determinação do PLr (nível de desempenho requerido) para a função de segurança



Fonte: ABNT NBR ISO 13849-1 (2019).

A definição da severidade inicia-se com a definição do parâmetro S1 (leve) - normalmente lesão reversível - ou do parâmetro S2 (grave) - normalmente lesão irreversível ou morte. A partir da definição da severidade é necessário estabelecer os parâmetros de frequência, que podem ser raros a menos frequente e/ou tempo de exposição curto - F1; ou frequente a contínuo e/ou tempo de exposição longo - F2.

Ultrapassadas as etapas de severidade do dano e frequência de exposição, deve-se definir a possibilidade em se evitar o perigo ou limitar o dano. Esta etapa possui duas possibilidades, o parâmetro P1, que determina ser possível sob condições específicas e o parâmetro P2, que estabelece ser quase impossível a possibilidade de se evitar o perigo ou limitar o dano. Seguindo essa sequência lógica e dependendo da seleção dos parâmetros, determina-se o nível de desempenho requerido para as medidas de proteções técnica, que pode ser caracterizado pela letra A (menor nível de desempenho requerido) ou pelas letras B, C, D e E (maior nível de desempenho requerido). A norma EN 62061, citada por Brasil (2015), tem como abordagem a segurança de máquinas - segurança funcional de sistema de controle elétrico, eletrônico e eletrônico programável relacionados à segurança. Essa metodologia determina o nível de integridade de segurança (SIL - *safety integrity level*) através de um processo numérico, conforme apresentado no Quadro 5:

Quadro 5 – Determinação do nível de integridade de segurança (SIL) conforme norma IEC 62061

Efeitos	Extensão dos danos S	Classe K = F + W + P				
		4	5-7	8-10	11-13	14-15
Morte, perda da visão ou braço	4	SIL2	SIL2	SIL2	SIL3	SIL3
Irreversível, perda de dedos (s)	3			SIL1	SIL2	SIL3
Reversível, necessidade de tratamento médico	2				SIL1	SIL2
Reversível, requeridos primeiros socorros	1					SIL1

Fonte: SICK AG (2015).

A frequência do evento perigoso possui 05 (cinco) possibilidades de seleção e o determinante é se a frequência é por hora, dia, semana ou por ano, levando também em consideração a quantidade de vezes, conforme apresentando no Quadro 6 abaixo.

Quadro 6 – Frequência do evento perigoso (F) conforme norma IEC 62061

Frequência ⁴ do evento perigoso F
F ≥ 1 vez por hora 5
1 vez por hora > F ≥ 1 vez por dia 5
1 vez por dia > F ≥ 1 em 2 semanas 4
1 vez em 2 semanas > F ≥ 1 vez por ano 3
1 vez por ano > F 2

Fonte: SICK AG (2015).

⁴ Válido para durações superiores a 10 minutos.

Quadro 7 – Probabilidade de ocorrência evento perigoso (W) conforme norma IEC 62061

Probabilidade de ocorrência do evento perigoso W
Frequente 5
Provável 4
Possível 3
Raramente 2
Insignificante 1

Fonte: SICK AG (2015).

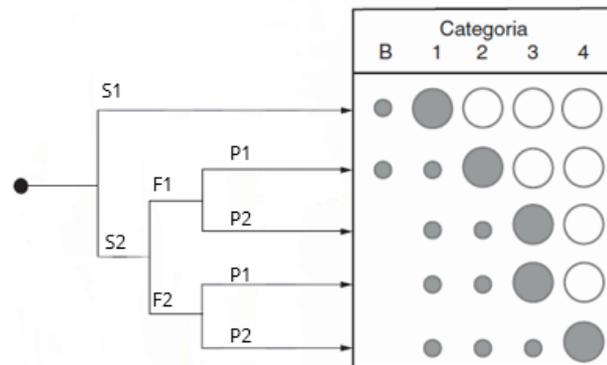
Quadro 8 – Possibilidade de evitar ou limitar um evento perigoso (P) conforme norma IEC 62061

Possibilidade de evitar ou limitar um evento perigoso P
Impossível 5
Possível 3
Provável 1

Fonte: SICK AG (2015).

A determinação do nível de integridade é dada pelo resultante da soma dos fatores $F + W + P$ e interseção da linha “extensão dos danos” e a coluna K. Nota-se que SIL 1 é determinado para o menor nível de integridade de segurança requerido e SIL 3 para o maior nível de integridade de segurança requerido. Por fim, além das duas normas citados por Brasil (2015), os níveis de desempenho requeridos para os sistemas de segurança podem ser definidos por uma terceira metodologia. A terceira metodologia é apresentada através da na norma ABNT NBR 14153-1:2013, na qual aborda partes de sistemas de comando relacionados à segurança e princípios gerais de projeto. Em seu anexo B é apresentado um gráfico, conforme Figura 7:

Figura 7 – Seleção possível de categorias



Fonte: ABNT NBR 14153 (2013).

Os níveis de desempenho nesta norma são definidos pela expressão “categorias de segurança”, e essas categorias possuem uma escala que se inicia na letra B (menor nível de categoria de segurança), passando pelos níveis 1,2,3 até chegar ao nível 4 (maior nível de categoria de segurança).

Concluída a explanação sobre o processo de estimativas de riscos, a próxima seção apresentará metodologias de estimativa de riscos.

2.2 METODOLOGIAS DE ESTIMATIVA DE RISCOS

Esta seção apresenta duas metodologias de estimativa de riscos que serão utilizadas pelo acadêmico no trabalho. A primeira metodologia apresentada é o *Hazard rating number – HRN*. A segunda metodologia abordada é o *Scalable risk analysis and evaluation method – SCRAM*.

2.2.1 HRN – *Hazard rating number*

Em junho de 1990, na revista *The Safety & Health Practitioner*, foi publicado um artigo de Chris Steel, profissional da área de segurança com mais de 15 (quinze) anos de experiência. Nesse artigo, o autor relata a grande variedade de técnicas para estimação da magnitude do risco existentes e cita que métodos de estimativa de riscos mais simples fornecerão um grau de objetividade e facilidade para classificação dos riscos e prioridades, assim como métodos mais complexos fornecerão evidências estatísticas e estimativas mais precisas. Ainda neste sentido, o autor cita benefícios das diversas técnicas de estimação de risco, como, por exemplo, o fornecimento de

evidências de consideração de riscos, estabelecimento de prioridades e foco na objetividade e concordância, bem como o cumprimento legal. É neste contexto que o autor propõe uma nova metodologia chamada de *Hazard Rating Number* – HRN. Essa metodologia possui uma composição técnica baseada em valores numéricos distribuídos com parâmetros definidos, conforme apresentado nas Tabelas 1 a 5:

Tabela 1 - Probabilidade de exposição/contato com perigo (PE)

Table 1: Probability of exposure to/contact with hazard (PE)	
<i>0 Impossible</i>	<i>cannot happen under any circumstances</i>
<i>1 Unlikely</i>	<i>though conceivable</i>
<i>2 Possible</i>	<i>but unusual</i>
<i>5 Even chance</i>	<i>could happen</i>
<i>8 Probable</i>	<i>not surprised</i>
<i>10 Likely</i>	<i>only to be expected</i>
<i>15 Certain</i>	<i>no doubt</i>

Fonte: Steel (1990).

A Tabela 1 apresenta os parâmetros de exposição/contato com perigo distribuídos em até 07 (sete) possibilidades, que vão da total impossibilidade até a certeza da exposição. Nota-se que o incremento da probabilidade não se reflete de maneira linear no índice de probabilidade.

Tabela 2 - Frequência de exposição ao perigo (FE)

Table 2: Frequency of exposure to hazard (FE)
<i>0.1 Infrequently</i>
<i>0.2 Annually</i>
<i>1.0 Monthly</i>
<i>1.5 Weekly</i>
<i>2.5 Daily</i>
<i>4 Hourly</i>
<i>5 Constantly</i>

Fonte: Steel (1990).

A Tabela 2 apresenta os parâmetros de frequência de exposição ao perigo e possui uma distribuição de fatores em até 07 (sete) possibilidades, desde uma exposição rara até uma exposição constante.

Tabela 3 - Perda máxima provável (MPL)

Table 3: Maximum probable loss (MPL)⁵
15 Fatality
8 Loss of 2 limbs/eyes or serious illness (permanent)
4 Loss of 1 limb/eye or serious illness (temporary)
2 Break - major bone or minor illness (permanent)
1 Break - minor bone or minor illness (temporary)
0.5 Laceration/mild ill health effect
0.1 Scratch/bruise

Fonte: Steel (1990).

A Tabela 3 apresenta os parâmetros de perda máxima provável, que pode ser considerado equivalente à severidade e/ou gravidade do dano. A fatalidade é considerada máxima perda, enquanto arranhões e pequenos cortes equivalem ao menor nível.

Tabela 4 - Número de pessoas em risco (NP)

Table 4: Number of persons at risk (NP)
1 1-2 persons
2 3-7 persons
4 8-15 persons
8 16-50 persons
12 more than 50 persons

Fonte: Steel (1990).

A Tabela 4 apresenta os parâmetros referentes ao número de pessoas expostas ao risco. A técnica considera que a quantidade de pessoas exposta deve ser ponderada como fator de estimativa de risco, com a escala variando de menos 2 a mais de 50 pessoas.

O *hazard rating number* é o produto da multiplicação dos fatores PE (probabilidade de exposição/contato com perigo), FE (frequência de exposição ao perigo), MPL (perda máxima provável) e NP (número de pessoas em risco, conforme segue: $HRN = PE * FE * MPL * NP$).

⁵ As perdas por danos (com base no custo, por exemplo) também podem ser incluídas (*Damage losses (e.g. based on cost) can also be included*).

Esta estimativa de risco é utilizada para definir a premência de realização das ações requeridas para a redução do risco, conforme apresentado na Tabela 5. Riscos com HRN inferiores a 1 (um) são considerados aceitáveis e podem ou não ser tomadas ações. Risco com HRN entre 1 (um) e 5 (cinco), são considerados muito baixos e, desta forma, não há urgência na realização das ações, que podem ocorrer em até 1 (um) ano. Conforme o HRN aumenta, significando riscos maiores, o prazo para realização das ações diminui. Riscos muito altos, com HRN maiores do que 100, exigem ações em até 1 (um) dia; aqueles extremos, com HRN maiores do que 500, requerem ações imediatas; e os com HRN superiores a 1000 são considerados inaceitáveis e devem ter as atividades associadas paradas.

Tabela 5 – Tabela de ações

Risk	HRN	Action Timetable
<i>Acceptable risk</i>	<i>0 - 1</i>	<i>Accept risk/consider action</i>
<i>Very low risk</i>	<i>1 - 5</i>	<i>Action within 1 year</i>
<i>Low risk</i>	<i>5 - 10</i>	<i>Action within 3 months</i>
<i>Significant risk</i>	<i>10 - 50</i>	<i>Action within 1 month</i>
<i>High risk</i>	<i>50 - 100</i>	<i>Action within 1 week</i>
<i>Very high risk</i>	<i>100 - 500</i>	<i>Action within 1 day</i>
<i>Extreme risk</i>	<i>500 - 1000</i>	<i>Immediate action</i>
<i>Unacceptable risk</i>	<i>over 1000</i>	<i>stop the activity</i>

Fonte: Steel (1990).

Cabe ressaltar que, ao longo do tempo, observa-se em alguns artigos pequenas variações no método. Por exemplo, Brasil (2015) propôs a substituição do termo “MPL” (*maximum probable loss* – perda máxima provável) pelo termo “Se” (severidade – dano). Brasil (2015) sugere alteração no valor atribuído ao primeiro nível do parâmetro de probabilidade (*impossible*): enquanto na versão original o valor é zero, na proposta este valor passa a ser 0,03. Isto permite diferenciar dois riscos que apresentem a mesma probabilidade (*impossible*), mas cujos demais parâmetros sejam diferentes. Destaca-se que o acadêmico utilizará a versão proposta por Brasil (2015) no que tange o valor atribuído ao primeiro nível do parâmetro probabilidade.

De acordo com Brasil (2015), a metodologia HRN é um método que está de acordo com a norma ISO 14121:2007 e baseia-se num método quantitativo. Ainda

neste sentido, os autores relatam que essa metodologia é muito utilizada no Brasil para ações de adequação de máquinas aos requisitos normativos.

2.2.2 SCRAM – Scalable risk analysis and evaluation method

A metodologia SCRAM foi desenvolvida para avaliação do risco inicial, bem como para estimação do risco após a aplicação das medidas de segurança inerentemente seguras. É uma metodologia que possui em sua concepção matrizes bidimensionais, permitindo a combinação da severidade do dano e probabilidade, conforme apresentado nas Tabelas 6 a 12.

Tabela 6 – SCRAM – tabela principal

Severidade	Exposição	Possibilidade de evitar	Probabilidade de ocorrência			
			O1 – O3	O1	O2	O3
S1	÷	÷		0	0	0
	F0	÷	0	1		
S2	F1/F2	A1		0	0	1
		A2		0	1	2
S3	F0	÷	1			
	F1	A1		1	2	3
		A2		2	3	4
	F2	A1		3	4	5
A2			4	5	6	
S4	F0	÷	1			
	F1	A1		5	6	7
		A2		6	7	8
	F2	A1		7	8	9
A2			8	9	10	
			Grau de Risco			

Fonte: SICK AG (2019).

A Tabela 6 apresenta a possibilidade de seleção de até 04 categorias. A primeira categoria é a severidade do dano (*severity of harm*) e este é representado pela letra S. Está subdividido em 04 (quatro) parâmetros, sendo S1 para severidade insignificante (*negligible*), S2 para severidade leve (*slight*), S3 para severidade séria (*serious*) e o quarto parâmetro, S4, como severidade grave (*severe*). A segunda categoria refere-se à exposição ao perigo (*exposure of hazard*) e é representado pela letra F, tendo 03 (três) subdivisões. O primeiro parâmetro é definido pelo parâmetro F0 e significa ser possível evitar a exposição ao perigo (*prevented*). O segundo parâmetro é representado pela letra/número F1 e tem como significado a baixa (*low*) possibilidade de exposição ao perigo, e o terceiro parâmetro é representado pela letra/número F2 e tem como significado a alta (*high*) possibilidade de exposição ao perigo. A terceira categoria refere-se à possibilidade de evitar⁶ ou limitar o dano (*possibility of avoidance*), e possui duas subdivisões. O primeiro parâmetro refere-se à possibilidade de ser evitável (*avoidable*) e é representado pela letra/número A1. Já o A2 refere-se ao parâmetro não evitável (*not avoidable*). Por fim, o método SCRAM apresenta a quarta categoria como a probabilidade de ocorrência (*probability of occurrence*), tendo 03 (três) subdivisões, sendo o parâmetro O1 baixo (*low*), O2 médio (*medium*) e o parâmetro O3 alto (*high*).

⁶ A possibilidade de se evitar ou limitar um dano influencia na probabilidade de ocorrência do dano. Fatores como diversidade de pessoas expostas, quão rapidamente a situação perigosa pode levar ao dano, grau de ciência do risco, capacidade humana de evitar ou limitar o dano e a experiência prática/conhecimento devem ser levados em consideração ao estimar este fator (ABNT NBR ISO 12100, 2013).

Tabela 7 – SCRAM – medidas de redução de risco a serem implementadas

	Risco inicial	Redução do Risco		Risco Final
		Passo 2 (MSE e/ou CSE)	Passo 3 (SIG, INS, ORG e/ou PPE, conf. necessário)	
Passo 2	8 - 10	M	n/a	1
	4 - 7	M		
	2 - 3	M		
	1	HR		0
	0	R		
Passo 3	1	n/a	HR	0
	0		R	

Fonte: SICK AG (2019).

A Tabela 7 permite estimar a eficácia das medidas técnicas de proteção implementadas e/ou as informações de uso fornecidas. Para facilitar o entendimento, a Tabela 8 apresenta o detalhamento de cada acrônimo.

Tabela 8 – SCRAM – acrônimos referentes à Tabela 7

MSE	Equipamento de proteção mecânica
CSE	Equipamento de controle relacionado à segurança
SIG	Informação fixada na máquina (sinalização e placas de advertência)
INS	Informação contida na documentação da máquina (manual)
ORG	Procedimentos de trabalho seguro
PPE	Equipamento de proteção individual
M	Uma ou a combinação de dessas medidas é mandatória para este grau de risco
HR	Uma ou a combinação dessas medidas é altamente recomendada para este grau de risco
R	Uma ou a combinação dessas medidas é recomendada para este grau de risco

Fonte: SICK AG (2019).

Ainda neste sentido, o método SCRAM apresenta definições para os elementos de risco associado a uma situação perigosa. O fator severidade e o fator probabilidade

de ocorrência do dano, que é em função da exposição de pessoa(s) ao perigo, a ocorrência de evento perigoso e as possibilidades técnicas e humanas para evitar ou limitar possuem as definições conforme segue:

Tabela 9 – SCRAM – parâmetros de Severidade do dano (*severity of harm*)

<p>S1 Insignificante</p>	<p>Sem dano ou lesão insignificante (pequenos hematomas ou cortes superficiais) que não necessitam de tratamento, ou cujo tratamento limita-se a métodos e equipamentos simples de primeiros socorros e normalmente disponíveis.</p> <p>Arranhões e pequenas contusões.</p>
<p>S2 Baixa</p>	<p>Lesões que podem ser tratadas com equipamentos de primeiros socorros normalmente disponíveis, mas requerem a ajuda de pessoal medicamente habilitado. Ou, a lesão (condição médica) será revertida dentro de 3 meses sem tratamento, mas sob acompanhamento de um médico.</p> <p>Lacerações, perfuração e contusões</p>
<p>S3 Média</p>	<p>Lesões que requerem tratamento por um médico, mas não causam danos permanentes. Ou, lesões que causam a perda ou o dano permanente de partes do corpo humano (mas não perda total) com condição médica reversível.</p> <p>Membros quebrados ou lesões irreversíveis que não afetam significativamente a vida normal, como a perda da ponta de um dedo ou de um dedo do pé.</p>
<p>S4 Alta</p>	<p>Lesões que levam à morte de uma ou mais pessoas. Ou, lesões que requerem tratamento por um médico em um hospital e podem levar a um comprometimento permanente ou perda de partes do corpo, membros ou sentidos / habilidades</p> <p>Morte, ferimentos fatais ou lesões irreversíveis graves, de tal forma que afetem significativamente a vida normal (perda de um membro).</p>

Fonte: SICK AG (2019).

A Tabela 9 apresenta uma explanação determinando a severidade que pode ser classificado em até 04 (quatro) parâmetros.

Tabela 10 – SCRAM – parâmetros para Exposição ao perigo (*exposure to hazard*)

F0 Impedido	A exposição previsível ou o acesso ao(s) perigo(s) é evitada(o) por equipamentos de proteção mecânica e/ou equipamentos de controle relacionados à segurança, selecionados e implementados apropriadamente para a aplicação. NOTA: F0 não é uma seleção disponível durante a estimativa de risco inicial, que pressupõe que nenhuma medida de redução de risco tenha sido aplicada.
F1 Baixa	Duas vezes ou menos por turno de trabalho e menos de 15 minutos de exposição acumulada por turno de trabalho.
F2 Alta	Mais de duas vezes por turno de trabalho ou mais de 15 minutos de exposição acumulada por turno de trabalho.

Fonte: SICK AG (2019).

A Tabela 10 apresenta 03 (três) parâmetros de exposição ao perigo e estes classificados como F0 para impedido, F1 para baixa e F2 para alta exposição ao perigo.

Tabela 11 – SCRAM – parâmetros de Possibilidade de evitar ou limitar o dano (*possibility of avoidance*)

A1 Evitável	Existem certas condições que permitem evitar danos (tais como trabalhador qualificado, movimentos lentos, intervenção pouco frequente, processo de baixa complexidade, sem movimentos súbitos ou inesperados com alta aceleração).
A2 Não evitável (quase impossível)	Evitar é quase impossível devido à falta de indicação ou de conhecimento da situação perigosa (tais como um evento perigoso rápido, espaço no entorno insuficiente para evasão, processo de alta complexidade e/ou o efeito da rotina na percepção do perigo).

Fonte: SICK AG (2019).

A Tabela 11 apresenta 02 (dois) parâmetros de possibilidade de evitar ou limitar o dano, classificados como A1 para evitável (possível sob certas condições) e A2 para não evitável (quase impossível).

Tabela 12 – SCRAM – parâmetros para Possibilidade de ocorrência (*possibility of occurrence*)

O1 Baixa	Maus funcionamentos da máquina (incluindo o sistema de controle), atolamentos ou maus funcionamentos devido às propriedades dos materiais processados, ou comportamento humano inadequado são raros.
O2 Média	Maus funcionamentos da máquina (incluindo o sistema de controle), atolamentos ou maus funcionamentos devido às propriedades dos materiais processados, ou comportamento humano inadequado são previsíveis.
O3 Alta	Maus funcionamentos da máquina (incluindo o sistema de controle), atolamentos ou maus funcionamentos devido às propriedades dos materiais processados, ou comportamento humano inadequado devem ser esperados com certa regularidade.

Fonte: SICK AG (2019).

Por fim, o método SCRAM apresenta os conceitos referentes à possibilidade de ocorrência que estão divididos em três parâmetros (O1, O2 e O3). Ainda neste sentido, caso os principais fatores para determinação do nível de risco não forem totalmente satisfeitos, o método apresenta ainda algumas tabelas de apoio para determinar cada um dos fatores para melhoria da estimativa. Estas tabelas de apoio encontram-se no anexo A do presente trabalho.

Na seção abaixo será apresentado o artigo Análise Experimental de Metodologias Usadas Para Estimativa de Risco Associado.

2.3 ANÁLISE EXPERIMENTAL DE METODOLOGIAS USADAS PARA ESTIMATIVA DE RISCO ASSOCIADO

Estudos comparando metodologias usadas para estimativa de riscos já foram realizados. Abrahamsson (2002) abordou o assunto estimativa de riscos, porém o foco foi na análise dos vários tipos de incertezas que cada parâmetro apresentava, ressaltando que nem todas as metodologias são pautadas por modelos quantitativos. Outro estudo foi concluído por Paques, Gauthier e Perez em 2007, com objetivo de reunir dados sobre metodologias de estimativa de riscos. Este estudo foi realizado devido à grande diversidade de métodos de estimativa de riscos existentes. O objetivo foi analisar a documentação disponível para apreciação de risco e determinar a especificidade de cada metodologia e classificar essa diversidade de métodos em grupos. Os autores identificaram 108 metodologias diferentes para estimativa de riscos e agruparam seguindo os critérios de matrizes bidimensionais (47,2%), matrizes com mais de 02 (dois) dimensionais (6,5%), gráficos de risco (10,2%), métodos de

operação numérica (14,8%), métodos gráficos (2,8%) e métodos híbridos em várias abordagens (18,5%). Este estudo apresentou conclusões interessantes referentes à diversidade dos resultados nos mais variados níveis. Segundo os autores, observou-se diferenças nos conceitos de cada método, na forma de descrever cada parâmetro, na forma de calcular o nível de risco, bem como no processo de obtenção do nível de risco. Ainda neste sentido, as diferenças no número de parâmetros, número de limites (níveis) e nas definições dos parâmetros trouxeram um ambiente de incerteza quando comparados com os resultados entre a gama de métodos.

Com base neste histórico de pesquisas realizadas anteriormente, o estudo realizado por Gauthier, Lambert e Chinniah (2012) aborda 31 metodologias de estimativa de riscos usando métodos experimentais, analisando e comparando as estimativas de riscos para máquinas industriais, seguindo as diretrizes da norma ISO 14121-1: 2007. O estudo propõe identificar as diferenças nos resultados ao aplicar metodologias diferentes à mesma situação de perigo, verificar influência dos tipos de parâmetros usados para definir o risco em cada metodologia nos níveis de risco resultantes e reconhecer influência do número de parâmetros usados para definir o risco em cada metodologia nos níveis de risco resultantes. Descobrir a influência do número de limites ou níveis para cada parâmetro nos níveis de risco resultantes e identificar a influência do número de níveis de risco nos resultados obtidos ao aplicar cada metodologia também foram objetivos do estudo.

Para a realização do estudo experimental, integrantes da Politécnica (IRSST) e integrantes do laboratório de saúde e segurança (HSL) foram divididos em dois grupos e implementaram o estudo experimental com base na metodologia composta por cinco etapas, conforme apresentado no Quadro 9 abaixo:

Quadro 9 – Possibilidade – Metodologia de cinco estágios para realização da pesquisa

1º	Seleção de amostra de metodologias de estimativa de riscos;
2º	Configuração e análise de escalas de equivalência para os parâmetros de estimativa de risco;
3º	Desenvolvimento de escalas equivalentes para níveis de risco;
4º	Aplicando as 31 metodologias de estimativa de risco a 20 situações perigosas (cenários);
5º	Analisar os resultados, identificar qualquer variabilidade nos níveis de risco para as mesmas situações e interpretá-los com base na arquitetura das metodologias.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

A base para a seleção da amostra das metodologias de estimativa de riscos foram os estudos realizados por Paques, Gauthier e Perez. Das 108 (cento e oito), metodologias identificadas, Gauthier, Lambert e Chinniah (2012) selecionaram 31 (trinta e uma) metodologias. Metodologias que possuíam conceito de matrizes ou pudessem ser convertidas em matrizes, bem como metodologias que não estavam de acordo com a norma ISO 14121-1: 2007, foram selecionadas. Os conceitos adotados como critério de exclusão com base na norma ISO 14121-1: 2007 para a seleção dos 31 (trinta e um) métodos são apresentados na Quadro 10.

Quadro 10 – Critérios de exclusão dos métodos com base em conceitos técnicos da norma ISO 14121-1: 2007

a	Metodologias que usaram parâmetros que não são definidos na ISO 14121-1 (2007) (por exemplo, outros parâmetros);
b	Metodologias que tinham um parâmetro de probabilidade indefinido (por exemplo, não estava claro se era probabilidade de dano ou probabilidade de ocorrência de evento perigoso);
c	Metodologias que tinham 2 parâmetros, mas não usavam probabilidade de dano (exceto para a ferramenta 55 que se originou de uma empresa e que foi incluída na amostra);
d	Metodologias que tinham mais de 2 parâmetros, mas que usavam probabilidade de dano;
e	Metodologias que tinham mais de 2 parâmetros, mas usavam a gravidade do dano em conjunto com apenas parâmetros de exposição (frequência e duração);
f	Metodologias que usaram a probabilidade de dano e a frequência de exposição.

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Após finalizado o primeiro estágio (seleção de amostra de metodologias de estimativa de riscos), foram tabulados os métodos conforme segue:

Quadro 11 – Métodos de estimativa de riscos utilizados na pesquisa

1	Worsell and Wilday (1997), p. 7-10
3	BS8800 (2004), p. 46-50
6	Worsell and Wilday (1997), p. 24-26
7	Worsell and Wilday (1997), p. 32-34
10	Worsell and Wilday (1997), p. 38-40
17	Worsell and Wilday (1997), p. 85-90
19	Worsell and Wilday (1997), p. 98-101

24	ANSI B11.TR3 (2000)
33	Main (2004), p. 155-157
34	Main (2004), p. 164-165
35	Main (2004), p. 174-177
41	ISO/TS 14798 (2006)
44	MIL-STD-882D (2000)
45	Main (2004), p. 286-290
46	Main (2004), p. 290-293
48	AS/NZS 4360:2004
49	ANSI/RIA R15.06 (1999)
53	<i>Company A</i> (2002)
55	<i>Company X</i> (1997)
57	<i>Company P</i> (2003)
58	<i>Company R</i> (2004)
62	SUVA (2002)
66	IEC 62278 (2001)
67	ISO 14121-2 (2007)
69	Görnemann (2003)
85	Ruge (2004)
89	<i>The Metal Manufacturing and Minerals Processing Industry Committee</i> (2002)
91	ISO 14121-2 (2007)
94	CSA-Q634-91 (1991)
102	Gondar (2000)
114	HSL (2008)

Fonte: Gauthier, Lambert e Chinniah (2012).

Ainda neste sentido, os pesquisadores iniciaram o processo de configuração e análise das escalas de equivalência para os parâmetros de risco. Este processo foi estabelecido com base em diferentes parâmetros, suas definições e limites (níveis). O processo foi testado num primeiro momento em 05 (cinco) metodologias (metodologias de nº 49,62,67,91 e 48) a fim de obter a confiabilidade no modelo adotado e posteriormente aplicado para as outras 26 (vinte e seis) metodologias. Os

parâmetros que foram selecionados ao final do processo seguem conforme dispostas no Quadro 12.

Quadro 12 – Parâmetros definidos como equivalentes

1	Severidade do dano (S);
2	Probabilidade de ocorrência do dano (Ph);
3	Frequência de exposição ao perigo (Exf);
4	Duração da exposição ao perigo (Exd);
5	Probabilidade de ocorrência de um evento perigoso (Pe);
6	Possibilidades técnicas e humanas para evitar ou limitar o dano (A).

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Finalizado o segundo estágio, foram desenvolvidos a equivalência das escalas de risco. Como regra, foram utilizados três princípios básicos para a construção da tabela de equivalência. O risco cresce linearmente foi definido como a regra número 1 (um). Cada nível de risco é uma faixa e não um valor pontual foi definido como regra número 2 (dois) e, por fim, a terceira regra ficou definida como risco zero não ser possível. Ressalta-se que, segundo os pesquisadores, sempre existirá um risco para situações perigosas que produzam o nível de risco mais baixo, porém geralmente esse risco é tolerável.

Após realizada a equivalência das escalas de risco, os pesquisadores apresentaram um nível de risco equivalente (equivalente *risk level*), onde percentuais foram atribuídos. O risco baixo pertencente a faixa de 0 (zero) até 33,3% (trinta e três, três), risco médio entre 33,3% (trinta e três virgula três) até 66,6% (sessenta e seis, seis) e, por fim, risco alto entre 66,6% (sessenta e seis, seis) até 100% (cem). O quarto estágio da metodologia implementada foi a aplicação das 31 (trinta e uma) metodologias em 20 (vinte) situações de perigo. Os pesquisadores sugeriram uma série de situações de perigo da vida real e nas diversas fases do ciclo de vida das máquinas. Em adicional, foi estabelecido um formato predefinido com um uma imagem que retratasse a situação perigosa, uma descrição da situação perigosa e informações para ajudar na estimativa do risco e reduzir o fator subjetividade. Após o desenvolvimento deste formato predefinido, os dois grupos realizaram a estimativa de risco. Os resultados foram comparados e quando observado discrepância entre eles, estes foram discutidos até o alcance do consenso. Por fim, foi calculado o risco médio

através das 31 (trinta e uma) metodologias e associadas a cada cenário, finalizando assim o quarto estágio da metodologia.

Para a análise dos resultados, o grupo de pesquisadores estabeleceu um padrão analítico com objetivo de analisar os 6 (seis) parâmetros de risco definidos na pesquisa. Este padrão está apresentado no Quadro 13, conforme segue:

Quadro 13 – Padrão analítico para análise de resultados

Parâmetros de risco	Análise 1	Análise 2	Análise 3	Análise 4	Análise 5	Análise 6	Análise 7
Escalas de equivalência para a gravidade do dano	Terminologia	Construção das escalas de equivalência para gravidade de danos	Escalas gerais de equivalência para a gravidade dos danos das metodologias	Granularidade e número de níveis	Níveis com uma única palavra	Definições inconsistentes	Combinando diferentes fatores ou conceitos
Escala de equivalência para a probabilidade do dano	Terminologia	Discrepâncias de graduação	Número de níveis	Definições de uma única palavra	Definições qualitativas e quantitativas	Metodologias combinando dois níveis	
Escala de equivalência para a frequência de exposição	Terminologia	Número de níveis	Definições vagas e com uma única palavra				

Escala de equivalência para a duração da exposição	Terminologia	Número de níveis	Definições vagas para os níveis de duração do parâmetro de exposição				
Escala de equivalência para a possibilidade de evitar	Terminologia	Número de níveis	Definições vagas para os níveis de duração do parâmetro de exposição	Definições de uma única palavra			
Escala de equivalência para a probabilidade de evento perigoso	Terminologia	Número de níveis	Definições vagas e com uma única palavra				

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

Os dados foram tabulados a fim de encontrar discrepâncias na distribuição dos níveis de risco resultante entre os cenários e as metodologias. Posteriormente, os 20 (vinte) cenários foram classificados em níveis, sendo tabulados do baixo risco para alto risco, de acordo com a média do nível de risco resultante. O desvio padrão foi apresentado entre os cenários e considerado um nível de significância de 5% (cinco). Os 20 (vinte) cenários foram categorizados como baixo, médio-baixo, médio-alto e alto, visto o número de vezes que um cenário foi avaliado para o nível de risco mais baixo ou mais alto pelas 31 metodologias. Em adicional, as 31 (trinta e uma) metodologias foram agrupadas conforme o valor normalizado calculado. Metodologias do grupo de estimativa baixa (*low estimation group*) foram consideradas por terem valor normalizado abaixo de -0,3, as metodologias do grupo de estimativa intermediária (*intermediate estimation group*) foram consideradas entre valores de -0,3 e 0,3, e as do grupo de estimativa alta (*high estimation group*) com valor normalizado acima de 0,3.

Por fim, foram analisadas outras variáveis referentes às configurações das metodologias, como por exemplo metodologias que utilizam apenas dois parâmetros básico, como severidade do dano (S) e probabilidade de ocorrência do dano (Ph). Também foram analisadas metodologias que utilizam a severidade do dano (S) com três parâmetros auxiliares (Pe, A e Ex).

As 31 (trinta e uma) metodologias selecionadas no início da pesquisa possuíam arquiteturas diferentes, algumas com 2 (dois) parâmetros principais e outras com 4 (quatro) parâmetros. No que tange o número de níveis (limites), as metodologias possuíam entre 2 (dois) a 6 (seis) níveis. Ressalta-se que todas possuíam características desejáveis quando analisados os parâmetros e o conceito da metodologia.

No que diz respeito às terminologias, observa-se uma diversidade nos termos utilizados nas metodologias. Um exemplo é a severidade do dano, que é citada em vários métodos, porém com significados diferentes. De acordo com os autores, a gravidade do dano está ligada à origem ou tipo da metodologia e por isso traz variações. Um exemplo é a metodologia de número 44 (quarenta e quatro), que é de um padrão militar e pode apresentar alguns conceitos não tão alinhados com o ambiente fabril. Ainda neste sentido, notam-se situações similares para os outros parâmetros dos métodos pesquisados. Outro exemplo é o parâmetro probabilidade do dano, onde em alguns casos é expressado como a “probabilidade de ocorrência de

um evento perigoso” e outros casos é expressado como “a frequência de ocorrência” ou até mesmo como “medidas qualitativas de probabilidade”. Isso demonstra a falta de homogeneidade nas definições, sendo necessário ter uma terminologia uniforme para os parâmetros. É neste sentido que os autores relatam a dificuldade na criação das escalas de equivalência devido à falta de padrão nos conceitos e que em alguns casos foi necessária a adição de colunas nas tabelas de equivalência, para então acomodar todos os métodos.

A granularidade e número de níveis também foi um fator que chamou a atenção dos autores da pesquisa. Algumas metodologias adotam conceitos mais generalistas no que tange os detalhes e definições de limites e isso faz com que possuam menos níveis. Já as metodologias que possuem uma maior riqueza de detalhes em suas definições conceituais apresentam um maior número de níveis para serem selecionados. Algumas metodologias também apresentam exemplos, como é o caso da metodologia de número 91, que traz os tipos de lesões e, assim, torna a escolha mais assertiva. Já em outros casos, notam-se contradições nas definições, tornando os critérios de seleção confusos. Ainda neste sentido, para a gravidade do dano, algumas metodologias apresentam critérios de reversibilidade e outras metodologias apresentam critérios relacionados à extensão da lesão, como, por exemplo, tratamento necessário, tempo perdido e capacidade de retorno ao trabalho, que, segundo os autores, apresenta-se como uma abordagem mais positiva, pois leva em consideração fraturas ou lesões graves que são reversíveis.

Observa-se que em várias metodologias são utilizadas palavras únicas para definições, mas a mesma palavra pode ser usada de maneira diferente em metodologias diferentes, com pesos diferentes e sem conter uma definição. Um exemplo citado pelos autores é a palavra Principal (*Major*), que é encontrada em várias metodologias e, em muitos casos, em níveis diferentes, trazendo imprecisão para definir os parâmetros. No parâmetro probabilidade do dano a maioria das metodologias usa o conceito qualitativo para definição, porém nota-se divergências entre as graduações adotadas pelos diversos métodos. Comparando a metodologia de número 7 (sete) com a metodologia de número 6 (seis), essas divergências são notadas. Por exemplo, a metodologia de número 7 (sete) adota a graduação remoto (*remote*), improvável (*improbable*), possível (*possible*), provável (*probable*) e provável (*likely*). Já a metodologia de número 6 (seis) adota a graduação improvável (*improbable*), remoto (*remote*), possível (*possible*), provável (*probable*),

provável/frequente (*likely/frequent*). Nota-se que o termo remoto (*remote*) está em “níveis” diferentes nos dois casos. No que tange a análise das arquiteturas (02 parâmetros ou 04 parâmetros), não foi possível concluir qual é a mais indicada. De acordo com os autores, o risco médio das metodologias de 2 (dois) parâmetros é de 68,8% (sessenta e oito, oito) e de 4 (quatro) parâmetros é de 68,3% (sessenta e oito, três), com grande desvio padrão em ambos os casos.

Os resultados obtidos demonstram que as estruturas das metodologias e a terminologia usada nos métodos podem levar às estimativas de riscos tendenciosas ou incorretas. Observa-se grande diferença entre as metodologias de estimativa de riscos na avaliação de uma mesma situação de risco. Ainda nesse sentido, a abrangência da metodologia e sua construção parece ser um dos fatores que contribuem para a variabilidade dos resultados. Por fim, de acordo com os autores, os resultados deste estudo apoiarão aos pesquisadores a identificar características que podem ser confiáveis em certas metodologias, bem como identificar possíveis falhas construtivas em determinadas metodologias e que podem, assim, levar a erros nas estimativas de riscos.

3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Este capítulo apresenta os procedimentos metodológicos utilizados para a realização da pesquisa. Ele contém o delineamento de pesquisa, método científico, método de pesquisa, método de trabalho, coleta de dados e análise de dados.

3.1 DELINEAMENTO DE PESQUISA

De acordo com Dresch, Lacerda e Antunes (2015), a pesquisa define-se por uma sistemática investigação que tem como ponto focal o desenvolvimento ou refinamento de teorias e em alguns casos a resolução de problemas. Ainda neste sentido, a pesquisa é realizada diante de conhecimentos disponíveis com base em métodos, técnicas e outros procedimentos científicos, sendo desenvolvida ao longo de diversas fases, desde a formulação do problema até a apresentação de resultados (GIL, 2002).

No que tange as motivações para realização da pesquisa, este trabalho classifica-se como uma pesquisa aplicada pois, conforme Dresch, Lacerda e Antunes (2015, p. 15), “o principal interesse é que os resultados auxiliem os profissionais na solução dos problemas do dia a dia”.

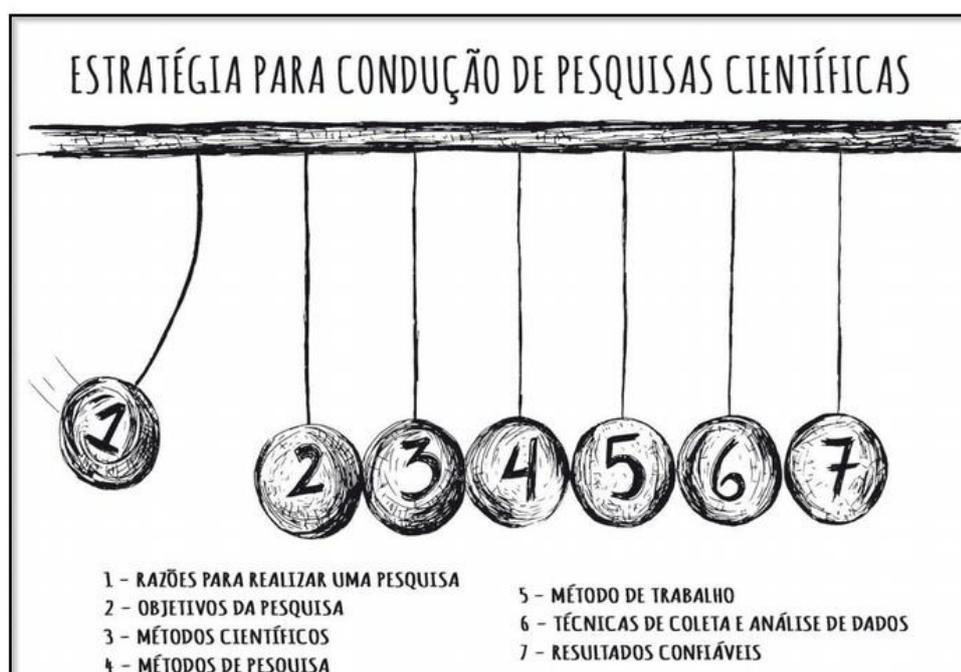
A abordagem de uma pesquisa, de acordo com Miguel (2012), pode ser de caráter quantitativo ou qualitativo. De acordo com o autor, quando se mensuram as variáveis de uma pesquisa, essa pode ser caracterizada como uma abordagem quantitativa. Ainda neste sentido, para que a pesquisa seja caracterizada como quantitativa, os pesquisadores atribuem um rigor quanto à objetividade da pesquisa científica e usam a linguagem matemática como forma de atingir o objetivo. Já a abordagem qualitativa pode ser caracterizada como uma diversidade de técnicas que procuram descrever, decodificar e traduzir fenômenos a fim de interpretar e concluir. Ainda neste sentido, a abordagem qualitativa por muitas vezes usa métodos de quantificação de variáveis como os utilizados na abordagem quantitativa. Com base no exposto, a presente pesquisa classifica-se como uma abordagem qualitativa.

Para o atingimento do objetivo, de acordo com Dresch, Lacerda e Antunes (2015), é necessário estabelecer o objetivo que se deseja atingir com a investigação. É neste sentido que Gil (2002) apresenta três níveis de pesquisa para elaboração de um projeto. A pesquisa exploratória tem por objetivo o desenvolvimento de ideias com

fornecimento de hipóteses em condições de serem testadas em estudos futuros. De acordo com o autor, a condução deste processo deve ser realizada sistematicamente para obtenção de observações empíricas, bem como para a identificação das relações entre os fenômenos estudados. A pesquisa descritiva tem como foco a descrição das características de populações e de fenômenos. Por fim, as pesquisas explicativas visam basicamente testar hipóteses. Ressalta-se que o presente trabalho se classifica como pesquisa exploratória.

Para Booth, Colomb e Williams (2008), as técnicas de pesquisa devem ser claramente seguidas e explicadas através de um processo. É neste contexto que Dresch *et al.* (2015) apresentam o pêndulo de Newton como um modelo para a condução de pesquisas científicas.

Figura 8 – Pêndulo representativo da condução de pesquisas científicas



Fonte: Dresch *et al.* (2015, p.16)

Segundo os autores, é fundamental que a confiabilidade dos resultados possa ser assegurada através de processos e procedimentos como o apresentado na Figura 8. Além disso, a falta de alinhamento entre os elementos do pêndulo pode comprometer a pesquisa (DRESCH *et al.*, 2015).

Sustentado pelos conceitos de Booth, Colomb e Williams (2008) e Dresch, Lacerda e Antunes (2015), primeiramente foram definidas as razões e objetivos para

a realização desta pesquisa. Essas definições estão apresentadas nas subseções 1.1 e 1.2 do presente trabalho. Os passos 3 (três), 4 (quatro), 5 (cinco) e 6 (seis) estão descritos neste capítulo. Por fim, os resultados da presente pesquisa estão apresentados nos próximos capítulos deste trabalho.

3.2 MÉTODO CIENTÍFICO E MÉTODO DE PESQUISA

De acordo com Dresch, Lacerda e Antunes (2015), a forma como o conhecimento é construído pode ser considerado como método científico. De acordo com os autores, quando iniciado o processo de construção do conhecimento deve-se levar em conta lacunas teóricas, problemas existentes ou até observação direta de algum fenômeno. Em adicional, é necessário considerar o que se deseja explicar, descrever, explorar ou prever. É neste sentido que Dresch, Lacerda e Antunes (2015) apresentam alguns dos métodos de pesquisa científicas.

- a) método indutivo: com base em dados e devidamente observado, o pesquisador conclui o que está sendo pesquisado. Este processo de observação repetitiva para um pesquisador indutivista é a chave para a construção do conhecimento científico.
- b) método dedutivo: é caracterizado pela utilização de teorias já existentes para o que está sendo pesquisado e utiliza o uso da lógica para a construção do conhecimento. O pesquisador parte de leis e teorias para sugerir elementos que poderão explicar ou prever fenômenos.
- c) método hipotético-dedutivo: é caracterizado pela busca de lacunas existentes em pesquisas realizadas anteriormente, com propósito de falsear as hipóteses existentes.

Para Gil (2002), a definição do método de pesquisa é o elemento mais importante para a coleta de dados. Segundo Dresch, Lacerda e Antunes (2015), a escolha e justificativa do método garantirá ao pesquisador a resolução do problema de pesquisa que está sendo investigado. É neste sentido que se destacam 4 (quatro) métodos de pesquisa entre tantos existentes (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015):

- a) estudo de caso: pesquisa empírica para investigação de problemas complexos, caracterizado pela combinação de métodos de coleta de dados, entrevistas,

questionários. Tem como finalidade descrever um fenômeno, testar ou criar uma teoria.

- b) pesquisa-ação: tem o propósito de destrinchar ou aclarar problemas em sistemas, buscando a produção do conhecimento prático ou teórico. Neste método, o pesquisador sai da posição de observador e passa a ser integrante ativo no processo de investigação.
- c) survey: tem como objetivo o desenvolvimento de conhecimento através da investigação pautada por meio da coleta de dados e/ou informações. As conclusões acerca do acontecimento são realizadas através da coleta e análise de dados.
- d) modelagem: através de representações simplificadas, permite ao pesquisador uma simulação da realidade para melhor compreensão do fenômeno.

Para Gil (2002, p. 54), o estudo de caso “consiste no estudo profundo e exaustivo de um ou poucos objetos, de maneira que permita seu amplo e detalhado conhecimento”. Ainda neste sentido, de acordo com Miguel (2012), o estudo de caso é um método muito utilizado na engenharia de produção. Além disso, Miguel (2012) ressaltam benefícios da utilização do método, como, por exemplo, o desenvolvimento de novas teorias e entendimento sobre eventos reais, bem como o desenvolvimento de conceitos contemporâneos na engenharia de produção.

Por fim, o Quadro 14 exhibe os conceitos adotados pelo acadêmico no posicionamento metodológico desta pesquisa.

Quadro 14 – Posicionamento metodológico da pesquisa

Posicionamento metodológico da pesquisa	
Motivações da pesquisa	Pesquisa aplicada
Abordagem da pesquisa	Qualitativa
Objetivo da investigação	Pesquisa exploratória
Método científico	Método dedutivo
Método de pesquisa	Estudo de caso

Fonte: Elaborado pelo autor (2020).

3.3 MÉTODO DE TRABALHO

De acordo com Miguel (2012), o processo de pesquisa, com base no estudo de caso, deve ser seguido com alto rigor metodológico para que o estudo tenha argumentos suficientes para ser realizado. Essa seção apresenta e detalha a condução do estudo de caso realizado pelo acadêmico com base na proposta de Miguel (2012).

Quadro 15 - Método de trabalho da pesquisa acadêmica

PROCESSO	ATIVIDADES
DEFINIR UMA ESTRUTURA CONCEITUAL TEÓRICA	Mapear a literatura
	Delinear as proposições
	Delimitar as fronteiras e grau de evolução
PLANEJAR O (S) CASO (S)	Selecionar a(s) unidade(s) de análise e contatos
	Definição dos passos para condução da pesquisa
	Definir meios de controle da pesquisa
CONDUZIR TESTE PILOTO	Testar procedimentos de aplicação
	Verificar qualidade dos dados
	Fazer os ajustes necessários
COLETAR OS DADOS	Contatar os casos
	Registrar os dados
	Limitar os efeitos do pesquisador
ANALISAR OS DADOS	Produzir uma narrativa
	Reduzir os dados
	Construir painel
	Identificar causalidade
GERAR RELATÓRIO	Desenhar implicações teóricas
	Prover estrutura p/ revisão

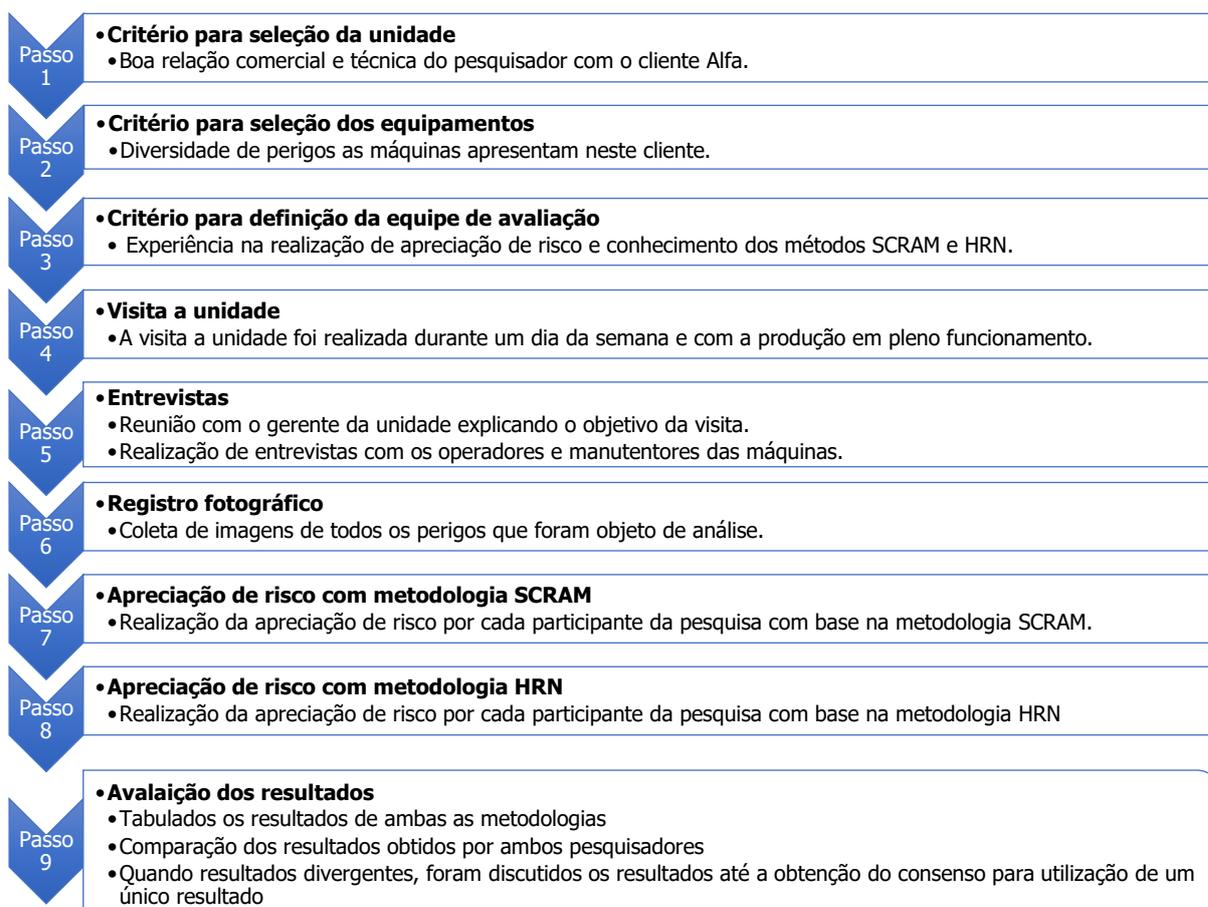
Fonte: Elaborado pelo autor (2020)

Na primeira etapa do processo de condução do estudo de caso, a definição da estrutura conceitual é realizada. O mapeamento da literatura se apresenta na subseção 1.3.2, bem como o delineamento das proposições. A delimitação das fronteiras se encontra na seção 1.4.

Para a etapa de planejamento foram realizadas 4 (quatro) atividades: seleção das unidades de análise, definição dos passos para condução da pesquisa, escolha dos meios para coleta e análise de dados e os meios de controle da pesquisa.

Neste sentido, a unidade de análise escolhida foi única, pois a pesquisa ocorreu em uma única empresa. De acordo com Yin (2016), quando selecionada uma única unidade de análise, o projeto caracteriza-se como estudo de caso único. Ainda nesta etapa foram definidos os passos para a condução da pesquisa, conforme ilustrado na Figura 9.

Figura 9 – Passo a passo para condução da pesquisa



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O primeiro passo foi a definição da unidade de análise, que teve a conveniência como critério inicial para sua escolha. Como segundo critério, a diversidade de equipamentos foi escolhida, possibilitando posteriormente a apreciação de riscos em diferentes situações. Desta forma foi definida a empresa Alfa, com o qual o pesquisador mantém uma relação comercial e que se mostrou aberta à realização da pesquisa. A empresa atua no ramo de produção de não tecidos e apresenta uma diversidade de equipamentos considerada adequada.

Uma vez definida a empresa, o passo seguinte foi a seleção dos equipamentos, tendo como critério a diversidade de perigos a fim de possibilitar a avaliação das metodologias em diferentes cenários. Foram selecionados 8 (oito) equipamentos, conforme descrito no Quadro 16.

Quadro 16 – Equipamentos selecionados versus cenários de risco

Equipamento	Cenários	Motivo da escolha
Linha de produção de não tecido	C1-C9, C13,C16-C18	Possibilidade de aproximação de um elemento móvel a uma parte fixa e/ou elementos rotativos
Máquina de embalar	C10	Elementos rotativos e móveis
Triturador	C11	Elementos rotativos
Serra	C12	Elementos rotativos e móveis
Torno	C14	Elementos rotativos
Afiador	C15	Elementos rotativos
Fresa	C19	Elementos rotativos e móveis
Furadeira	C20	Elementos rotativos e móveis

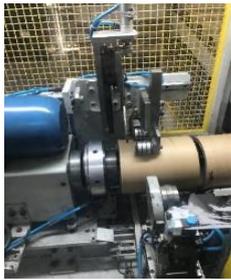
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para cada equipamento, foram definidos os pontos de análise (perigos existentes), conforme Quadro 17.

Quadro 17 – Caracterização dos cenários de risco

Foto	Cenários	Descrição dos perigos	Fases de utilização
	Cenário 1	Perigos mecânicos de esmagamento, segurar ou prender.	Operação, Manutenção e Setup
	Cenário 2	Perigos elétrico de choque	Manutenção e limpeza
	Cenário 3	Perigos mecânico de esmagamento	Operação , manutenção ou setup
	Cenário 4	Perigos mecânico de enroscar, segurar ou prender	Manutenção e limpeza
	Cenário 5	Perigos mecânico de esmagamento	Manutenção e limpeza
	Cenário 6	Perigos mecânico de esmagamento	Operação , manutenção ou setup

	Cenário 7	Perigos mecânico de escorregamento, tropeço e queda	Ajustes, operação, limpeza e manutenção
	Cenário 8	Perigos elétrico de eletrocussão	Operação, manutenção e limpeza
	Cenário 9	Perigos mecânico de esmagamento	Operação, manutenção ou setup
	Cenário 10	Perigos mecânico de impacto, enroscar, segurar ou prender	Operação, manutenção e limpeza
	Cenário 11	Perigos mecânicos de mutilação em dedos e mãos	Operação e manutenção
	Cenário 12	Perigos mecânicos de corte e/ou mutilação em dedos e mãos	Operação e manutenção

	Cenário 13	Perigos mecânicos de mutilação em dedos e mãos	Operação e manutenção
	Cenário 14	Perigos mecânicos de perfuração, corte e/ou mutilação em dedos e mãos, enroscar partes do corpo em elementos rotativo	Operação e manutenção
	Cenário 15	Perigos mecânicos de corte ou mutilação	Operação, ajustes/setup, manutenção, limpeza
	Cenário 16	Danos causados pelo contato com objetos ou materiais com alta temperatura	Limpeza, manutenção
	Cenário 17	Perigos mecânicos de esmagamento, segurar ou prender e cortar	Operação e manutenção
	Cenário 18	Queimadura, eletrocussão, choque, projeção de fagulhas	Manutenção elétrica

	Cenário 19	Perigos mecânicos de perfuração, corte e/ou mutilação em dedos e mãos, enroscar partes do corpo em elementos rotativos	Operação e manutenção
	Cenário 20	Perigos mecânicos de perfuração, corte e/ou mutilação em dedos e mãos, enroscar partes do corpo em elementos rotativo	Operação e manutenção

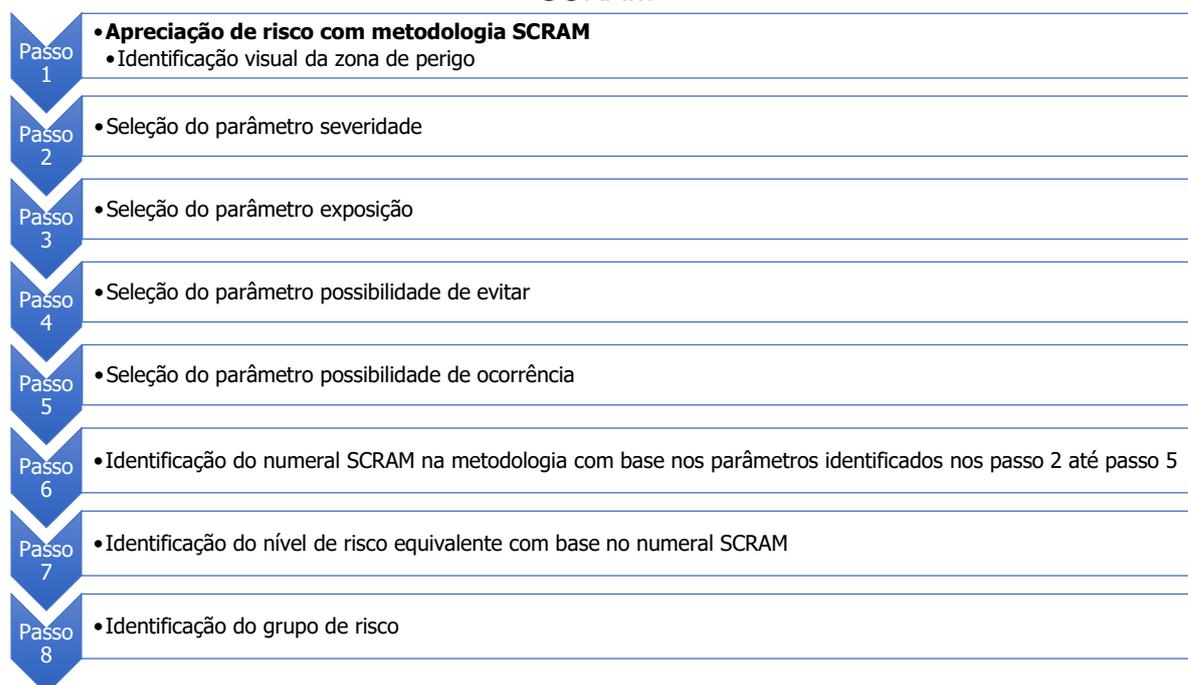
Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

A fim de minimizar o risco de viés, a pesquisa foi conduzida por dois profissionais do ramo de segurança de máquinas. O primeiro pesquisador é o próprio acadêmico, e o segundo pesquisador é um engenheiro com plena experiência para a realização da atividade. Ambos realizaram na íntegra os métodos de coleta e análise de dados propostos na pesquisa. Após a definição dos pesquisadores envolvidos na pesquisa e antes da etapa de ida ao campo, foi realizado contato com o cliente a fim de informar antecipadamente o objetivo da pesquisa e solicitar o nome dos respectivos responsáveis – entrevistados. Ao chegar no local, os pesquisadores foram até a máquina e iniciaram de forma individual a aplicação do processo de coleta de dados conforme descrito na seção 3.4.

Ainda nessa etapa foram planejados os meios para a coleta e análise dos dados, que serão detalhados nas seções 3.4 e 3.5. Como técnicas de coleta de dados, foram realizadas entrevistas e levantamentos fotográficos. Os dados coletados foram analisados, com os métodos selecionados HRN (STEEL, 1990) e SCRAM, (SORANNO; GÖRNEMANN; SCHUMACHER, 2019) para a estimativa do risco. A justificativa para a escolha destes métodos foi apresentada no Capítulo 1 desta pesquisa.

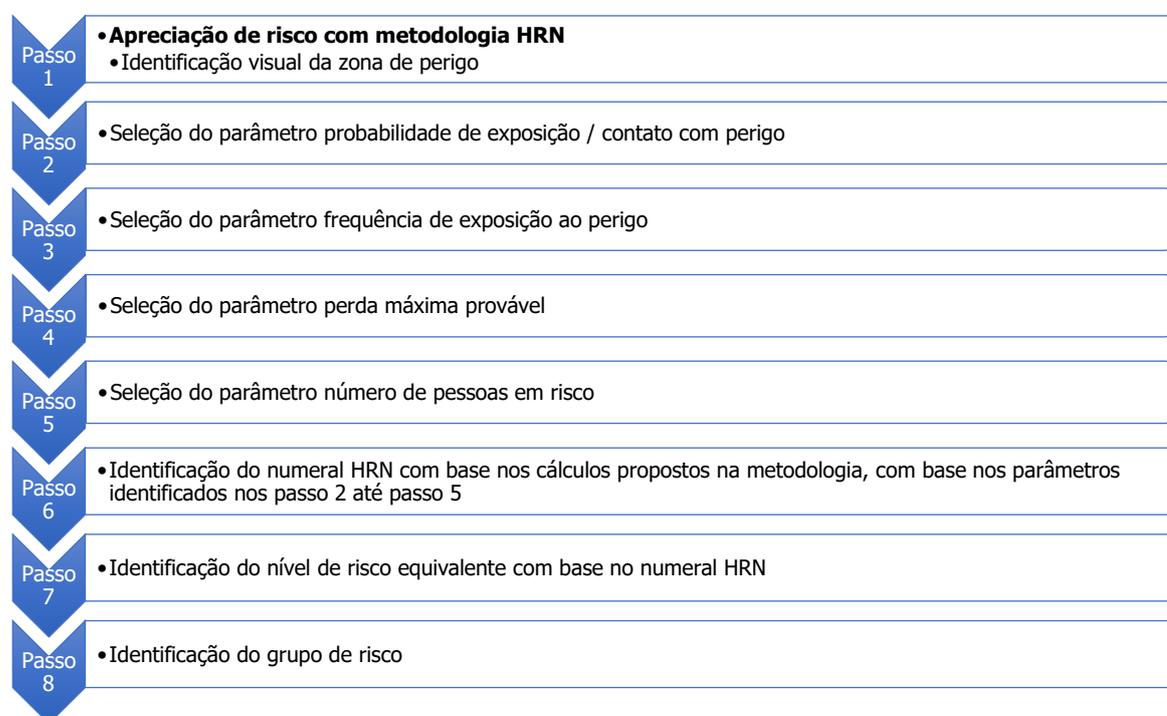
As etapas da apreciação de risco pelo método SCRAM estão descritas na Figura 10, enquanto os passos para a apreciação do risco pelo método HRN são apresentados na Figura 11.

Figura 10 – Passo a passo para realização da apreciação de risco com método SCRAM



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Figura 11 – Passo a passo para realização da apreciação de risco com método HRN



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Por fim, os resultados obtidos foram avaliados. No caso da ocorrência de discordância na apreciação de risco realizada por cada um dos profissionais, os dados

são avaliados em conjunto pelos profissionais a fim de identificar as causas de divergência, a fim de obter o consenso.

Este planejamento foi aplicado ao Equipamento linha de produção de não tecido – cenário 1 (um) considerado como teste piloto. Este piloto validou o planejamento, não tendo sido necessárias alterações. Na sequência, as técnicas de coleta e análise de dados foram aplicadas aos demais equipamentos. Os resultados obtidos estão descritos no Capítulo 4 desta pesquisa.

3.4 TÉCNICAS DE COLETA DE DADOS

De acordo com Yin (2016), para a realização de uma pesquisa é necessário coletar dados, e estes, em pesquisa qualitativa, são obtidos através da ação do pesquisador, que é o principal instrumento de pesquisa. É neste sentido que o autor relata atividades de coleta de dados: entrevistas, observações, coleta de evidências. Com base no exposto por Yin (2016), o Quadro 18 apresenta a técnica de coleta de dados, bem como os tipos de dados utilizados na presente pesquisa.

Quadro 18 - Técnica de coleta de dados e tipos de dados utilizados na pesquisa

Técnica de coleta de dados	Público alvo e/ou processo	Objetivo	Formato
Entrevista	Supervisor de produção e Operador da máquina	Identificar informações relativas à experiência de uso / Identificar nível de treinamento, harmonia no trabalho, sentimento de segurança perante a execução das atividades.	Entrevista semiestruturada
	Supervisor de manutenção e Manutentor		Entrevista semiestruturada
Observação	Processo produtivo / uso	Identificar os limites de uso, espaço e tempo.	Observação direta no local de trabalho
	Processo de manutenção preventiva		Observação direta no local de trabalho
Coleta de evidências	Processo produtivo / uso e/ou processo de manutenção preventiva	Registro fotográfico da fonte de perigo no processo produtivo e/ou manutenção.	Foto anexada junto ao relatório da entrevista semiestruturada

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para a realização desta pesquisa, primeiramente foram desenvolvidos 3 (três) questionários guias para o processo de coleta de dados em modelo semiestruturado de caráter qualitativo. Conforme a norma ABNT NBR ISO 12100:2013, as etapas do processo de apreciação de risco devem ser suportadas por estimativas de caráter qualitativo ou até mesmo quantitativo quando apropriados. Cada um dos questionários desenvolvidos buscaram um objetivo específico. O questionário do Quadro 19 teve como objetivo obter informações relativas à experiência de uso. Já o questionário do Quadro 20 teve como objetivo obter informações relativas aos limites de uso. Por fim, o terceiro questionário (Quadro 21) teve como objetivo identificar através do público-alvo o nível de treinamento, harmonia no trabalho e sentimento de segurança perante a execução das atividades rotineiras.

Quadro 19 - Informações relativas à experiência de uso

Data:	
Nome do entrevistador:	
Nome do entrevistado:	
Departamento do entrevistado:	
Empresa:	Alfa
Objetivo:	Identificar informações relativas à experiência de uso
1) algum acidente, incidente ou histórico de mau funcionamento da máquina em análise ou de máquinas similares;	
2) histórico de danos causados à saúde resultantes, por exemplo, de emissões (ruído, vibração, poeira, fumos etc.), produtos químicos utilizados ou materiais processados pela máquina;	
3) a experiência de usuários de máquinas similares e, sempre que aplicável, uma troca de informações com usuários potenciais;	
4) Comentários adicionais:	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Quadro 20 - Informações relativas à limites de uso

Data:	
Nome do entrevistador:	
Nome do entrevistado:	
Departamento do entrevistado:	
Empresa:	Alfa
Objetivo:	Identificar os limites de uso, espaço e tempo
<i>Limites de uso - significado:</i> O uso devido da máquina bem como as formas de mau uso razoavelmente previsíveis.	
a) os diferentes modos de operação e diferentes procedimentos de intervenção para os usuários, incluindo intervenções exigidas pela má utilização da máquina;	
b) o uso da máquina (industrial, não industrial e doméstico), alguma habilidade física limitada (visual, incapacidade auditiva, tamanho, força e etc);	
c) os níveis de treinamento, experiência ou habilidade do usuário;	
d) exposição de outras pessoas associados à máquina.	
<i>Limites de espaço - significado:</i> Cursos de movimento, espaço físico destinado para interação com a máquina, interface homem máquina, conexão da máquina com as fontes de suprimento de energia.	
<i>Limites de tempo - significado:</i> Vida útil da máquina ou de alguns dos componentes, intervalos de serviços recomendados.	

Comentários adicionais:

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Quadro 21 - Informações relativas à qualidade de vida no trabalho

Data:	
Nome do entrevistador:	
Nome do entrevistado:	
Departamento do entrevistado:	
Empresa:	Alfa
a) Você considera ter uma boa qualidade de vida no trabalho? b) Você tem algum problema de falta de atenção, concentração ou cansaço para trabalhar? c) Você considera ser capaz para realizar essa atividade? d) Você tem uma boa relação de trabalho com seus colegas e/ou superiores?	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Além das entrevistas, foram realizadas observações diretas junto aos operadores e manutentores para confirmar os limites de uso, espaço e tempo. Durante essas observações, foram coletadas evidências e estas foram registradas seguindo um padrão, onde foram anexadas fotos e preenchido alguns dados a fim de identificar as fontes de perigos e dados referentes à operação/manutenção conforme apresentado no Quadro 22.

Quadro 22 – Guia para levantamento de dados – apreciação de risco

Cenário A – Perigo:	
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):	
Origem dos perigos / tarefas:	
Fase(s) de utilização da máquina:	
Localização:	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Os dados coletados foram tratados de acordo com as técnicas descritas na Seção 3.5, a seguir.

3.5 ANÁLISE DOS DADOS

A análise de dados tem como objetivo concluir algo com base nas informações coletadas (DRESCH; LACERDA; ANTUNES (2015)).

Para Miguel (2012), é importante que a análise de dados seja planejada previamente e esteja apresentada na pesquisa. Ainda neste sentido, é necessário que o pesquisador desenvolva uma narrativa geral do caso e insira estes dados na pesquisa. Os autores ressaltam que é indicada uma redução da quantidade de dados, não sendo necessário inserir todas informações coletadas, mas sim inserir as informações principais trazendo uma maior robustez e precisão para o trabalho.

Para Dresch, Lacerda e Antunes (2015), o rigor da objetividade e o rigor da subjetividade são aspectos importantes no processo de análise de dados. Reduzir a subjetividade e desenvolver indicadores qualitativos e quantitativos suportam o pesquisador na compreensão das mensagens que estão sendo comunicadas. É neste sentido que a análise de dados foi realizada, iniciando pela etapa de pré-análise onde o objetivo foi a organização das ideias. Posteriormente, buscou-se tratar os dados obtidos e, por fim, interpretar os resultados.

Para o processo de pré-análise foi necessário estabelecer a equivalência dos parâmetros de estimação de risco entre os métodos HRN (STEEL, 1990) e SCRAM (SORANNO; GÖRNEMANN; SCHUMACHER, 2019), com objetivo de comparar as escalas em ambas as metodologias. No Quadro 23 é possível verificar essa equivalência.

Quadro 23 - Parâmetros de equivalência para estimação de risco

Parâmetros de equivalência para estimação do risco	HRN - Parâmetro	SCRAM - Parâmetro
Severidade do dano (S);	MPL	S
Probabilidade de ocorrência do dano (Ph);	Pe	--
Frequência de exposição ao perigo (Exf);	Fe	F
Duração da exposição ao perigo (Exd);	Fe	F
Probabilidade de ocorrência de um evento perigoso (Pe);	Pe	Q
Possibilidades técnicas e humanas para evitar ou limitar o dano (A).	--	A

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Conforme o quadro acima, percebe-se que no método SCRAM a probabilidade de ocorrência do dano não tem um parâmetro definido. A probabilidade de ocorrência do dano é definida pelo produto dos parâmetros de frequência e duração de exposição ao perigo, probabilidade de ocorrência de um evento perigoso e das possibilidades técnicas e humanas de evitar ou limitar o dano. Ainda neste sentido, o parâmetro “Possibilidade técnica e humana para evitar ou limitar o dano” não é um parâmetro

utilizado na metodologia HRN. Ressalta-se ainda que o parâmetro NP (número de pessoas exposta ao risco) na metodologia HRN não foi definido como um parâmetro de equivalência de estimação de risco. Este parâmetro não foi levado em consideração pelo autor da presente pesquisa, assim como não foi levado em consideração no estudo realizado por Gauthier, Lambert e Chinniah (2012). Após a realização da equivalência dos parâmetros de estimação de risco, foi desenvolvida a equivalência das escalas de risco. Com base no estudo realizado por Gauthier, Lambert e Chinniah (2012), os princípios básicos para a construção da tabela de equivalência foram: o risco cresce linearmente, cada nível de risco é uma faixa e não um valor pontual e o risco zero⁷ foi admitido.

Tabela 13 – Parâmetros de equivalência das escalas de risco

HRN	SCRAM	Grupo de risco	Nível de risco equivalente ⁸
0 - 1	0	Risco baixo	12,5%
1 - 5	1		25,0%
5 - 10	2	Risco médio	37,5%
10 - 50	3		50,0%
50 - 100	4-5	Risco Alto	62,5%
100 - 500	6-7		75,0%
500 - 1000	8-9	Risco extremo	87,5%
over 1000	10		100%

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Após realizada a equivalência das escalas de risco, foram atribuídos percentuais. O risco baixo pertencente a faixa de 0 (zero) até 25,0% (vinte e cinco); risco médio entre 37,5% (trinta e sete vírgula cinco) até 50,0% (cinquenta); risco alto entre 62,5% (sessenta e dois vírgula cinco) até 75,0 (setenta e cinco vírgula zero); e, por fim, o risco extremo entre 87,5% (oitenta e sete vírgula cinco) até 100% (cem).

Para o processo de exploração dos materiais, foi necessário codificar os dados para o correto entendimento, ou seja, foi necessário desenvolver um

⁷ Na metodologia SCRAM o numeral zero (0) é reconhecido, porém refere-se ao menor nível da escala do método, não significando que não exista risco e seja classificado como risco zero. O risco existe, mas é aceitável.

⁸ Nível de risco equivalente é um valor percentual desenvolvido pelo autor da pesquisa com objetivo de propiciar o agrupamento dos resultados conforme os grupos de risco referente.

comparativo entre o número de níveis de cada parâmetro conforme apresentado na Tabela 14.

Tabela 14 – Número de limites/níveis de cada parâmetro⁹

Método	S	Ph	Exf	Exd	Pe	A	R	Referência
HRN	7	7	7	7	7	--	8	HRN (STEEL, 1990)
SCRAM	4	--	3	3	3	2	11	SCRAM (SORANNO; GÖRNEMANN; SCHUMACHER, 2019)

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Para o processo de tratamento e interpretação dos resultados, foi necessário estabelecer as escalas dos parâmetros de equivalência para estimação do risco bem como a tabulação dos dados referentes aos cenários de risco versus níveis de risco. Ainda neste sentido, os profissionais que conduziram a pesquisa avaliaram os 20 (vinte) cenários de risco de forma individual, cada um realizando suas avaliações com base nas metodologias HRN (STEEL, 1990) e SCRAM (SORANNO; GÖRNEMANN; SCHUMACHER, 2019). Após a realização das pesquisas e tabulações de dados, os pesquisadores identificaram divergências de resultados para um mesmo cenário de risco. Cada uma das divergências de resultados foi analisada em conjunto por ambos pesquisadores, com o objetivo de atingir um consenso no resultado.

Para essa pesquisa, os resultados são considerados divergentes quando para um mesmo cenário de risco os resultados referentes aos parâmetros de equivalência das escalas de risco (Tabela 13) estão em diferentes escalas, por exemplo: um resultado está na escala “risco médio” e o outro resultado na escala “risco alto”. Cabe ressaltar que existem faixas percentuais definidas para cada escala de risco, e caso ambos resultados possuam percentuais diferentes e estejam na mesma escala de risco, o resultado não é considerado divergente.

Para análise dos dados, foram levados em considerações os objetivos específicos da presente pesquisa para a criação dos critérios.

O primeiro critério de análise de dados foi estabelecido com o objetivo de identificar os resultados referente aos níveis de risco ao aplicar as metodologias HRN

⁹ S: Severidade do dano; Ph: Probabilidade de ocorrência do dano; Exf: Frequência de exposição ao perigo; A: Possibilidades técnicas e humanas para evitar ou limitar o dano Exd: Duração da exposição ao perigo; Pe: Probabilidade de ocorrência de um evento perigoso, R: risco.

e SCRAM. Para isso, foi criada uma tabela comparativa dos resultados entre as duas metodologias, possibilitando a observação dos percentuais referentes aos níveis de risco, bem como a classificação do nível de risco para cada um dos cenários.

O segundo critério adotado teve como objetivo identificar a influência dos tipos de parâmetros e o número de parâmetros usados para definir o risco. Para isso, foi elencado um cenário de risco onde houve divergência do resultado entre ambas as metodologias. Por meio de uma avaliação qualitativa, foram identificados os parâmetros que influenciaram na divergência do resultado. O nível de subjetividade dos critérios e a subjetividade aplicadas por cada pesquisador na interpretação do parâmetro foi alvo da avaliação.

O terceiro critério adotado teve como objetivo identificar a influência do número de limites para o parâmetro severidade. Os parâmetros de frequência de exposição ao perigo (Exf), duração de exposição ao perigo (Exd) e probabilidade de ocorrência de um evento perigoso (Pe) não foram avaliados devido ao baixo volume de dados. Esse baixo volume de dados é consequência da utilização de apenas duas metodologias. Ressalta-se que a avaliação do número de limites para o parâmetro severidade também sofre influência pelo baixo volume de dados. Ainda neste sentido, os parâmetros de probabilidade de ocorrência do dano (Ph) e possibilidades técnicas e humanas para evitar ou limitar o dano (A) não foram avaliados por não fazerem parte¹⁰ das metodologias.

A avaliação do parâmetro severidade foi realizada através da análise gráfica de dados, onde foram atribuídos a média percentual dos níveis de risco de cada metodologia para os 20 (vinte) cenários, os números de níveis e as respectivas metodologias.

O quarto critério adotado teve como objetivo identificar a influência do número de níveis de risco nos resultados obtidos ao aplicar cada metodologia de estimativa de risco. Para isso, os dados coletados foram aplicados em um sistema de coordenadas cartesiano, apresentando o número de níveis do risco no eixo x e o nível de risco equivalente no eixo y.

¹⁰ Parâmetro Ph - probabilidade de ocorrência do dano não possui valores pré-determinados na metodologia SCRAM. O parâmetro Ph é resultado dos parâmetros auxiliares Exf, Exd, Pe e A. Parâmetro A - possibilidades técnicas e humanas para evitar ou limitar o dano não é existente na metodologia HRN.

Por fim, após a verificação do resultado de cada cenário sobre a classificação dos grupos de risco¹¹, foi possível verificar os dados e apresentar a quantidade de vezes que os grupos de risco apareceram por metodologia.

¹¹ Grupos de risco dos parâmetros de equivalência das escalas de risco: risco baixo, risco médio, risco alto e risco extremo.

4 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Neste capítulo são apresentados os resultados obtidos a partir das técnicas de coleta e análise de dados utilizadas para o desenvolvimento deste trabalho.

As apreciações de riscos foram realizadas em máquinas de uma linha de produção industrial do segmento de não tecidos no Estado de São Paulo. Ao chegar na empresa, os dois entrevistadores realizaram entrevistas com os responsáveis pela manutenção e produção da empresa. Essas entrevistas foram feitas com base nos questionários apresentados nos Quadros 19 (dezenove), 20 (vinte) e 21 (vinte e um) deste trabalho e a realização destas entrevistas foi anterior ao processo de aplicação das metodologias SCRAM e HRN, conforme descrito no método de trabalho. O Quadro 24 (vinte e quatro) apresenta os resultados compilados referentes às entrevistas realizadas.

Quadro 24 – Entrevistas qualitativas com manutenção e operação

Data:	18/01/2021
Nome do entrevistador:	Cléber Diefenthaler
Nome do entrevistado:	---
Departamento do entrevistado:	Manutenção Produção
Empresa:	Alfa
Objetivo:	Identificar informações relativas à experiência de uso
1) algum acidente, incidente ou histórico de mau funcionamento da máquina em análise ou de máquinas similares;	Sim, já ocorreram acidentes nas linhas de produção incluindo acidente fatal.
2) histórico de danos causados à saúde resultantes, por exemplo, de emissões (ruído, vibração, poeira, fumos etc.), produtos químicos utilizados ou materiais processados pela máquina;	A empresa não possui histórico de danos causados pelos grupos de perigo ruído, vibração. No processo produtivo são utilizados alguns produtos químicos, mas são todos controlados por nossa área de segurança e os usuários possuem equipamento de produção individual para manusear estes produtos.
3) a experiência de usuários de máquinas similares e, sempre que aplicável, uma troca de informações com usuários potenciais;	Os operadores atuam em diversas máquinas. Alguns apresenta, maior experiência na utilização de alguns equipamentos.
4) Comentários adicionais:	A empresa nos últimos anos vem evoluindo no aspecto segurança e investindo muito em capacitação e proteção das máquinas.
Objetivo:	Identificar os limites de uso, espaço e tempo
a) os diferentes modos de operação e diferentes procedimentos de intervenção para os usuários, incluindo intervenções exigidas pela má utilização da máquina;	Os operadores utilizam a máquina conforme as orientações dos fabricantes respeitando os modos de operação bem como a matéria prima prevista para ser manufaturada no equipamento.
b) o uso da máquina (industrial, não industrial e doméstico), alguma habilidade física limitada (visual, incapacidade auditiva, tamanho, força e etc);	As máquinas são de uso industrial.

c) os níveis de treinamento, experiência ou habilidade do usuário;	Os usuários das máquinas apresentam experiência para operar os equipamentos e são todos capacitados antes de iniciar os trabalhos na empresa.
d) exposição de outras pessoas associados à máquina.	Eventualmente ocorre.
Limites de espaço - significado: Cursos de movimento, espaço físico destinado para interação com a máquina, interface homem máquina, conexão da máquina com as fontes de suprimento de energia.	As máquinas estão em espaço adequado e possuem marcações no piso limitando o espaço. Na grande maioria dos equipamentos existem IHMs (Interfaces Homem – Máquina) para a disponibilização de informações aos operadores.
Limites de tempo - significado: Vida útil da máquina ou de alguns dos componentes, intervalos de serviços recomendados.	A manutenção é realizada e o controle da vida útil das peças das máquinas não é um item de destaque.
Objetivo:	Identificar as informações relativas à qualidade de vida no trabalho
a) Você considera ter uma boa qualidade de vida no trabalho?	Sim.
b) Você tem algum problema de falta de atenção, concentração ou cansaço para trabalhar?	Apenas quando a produção está elevada e é necessário fazer muitas horas extras.
c) Você considera ser capaz para realizar essa atividade?	Sim.
d) Você tem uma boa relação de trabalho com seus colegas e/ou superiores?	Sim.

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

As entrevistas qualitativas realizadas com os profissionais responsáveis pela área de manutenção e produção revelaram algumas informações importantes, como, por exemplo, o histórico de acidentes das máquinas, a experiência dos operadores ao operar os equipamentos e as condições de manutenção das máquinas. Essas informações foram importantes para os pesquisadores, pois ao realizarem as apreciações de risco essas informações suportaram algumas decisões no processo de apreciação de risco. Por exemplo, ao saber que as máquinas possuíam histórico de acidentes, foi possível que os pesquisadores analisassem com alto rigor os motivos que levaram a estes acidentes, assim como foi possível aprofundar as avaliações nos pontos que os acidentes ocorreram.

Para a obtenção dos níveis de risco para cada cenário, foram aplicadas pelo acadêmico e pesquisador as metodologias SCRAM e HRN. O Quadro 25 apresenta o resultado obtido por meio de ambas as metodologias no cenário 1.

Quadro 25 – Resultado da Avaliação de Risco no cenário 1 com metodologia SCRAM e HRN

		linha de produção industrial do segmento de não tecidos - Sistema de desbobinamento e troca de bobinas						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):		Perigos mecânicos de esmagamento, segurar ou prender.						
Origem dos perigos / tarefas:		Possibilidade de aproximação de um elemento móvel a uma parte fixa e/ou elementos rotativos.						
Fase(s) de utilização da máquina:		Operação, Manutenção e Setup						
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			

HRN (PE*FE*MPL*NP)	600							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

O cenário 1 (um) foi devidamente analisado por ambos participantes da pesquisa (acadêmico e convidado), através de ambas as metodologias. Essa avaliação iniciou-se com a aplicação da metodologia SCRAM. Foi realizada a identificação visual da zona de perigo e posteriormente selecionado o parâmetro de Severidade (Tabela 9). Após a avaliação da severidade, foram definidos os parâmetros de exposição ao perigo (Tabela 10) , possibilidade de evitar ou limitar o dano (Tabela 11) e possibilidade de ocorrência (Tabela 12). Após essa etapa, através da tabela principal do método SCRAM (Tabela 6), foi identificado o respectivo número SCRAM. Com base neste número foi possível verificar o nível de risco equivalente, bem como o respectivo grupo de risco (Parâmetros de equivalência das escalas de risco – Tabela 13).

Após a aplicação da metodologia SCRAM, foi realizada a apreciação de risco com base na metodologia HRN. Após a identificação visual da zona de perigo, foi identificado o parâmetro de probabilidade de exposição e contato com perigo com base na Tabela 1 (Probabilidade de exposição/contato com perigo). Após essa etapa, foi verificado o parâmetro de frequência de exposição ao perigo (Tabela 2). Ultrapassadas essas etapas, os parâmetros de perda máxima provável (Tabela 3) e número de pessoas em risco (Tabela 4) foram atribuídos. Neste sentido, foi calculado o número HRN através da fórmula constante na metodologia (PE x FE x MPL x NP). Com o número HRN e o suporte da Tabela 13 - Parâmetros de equivalência das escalas de risco -, foi possível identificar o nível de risco equivalente e o respectivo grupo de risco.

Os demais cenários de risco foram avaliados da mesma maneira. Quando encontradas divergências de resultados por meio da aplicação das metodologias por ambos participantes da pesquisa, os parâmetros foram discutidos individualmente.

Para estes casos, a captação de um único resultado foi obtida através de um debate entre pesquisadores. Os resultados obtidos através da aplicação das metodologias SCRAM e HRN foram tabulados conforme apresentado na Tabela 15. A média para cada risco foi adquirida, bem como o desvio padrão.

Tabela 15 – Nível de risco dos cenários

Cenários	SCRAM	HRN	Média	Desvio Padrão
C.01	87,50	87,50	87,50	0,00
C.02	75,00	75,00	75,00	0,00
C.03	50,00	75,00	62,50	12,50
C.04	25,00	50,00	37,50	12,50
C.05	25,00	25,00	25,00	0,00
C.06	62,50	62,50	62,50	0,00
C.07	75,00	75,00	75,00	0,00
C.08	75,00	75,00	75,00	0,00
C.09	62,50	75,00	68,75	6,25
C.10	75,00	75,00	75,00	0,00
C.11	62,50	75,00	68,75	6,25
C.12	87,50	75,00	81,25	6,25
C.13	62,50	75,00	68,75	6,25
C.14	87,50	100,00	93,75	6,25
C.15	87,50	87,50	87,50	0,00
C.16	50,00	50,00	50,00	0,00
C.17	75,00	75,00	75,00	0,00
C.18	75,00	62,50	68,75	6,25
C.19	87,50	100,00	93,75	6,25
C.20	75,00	75,00	75,00	0,00
Média	68,13	72,50	70,31	2,19

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

4.1 ANÁLISE DAS DIFERENÇAS DE RESULTADOS

Após a análise dos resultados referentes ao desvio padrão, percebeu-se que 11 (onze) cenários de risco apresentam desvio padrão zero, ou seja, a aplicação das duas metodologias nesses 11 (onze) cenários apresentaram resultados idênticos, representando 55% (cinquenta e cinco) dos cenários analisados.

Dentre os cenários que apresentaram desvio padrão de 6,25 (seis, vinte e cinco), seis deles tiveram como resultado o mesmo grupo de risco, tendo variação apenas do valor percentual de nível de risco equivalente. O cenário 12 apresentou desvio padrão de 6,25 (seis, vinte e cinco), porém o grupo de risco divergiu entre as duas metodologias aplicadas. Apenas dois cenários de risco apresentaram desvio padrão de 12,50, equivalente a 10% (dez) da amostra.

Percebe-se que o HRN apresentou dois resultados (cenário três e cenário quatro) maior que o SCRAM e apresentou um resultado (cenário doze) menor que o SCRAM. Além disso, os dados foram classificados de acordo com os parâmetros de equivalência das escalas de risco e foram atribuídos os percentuais referentes à quantidade total de cenários analisados.

Tabela 16 – Frequência dos cenários por grupo de risco

Grupo de risco	SCRAM	Cenários	% do total analisado	HRN	Cenários	% do total analisado
Risco baixo	2	(C4,C5)	10	1	(C5)	5
Risco médio	2	(C3,C16)	10	2	(C4,C16)	10
Risco alto	11	(C2,C6,C7, C8,C9,C10, C11,C13,C17, C18,C20)	55	13	(C2,C3,C6, C7,C8,C9, C10,C11,C12, C13,C17,C18, C20)	65
Risco extremo	5	(C1,C12,C14, C15,C19)	25	4	(C1,C14,C15, C19)	20

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Em adicional, foram tabulados os dados referentes aos cenários de risco e grupos de risco com base na aplicação das metodologias SCRAM e HRN, conforme apresentado na seção 4.1.2 a seguir.

4.1.1 Análise dos grupos de risco

Nesta seção são apresentadas as análises dos grupos de risco com base na aplicação das metodologias SCRAM e HRN .

Tabela 17 – Cenários de risco por nível de risco equivalente e grupo de risco

Cenários de risco	SCRAM		HRN	
	Nível de risco equivalente	Grupo de risco	Nível de risco equivalente	Grupo de risco
Cenário 1	87,5%	Risco extremo	87,5%	Risco extremo
Cenário 2	75,0%	Risco alto	75,0%	Risco alto
Cenário 3	50,0%	Risco médio	75,0%	Risco alto
Cenário 4	25,0%	Risco baixo	50,0%	Risco médio
Cenário 5	25,0%	Risco baixo	25,0%	Risco baixo
Cenário 6	62,5%	Risco alto	62,5%	Risco alto
Cenário 7	75,0%	Risco alto	75,0%	Risco alto
Cenário 8	75,0%	Risco alto	75,0%	Risco alto
Cenário 9	62,5%	Risco alto	75,0%	Risco alto
Cenário 10	75,0%	Risco alto	75,0%	Risco alto
Cenário 11	62,5%	Risco alto	75,0%	Risco alto
Cenário 12	87,5%	Risco extremo	75,0%	Risco alto
Cenário 13	62,5%	Risco alto	75,0%	Risco alto
Cenário 14	87,5%	Risco extremo	100,0%	Risco extremo
Cenário 15	87,5%	Risco extremo	87,5%	Risco extremo
Cenário 16	50,0%	Risco médio	50,0%	Risco médio
Cenário 17	75,0%	Risco alto	75,0%	Risco alto
Cenário 18	75,0%	Risco alto	62,5%	Risco alto
Cenário 19	87,5%	Risco extremo	100,0%	Risco extremo
Cenário 20	75,0%	Risco alto	75,0%	Risco alto

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Nota-se que, após aplicada a metodologia SCRAM nos 20 (vinte) cenários de risco, 80% (oitenta) dos resultados foram classificados entre os grupos de risco alto e extremo. Quando a metodologia HRN foi aplicada, percebe-se que esse valor cresce, ou seja, 85% (oitenta e cinco) dos resultados foram atribuídos aos grupos de risco alto e extremo.

Quando os grupos de risco baixo e médio são analisados, percebe-se que, ao aplicar a metodologia SCRAM, o resultado é de 20% (vinte) para estes grupos de risco. No entanto, para a metodologia HRN este número decresce e apresenta um percentual de 15% (quinze) dos cenários analisados. Os cenários de risco presentes nos grupos baixo e médio caracterizam-se por fase de utilização como manutenção. Geralmente, nesta fase de utilização a frequência de exposição é menor e os

profissionais que estão expostos nesta fase de utilização possuem uma maior qualificação, o que acaba possibilitando evitar o dano de forma mais consistente.

Com base no exposto, para os grupos de risco alto e extremo a metodologia HRN apresentou um maior rigor técnico comparada com a metodologia SCRAM. Atribuir uma tendência de maior rigorosidade ao método HRN em relação ao método SCRAM pode ser arriscado, visto que essa diferença percentual de 5% (cinco) refere-se à diferença de resultado do cenário 3 (três). Avaliando o cenário 3 (três), percebe-se que o fator subjetividade está presente na definição do parâmetro severidade na metodologia SCRAM. Alterando o parâmetro severidade de S3 para S4, fatalmente os resultados entre ambas as metodologias serão idênticos em relação ao grupo de risco.

4.1.2 Análise dos tipos de perigos

Quando analisado os tipos de perigos¹² para os grupos de riscos alto e extremo, é possível notar que os perigos estão relacionados às categorias de perigo elétrico, com possibilidade de exposição à partes vivas e perigos mecânicos, com possibilidade de esmagamento. Cabe ressaltar que quando não são aplicadas as medidas de segurança para prevenção, em ambos os casos, a chance de ocorrer uma morte é muito presente.

De acordo com o critério adotado para identificação de divergência de resultados, é possível verificar que o cenário três, cenário quatro e o cenário 12 apresentaram resultados divergentes quando as duas metodologias são aplicadas, e isso representou 15% (quinze) dos cenários analisados. As possíveis causas de divergência são exploradas na próxima seção.

4.2 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DOS TIPOS DE PARÂMETROS E NÚMERO DE PARÂMETROS

Com o objetivo de identificar a influência dos tipos de parâmetros e o número de parâmetros usados, foi escolhido o cenário 12 para uma avaliação qualitativa

¹² A norma ABNT NBR ISO 12100_2013 - Segurança de máquinas Princípios gerais de projeto Apreciação e redução de riscos apresenta em seu anexo B exemplos de perigos bem como sua origem e potenciais consequências e no qual serviu de base para as apreciações de risco que foram realizadas com as metodologias SCRAM e HRN.

referente aos parâmetros que influenciaram na divergência do resultado. O cenário 12 foi escolhido entre os outros dois cenários que apresentaram divergência (cenário três e cenário quatro) pelo fato de ter sido o único a possuir o parâmetro severidade (SCRAM) e o parâmetro probabilidade de exposição/contato com perigo (HRN) em suas escalas máximas.

O cenário 12 tem como característica perigos mecânicos de corte e/ou mutilação em dedos e mãos e as fases de utilização da máquina onde foram realizadas as avaliações se caracterizaram por operação e manutenção conforme apresentado no Quadro 26

Quadro 26 – Cenário 12 – Guia para levantamento de dados – apreciação de risco

Cenário A – Perigo:	
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):	Perigos mecânicos de corte e/ou mutilação em dedos e mãos
Origem dos perigos / tarefas:	Elementos rotativos e móveis
Fase(s) de utilização da máquina:	Operação e manutenção

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Diante do exposto, apresentam-se as duas apreciações de riscos que foram realizadas com as metodologias SCRAM e HRN, expondo os dados coletados referentes aos parâmetros e ao número de parâmetros utilizados.

Tabela 18 – Apreciação de risco com metodologia SCRAM para cenário 12

Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10

Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Tabela 19 – Apreciação de risco com metodologia HRN para cenário 12

Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	480							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Diante dos dados expostos nas Tabelas 18 e 19, é possível verificar que o cenário 12, ao aplicar a metodologia SCRAM, foi classificado como risco extremo. Quando aplicada a metodologia HRN, percebe-se o decréscimo de um nível, atingindo o grupo de risco alto. Quando analisados os tipos de parâmetros entre as duas metodologias, é possível perceber similaridade entre elas, sendo possível comparações dos critérios de acordo com o exposto no Quadro 21 (parâmetros de equivalência para estimação do risco).

Cabe ressaltar que o parâmetro probabilidade de ocorrência de um dano na metodologia SCRAM é definido por 3 (três) subparâmetros, tais como: exposição, possibilidade de evitar e possibilidade de ocorrência. Na metodologia HRN este fator está presente como um critério específico da metodologia (probabilidade de exposição | contato com perigo).

Analisando os parâmetros de forma individual, percebe-se que o parâmetro severidade na metodologia SCRAM e o parâmetro perda máxima provável (MPL) na

metodologia HRN estão suscetíveis a interpretações subjetivas referente aos respectivos subparâmetros de cada metodologia para este cenário de risco 12. Quando avaliados os subparâmetro severidade do dano na metodologia SCRAM para o cenário 12, percebe-se que a escolha do parâmetro S4 está em conformidade com a avaliação realizada no que tange a extensão do dano (ver Tabela 20 – os critérios adotados estão destacados em azul).

Tabela 20 – Parâmetros de Severidade S3 e S4 – metodologia SCRAM

<p>S3 Média</p>	<p>Lesões que requerem tratamento por um médico, mas não causam danos permanentes. Ou, lesões que causam a perda ou o dano permanente de partes do corpo humano (mas não perda total) com condição médica reversível.</p> <p>Membros quebrados ou lesões irreversíveis que não afetam significativamente a vida normal, como a perda da ponta de um dedo ou de um dedo do pé.</p>
<p>S4 Alta</p>	<p>Lesões que levam à morte de uma ou mais pessoas. Ou, lesões que requerem tratamento por um médico em um hospital e podem levar a um comprometimento permanente ou perda de partes do corpo, membros ou sentidos / habilidades</p> <p>Morte, ferimentos fatais ou lesões irreversíveis graves, de tal forma que afetem significativamente a vida normal (perda de um membro).</p>

Fonte: SICK AG (2019).

Quando analisado o parâmetro perda máxima provável (MPL) da metodologia HRN e os subparâmetros 8 (oito) e 15 (quinze) para o cenário de risco 12 (ver tabela 21 – os critérios adotados estão destacados em azul), percebe-se que a fatalidade é um subparâmetro e a perda de 2 (dois) membros/olhos ou doença grave de forma permanente (*Loss of 2 limbs/eyes or serious illness - permanent*) é outro subparâmetro. Ou seja, existem diferenças nos critérios adotados para a construção dos subparâmetros entre as duas metodologias. A avaliação subjetiva do pesquisador, bem como sua experiência e a análise dos critérios de cada metodologia, ocasiona essa diferença de resultado.

Tabela 21 – Parâmetros 15 e 8 para Perda máxima provável (MPL) na metodologia HRN

Table 3: Maximum probable loss (MPL) ¹³
15 Fatality
8 Loss of 2 limbs/eyes or serious illness (permanent)

Fonte: Steel (1990).

Se o pesquisador adotasse o critério fatalidade (condição remota para o cenário de risco 12) na utilização da metodologia HRN, o grupo de risco final seria idêntico ao verificado na aplicação da metodologia SCRAM, conforme apresentado na Tabela 22.

Tabela 22 – Apreciação de risco com metodologia HRN para cenário 12 alterando o parâmetro Perda máxima provável (MPL)¹⁴

Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	900							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

4.3 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE LIMITES

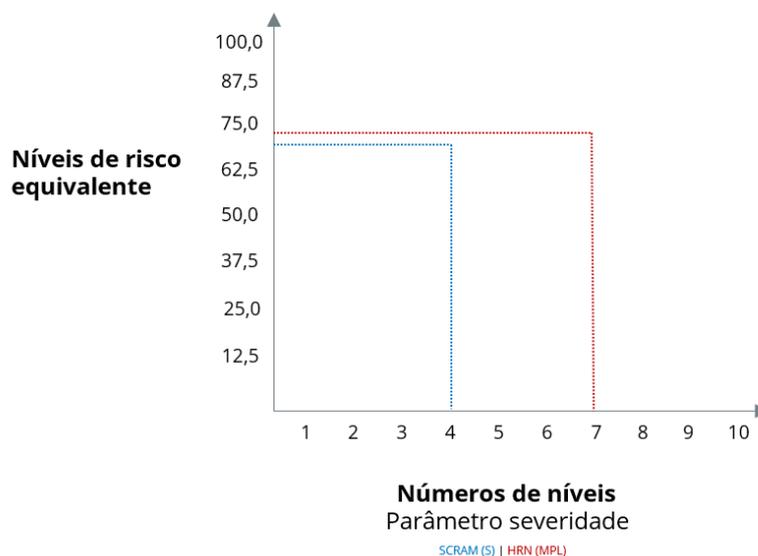
O terceiro critério adotado teve como objetivo identificar a influência do número de limites para o parâmetro severidade. Por essa pesquisa ter utilizado apenas duas

¹³ Damage losses (e.g. based on cost) can also be included.

¹⁴ Foi realizada uma nova apreciação de risco pelo pesquisador referente ao cenário 12, adotando o critério fatalidade para verificação do resultado.

metodologias, o volume de dados finais referentes ao nível de risco equivalente é muito pequeno, ou seja, existem apenas duas médias finais de nível de risco: uma média referente ao método SCRAM (68,13%) e uma média referente ao método HRN (72,50%). Por consequência, a análise de outros parâmetros não faz sentido, pois não é possível verificar tendências devido ao baixo volume de dados. A escolha do parâmetro severidade deve-se ao fato de ser o principal¹⁵ parâmetro no processo de apreciações de risco, e no qual apresenta a extensão do dano no caso de um acidente.

Figura 12 – Nível de risco equivalente versus número de níveis no parâmetro severidade



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

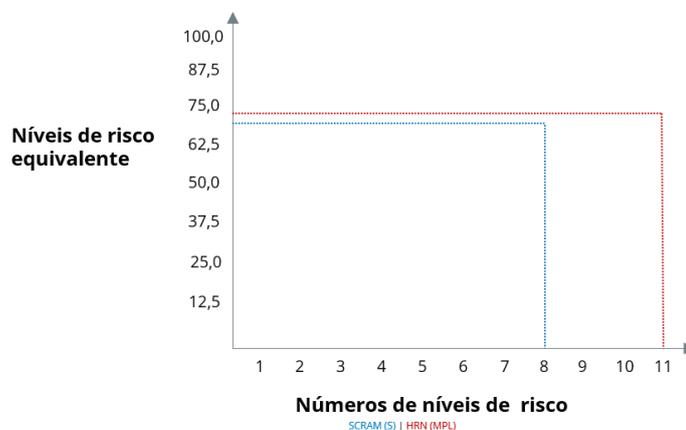
Com base na Figura 12, é possível perceber que a metodologia SCRAM possui uma quantidade menor de níveis no parâmetro severidade se comparada com a metodologia HRN. Esse número menor de níveis acabou representando um menor nível de risco. Atribuir qualquer conclusão com base nesta verificação é arriscado, visto o estudo ter avaliado apenas duas metodologias.

¹⁵ No processo de apreciação de risco os dois principais parâmetros são severidade e probabilidade, porém na metodologia SCRAM a probabilidade não possui valores pré-determinados. O parâmetro probabilidade é resultado dos parâmetros auxiliares Exf, Exd, Pe e A e por isso não está sendo avaliado.

4.4 ANÁLISE DA INFLUÊNCIA DO NÚMERO DE NÍVEIS DE RISCO

O último critério adotado teve como objetivo identificar a influência do número de níveis de risco nos resultados obtidos entre as metodologias SCRAM e HRN. Os dados coletados foram aplicados em um sistema de coordenadas cartesiano, apresentando o número de níveis do risco no eixo x e o nível de risco equivalente no eixo y conforme figura 13 (treze).

Figura 13 – Influência dos números de níveis de risco



Fonte: Elaborado pelo autor (2021).

Analisando a Figura 13, é possível perceber que quanto menor o número de níveis de risco, menor são os níveis de risco equivalente. Cabe ressaltar que, conforme a análise realizada entre níveis de risco equivalente versus números de níveis, atribuir qualquer conclusão com base nesta verificação pode ser precipitada. O volume de dados é pequeno e recomenda-se esse tipo de análise numa população maior de metodologias de apreciações de risco.

5 CONCLUSÃO

Após a realização desta pesquisa, foi possível verificar os desafios que a sociedade precisa enfrentar no campo de segurança de máquinas, devido à alta complexidade do tema, sendo necessário quebra de paradigmas para mudanças culturais, bem como o aprimoramento técnico dos profissionais. Incorporar requisitos técnicos de segurança com embasamento científico apoiará o processo de redução de riscos e, por consequência, uma redução dos índices de acidentes que atualmente temos na indústria.

A recente demanda do mercado industrial pelo serviço de apreciação de risco trouxe a necessidade de utilizar metodologias para a identificação dos perigos e determinação dos riscos de um equipamento. Posto isto, este trabalho se propôs a comparar o desempenho entre as metodologias para estimativa de riscos HRN (STEEL, 1990) e a metodologia SCRAM (SORANNO; GÖRNEMANN; SCHUMACHER, 2019), e avaliar se as metodologias estimam os riscos de maneira uniforme e se os resultados podem ser considerados confiáveis. Essa proposição surgiu quando, ao aprofundar as pesquisas científicas referente ao método HRN, não foi possível identificar estudos comparativos com outras metodologias de apreciações de riscos. Além disso, no estudo realizado por Gauthier, Lambert e Chinniah (2012), a metodologia HRN não foi considerada e essa ausência impulsionou essa pesquisa no sentido de entender o quanto a metodologia HRN se aproximava ou se distanciava tecnicamente das metodologias mais utilizadas no mundo.

Ademais, esta pesquisa buscou entender a influência dos tipos de parâmetros usados para definir o risco, a influência do número de parâmetros e como os resultados se comportaram com a diferença do número de limites e do número de níveis de cada metodologia.

A partir do que foi exposto, foi possível verificar o desempenho entre as metodologias HRN (STEEL, 1990) e SCRAM (SORANNO; GÖRNEMANN; SCHUMACHER, 2019), identificando quantos cenários de risco apresentaram resultados idênticos (mesmo nível de risco equivalente), quantos cenários de risco apresentaram resultados similares (diferentes níveis de risco equivalente porém mesmo grupo de risco) e quantos cenários de risco apresentaram divergência de resultados (diferentes grupos de riscos). Essa verificação permitiu responder o objetivo principal desta pesquisa, e assim afirmar que ambas as metodologias

estimaram os riscos de maneira uniforme, embora não tenham produzidos resultados idênticos.

Além disso, foi possível identificar a influência dos tipos de parâmetros e número de parâmetros e, assim, perceber como os resultados estão suscetíveis a interpretações subjetivas. No estudo do cenário 12, o fator subjetividade esteve presente na seleção do parâmetro severidade. Isso ocasionou uma diferença de resultados e reforça que diferenças de resultados podem ocorrer num mesmo cenário de risco, independente da metodologia utilizada, caso a experiência do profissional não seja levada em consideração para avaliar os parâmetros e realizar um certo nível de ponderações.

Posto isto, entende-se que o trabalho entregou as contribuições propostas e conseguiu comparar de forma teórica e prática o desempenho das metodologias HRN (STEEL, 1990) e SCRAM (SORANNO; GÖRNEMANN; SCHUMACHER, 2019). Ressalta-se que a influência do número de limites e a influência do número de níveis de risco foi percebida, porém atribuir conclusões com base neste estudo é precipitado. O volume de dados é pequeno e recomenda-se esse tipo de análise numa população maior de metodologias para apreciação de risco.

Por fim, a metodologia SCRAM foi avaliada de forma positiva no estudo realizado por Gauthier, Lambert e Chinniah (2012), ou seja, a média dos níveis de riscos oriundos das apreciações de riscos ficaram dentro da média geral, sendo classificada como uma metodologia de estimativa intermediária (*Intermediate estimating tools*) no estudo realizado. Ao aprofundar o estudo na metodologia SCRAM, o acadêmico percebeu uma certa complexidade na aplicação, visto a quantidade de tabelas que são necessárias para sua correta aplicação. Além disso, é necessária uma certa experiência no assunto de segurança de máquinas para a correta aplicação. Ainda neste sentido, ao estudar o método HRN (STEEL, 1990), percebeu-se a limitação da metodologia no que tange a determinação dos níveis de segurança, ou seja, o resultado (valor HRN) não determina uma categoria de segurança, nível de desempenho requerido (*performance level*) ou nível de integridade de segurança (SIL – *safety integrity level*). Embora, a metodologia HRN tenha apresentado a estimativa de riscos de maneira uniforme, a não determinação dos níveis de performance levam à não recomendação de uso desta metodologia. Recomenda-se, como estudo futuro, aprofundar este tema sobre o método HRN e

verificar se essa metodologia não deveria ser utilizada apenas como ferramenta de priorização para ações, e não como uma metodologia para apreciação de risco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAMSSON, M. **Uncertainty in quantitative risk analysis** - characterisation and methods of treatment. Lund, Sweden: Department of Fire Safety Engineering, Lund University, 2002.

ALLEN, RONALD L. Professional Safety. v. 57, v. 8, p66-69. 2012. Disponível em: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/detail/detail?vid=6&sid=160be26e-0124-495a-9cd9-424d32f6b979%40sdc-v-sessmgr02&bdata=Jmxhbmc9cHQYnlmc2l0ZT1laG9zdC1saXZI#db=a9h&AN=78365328>. Acesso em: 02 set. 2020.

Anuário Estatístico de Acidentes do Trabalho 2017 (AEAT). Disponível em: <https://www.previdencia.gov.br>. Acesso em: 30 ago. 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 13849**: Segurança de máquinas – Partes de sistemas de comando relacionadas à segurança. Parte 1: Princípios gerais de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 14153**: Segurança de máquinas – Partes de sistemas de comando relacionadas à segurança. Parte 1: Princípios gerais de projeto. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 1200**: Princípios gerais de projeto – Apreciação e redução de riscos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 12100**: Segurança de máquinas — Princípios gerais de projeto — Apreciação e redução de riscos. Rio de Janeiro: ABNT, 2013.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO/TR 14121-2**: Segurança de máquinas – Apreciação de riscos. Parte 2: Guia prático e exemplos de métodos. Rio de Janeiro: ABNT, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **ABNT NBR ISO 14971**: Produtos para a saúde – aplicação de gerenciamento de risco a produtos para saúde. Rio de Janeiro: ABNT, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Normalização**. [2020?]. Disponível em: <http://www.abnt.org.br/normalizacao/o-que-e/o-que-e>. Acesso em: 02 set. 2020.

BRASIL. **Código de defesa do consumidor e normas correlatas**. Senado Federal, setembro de 2017. Disponível em: https://www2.senado.leg.br/bdsf/bitstream/handle/id/533814/cdc_e_normas_correlatas_2ed.pdf. Acesso em: 20 set. 2020.

BRASIL. **Escola Nacional da Inspeção do Trabalho**. Disponível em: <https://enit.trabalho.gov.br/portal/index.php>. Acesso em: 22 set. 2020.

BRASIL. Ministério da Economia. **Inspecção do trabalho**. Disponível em: <https://sit.trabalho.gov.br/portal/index.php/seguranca-e-saude-no-trabalho/legislacao-sst/normas-regulamentadoras?view=default>. Acesso em: 28 set. 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **Métodos de avaliação de risco e Ferramentas de estimativa de risco utilizados na Europa considerando Normativas Europeias e o caso brasileiro**. Brasília, DF, 2015. Disponível em: http://www.sectordialogues.org/sites/default/files/acoes/documentos/risco_mte.pdf. Acesso em: 13 set. 2020.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR 12: Segurança do trabalho em máquinas e equipamentos**. Brasília, DF, 2010.

BOOTH, Wayne C.; COLOMB, Gregory G.; WILLIAMS, Joseph M. **A Arte Da Pesquisa**. 2ª ed. São Paulo: Martins Fontes, 2008.

CARVALHO, F.C.V.S.P.M. **Fiabilidade na avaliação de risco**: estudo comparativo de métodos semi quantitativos de avaliação de risco em contexto ocupacional. 2013. Tese (Doutorado em Motricidade Humana na especialidade de Ergonomia), Universidade de Lisboa, Lisboa, 2013.

DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel Pacheco; ANTUNES, Junico. **Design science research**: Método de pesquisa para o avanço da ciência e tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015. xxii, 181 p.

ETHERTON, J.R. Industrial Machine Systems Risk Assessment: **A Critical Review of Concepts and Methods**. Risk Analysis: An International Journal, 2007. Disponível em: https://scholar.google.com.br/scholar?q=J.R.+Etherton+-+Industrial+Machine+Systems+Risk+Assessment:+A+Critical+Review+of+Concepts+and+Methods&hl=pt-BR&as_sdt=0&as_vis=1&oi=scholart. Acesso em: 02 ago. 2020.

GAUTHIER, François; LAMBERT, Lambert; CHINNIAH, Yuvin. **Experimental Analysis of 31 Risk Estimation Tools Applied to Safety of Machinery**. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, v. 18, n. 2, 245-265. 2012. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10803548.2012.11076933>. Acesso em 13 set. 2020.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa**. 6. ed. São Paulo: Editora Atlas, 2002.

GÖRNEMANN, Otto. **SCRAM – Scalable Risk Analysis and Evaluation Method**. Düsseldorf, Germany, 2007. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/313895404_SCRAM_Scalable_Risk_Analysis_and_Evaluation_Method. Acesso em: 05 ago. 2020.

HIETIKKO, Marita; MALM, Timo; ALANEN, Jarmo. **Risk estimation studies in the context of a machine control function**. Reliability Engineering and System Safety, vol. 96, issue 7, 767-774, 2011.

HOBBSAWM, Eric J. A era das revoluções: 1789-1848. São Paulo: Ed. Paz e Terra, 2010.

INSTITUT DE RECHERCHE ROBERT-SAUVÉ EN SANTÉ ET EN SÉCURITÉ DU TRAVAIL (IRSST). **Experimental Analysis of Tools Used for Estimating Risk Associated with Industrial Machines**. Disponível em: <https://www.irsst.qc.ca/media/documents/PubIRSST/R-684.pdf>. Acesso em: 02 set. 2020.

MARHAVILAS, P.K.; KOULOURIOTIS, D.; GEMENI, V. Risk analysis and assessment methodologies in the work sites: On a review, classification and comparative study of the scientific literature of the period 2000–2009. **Journal of Loss Prevention in the Process Industries**, v. 24, n. 5, p. 477–523, 2011. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950423011000325>. Acesso em: 22 nov. 2020.

MIGUEL, Paulo Augusto Cauchick (org.). **Metodologia de pesquisa em engenharia de produção e gestão de operações**. Rio de Janeiro: Elsevier: ABEPRO, 2012. Disponível em: https://issuu.com/caludiaadrianakohl/docs/metodologia_de_pesquisa_em_engenhar. Acesso em: 22 nov. 2020

MORANDI, Maria Isabel W. Motta; CAMARGO, Luis F. Riehs. Revisão sistemática da literatura. In: DRESCH, Aline; LACERDA, Daniel P.; ANTUNES JR, José A. Valle. Design science research: método e pesquisa para avanço da ciência e da tecnologia. Porto Alegre: Bookman, 2015.

OBSERVATÓRIO DE SEGURANÇA E SAÚDE NO TRABALHO (OSST). **Acidente de Trabalho: da Análise Sócio Técnica à Construção Social de Mudanças, [2020?]**. Disponível em: <<https://smartlabbr.org/sst>>. Acesso em 29 ago. 2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE (OMS). **Ambientes de trabalho saudáveis: Um modelo para ação**. 2010. Disponível em: https://www.who.int/occupational_health/ambientes_de_trabalho.pdf. Acesso em: 29 ago. 2020.

ORGANIZAÇÃO INTERNACIONAL DO TRABALHO (OIT). **Segurança e Saúde no Trabalho, [2020?]**. Disponível em: https://www.ilo.org/lisbon/temas/WCMS_650864/lang--pt/index.htm. Acesso em: 29 ago. 2020.

PAQUES, Joseph-Jean; GAUTHIER, François; PEREZ, Alejandro. **Analysis and Classification of the Tools for Assessing the Risks Associated With Industrial Machines**. International Journal of Occupational Safety and Ergonomics, v13, n. 2, 173-187. 2007. Disponível em: <https://doi.org/10.1080/10803548.2007.11076720>. Acesso em: 13 set. 2020.

RAAFAT, H.M.N. Risk Assessment and Machinery Safety, **Journ. Of. Occup. Accident 11**. 1989. Disponível em: <https://dokumen.tips/documents/riskassessment-and-machinery-safety.html>. Acesso em: 29 ago. 2020.

RFI, Rádio França Internacional. **Autoridades libanesas não deram importância para o nitrato de amônio**. In: G1. [São Paulo], 06 agosto 2020. Disponível em: <https://g1.globo.com/mundo/noticia/2020/08/06/autoridades-libanesas-nao-deram-importancia-para-o-nitrato-de-amonio-diz-ex-capitao-de-navio-abandonado-no-porto-de-beirute.ghtml>. Acesso em: 10 out. 2020

SICK AG, Guide for safe machinery: **Six steps to a safe machinery**. Waldkirch, 07 julho 2015. Disponível em: https://cdn.sick.com/media/docs/8/78/678/Special_information_Guide_for_Safe_Machinery_en_IM0014678.PDF. Acesso em: 10 set. 2020.

SICK AG, Whitepaper Risk Assessment and Risk Reduction for Machinery Part 3: **Conducting Risk Estimation**. Waldkirch, 22 fevereiro 2019. Disponível em: https://cdn.sick.com/media/docs/2/92/292/Whitepaper_RISK_ASSESSMENT_AND_RISK_REDUCTION_FOR_MACHINERY_PART_3_CONDUCTING_RISK_ESTIMATION_en_IM0082292.PDF. Acesso em: 15 set. 2020.

SORANNO, Chris; GÖRNEMANN, Otto; SCHUMACHER, Rolf. **Risk Assessment And Risk Reduction For Machinery Part 3: Conducting Risk Estimation**. Sick Ag White Paper. Germany/USA, 2019.

STEEL, Chris. Risk Estimation: Risk Estimation Techniques. **The safety & Health Practitioner**, June 1990. Disponível em: <https://s32891.pcdn.co/wp-content/uploads/2015/06/Steel-article-1990.jpg>. Acesso em: 03 ago. 2020

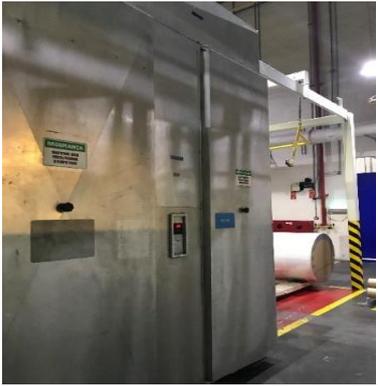
TRIBUNAL SUPERIOR DO TRABALHO (TST). **História**, [2020?] Disponível em: <https://www.tst.jus.br/web/trabalhoseguro/historia>. Acesso em: 02 set. 2020.

YIN, Robert K. **Pesquisa qualitativa do início ao fim**. Porto Alegre: Penso, 2016.

WOODRUFF, Jason Michael. Consequence and likelihood in risk estimation: A matter of balance in UK health and safety risk assessment practice. **Safety Science**, v. 43, n. 5-6, p. 345–353, 2005. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0925753505000342>. Acesso em: 20 set. 2020.

APÊNDICE A – APRECIÇÕES DE RISCO – DADOS FINAIS

		Cenário 1							
		Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):				Perigos mecânicos de esmagamento, segurar ou prender.			
		Origem dos perigos / tarefas:				Possibilidade de aproximação de um elemento móvel a uma parte fixa e/ou elementos rotativos.			
		Fase(s) de utilização da máquina:				Operação, Manutenção e Setup			
Metodologia SCRAM									
Severidade	S1	S2	S3	S4					
Exposição	F0	F1	F2						
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3						
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3						
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10	
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0	
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo		
Metodologia HRN									
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15		
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5		
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15		
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12				
HRN (PE*FE*MPL*NP)	600								
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000	
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0	
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo		

		Cenário 2						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):					Perigos elétrico de choque			
Origem dos perigos / tarefas:					Possibilidade de exposição a partes vivas			
Fase(s) de utilização da máquina:					Manutenção e limpeza			
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	225							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 3						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):				Perigos mecânico de esmagamento				
Origem dos perigos / tarefas:				Possibilidade de aproximação de um elemento móvel a uma parte fixa durante os movimentos na área de troca tela				
Fase(s) de utilização da máquina:				Operação , Manutenção ou Setup.				
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	300							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 4						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):				Perigos mecânico de enroscar, segurar ou prender				
Origem dos perigos / tarefas:				Exposição a elementos rotativos.				
Fase(s) de utilização da máquina:				Manutenção e Limpeza				
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	20							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 5						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):				Perigos mecânico de esmagamento				
Origem dos perigos / tarefas:				Possibilidade de aproximação de um elemento móvel a uma parte fixa durante o movimento dos atuadores pneumáticos				
Fase(s) de utilização da máquina:				Manutenção e Limpeza				
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	5							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 6						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):				Perigos mecânico de esmagamento				
Origem dos perigos / tarefas:				Possibilidade de aproximação de um elemento móvel a uma parte fixa durante os movimentos do cabeçote de extrusão ou avanço e recuo da unidade de extrusão				
Fase(s) de utilização da máquina:				Operação , Manutenção ou Setup.				
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	80							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 7						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):					Perigos mecânico de escorregamento, tropeço e queda			
Origem dos perigos / tarefas:					Possibilidade de queda de objetos, ou queda em altura a partir do solo			
Fase(s) de utilização da máquina:					Ajustes, operação, limpeza e manutenção			
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	187,5							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 8						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):					Perigos elétrico de eletrocussão			
Origem dos perigos / tarefas:					Possibilidade de exposição a partes vivas			
Fase(s) de utilização da máquina:					Operação, Manutenção e limpeza			
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	300							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 9						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):				Perigos mecânico de esmagamento				
Origem dos perigos / tarefas:				Possibilidade de aproximação de um elemento móvel a uma parte fixa durante o movimento do eixo do scanner				
Fase(s) de utilização da máquina:				Operação, Manutenção ou Setup				
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	480							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 10						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):					Perigos mecânico de impacto, enroscar, segurar ou prender			
Origem dos perigos / tarefas:					Exposição a elementos móveis			
Fase(s) de utilização da máquina:					Operação, manutenção e limpeza			
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	320							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 11						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):					Perigos mecânicos de mutilação em dedos e mãos			
Origem dos perigos / tarefas:					Elementos rotativos			
Fase(s) de utilização da máquina:					Operação e manutenção			
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	480							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

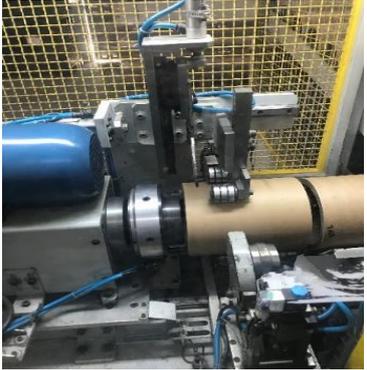
		Cenário 12						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):				Perigos mecânicos de corte e/ou mutilação em dedos e mãos				
Origem dos perigos / tarefas:				Elementos rotativos e móveis				
Fase(s) de utilização da máquina:				Operação e manutenção				
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	480							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 13						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):				Perigos mecânicos de mutilação em dedos e mãos.				
Origem dos perigos / tarefas:				Elementos rotativos				
Fase(s) de utilização da máquina:				Operação e manutenção				
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	120							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 14						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):				Perigos mecânicos de perfuração, corte e/ou mutilação em dedos e mãos, enroscar partes do corpo em elementos rotativo				
Origem dos perigos / tarefas:				Elementos rotativos				
Fase(s) de utilização da máquina:				Operação e manutenção				
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	1125							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 15						
		Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):		Perigos mecânicos de corte ou mutilação				
Origem dos perigos / tarefas:		Exposição a elementos rotativos						
Fase(s) de utilização da máquina:		Operação, Ajustes/Setup, Manutenção, Limpeza						
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	750							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 16						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):				Danos causados pelo contato com objetos ou materiais com alta temperatura				
Origem dos perigos / tarefas:				Perigo Térmico de queimaduras				
Fase(s) de utilização da máquina:				Limpeza, manutenção				
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	16							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 17						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):					Perigos mecânicos de esmagamento, segurar ou prender e cortar			
Origem dos perigos / tarefas:					Elementos rotativos e móveis			
Fase(s) de utilização da máquina:					Operação e manutenção			
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	200							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 18						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):					Queimadura, eletrocussão, choque, projeção de fagulhas			
Origem dos perigos / tarefas:					Perigos elétrico de arcos, baixa rigidez dielétrica e curto circuito			
Fase(s) de utilização da máquina:					Manutenção Elétrica			
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	75							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 19						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):		Perigos mecânicos de perfuração, corte e/ou mutilação em dedos e mãos, enroscar partes do corpo em elementos rotativos						
Origem dos perigos / tarefas:		Elementos rotativos e moveis						
Fase(s) de utilização da máquina:		Operação e manutenção						
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	1125							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

		Cenário 20						
Descrição dos perigos (conforme ABNT NBR ISO 12100):		Perigos mecânicos de perfuração, corte e/ou mutilação em dedos e mãos, enroscar partes do corpo em elementos rotativo						
Origem dos perigos / tarefas:		Elementos rotativos, moveis e deslizantes						
Fase(s) de utilização da máquina:		Operação e manutenção						
Metodologia SCRAM								
Severidade	S1	S2	S3	S4				
Exposição	F0	F1	F2					
Possibilidade de evitar	A1	A2	A3					
Possibilidade de ocorrência	O1	O2	O3					
SCRAM	0	1	2	3	4-5	6-7	8-9	10
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	
Metodologia HRN								
Perda máxima provável (MPL)	0,1	0,5	1	2	4	8	15	
Frequência de exposição ao perigo (FE)	0,1	0,2	1,0	1,5	2,5	4	5	
Probabilidade de exposição contato com perigo	0,03	1	2	5	8	10	15	
Número de pessoas em risco	1	2	4	8	12			
HRN (PE*FE*MPL*NP)	150							
HRN	0-1	1-5	5-10	10-50	50-100	100-500	500-1000	>1000
Nível de risco equivalente	12,5	25,0	37,5	50,0	62,5	75,0	87,5	100,0
Grupo de risco	Risco baixo		Risco médio		Risco alto		Risco extremo	

ANEXO A – TABELAS DE APOIO MÉTODO SCRAM

Optional risk parameter tables

Overview

If the main criteria for the risk scoring factors according to chapter “Elements of risk” are not entirely suitable for a special application, there are additional tables for determining each factor on level 2 to improve the estimation. If this is still not adequate, there are two further tables related to the factors **Risk awareness** and **Avoiding possibility** on level 3.

Elements of risk	Level 1	Level 2	Level 3	
	Severity of harm	Injury level		
		Effect duration		
	Exposure to hazard	Need for access		
		Exposure frequency		
		Exposure duration		
		Persons exposed		
	Possibility of avoidance	Operator skills		Operator Information
		Risk awareness		Direct hazard perception
				Warning (indirect hazard perception)
Avoidance experience				
Avoidance possibility			Physical ability	
		Hazard appearance or speed		
		Surrounding space (allowing avoidance)		
Probability of occurrence		Other circumstances		
	Risk comparison			
	System reliability			
	Accident history			
	Damage to health probability			

Tab. 4 – Overview of risk parameter tables

Table for the determination of harm severity

The estimation of harm severity can be improved by combining the injury level and the effect duration of the harm.

	Injury level ¹ Assess the worst possible effect to health. Consider if a repeated exposure to harm is possible and if accumulation of this exposure leads to such an effect	Harm effect duration ²	Severity of harm
Level 2	Negligible • None or negligible (trivial) injury (e.g., small bruises or superficial cuts) which either do not require any treatment or only treatment that is limited to simple and normally available first aid methods and equipment.	*	S1
	Slight • Injuries which can be treated with normally available first aid equipment but require the help of medically trained personnel. or • The injury (medical condition) will be reversed within three months without treatment, but under monitoring of a medical practitioner.	Short Recovery of medical condition within one week is expected.	S1
		Medium Recovery of medical condition within six weeks is expected.	S2
		Long Recovery of medical condition within three months is expected. ³	S3
	Serious • Injuries which require treatment by a medical practitioner but do not lead to a permanent impairing. or • Injuries which lead to the loss or permanent damage of parts of the human body (but not total loss) with reversible medical condition.	Short Recovery of medical condition within one week is expected.	S2
		Medium Recovery of medical condition within three months is expected.	S3
		Long Recovery of medical condition requires more than three months.	S4
	Severe • Injuries which lead to the death of one or more persons. or • Injuries which require treatment by a medical practitioner in a hospital and may lead to a permanent impairment or loss of parts of the body, limbs, or senses/abilities.	-	S4

¹ Definitions describe the injury level in terms of a usual course of diagnostic, treatment, recovery.

² Definitions of harm effect duration are not applicable to the loss of parts of the body. In such cases the highest severity within the injury level shall be applied.

³ For harm effect duration longer than six months the injury level shall be considered as "serious".

S1 according to EN ISO 13849-1 Annex A
S2 according to EN ISO 13849-1 Annex A

Tab. 5 – Determination of harm severity

Table for the determination of exposure to hazard

The estimation of exposure to hazard can be improved by combining the need for access to the hazardous area by the affected persons during the intended task, the exposure frequency, and the duration and number of reasonably foreseeable persons exposed.

	Need for access or stay ¹	Exposure frequency	Exposure duration	Number of exposed persons ²		
				Certain	One	More
L e v e l 2	Prevented • Any exposure or access to the hazard(s) is completely prevented by guards or protective devices	-	-	F0	F0	F0
	Not required • Access to hazardous area is not required by the task or • Other non-related persons are commonly not present near the hazardous area	Low [F < 2/shift]	Short [T < 1min]	F1	F1	F1
			Medium [1min ≤ T < 3min]	F1	F1	F1
			Long [3min ≤ T]	F1	F1	F2
		Medium [2/shift ≤ F < 20/shift]	Short [T < 1min]	F1	F1	F2
			Medium [1min ≤ T < 3min]	F1	F1	F2
			Long [3min ≤ T]	F1	F1	F2
		High [20/shift ≤ F]	Short [T < 1min]	F1	F1	F2
			Medium [1min ≤ T < 3min]	F1	F2	F2
			Long [3min ≤ T]	F1	F2	F2
	Required • Access to hazardous area is required by the task or • Other non-related persons are commonly present in or near the hazardous area	Low [F < 2/shift]	Short [T < 1min]	F1	F1	F2
			Medium [1min ≤ T < 3min]	F1	F1	F2
			Long [3min ≤ T]	F1	F2	F2
		Medium [2/shift ≤ F < 20/shift]	Short [T < 1min]	F1	F1 / F2 ³	F2
			Medium [1min ≤ T < 3min]	F1	F2	F2
			Long [3min ≤ T]	F2	F2	F2
		High [20/shift ≤ F]	Short [T < 1min]	F2	F2	F2
			Medium [1min ≤ T < 3min]	F2	F2	F2
Long [3min ≤ T]			F2	F2	F2	
				Exposure to hazard		

¹ The need for access and the frequency of exposure are not necessarily related (e.g., command panel near a hazardous area).

² **Certain:** An unpredictable number of persons may occasionally be present in the hazardous area.

One: An operator or another task-related person is present in the hazardous area.

More: Several operators or other task-related persons are present in the hazardous area.

³ High (F2) if the cumulated exposure exceeds 15 minutes per shift.

Tab. 6 – Determination of exposure to hazard

Table for the determination of possibility of avoidance

The estimation of possibility of avoidance can be improved by combining foreseeable operator skills, the awareness to the risk, the possible experience of the operator on the avoidance of the risk as well as the possibility of such an avoidance.

	Operator skills	Risk awareness ¹	Avoidance experience	Avoidance possibility ¹		
				Almost possible (AP1)	Possible under certain circumstances (AP2)	Impossible (AP3)
L e v e l 2	Skilled	High	Experienced	A1	A1	A1
			Unexperienced	A1	A1	A2
		Medium	Experienced	A1	A1	A2
			Unexperienced	A1	A1	A2
		Low	Unexperienced	A1	A2	A2
			Unexperienced	A2	A2	A2
	Unskilled or untrained	High	Experienced	A1	A1	A2
			Unexperienced	A1	A2	A2
		Medium	Experienced	A1	A2	A2
			Unexperienced	A1	A2	A2
		Low	Unexperienced	A2	A2	A2
			Unexperienced	A2	A2	A2
Unmanned operation or endangered persons are not related to the task	High	Experienced	A1	A1	A2	
		Unexperienced	A1	A1	A2	
	Medium	Experienced	A1	A1	A2	
		Unexperienced	A1	A2	A2	
	Low	Unexperienced	A2	A2	A2	
		Unexperienced	A2	A2	A2	
				Possibility of avoidance		

¹ See subsequent tables if a more detailed analysis is required.

Tab. 7 – Determination of possibility of avoidance

Table for the determination of probability of occurrence

The estimation of probability of occurrence can be improved by combining the comparison of the risks on similar machinery, the system robustness, the accident and incident history, and the likelihood that the foreseen situation will lead to the assumed damage to health.

	Risk comparison	System robustness	Accident and incident history	Damage to health likelihood ¹		
				Seldom	Possible	Consequent
Level 2	Same as similar machines or systems	List similar machines or systems and provide reliable comparison data		-	-	-
	Other than similar machines or systems	Machine or system is not prone to trouble	No accidents or heavy incidents reported (reliable data available)	O1	O1	O2
			Seldom accidents or heavy incidents reported (< 5% of running systems)	O1	O1	O2
			Several accidents or heavy incidents reported (> 5% of running systems)	O1	O2	O2
	Other than similar machines or systems	Machine or system is prone to trouble	No accidents or heavy incidents reported (reliable data available)	O1	O2	O2
			Seldom accidents or heavy incidents reported (< 5% of running systems)	O2	O3	O3
Several accidents or heavy incidents reported (> 5% of running systems)			O3	O3	O3	
				Probability of occurrence		

¹ **Seldom:** Harm occurrence is very seldom.

Possible: Harm occurrence is possible but not necessarily the result of an exposure.

Consequent: Harm occurrence is usually a result of the exposure.

Tab. 8 – Determination of probability of occurrence

Table for the determination of risk awareness

The estimation of possible risk awareness can be improved by combining the availability and quality of the information for the operator, the possibility of the direct risk perception, and the availability of warning means (i.e., alarms and warning signs).

	Operator information	Direct hazard perception ¹	Warning (indirect hazard perception) ²		
			Difficult	Possible	Easy
Level 3	Low Operator is not informed about potential hazards or no operator information is available	Difficult	Low	Medium	High
		Possible	Low	Medium	High
		Easy	Medium	Medium	High
	Medium Operator is not completely informed about potential hazards or operator information is available, but incomplete	Difficult	Low	Medium	High
		Possible	Medium	Medium	High
		Easy	Medium	Medium	High
High Operator is completely informed about potential hazards and operator information is available and complete	Difficult	Medium	Medium	High	
	Possible	Medium	High	High	
	Easy	High	High	High	
			Risk awareness		

¹ **Direct hazard perception**

Difficult: Due to its nature, hazard is difficult to perceive (e.g., rotating blank shaft).

Possible: In some circumstances the hazards can not be perceived.

Easy: Hazards will almost always be perceived.

² **Indirect hazard perception**

Difficult: No hazard warnings are available, readable, or can be recognized as such.

Possible: Warnings are available (and readable) but not always perceptible.

Easy: For all hazards the warnings are available, readable, and perceptible.

Tab. 9 – Determination of risk awareness

Table for the determination of avoiding possibility

The estimation of possibility to avoid the harm can be improved by combining the foreseen physical ability of the operator, the speed at which the hazard or the hazardous situation may appear, the surrounding space which may improve (or hinder) the avoidance of the harm, and other circumstances which depend on the specific machine or application.

	Physical ability	Hazard appearance or speed	Surrounding space allows avoidance	Other avoidance circumstances ¹		
				Hinder	No effect	Assist
L e v e l 3	Hindered Endangered person is physically unable to avoid the hazard	Sudden	No	AP3	AP3	AP2
			Yes	AP3	AP3	AP2
		Fast	No	AP3	AP3	AP2
			Yes	AP3	AP2	AP2
		Slow	No	AP3	AP3	AP2
			Yes	AP3	AP2	AP1
	Possible Endangered person is physically able to avoid the hazard	Sudden	No	AP3	AP2	AP1
			Yes	AP3	AP2	AP1
		Fast	No	AP3	AP2	AP1
			Yes	AP2	AP1	AP1
		Slow	No	AP2	AP1	AP1
			Yes	AP2	AP1	AP1
Avoidance possibility						

¹ **Hinder** prevents hazard avoidance.

No effect to avoid the hazard.

Assist hazard avoidance.

Tab. 10 - Determination of avoidance possibility