



**Gustavo Cichorski**

**ESTUDO DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS DE  
SEGURANÇA EM UMA CÉLULA ROBOTIZADA DE  
SOLDAGEM DE ACORDO COM A NORMA NR-12**

**Horizontina**

**2015**

**Gustavo Cichorski**

**ESTUDO DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS DE  
SEGURANÇA EM UMA CÉLULA ROBOTIZADA DE  
SOLDAGEM DE ACORDO COM A NORMA NR-12**

Trabalho Final de Curso apresentado como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, pelo Curso de Engenharia Mecânica da Faculdade Horizontina.

ORIENTADOR: Leonardo Teixeira Rodrigues, Especialista.

**Horizontina**

**2015**

**FAHOR - FACULDADE HORIZONTINA  
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a monografia:

**“Estudo dos requisitos necessários de segurança em uma  
célula robotizada de soldagem de acordo com a norma NR-  
12”**

Elaborada por:

**Gustavo Cichorski**

como requisito parcial para a obtenção do grau de Bacharel em  
Engenharia Mecânica

**Aprovado em: 20/11/2015  
Pela Comissão Examinadora**

---

**Especialista. Leonardo Teixeira Rodrigues  
Presidente da Comissão Examinadora - Orientador**

---

**Especialista. Evandro Fernandes Scalabrin  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

---

**Mestre. Vilmar Bueno Silva  
FAHOR – Faculdade Horizontina**

**Horizontina**

**2015**

## **DEDICATÓRIA**

Em especial ao meu pai Nildo e minha mãe Lurdes que não mediram esforços para tornar possível esse sonho, sempre ao meu lado com todo apoio, amor e carinho. A minha namorada por todo apoio, sua ajuda e compreensão.

## **AGRADECIMENTO**

Agradeço em primeiro lugar, a Deus, por toda força durante essa caminhada.

Ao meu pai Nildo José Cichorski, e minha mãe Lurdes Gasparetto Cichorski e a minha irmã Mariane Cichorski por todo esforço em tornar possível esse sonho. A todos os ensinamentos que me passaram, por todo apoio, amor e carinho que me deram.

A minha namorada Magda Luiza Giacomelli que sempre esteve presente em todos os momentos de minha graduação, por todo apoio prestado, toda ajuda, amor e companheirismo durante essa jornada.

Agradeço a todos os professores que tive nessa jornada, pelo empenho e dedicação durante as aulas.

Agradeço a todos meus amigos cultivados durante a minha vida.

Agradeço a FAHOR, por disponibilizar toda sua estrutura.

“Lembre-se que as pessoas podem tirar tudo de você, menos o seu conhecimento.”

(Albert Einstein)

## RESUMO

A necessidade em garantir a saúde e integridade física das pessoas, tem estimulado cada vez mais as empresas a implementarem e adequarem seus equipamentos de acordo com as normas regulamentadoras, atendendo as determinações dos órgãos responsáveis, as empresas estarão garantindo o bem a seus trabalhadores, não elevando os índices de acidentes no país. Este trabalho tem por objetivo desenvolver um estudo dos requisitos necessários de segurança em uma célula robotizada de soldagem de acordo com a norma NR-12, e disponibilizá-lo para correta implementação ou adequação do equipamento em ambiente fabril, garantindo assim um local de trabalho seguro. Por meio de uma pesquisa-ação este trabalho seguiu alguns passos para atingir os resultados esperados, com um embasamento teórico da norma NR-12, levantamento de potenciais riscos em uma célula sem os equipamentos de segurança, análise de riscos levantados através de metodologia Hazard Risk Number (HRN), estudo dos requisitos necessários de segurança de acordo com a norma que se apliquem na célula, proposta de dispositivos de segurança e por fim, realização de uma nova análise de risco. Os resultados encontrados demonstraram que o equipamento está em conformidade com a norma, devido à aplicação dos dispositivos de segurança propostos para serem aplicados ao equipamento, desta forma, garantindo a saúde e integridade física das pessoas.

**Palavras-chave:** HRN. NR-12. Segurança. Soldagem.

## **ABSTRACT**

The need to ensure the health and physical integrity of persons has encouraged more and more companies to implement and conform their equipment in accordance with regulatory standards, meeting the determinations of bodies, companies are ensuring good to their workers, not increasing accident rates in the country. This work aims to develop a study of the necessary safety requirements in a robot cell welding according to NR-12, and make it available for proper implementation or adaptation of equipment in industrial environment, thus ensuring a safe workplace. Through an action research this work followed a few steps to achieve the expected results with a theoretical basis of the NR-12 standard, raising potential risks in a cell without safety equipment, risk analysis raised through Hazard Risk methodology Number (HRN), study the necessary safety requirements according to the standard that applies in the cell, proposed safety devices and finally, conducting a new risk analysis. The results demonstrated that the equipment complies with the standard, due to the application of the safety features proposed to be applied to the equipment, thus ensuring the health and physical integrity of persons.

**Keywords:** HRN. NR-12. Safety. Welding.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Modelos de célula robotizada de solda.....	19
Figura 2 – Célula robotizada de soldagem sem equipamentos de segurança.....	24
Figura 3 – Proposta de enclausuramento da célula robotizada.....	29
Figura 4 – Proposta de comandos bimanuais da célula robotizada. ....	30
Figura 5 – Formas de acesso na célula.....	31
Figura 6 – Proposta de cortinas de luz horizontal e vertical da célula robotizada. ....	34
Figura 7 – Proposta de tapetes de segurança da célula robotizada.....	36
Figura 8 – Proposta de scanner de área da célula robotizada. ....	38
Figura 9 – Proposta de intertravamento da porta lateral da célula robotizada.....	40
Figura 10 – Proposta de parada de emergência da célula robotizada. ....	42
Figura 11 – Proposta de quadro de energia da célula robotizada.....	43
Figura 12 – Proposta de chave de bloqueio do quadro de energia da célula robotizada.....	44
Figura 13 – Proposta de proteção dos cabos elétricos da célula robotizada. ....	45
Figura 14 – Proposta de proteção da zona morta sobre as canaletas. ....	46
Figura 15 – Proposta de sinalização de segurança da célula robotizada. ....	48
Figura 16 – Proposta de proteção contra radiação ultravioleta da célula robotizada. ....	49
Figura 17 – Proposta de proteção contra radiação ultravioleta da célula robotizada. ....	50
Figura 18 – Proposta de tocha aspirada da célula robotizada.....	51
Figura 19 – Proposta de coifa de exaustão da célula robotizada.....	52

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Probabilidade de Exposição (PE).....	22
Quadro 2 – Frequência de Exposição (FE).....	22
Quadro 3 – Grau de possíveis danos (GPD).....	22
Quadro 4 – Número de pessoas expostas (NP).....	23
Quadro 5 – Valor do HRN.....	23
Quadro 6 – Risco de colisão com as partes móveis da máquina.....	25
Quadro 7 – Impossibilidade de parada súbita em situação de emergência.....	25
Quadro 8 – Possibilidade de choques elétricos nas partes energizadas da máquina.....	25
Quadro 9 – Exposição dos olhos à radiação ultravioleta.....	25
Quadro 10 – Inalação de fumos metálicos.....	26
Quadro 11 – Exposição ao calor.....	26
Quadro 12 – Análise de risco enclausuramento.....	29
Quadro 13 – Análise de risco comandos bimanuais.....	31
Quadro 14 – Análise de risco cortinas de luz.....	34
Quadro 15 – Análise de risco tapetes de segurança.....	36
Quadro 16 – Análise de risco scanner de área.....	38
Quadro 17 – Análise de risco intertravamento da porta lateral.....	40
Quadro 18 – Análise de risco parada de emergência da célula robotizada.....	42
Quadro 19 – Análise de risco quadro de energia da célula robotizada.....	43
Quadro 20 – Análise de risco chave de bloqueio do quadro de energia.....	44
Quadro 21 – Análise de risco da proteção dos cabos elétricos.....	46
Quadro 22 – Análise de risco do CLP da célula robotizada.....	47
Quadro 23 – Análise de risco da sinalização de segurança da célula robotizada.....	48
Quadro 24 – Análise de risco da sinalização de segurança da célula robotizada.....	50
Quadro 25 – Análise de risco sistema de exaustão de fumos metálicos.....	52

# SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	11
1.1 JUSTIFICATIVA .....	12
1.2 OBJETIVOS .....	12
1.2.1 Objetivos gerais .....	12
1.2.2 Objetivo específico .....	12
<b>2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	14
2.1 SEGURANÇA NO TRABALHO.....	14
2.2 NORMAS REGULAMENTADORAS .....	14
2.3 NR-12 SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS .....	15
2.4 RISCOS AMBIENTAIS.....	16
2.6 PROCESSOS DE SOLDAGEM .....	17
2.7 SOLDAGEM ROBOTIZADA.....	18
2.6.1 Células de soldagem robotizada .....	19
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	20
3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS .....	20
3.2 MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DE RISCOS.....	21
3.3 AVALIAÇÕES DOS RISCOS DA CÉLULA.....	23
3.4 ANÁLISE DE RISCO.....	24
3.5 REQUISITOS DA NORMA.....	26
<b>4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS</b> .....	28
4.1 ENCLAUSURAMENTO DO EQUIPAMENTO.....	28
4.2 SISTEMA DE ACIONAMENTO BIMANUAL .....	29
4.3 ACESSOS AO INTERIOR DA CÉLULA .....	31
4.3.1 Acesso frontal.....	31
4.3.1.1 Cortinas de luz .....	32
4.3.1.2 Tapetes de segurança.....	35
4.3.1.3 Scanner de área.....	36
4.3.2 Acesso lateral .....	39
4.3.2.1 Intertravamento .....	39
4.3.2.2 Tapetes de segurança no interior da célula .....	40
4.4 PARADAS DE EMERGÊNCIA .....	41
4.5 QUADRO DE ENERGIA .....	42
4.6 CHAVE DE BLOQUEIO DO QUADRO DE ENERGIA .....	43
4.7 PROTEÇÃO DOS CABOS ELÉTRICOS .....	44
4.8 COMANDO LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP) .....	46
4.9 SINALIZAÇÕES DE SEGURANÇA .....	47
4.10 PROTEÇÕES CONTRA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA .....	48
4.11 EXAUSTÃO DE FUMOS METÁLICOS.....	50
<b>5. CONCLUSÕES</b> .....	53
<b>6. REFERÊNCIAS</b> .....	54

## 1. INTRODUÇÃO

Com o intuito de garantir a integridade física e mental dos trabalhadores, a busca pela saúde e segurança em um ambiente fabril, tem-se intensificado cada vez mais nos últimos tempos pelas empresas. Acidentes de trabalho envolvendo máquinas e equipamentos do setor metalmeccânico demonstram a necessidade de uma correta implementação no ambiente fabril, a fim de atender todos os requisitos necessários de acordo com a Norma Regulamentadora nº 12 (NR-12).

Segundo a Norma Regulamentadora (NR-12), a sua aplicação pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) tem por objetivo definir as referências técnicas, os princípios fundamentais e as medidas de proteção a fim de garantir a saúde e integridade física e mental dos trabalhadores durante seu período laboral. O descumprimento desta norma pode gerar grandes prejuízos para as empresas, tais como, afastamento dos trabalhadores até o pagamento de multas.

Para a maior confiabilidade dos trabalhadores em realizar atividades em máquinas e equipamentos é imprescindível que estes estejam adequados a NR-12, garantindo a sua integridade. Da mesma forma, é de grande importância que os operadores destas estejam qualificados para desempenhar suas funções com as instruções corretas e recebam treinamentos periódicos de operação com segurança.

Empresas que possuem equipamentos que não estão em conformidade com a NR-12 e que estão em funcionamento correm sérios riscos de serem penalizadas, pois oferecem riscos a saúde e segurança dos trabalhadores, desta forma, devem ser adequados a fim de atender a norma.

Este trabalho irá apresentar um estudo dos requisitos necessários de segurança em uma célula robotizada de soldagem à NR-12, visando facilitar a implementação do equipamento, que demanda uma quantidade de recursos elevada e é imprescindível que esteja regulamentado para estar apto a funcionar, como também evitando a necessidade de retrabalho do equipamento, caso não venha seguir as normativas de segurança.

O estudo utilizará exemplos de dispositivos de segurança de uma célula robotizada de solda de uma empresa de grande porte da região noroeste do estado do Rio Grande do Sul. A mesma possui em sua produção, uma quantidade significativa de células robotizadas de solda.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Visando garantir a saúde e segurança dos colaboradores e para que desempenhem suas atividades de forma correta, torna-se necessário a adequada implementação dos equipamentos para que não se eleve ainda mais as estatísticas de acidentes de trabalho registrados no Brasil e também a necessidade de retrabalho no equipamento após a implementação. A regulamentação dos equipamentos na norma NR-12 é outro fator importante, que mostra a preocupação das empresas brasileiras em atender tais normas regulamentadoras e também a preocupação com a segurança no trabalho de seus colaboradores, visto que estes desempenham um papel de extrema importância na empresa.

O desenvolvimento de um estudo dos requisitos necessários de segurança em uma célula robotizada de soldagem à norma NR-12 auxilia no atendimento as necessidades apresentadas anteriormente, de forma que, seguindo os procedimentos deste trabalho, o equipamento estará regulamentado e apto a funcionar.

Diante dos motivos apresentados, justifica-se a importância deste trabalho e assim o desenvolvimento de um estudo para implementação de uma célula robotizada de soldagem à NR-12, e que garantam que o ambiente de trabalho seja seguro e saudável.

## 1.2 OBJETIVOS

### 1.2.1 Objetivo geral

Este trabalho tem por objetivo geral desenvolver um estudo dos requisitos necessários de segurança em uma célula robotizada de soldagem de acordo com a norma NR-12, e assim, disponibilizá-lo para a correta implementação ou adequação do equipamento no ambiente fabril.

### 1.2.2 Objetivos específicos

Os objetivos específicos para atender o objetivo geral são:

- Embasamento teórico sobre a norma de segurança NR-12 e assuntos relacionados ao projeto.

- Realizar levantamento dos riscos em potencial de uma célula robotizada de soldagem.
- Realizar uma análise dos riscos levantados sem os dispositivos de segurança a fim de identificar o nível de criticidade do equipamento.
- Desenvolvimento do estudo dos requisitos necessários de segurança em uma célula robotizada de soldagem de acordo com a NR-12 para implementação do equipamento.
- Propor dispositivos de segurança para atender os requisitos necessários da norma.
- Realizar uma nova análise de risco do equipamento simulando a implementação de dispositivos de segurança.

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Para desenvolvimento deste trabalho, buscou-se embasamento teórico em diversas fontes para um melhor entendimento dos assuntos que serão abordados. Com isso, serão abordados os seguintes tópicos: Segurança no trabalho, Normas Regulamentadoras, NR-12, Riscos ambientais, Processos de soldagem, Soldagem robotizada.

### 2.1 SEGURANÇA NO TRABALHO

Segundo Peixoto (2011), a segurança no trabalho é um grupo de medidas que serão adotadas pela empresa, visando sempre minimizar a todos os possíveis acidentes de trabalho e doenças ocupacionais, buscando também proteger a integridade e capacidade de trabalho das pessoas que estão envolvidas.

Quando falamos em segurança no trabalho, pensamos na forma como são desenvolvidas as atividades dos trabalhadores e assim a possibilidade de ocorrer algum acidente no local. Acidentes de trabalho ocorrem em todas as áreas, porém não significa que devemos aceitá-lo de forma normal, e sim trabalharmos para desenvolver maneiras de evitá-los.

A fim de se evitar acidentes de trabalho, a segurança no trabalho é definida por normas e leis em todo o mundo. Segundo Peixoto (2011) no Brasil a segurança no trabalho é estabelecida da seguinte forma.

No Brasil a Legislação de Segurança do Trabalho baseia-se na Constituição Federal, na Consolidação das Leis do Trabalho (CLT), nas Normas Regulamentadoras e em outras leis complementares como portarias, decretos e convenções internacionais da Organização Internacional do Trabalho (OIT) e Organização Mundial da Saúde (OMS).

### 2.2 NORMAS REGULAMENTADORAS

De acordo com a lei nº 6.514, de 22 de dezembro de 1977 a respeito da Consolidação das Leis do Trabalho - CLT os art. 154 ao 201 do capítulo V, estabelecem medidas relativas a segurança e medicina do trabalho. O art. 200 da CLT indica que cabe ao Ministério do Trabalho e Emprego (MTE) é o responsável por estabelecer as normas regulamentadoras que são de obrigação de todas as empresas que possuem empregados orientados por esta lei (INBEP, 2015).

As normas regulamentadoras são os elementos responsáveis por especificar os procedimentos a serem seguidos para o cumprimento das obrigações estabelecidas pelo Ministério do Trabalho e Emprego (MTE). A execução das mesmas é de obrigação de todas as empresas, tal descumprimento acarretará em notificação, autuação ou interdição ao local.

De forma a especificar tais requisitos a serem seguidas de forma organizada, as mesmas são divididas em 36 normas regulamentadoras, que abrangem diversas áreas de atuação. Porém, algumas não dispõem de toda especificação necessária, estando desatualizada e em inconformidade com os requisitos mínimos de saúde e segurança.

Segundo Govaski (2014, apud Dragone), as normas regulamentadoras não utilizam aspectos técnicos que seriam relevantes.

As Normas publicadas pelo Ministério do Trabalho e Emprego nem sempre abordam os aspectos técnicos. De certa forma, são um pouco genéricas, chegando, inclusive, a serem defasadas e/ou desatualizadas. Em muitos casos, elas se apoiam em outras mais técnicas, como as da ABNT ou até mesmo internacionais.

### 2.3 NR-12 SEGURANÇA NO TRABALHO EM MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS

Entre as trinta e seis normas regulamentadoras criadas pelo MTE está à décima segunda norma regulamentadora do trabalho que será especificada com maior ênfase neste trabalho, à NR-12, que diz respeito a Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos, e estabelece requisitos mínimos de segurança buscando a prevenção (GOVASKI, 2014).

Conforme Govaski (2014) cita sobre a utilização da NR-12.

Esta Norma estabelece os requisitos mínimos para a prevenção de acidentes e de doenças provenientes de máquinas e equipamentos na sua operação, manutenção ou em qualquer outra atividade em que haja interação humana com a máquina ou equipamento. A NR 12 é dividida em vários aspectos, e suas disposições referem-se a máquinas novas e usadas. Essa Norma mostra que toda e qualquer responsabilidade por sua aplicação é do empregador.

De acordo com Vecchio (2012), o homem não é apto a se proteger sem os dispositivos de segurança que estão estabelecidos nas normas regulamentadoras. Devido a isso, as máquinas e equipamentos devem estar integrados aos dispositivos de segurança.

A norma está dividida em diversos tópicos, onde estão detalhados os requisitos de segurança no trabalho em máquinas e equipamentos, a divisão segue

da seguinte forma: Arranjo físico e instalações; Instalações e dispositivos elétricos; Dispositivos de partida, acionamento e parada; Sistemas de segurança; Dispositivos de parada de emergência; Meios de acesso permanentes; Componentes pressurizados; Transportadores de materiais; Aspectos ergonômicos; Riscos adicionais; Manutenção, inspeção, preparação, ajustes e reparos; Sinalização; Manuais; Procedimentos de trabalho e segurança; Projeto, fabricação, importação, venda, locação, leilão, cessão a qualquer título, exposição e utilização; Capacitação; Outros requisitos específicos de segurança; Disposições finais.

## 2.4 RISCOS AMBIENTAIS

Aqueles que possam trazer ou causar danos à saúde ou à integridade física dos trabalhadores em seu local de trabalho são classificados como riscos ambientais. Eles podem ser classificados em função de sua natureza, concentração, intensidade e tempo de exposição (SOUZA, 2013).

Os riscos ambientais são divididos em riscos físicos, químicos, biológicos, ergonômicos e de acidentes. Suas definições e alguns exemplos dos riscos presentes no ambiente de trabalho estão apresentados a seguir:

- **Riscos Físicos:** Os riscos físicos são efeitos gerados por máquinas, equipamentos e condições físicas. São exemplos de riscos físicos: ruído, vibrações, calor, radiações ionizantes, radiações não ionizantes, umidade e frio (PUCMINAS, 2008).
- **Riscos Químicos:** Os riscos químicos são aqueles representados pelas substâncias químicas que se encontram nas formas líquida, sólida e gasosa. São exemplos de riscos químicos: poeiras minerais, poeiras vegetais, poeiras alcalinas, fumos metálicos e nevoas (PUCMINAS, 2008).
- **Riscos Biológicos:** Os riscos biológicos são aqueles causados por microorganismos como bactérias, fungos, vírus e outros. São exemplos de riscos biológicos: vírus, bactérias e protozoários, fungos e bacilos, parasitas (PUCMINAS, 2008).
- **Riscos Ergonômicos:** Os riscos ergonômicos são aqueles contrários às técnicas de ergonomia, que exigem que os ambientes de trabalho se adaptem ao homem, proporcionando bem estar físico e psicológico. São

exemplos de riscos ergonômicos: esforço físico, levantamento e transporte manual de pesos, ritmo excessivos de trabalho (PUCMINAS, 2008).

- **Riscos de Acidentes:** Os riscos mecânicos ou de acidentes ocorrem em função das condições físicas (do ambiente físico de trabalho). São exemplos de riscos de acidentes: arranjo físico, máquinas sem proteções, iluminação deficiente, ligações elétricas deficientes, armazenamento inadequado, ferramentas defeituosas, equipamentos de proteção individual inadequado, animais peçonhentos (PUCMINAS, 2008).

O estudo dos requisitos necessários de segurança em uma célula robotizada de soldagem de acordo com a NR-12 trata de riscos físicos, químicos, ergonômicos e de acidentes. Os riscos biológicos não estão presentes, devido a não possuir relação com o equipamento em estudo.

## 2.6 PROCESSOS DE SOLDAGEM

A definição de soldagem segundo Quites (2011) pode ser adotada da seguinte forma: “Soldagem é a operação que objetiva a união de duas ou mais peças assegurando a continuidade das propriedades químicas e físicas na junta”.

Segundo Marques, Modenesi, Bracarense (2009) um dos processos mais utilizados no ramo metalmeccânico, o processo de soldagem tem um dos papéis de maior importância da indústria, realizando a união de uma ou mais peças, dando forma a diversos conjuntos. O processo de união pode ser realizado de diversas formas, porém, todos tem o mesmo princípio. Eles podem ser divididos pelo método de fusão e pelo método de pressão (ou por Deformação). O mais utilizado atualmente é o método de soldagem por fusão, na qual, o processo de soldagem por arco elétrico é o que tem maior importância na atualidade (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009).

Os processos de soldagem podem ser classificados pelo seguinte método de aplicação: manual, semiautomático, mecanizado, automático, robotizado e controle adaptativo (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009). Dentre os métodos de aplicação apresentados, o processo robotizado é o que está cada vez mais sendo empregado na indústria, porém o processo de soldagem manual ainda é muito aplicado (FÜHR, 2012).

## 2.7 SOLDAGEM ROBOTIZADA

Com o passar dos anos o processo de soldagem evoluiu consideravelmente, disponibilizando ao operador uma melhor qualidade em desenvolver o seu trabalho, porém, ainda trata-se de um processo com certa restrição, pois é um trabalho árduo, que exige grandes esforços físicos dos operadores devido ao trabalho constante com a elevada temperatura e outros fatores.

Segundo Rodas, Alves, Araújo, Junior, Palmeira, Gonçalves (2014) cita em seu artigo a respeito do trabalho com solda.

O trabalho com solda exige muita habilidade manual do soldador e de acordo com o processo executado pode oferecer riscos ergonômicos, como o realizado em ambientes insalubres por longos períodos e exigir grande precisão dimensional ou qualidade de acabamento diferenciado e monitorado. Trabalhar com dimensões muito pequenas pode exigir grande repetibilidade.

Devido aos fatores citados, a utilização de robôs auxilia o processo de soldagem. Segundo Rosário (2005) pode ser citadas numerosas vantagens em sua utilização, como: aumento da produtividade, melhoria e consistência na qualidade final de um produto, minimização de operações, trabalho em ambientes difíceis e perigosos ou em tarefas desagradáveis e repetitivas para o ser humano, entre outras.

De acordo com Rosário (2005) um sistema robotizado industrial possui um alto custo inicial, esse é um dos fatores que impedem a adoção em grande quantidade. O tempo necessário para recuperar o investimento realizado depende de custos de aquisição, instalação e manutenção. Apesar do alto investimento realizado, é crescente a demanda pela necessidade em realizar tarefas com precisão e eficiência, garantia de alta produtividade, qualidade e a confiabilidade final do produto. Cada vez mais o processo robotizado vem sendo empregado por empresas que utilizam o processo de soldagem em seu produto, porém, algumas desvantagens podem ser citadas no processo robotizado, como: necessidade de operadores capacitados, alto investimento, além da necessidade de um correto planejamento dos itens soldados, entre outros (ROSÁRIO, 2005).

### 2.6.1 Células de soldagem robotizada

Os tipos de células robotizadas de solda existentes no mercado para aplicação no ambiente fabril possuem diversas variações em seu formato. Em geral, as células robotizadas possuem de 1 a 4 estações produtivas, ou seja, dispositivos de solda onde serão montadas as peças para serem soldadas. As dimensões da célula variam devido ao raio de atuação do robô, em alguns casos, faz-se a utilização de trilhos para sua movimentação.

A quantidade de estações produtivas varia de acordo com a forma de posicionador que será utilizado. Eles podem ser com mesa fixa, mesa giratória, posicionador horizontal ou posicionador orbital. A definição do tipo de posicionador varia de acordo com a complexidade e os requisitos de solda do item a ser soldado.

Além do posicionador, uma célula robotizada é composta por um ou mais robôs de solda, controle computacional do robô, fonte de energia, equipamentos e acessórios para soldagem (MARQUES, MODENESI, BRACARENSE, 2009). Esses componentes são capazes de realizar o processo, porém oferecem riscos consideráveis aos operadores, com isso, a necessidade de possuir dispositivos de proteção.

A figura 1 apresenta quatro modelos de célula robotizada de solda, com mesa fixa, mesa giratória, posicionador vertical e posicionador orbital, todas estão em conformidade com as normas regulamentadoras (POWERMIG, 2015).

Figura 1 – Modelos de célula robotizada de solda.



Fonte: POWERMIG (2015).

### 3. METODOLOGIA

#### 3.1 MÉTODOS E TÉCNICAS UTILIZADOS

O estudo realizado segue o método de pesquisa-ação na qual foram desenvolvidos alguns passos para a sua realização, da forma correta para obter os resultados desejados. As atividades foram divididas da seguinte forma:

- Primeiramente, realizou-se uma pesquisa bibliográfica da Norma NR-12, com o objetivo de identificar os pontos aplicáveis neste trabalho. Da mesma forma, realizou-se o mesmo procedimento com as demais normas indicadas por ela. O conhecimento da norma é de fundamental importância para identificar os pontos relevantes a este equipamento e assim a realização de um estudo dos requisitos necessários para segurança em uma célula robotizada de soldagem.
- Após a interpretação da norma pode-se iniciar o levantamento dos riscos em potencial da célula robotizada de soldagem sem os equipamentos de segurança. Utilizou-se um software para visualização do equipamento em formato 3D e assim realizar o levantamento dos riscos.
- Em seguida, buscou-se uma metodologia para realizar uma análise dos riscos levantados sem os dispositivos de segurança, a fim de identificar o nível de criticidade do equipamento e se escolheu o método HRN, pela sua eficácia e pela facilidade de entendimento.
- Posterior a isso, realizou-se o desenvolvimento do estudo para implementação do equipamento. Para isso, utilizaram-se os pontos citados na norma que são aplicáveis a célula robotizada de soldagem, os pontos identificados na análise de risco e também conhecimentos práticos existentes no ambiente fabril da empresa.
- Após o levantamento dos dados identificados, realizou-se uma pesquisa de mercado a fim de conhecer os dispositivos de segurança existentes e aplicáveis ao equipamento.
- E por último, realizou-se uma nova análise de risco do equipamento com as sugestões de implementação de dispositivos de segurança, a fim de que se atendam os requisitos necessários para garantir a saúde e segurança de

todos. Utilizou-se um software para visualização do equipamento em formato 3D e assim realizar a análise de risco.

Caso os requisitos não sejam alcançados, as etapas necessitam ser refeitas para se alcançar aos resultados desejados. A realização de todas as etapas é de fundamental importância para o desenvolvimento do estudo, através delas será possível atingir os objetivos esperados para o atendimento da célula as normas de segurança.

### 3.2 MÉTODO DE AVALIAÇÃO DE RISCOS

Como método qualitativo escolhido para realização da avaliação de risco, optou-se em utilizar o método HRN (Hazard Rating Number), um método que inicialmente avalia o equipamento sem os dispositivos de segurança e após realiza uma nova avaliação com as propostas de implementação dos dispositivos de segurança. A escolha por esse método é principalmente pela sua eficácia e por tratar-se de um método de fácil entendimento e aplicação (GOVASKI, 2014).

Como citado os riscos levantados no equipamento serão associados ao método de avaliação Hazard Risk Analysis (HRN), ou seja, Número de Avaliação de Perigos que foi desenvolvido por Chris Steel. Os parâmetros que são utilizados para avaliação deste método são a probabilidade de exposição (PE), frequência de exposição (FE), grau de possíveis danos (GPD) e o número de pessoas expostas (NP). Para os itens que foram citados é estabelecido um número de classificação que representa a variável de cálculo. O valor de HRN será encontrado através de uma multiplicação das variáveis atribuídas nos parâmetros citados. Esse risco encontrado por HRN receberá uma classificação como aceitável até inaceitável (GOVASKI, 2014).

- Probabilidade de exposição: é classificada e pontuada conforme os dados apresentados no quadro 1.

Quadro 1 – Probabilidade de Exposição (PE).

Probabilidade de Exposição (PE)	
Quase impossível	0,033
Altamente improvável	1
Improvável	1,5
Possível	2
Alguma chance	5
Provável	8
Muito provável	10
Certo	15

Fonte: Govaski apud Steel (2014, p.25).

- Frequência de exposição: é classificada e pontuada conforme os dados apresentados no quadro 2.

Quadro 2 – Frequência de Exposição (FE).

Frequência de Exposição (FE)	
Anualmente	0,5
Mensalmente	1
Semanalmente	1,5
Diariamente	2,5
Em termos de hora	4
Constantemente	5

Fonte: Govaski apud Steel (2014, p.26).

- Grau de possíveis danos: é classificado e pontuado conforme os dados apresentados no quadro 3.

Quadro 3 – Grau de possíveis danos (GPD).

Grau de possíveis danos (GPD)	
Arranhão / Contusão leve	0,1
Dilaceração / Doenças moderadas	0,5
Fratura / Enfermidade leve	2
Fratura / Enfermidade grave	4
Perda de um membro / olho	6
Perda de dois membros / olhos	10
Fatalidade	15

Fonte: Govaski apud Steel (2014, p.26).

- Número de pessoas expostas: é classificado e pontuado conforme os dados apresentados quadro 4.

Quadro 4 – Número de pessoas expostas (NP).

Número de pessoas expostas (NP)	
1-2 pessoas	1
3-7 pessoas	2
8-15 pessoas	4
16-50 pessoas	8
Mais que 50 pessoas	12

Fonte: Govaski apud Steel (2014, p.26).

- Valor do HRN: é resultado da multiplicação dos dados anteriores, sendo classificadas conforme o quadro 5.

$$\text{HRN} = (\text{FE} \times \text{GPD} \times \text{NP} \times \text{PE})$$

Quadro 5 – Valor do HRN.

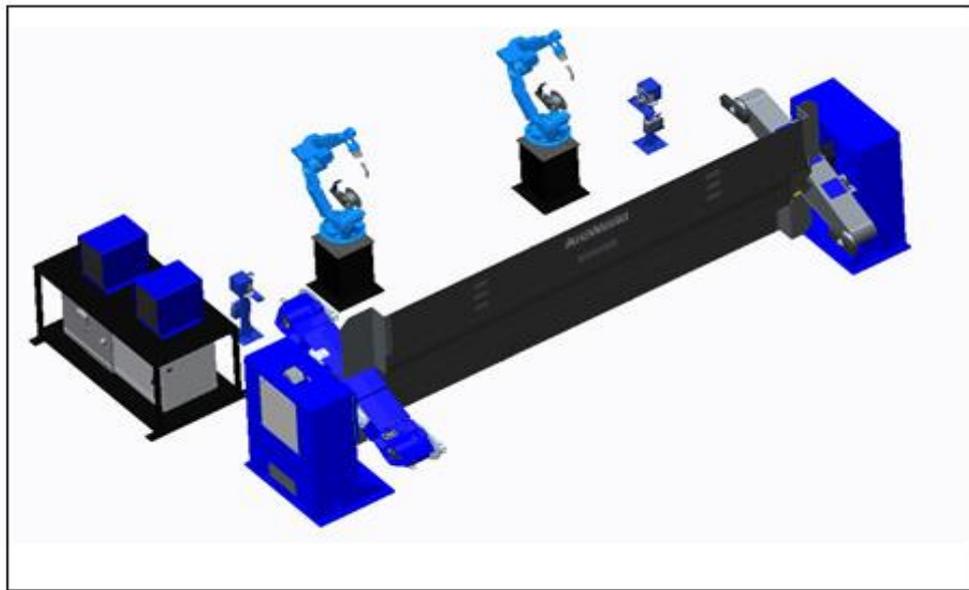
Valor do HRN	Classificação
0-1	Aceitável
1-5	Muito Baixo
5 -10	Baixo
10-50	Significante
50-100	Alto
100-500	Muito Alto
500-1000	Extremo
> 1000	Inaceitável

Fonte: Govaski apud Steel (2014, p.27).

### 3.3 AVALIAÇÕES DOS RISCOS DA CÉLULA

Após a definição do método de análise de risco, partiu-se para o mapeamento dos riscos de uma célula sem equipamentos de segurança. A célula robotizada de soldagem em estudo é apresentada na imagem abaixo através do software CREO. A mesma é composta por dois robôs de soldagem com seus sistemas de limpeza, um dispositivo de posicionamento das peças a serem soldadas ao centro, dois aparelhos de soldagem, dois sistema de programação dos robôs.

Figura 2 – Célula robotizada de soldagem sem equipamentos de segurança.



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

#### **Riscos Identificados:**

- Risco de colisão com as partes móveis da máquina durante a operação ou manutenção.
- Impossibilidade de parada súbita em situação de emergência.
- Possibilidade de choques elétricos nas partes energizadas da máquina.
- Exposição à radiação ultravioleta.
- Inalação de fumos metálicos provenientes do processo de soldagem.
- Exposição ao calor.

### **3.4 ANÁLISES DE RISCOS**

Nessa etapa realizou-se a análise dos riscos de uma célula sem os equipamentos de segurança. Após a identificação dos riscos na célula, estes foram avaliados e pontuados pelo método HRN, assim será classificada e definida a categoria de segurança.

## Resultado do HRN

Quadro 6 – Risco de colisão com as partes móveis da máquina.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Certo	15
Frequência de Exposição (FE)	Constantemente	5
Grau de possíveis danos (GPD)	Fatalidade	15
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		1125
<b>Risco, Inaceitável</b>		

Fonte: Adaptado da metodologia HRN.

Quadro 7 – Impossibilidade de parada súbita em situação de emergência.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Provável	8
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Fratura / Enfermidade grave	4
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		80
<b>Risco, Alto</b>		

Fonte: Adaptado da metodologia HRN.

Quadro 8 – Possibilidade de choques elétricos nas partes energizadas da máquina.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Muito provável	10
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Fatalidade	15
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		375
<b>Risco, Muito Alto</b>		

Fonte: Adaptado da metodologia HRN.

Quadro 9 – Exposição dos olhos à radiação ultravioleta.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Certo	15
Frequência de Exposição (FE)	Constantemente	5
Grau de possíveis danos (GPD)	Fratura / Enfermidade grave	4
Número de pessoas expostas (NP)	Mais que 50 pessoas	12
Valor do HRN Classificação		3600
<b>Risco, Inaceitável</b>		

Fonte: Adaptado da metodologia HRN.

Quadro 10 – Inalação de fumos metálicos.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Certo	15
Frequência de Exposição (FE)	Constantemente	5
Grau de possíveis danos (GPD)	Fratura / Enfermidade grave	4
Número de pessoas expostas (NP)	Mais que 50 pessoas	12
Valor do HRN Classificação		3600
Risco, Inaceitável		

**Fonte:** Adaptado da metodologia HRN.

Quadro 11 – Exposição ao calor.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Certo	15
Frequência de Exposição (FE)	Constantemente	5
Grau de possíveis danos (GPD)	Fratura / Enfermidade grave	4
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		300
Risco, Muito Alto		

**Fonte:** Adaptado da metodologia HRN.

Após realizar as análises dos riscos identificados, o valor de classificação da metodologia HRN resulta de muito alto à inaceitável. O resultado mostra a necessidade em reduzir a classificação, para que atenda níveis desejados.

### 3.5 REQUISITOS DA NORMA

Nessa etapa realizou-se o desenvolvimento do estudo dos requisitos necessários de segurança em uma célula robotizada de soldagem de acordo com a NR-12, com objetivo de redução do valor encontrado na análise de risco realizada anteriormente, na qual a máquina está totalmente insegura. Para isso utilizou-se os pontos citados na norma que são aplicáveis a célula robotizada de soldagem, os pontos identificados na análise de risco e também conhecimentos práticos existentes no ambiente fabril.

O tópico arranjo físico e instalações está relacionado à célula robotizada de solda, devido a isso devem ser analisados seus itens a fim de atender todos os requisitos especificados, destaca-se o item 12.8 na qual indica os requisitos ao redor das máquinas e equipamentos, os quais devem ser adequados ao tipo de operação, de forma a prevenir acidentes.

O segundo a ser destacado é o tópico instalações e dispositivos elétricos, na qual devem ser analisados seus requisitos, que envolveram os condutores elétricos da máquina ou equipamento e o quadro de energia. No tópico destaca-se o item 12.17 e 12.18 que especifica os requisitos dos condutores e dos quadros de energia, respectivamente.

Os dispositivos de partida, acionamento e parada da máquina são itens de grande relevância, pois terão contato direto com o operador. Os requisitos estão especificados em um tópico único, dos itens 12.24 ao 12.37, onde se destaca o sistema de acionamento bimanual.

As zonas de perigo da máquina ou equipamento devem possuir sistemas de segurança. Tais sistemas estarão relacionados aos comandos elétricos ou interfaces de segurança, dispositivos de intertravamento, sensores de segurança e terão papel de extrema importância na célula. Estes estão especificados do item 12.38 ao 12.55.1.

O processo de soldagem emite forte radiação ultravioleta, esse risco tem potencial a causar danos à saúde dos operadores. No item 12.106c a norma faz referência a este risco, citando-o como risco adicional e que devem ser controlados.

A liberação de fumos metálicos durante o processo de soldagem pode ocasionar a inalação pelos operadores, causando danos graves. Da mesma forma do item anterior, a norma cita no item 12.106a que substâncias gasosas que apresentam riscos a saúde e integridade física dos trabalhadores por meio de inalação e que devem ser controlados.

A sinalização é uma ferramenta de grande importância para evitar possíveis acidentes, se forem utilizadas de forma correta de acordo com a norma de segurança, as sinalizações serão aliados importantes para garantir a saúde e integridade dos trabalhadores. A Norma faz referência no tópico sinalização, nos itens 12.116 até o item 12.124.

Os aspectos ergonômicos relacionados aos operadores e que estejam ligados a dispositivos de proteção do equipamento estão citados do item 12.94 ao 12.105, e devem ser seguidos, visando eliminar riscos ergonômicos.

O anexo I da norma também deverá ser seguido, pois com o objetivo de eliminar as zonas de risco, serão utilizados detectores de presença opto eletrônicos. Para sua utilização deve-se realizar o cálculo da mínima distância de segurança, especificado no anexo.

## **4. APRESENTAÇÃO E ANÁLISE DOS RESULTADOS**

Após a identificação dos riscos presentes no equipamento e da interpretação dos requisitos da norma NR-12 aplicáveis, serão especificados os dispositivos de segurança existentes no mercado, a fim de que se atendam os requisitos necessários para garantir a saúde e a segurança de todos.

Os dispositivos estarão associados ao enclausuramento do equipamento, comando bimanual, acesso ao interior da célula, parada de emergência, quadro de energia, CLP de segurança, chave de bloqueio do quadro de energia, proteção dos cabos elétricos, sinalização de segurança, proteção contra radiação ultravioleta e coifa de exaustão de fumos metálicos.

### **4.1 ENCLAUSURAMENTO DO EQUIPAMENTO**

Os itens 12.38 e 12.41 da norma tratam das proteções fixas ou móveis a fim de garantir a saúde e segurança do operador. Devido aos riscos de colisão com as partes móveis durante a operação ou manutenção o equipamento precisa estar isolado para que as pessoas não se aproximem. Propõe-se que este isolamento seja feito através do enclausuramento com chapas metálicas em torno da mesma, permitindo acesso somente na parte frontal, onde será a unidade produtiva e de acordo com o item 12.44, lateralmente através de uma proteção móvel, pois existe a necessidade de acesso na parte inferior da célula.

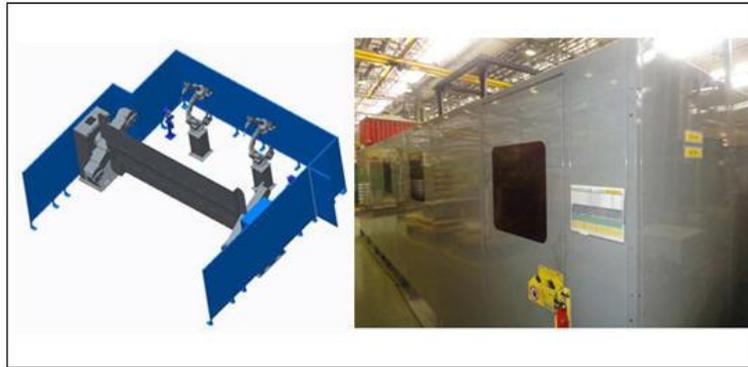
De acordo com o item 12.45 para as proteções móveis, quando for requerido o acesso mais de uma vez ao turno, requer que possua sistema de intertravamento, para eliminar o risco antes do acesso as zonas de perigo. O equipamento não deve operar enquanto as proteções móveis estiverem abertas.

As chapas devem ser resistentes e fixadas no chão, não devem criar pontos de esmagamento, não deve possuir extremidades cortantes e resistir às condições do local.

A sua altura deve seguir o quadro 2 do Anexo I da norma NR-12 que determina a distância de segurança para impedir acesso às zonas de perigo. A altura da estrutura irá possuir duas variáveis, altura da zona de perigo e distância horizontal da zona de perigo, através desses dois dados será conhecida a altura das chapas metálicas que irá variar para cada projeto.

A figura 3 ilustra uma proposta de enclausuramento dos robôs de solda e do dispositivo de solda através de chapas metálicas que atendem os requisitos especificados anteriormente.

Figura 3 – Proposta de enclausuramento da célula robotizada.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2015).

Realizando a aplicação das chapas metálicas, protegendo o entorno da célula, como citado anteriormente, pode-se fazer a análise de risco conforme o quadro 12.

Quadro 12 – Análise de risco enclausuramento.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Improvável	1,5
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Arranhão / Contusão leve	0,1
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		0,375
Risco, Aceitável		

**Fonte:** Adaptado da metodologia HRN.

## 4.2 SISTEMA DE ACIONAMENTO BIMANUAL

O acionamento da célula robotizada é realizado através de comando bimanual, este dispositivo está especificado dos itens 12.26 a 12.30.1 na NR-12. Com a sua utilização, o objetivo é manter as mãos do operador fora das zonas de perigo, para isso os botões do bimanual deve possuir atuação síncrona, estar sob monitoramento, ter relação entre os sinais de saída e entrada, e quando houver desacionamento, deve terminar o sinal de saída. Devem possuir sistemas que

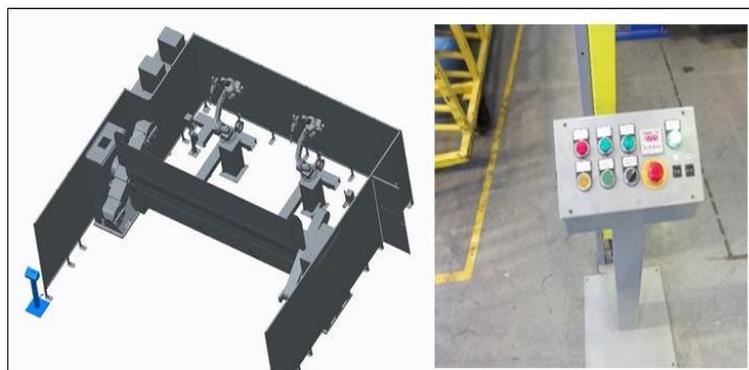
impeçam de burlar seu efeito de proteção, através de distanciamento dos botões ou barreiras.

O item 12.28 determina que seu posicionamento deva ser a uma distância segura da zona de perigo, em uma célula robotizada, que pode ser colocado na frente da unidade de produção, próximo das chapas do enclausuramento. De acordo com o item 12.29 a altura do pedestal deve ser adequada ao trabalhador e ser mantida estável em sua posição. Quando possuir mais de um operador, como indicado no item 12.30, o número de bimanuais deve corresponder ao número de operadores, mantendo todos fora da zona de perigo. Porém, a presença de dois operadores na célula produtiva não é requisito, com isso, pode-se instalar um seletor de um ou dois bimanuais, onde o seletor deve impedir o funcionamento dos bimanuais desacionados.

Em relação aos aspectos ergonômicos, alguns já citados pela norma anteriormente, os itens 12.94, 12.95 e 12.101 indicam que o pedestal e o comando bimanual devem atender as variações antropométricas, respeitar a postura e movimentos adequados, os comandos devem possuir forma clara, de fácil interpretação e que indiquem suas direções e funções. O conjunto deve estar localizado em um local de fácil acesso, visível, identificado e sinalizado.

A figura 4 apresenta uma proposta de comandos bimanuais para uma célula produtiva, o comando bimanual está destacado na cor azul, localizado na parte frontal da célula, atendendo os requisitos especificados anteriormente.

Figura 4 – Proposta de comandos bimanuais da célula robotizada.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2015).

Realizando a aplicação dos comandos bimanuais conforme especificado anteriormente, podem-se estimar os riscos conforme o Quadro 13.

Quadro 13 – Análise de risco comandos bimanuais.

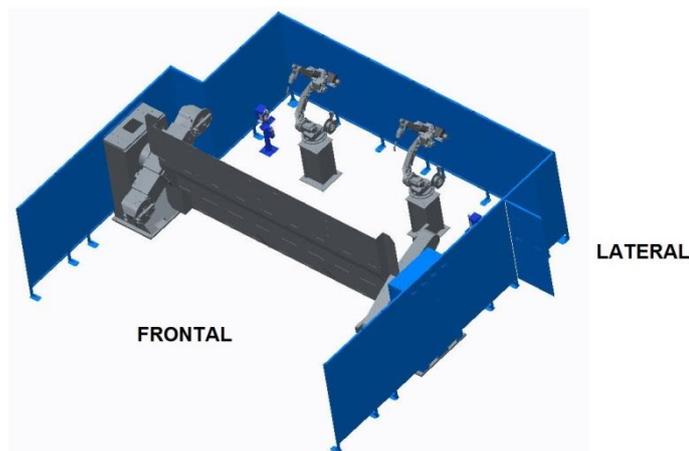
Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Improvável	1,5
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Arranhão / Contusão leve	0,1
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		0,375
Risco, Aceitável		

**Fonte:** Adaptado da metodologia HRN.

### 4.3 ACESSOS AO INTERIOR DA CÉLULA

Visando evitar que as pessoas entrem na célula robotizada durante o funcionamento, em situações que ofereçam perigo a saúde e segurança de todos os funcionários, a norma específica que a célula robotizada necessita de dispositivos que impeçam o acesso ao interior da célula, ou bloqueiem seu funcionamento em situações de perigo. Existem duas formas de adentrar na célula, frontalmente pela unidade produtiva e lateralmente através de uma porta.

Figura 5 – Formas de acesso na célula.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2015).

#### 4.3.1 Acesso frontal

O acesso ao interior da célula frontalmente durante seu funcionamento oferece risco de colisão do corpo com o robô de solda e com o posicionador do dispositivo de solda em funcionamento. Com a possibilidade de adentrar na célula frontalmente, a mesma necessita de mecanismos que bloqueiem o seu

funcionamento, caso já esteja operando. Esse bloqueio pode ser realizado por cortinas de luz, tapetes de segurança ou scanner de área.

#### 4.3.1.1 Cortinas de luz

Segundo CHIA (2014, apud WEG) as cortinas de luz são equipamentos opto-eletrônicos com unidades transmissoras e receptoras, formando uma cortina de luz infravermelha, capazes de supervisionar a área compreendida pela distância entre essas unidades. Se a área entre as unidades for invadida, as saídas de sinal irão informar ao controlador a presença de uma pessoa ou objeto.

Esse sistema de proteção ao operador é ideal para esse tipo de aplicação, na qual, necessita-se acesso frequente a unidade produtiva, para realizar seu abastecimento ou descarregamento dos itens produzidos, de forma fácil a um ponto de perigo de operação.

Para utilizar de equipamentos opto-eletrônicos deve-se seguir os requisitos especificados no tópico B do Anexo I da NR-12, na qual especifica às distâncias mínimas de segurança. Para determinar a distância que uma cortina deve estar posicionada, o cálculo segue a seguinte fórmula:

$$S = (K * T) + C$$

Onde:

S = Distância da cortina em relação ao ponto de detecção até a zona de perigo (em milímetros).

K = Parâmetro derivado da velocidade de aproximação do corpo, (em milímetros/segundos).

T = Tempo de resposta do sistema (em segundos).

C = Distância adicional em milímetros, com base na resolução da cortina de luz (em milímetros).

Para a operação na célula robotizada de solda a posição da cortina de luz não tem grande influência, ou seja, não há necessidade da mesma estar muito próxima do dispositivo de solda. A cortina de luz deve estar posicionada de forma vertical e horizontal, fixada na chapa metálica do enclausuramento. Todas as cortinas de luz estarão interligadas ao sistema CLP.

As áreas de atuação das cortinas de luz devem evitar que a máquina possua pontos de zona morta, ou seja, impeça que o operador permaneça em zona de perigo sem que seja identificado.

O parâmetro K, que determina a velocidade de aproximação do corpo, deve ser 1600 mm/s quando as cortinas de luz estiverem em posição horizontal na máquina. Para cortinas na posição vertical, deve-se utilizar velocidade de aproximação de 2000 mm/s. Caso o resultado encontrado para cortina de posição vertical for maior que 500 mm, pode-se refazer o cálculo utilizando uma velocidade de aproximação K de 1600 mm/s.

O tempo de parada T do robô, que determina o tempo que o robô levar para parar após invasão da área protegida, é fornecido pelo fornecedor. A variação de fabricante não apresentará significativas variações de tempo de parada. Como o robô possui três eixos, conseqüentemente teremos três tempos, utilizaremos o tempo de maior valor como referência para o cálculo, o tempo utilizado será de 0,387 segundos (KUKA, 2013, p. 29).

Para determinar a distância adicional C, utilizaremos como base a resolução da cortina de luz. A resolução da cortina de luz proposta é de 30 mm (mãos), essa distância corresponde ao espaçamento entre os feixes de luz da cortina. Para determinar a resolução da cortina, devem-se levar em conta as partes do corpo que poderão ter acesso ao perigo. A distância adicional que será utilizada para o cálculo da distância da cortina de luz será 130 mm, de acordo com o item 1.3, tópico B, Anexo I. Abaixo a resolução da distância mínima em que a cortina de luz no sentido vertical deve ser posicionada.

$$S = (K * T) + C$$

$$S = (2000 \text{ mm/s} * 0,387\text{s}) + 130 \text{ mm}$$

$$S = 904 \text{ mm}$$

De acordo com o item 1.1, tópico B, Anexo I, se a distância mínima for maior que 500 mm, pode-se refazer o cálculo com um parâmetro K de 1600 mm/s. Abaixo a resolução.

$$S = (K * T) + C$$

$$S = (1600 \text{ mm/s} * 0,387\text{s}) + 130 \text{ mm}$$

$$S = 749,2 \text{ mm}$$

De acordo com o item 1.2, Anexo I, as cortinas de luz devem evitar que existam espaços de zona morta (zona de perigo). A aplicação das cortinas de luz de

sentido horizontal em uma célula robotizada de solda exerce a função de evitar que uma pessoa permaneça entre a zona de cortina de luz vertical e a máquina, gerando risco ao operador. Devido a isso, não existe a necessidade de calcular a distância mínima de posicionamento da cortina, e podemos utilizar a distância de cortina vertical.

Deve-se evitar que as cortinas de segurança possuam cantos vivos, superfícies cortantes, ou quinas conforme o item 12.99. Devido às cortinas serem fabricadas em metal, caso seja necessário, deve-se aplicar proteções emborrachadas nos pontos de risco. A figura 6 apresenta uma proposta de cortinas de luz no sentido vertical e horizontal, interligadas a um CLP.

Figura 6 – Proposta de cortinas de luz horizontal e vertical da célula robotizada.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2015).

Realizando a aplicação das cortinas de luz conforme especificado anteriormente, pode-se estimar os riscos conforme o quadro 14.

Quadro 14 – Análise de risco cortinas de luz.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Improvável	1,5
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Arranhão / Contusão leve	0,1
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		0,375
Risco, Aceitável		

**Fonte:** Adaptado da metodologia HRN.

#### 4.3.1.2 Tapetes de segurança

Da mesma forma de aplicação das cortinas de luz, que tem a função de proteger o local onde existe perigo as pessoas, os tapetes de segurança são dispositivos capazes de impedir acesso à estação produtiva da célula de soldagem.

De acordo com SCHMERSAL (2013, p. 2), a respeito do princípio de funcionamento dos tapetes de segurança.

O tapete de segurança consiste de duas placas de aço de correntes distintas. As placas são mantidas separadas por tiras isolantes. Após a atuação por pressão do tapete de segurança, e produzido um curto-circuito entre as placas de aço. O modulo de segurança conectado avalia este sinal e para o movimento perigoso.

Para realizar o cálculo da distância mínima de segurança, medida a partir da área de risco. Esta distância depende, sobretudo do tempo de resposta da máquina e da velocidade de aproximação dos operadores. Para realizar o cálculo segue-se a seguinte fórmula (SCHMERSAL, 2013).

$$S = K * (T1 + T2) + (1200 - 0,4H)$$

Onde:

S = Distância do ponto de detecção até a zona de perigo (em milímetros).

K = Parâmetro derivado da velocidade de aproximação do corpo, (em milímetros/segundos).

T1 = Tempo de resposta do tapete (em segundos).

T2 = Tempo de resposta da máquina (em segundos).

H = Distância entre o chão e o dispositivo de segurança (em milímetros).

O parâmetro K é a constante em milímetros por segundo, e trata-se da velocidade de aproximação do corpo ou o membro do corpo. Para uma aproximação de sentido horizontal, utiliza-se uma velocidade de aproximação de 1600 mm/s.

O parâmetro T1 e T2 são os tempos de resposta do tapete de segurança, e o tempo de resposta da máquina, respectivamente. Segundo Schmersal (2013) o tempo de resposta do tapete de segurança (T1) é de 25ms, que será convertido para segundos, obtendo um valor de 0,03 s. O tempo de resposta da máquina (T2) será o mesmo utilizado nos cálculos de cortina de luz anteriores. O parâmetro H é a distância entre o chão e o dispositivo de segurança, a distância na situação proposta é zero.

$$S = K * (T1 + T2) + (1200 - 0,4H)$$

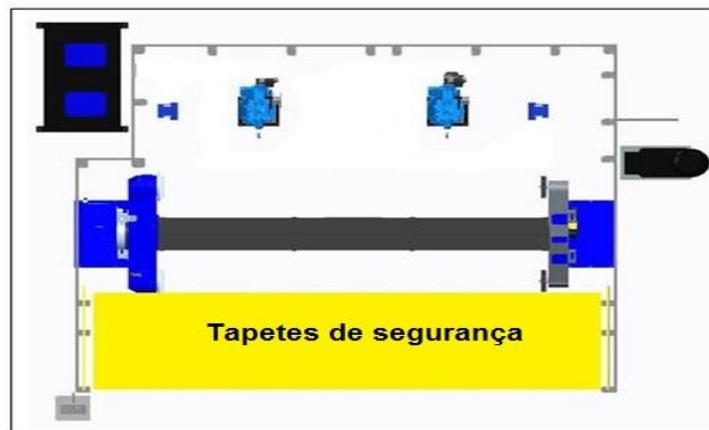
$$S = 1600 \text{ mm/s} * (0,03 \text{ s} + 0,387 \text{ s}) + (1200 \text{ mm} - 0,4 * 0 \text{ mm})$$

$$S = 1867,2 \text{ mm}$$

De acordo com os cálculos a distância mínima de segurança para os tapetes de segurança é de 1867,2 mm, devido a isso, a necessidade de uma área significativa para a célula robotizada.

Em relação aos aspectos ergonômicos, de acordo com o item 12.94b deve se respeitar os movimentos do operador, ou seja, evitar que o tapete crie desníveis no piso, gerando risco em caso de tropeçar. A figura 7 apresenta uma proposta de tapetes de segurança que atende os requisitos especificados anteriormente.

Figura 7 – Proposta de tapetes de segurança da célula robotizada.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2015).

Realizando a aplicação dos tapetes de segurança, conforme especificado anteriormente, pode-se estimar os riscos conforme o quadro 15.

Quadro 15 – Análise de risco tapetes de segurança.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Improvável	1,5
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Arranhão / Contusão leve	0,1
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		0,375
Risco, Aceitável		

**Fonte:** Adaptado da metodologia HRN.

#### 4.3.1.3 Scanner de área

Outro dispositivo com aplicação para os locais onde ofereçam riscos ao operador e que podem ser aplicados, são os scanners de área. De acordo com

CHIA (2014) o scanner de área é um dispositivo que detecta objetos dentro de seu campo de atuação, podem atingir até 190 graus, variando de acordo com o modelo escolhido. Quando o scanner detecta um objeto, ele envia um sinal de parada para a máquina protegida. Esse dispositivo deve ser posicionado em local que favoreça ao desempenho das operações por parte do operador, fazendo com que ele possua confiança em realizar suas atividades, de acordo com o item 12.94f.

De acordo com ROCKWELL (2012, p. 27) para determinar a distância mínima de instalação do scanner de área em sentido vertical utiliza-se a seguinte fórmula.

$$S = (K * (T1 + T2)) + C$$

Onde:

S = Distância do ponto de detecção até a zona de perigo (em milímetros).

K = Velocidade de aproximação (1600 mm/s) (ROCKWELL, 2012).

T1 = Tempo de parada da máquina ou sistema (em segundos).

T2 = Tempo de resposta do scanner (em segundos).

C = Suplemento contra alcance por cima (em milímetros).

De acordo com ROCKWELL (2012, p. 16) o tempo de resposta do scanner (T2) é de 80ms (milissegundos) que será convertido para segundos obtendo um resultado de 0,08s. O tempo de resposta da máquina (T1) será o mesmo utilizado nos cálculos anteriores (0,387). Para obter o valor referente ao suplemento C, contra o alcance por cima de zonas de risco, ROCKWELL (2012, p. 27) indica que deve ser seguida a seguinte fórmula.

$$C = 1200 \text{ mm} - (0,4 * Hd)$$

Onde Hd é a altura na qual o laser de luz do dispositivo está montado, em milímetros (mm). Para realizar os cálculos utilizaremos como Hd o valor de 100mm.

$$C = 1200 \text{ mm} - (0,4 * 100 \text{ mm})$$

$$C = 1160 \text{ mm}$$

Conhecendo os valores, podemos realizar o cálculo de distância mínima de instalação do dispositivo.

$$S = (K * (T1 + T2)) + C$$

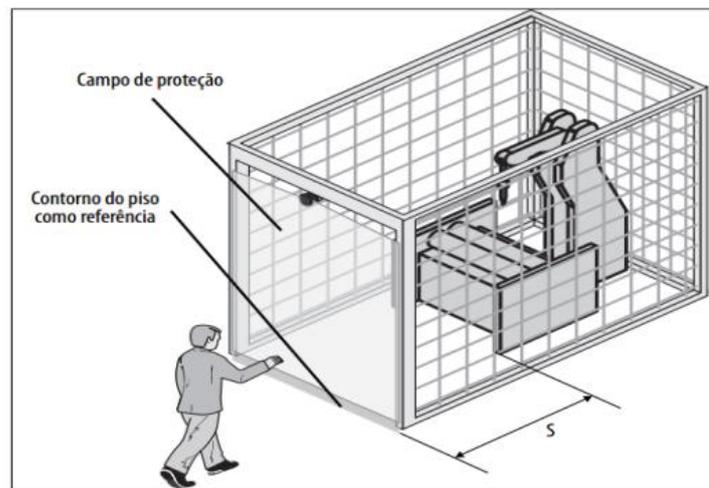
$$S = (1600 \text{ mm/s} * (0,387 \text{ s} + 0,03 \text{ s})) + 1160 \text{ mm}$$

$$S = 1827,2 \text{ mm}$$

De acordo com os cálculos a distância mínima de segurança para a aplicação do scanner de área é de 1827,2 mm, devido a isso, a necessidade de uma área significativa para a célula robotizada.

A aplicação do scanner de área em sentido horizontal em uma célula robotizada de solda exerce a função de evitar que uma pessoa permaneça entre a zona de cortina de luz vertical e a máquina, gerando risco ao operador. Devido a isso, não existe a necessidade de calcular a sua distância mínima de posicionamento, e podemos utilizar a distância de cortina vertical. A figura 8 apresenta uma proposta de aplicação do scanner de área que atende os requisitos especificados anteriormente.

Figura 8 – Proposta de scanner de área da célula robotizada.



Fonte: ROCKWELL (2012).

Realizando a aplicação do scanner de área conforme especificado anteriormente, podem-se estimar os riscos conforme o quadro 16.

Quadro 16 – Análise de risco scanner de área.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Improvável	1,5
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Arranhão / Contusão leve	0,1
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		0,375
Risco, Aceitável		

Fonte: Adaptado da metodologia HRN.

### 4.3.2 Acesso lateral

O acesso ao interior da célula lateralmente é realizado através de uma porta. Esse acesso é utilizado para realizar a manutenção ao robô e para repor a sua matéria prima, o arame de solda. Da mesma forma do acesso frontal, é necessário dispositivo de segurança que impeçam as pessoas de adentrar ou permanecer na célula, durante seu funcionamento.

Além dos dispositivos de segurança presentes na porta de acesso lateral, é necessária a presença de dispositivos de segurança para impedir as pessoas de permanecer dentro da célula, durante seu funcionamento.

#### 4.3.2.1 Intertravamento

Os itens 12.41b, 12.42b da NR-12 determinam que as proteções móveis, que podem ser abertas, devem ser associadas a dispositivos de intertravamento, para garantir a proteção do operador quando realizado o acesso lateral através de uma porta. De acordo com o item 12.44a, a proteção deve ser móvel quando for requerido acesso ao interior da célula. O item 12.45 indica que a porta deve estar fechada para liberar o funcionamento da célula, porém somente o fechamento não pode liberar o funcionamento das funções perigosas, e quando for aberta deve paralisar sua operação ou processo de risco ao operador.

Segundo ROCKWELL (2015) a respeito do funcionamento de dispositivos de intertravamento com lingueta.

Chaves de intertravamento com lingueta exigem uma lingueta a ser inserida e retirada do interruptor. Quando a lingueta for inserida, os contatos de segurança interna fecham e permite o funcionamento da máquina. Quando a lingueta é removida, os contatos de segurança interno abrem e enviam um comando de parada para as peças relacionadas com a segurança do sistema de controle. Intertravamentos operados por lingueta são versáteis porque podem ser usados em proteções corrediças, articuladas ou removíveis.

O posicionamento e funcionamento desse dispositivo devem atender os itens 12.94b e 12.94g, respectivamente, de modo a aplicar o sistema em local que respeite as exigências posturais, movimentos e esforços do operador. A figura 9 apresenta uma proposta de segurança para a porta lateral que atende os requisitos

especificados anteriormente, a proposta consiste em uma chave de intertravamento com lingueta.

Figura 9 – Proposta de intertravamento da porta lateral da célula robotizada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Realizando a aplicação dos dispositivos de intertravamento com lingueta conforme especificado anteriormente, se estima os riscos conforme o quadro 17.

Quadro 17 – Análise de risco intertravamento da porta lateral.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Improvável	1,5
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Arranhão / Contusão leve	0,1
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		0,375
Risco, Aceitável		

Fonte: Adaptado da metodologia HRN.

#### 4.3.2.2 Tapetes de segurança no interior da célula

O tópico sistemas de segurança determina em seu item 12.38, que as zonas de perigo das máquinas ou equipamentos devem possuir sistemas de segurança. A proteção do interior da célula com dispositivos de segurança tem como objetivo evitar a permanência de pessoas dentro da célula e o fechamento ocasional da porta de acesso por outra pessoa, e posterior acionamento.

Seguindo o princípio de apenas detectar a presença de pessoas dentro da célula, não há necessidade de cálculo de distância mínima de segurança, faz-se necessário à aplicação de tapetes em todo interior da célula. Da mesma maneira dos tapetes da parte frontal, deve-se evitar que existam desníveis no local.

#### 4.4 PARADAS DE EMERGÊNCIA

Em seu tópico dispositivo de paradas de emergência a norma NR-12 cita no item 12.56 ao 12.63.1 os requisitos a serem seguidos, dentre eles, que o equipamento deve ser equipado com um ou mais dispositivos de parada de emergência, este não deve ser utilizado como partida ou parada da máquina ou equipamento, porém deve garantir o bloqueio de energia em caso de acionamento, e devem ser monitorados por interface de segurança.

De acordo com SCHNEIDER (2014) os botões de emergência possuem a cor vermelha e geralmente em forma de cogumelo, sua instalação deve estar em local visível na máquina ou próximo dela, sempre ao alcance das pessoas quando houver a necessidade em acioná-lo. Tem a finalidade de estancar o movimento da máquina, desabilitando seu comando. Os botões de emergência devem ser monitorados por CLP de segurança.

Em caso de necessidade em parada de emergência, o sistema deve possuir botões que possam exercer essa função, e devem estar em locais de fácil visualização, e em destaque. Recomenda-se a utilização de um botão de emergência no bimanual, que permaneça em pleno funcionamento independentemente que o bimanual não esteja em uso. Na parte interna da célula robotizada onde está posicionado o robô deve haver a inclusão de um botão de emergência fixado na chapa metálica do enclausuramento, de fácil acesso e visualização. E também no controle de programação deve haver a inclusão de um botão de emergência, em caso de necessidade em parada de emergência durante a programação ou manutenção. Atendendo tais especificações de localização dos botões de emergência, todas as pessoas terão fácil acesso em caso de necessidade.

A utilização dos botões de parada de emergência não deve ser utilizada com a finalidade de partida ou parada da máquina durante o processo de operação. Para isso todos os botões devem garantir o desligamento das fontes de energia, e liberação por meio de reset para reestabelecer seu funcionamento. Para os botões de parada de emergência, deve haver monitoramento por interfaces de segurança.

Conforme já citado anteriormente, a norma ressalta no item 12.95 a respeito dos aspectos ergonômicos, que os botões de emergência devem ter localização e distância para um acesso fácil e seguro, instalação nos locais mais acessíveis,

visíveis, identificados e bem sinalizados. A figura 10 apresenta uma proposta que atende os requisitos especificados anteriormente.

Figura 10 – Proposta de parada de emergência da célula robotizada.



**Fonte:** Schneider apud Schmersal (2014).

Realizando a aplicação dos botões de parada de emergência conforme especificado anteriormente, podem-se estimar os riscos conforme o quadro 18.

Quadro 18 – Análise de risco parada de emergência da célula robotizada.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Improvável	1,5
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Arranhão / Contusão leve	0,1
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		0,375
Risco, Aceitável		

**Fonte:** Adaptado da metodologia HRN.

#### 4.5 QUADRO DE ENERGIA

O tópico instalações e dispositivos elétricos da NR-12 especificam quais os requisitos mínimos que os componentes elétricos devem atender para estar regulamentados. O item 12.18d faz referência aos quadros de energia, onde devem estar bem identificados a respeito dos riscos presentes, limpos e bem conservados, protegidos e adequados ao ambiente que está sendo utilizado.

Apenas pessoas autorizadas poderão acessar os quadros de energia da máquina, devido a isso, são necessárias portas de acesso, que estarão permanentemente fechadas. Sua instalação deve ser em local de iluminação

adequada, que seja possível identificar todos os componentes do quadro de energia em uma posterior manutenção, de acordo com o item 12.103.1.

A figura 11 apresenta uma proposta que atende os requisitos especificados anteriormente.

Figura 11 – Proposta de quadro de energia da célula robotizada.



**Fonte:** Odair Govaski (2014).

Atendendo os requisitos da norma, conforme especificado anteriormente, podem-se estimar os riscos conforme o quadro 19.

Quadro 19 – Análise de risco quadro de energia da célula robotizada.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Improvável	1,5
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Arranhão / Contusão leve	0,1
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		0,375
Risco, Aceitável		

**Fonte:** Adaptado da metodologia HRN.

#### 4.6 CHAVE DE BLOQUEIO DO QUADRO DE ENERGIA

Da mesma forma do item anterior a respeito das instalações e dispositivos elétricos da NR-12, os quadros de energia devem possuir chaves de bloqueio, o item 12.18a específica que estes devem possuir porta de acesso, e deve ficar sempre fechada. A porta será utilizada para realizar manutenção, somente por pessoas autorizadas, como especificado no item 12.18b, para orientar ao respeito dos riscos presentes, o quadro de energia deve possuir sinalização de orientação, e também

que seja possível identificar a direção do movimento e os efeitos correspondentes, de acordo com o item 12.94d.

Como o quadro de energia deverá ser acessado somente por pessoas autorizadas, que irão realizar manutenção, este estará trancado e deve possuir chave de bloqueio. A figura 12 apresenta uma proposta que atende os requisitos especificados anteriormente.

Figura 12 – Proposta de chave de bloqueio do quadro de energia da célula robotizada.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2015).

Realizando a aplicação das chaves de bloqueio e da sinalização do quadro de energia conforme especificado anteriormente, pode-se estimar os riscos conforme o quadro 20.

Quadro 20 – Análise de risco chave de bloqueio do quadro de energia.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Improvável	1,5
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Arranhão / Contusão leve	0,1
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		0,375
Risco, Aceitável		

**Fonte:** Adaptado da metodologia HRN.

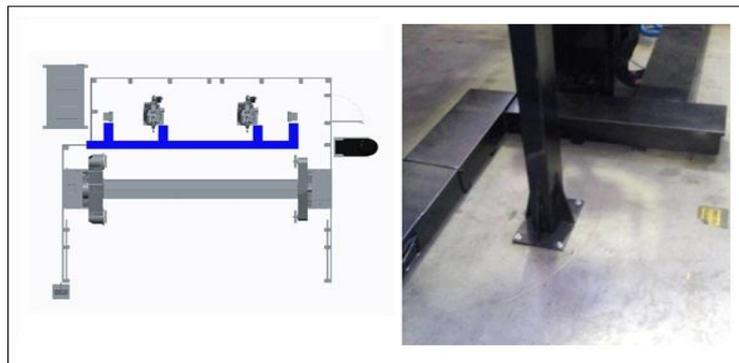
#### 4.7 PROTEÇÃO DOS CABOS ELÉTRICOS

O item 12.17b em seu tópico a respeito de dispositivos e instalações elétricas especifica que os condutores de alimentação elétrica devem possuir proteção contra rompimento mecânico dos condutores, contra abrasivos, combustíveis, lubrificantes e calor. Com o risco de choque elétrico ou a parada da

célula por ruptura mecânica dos condutores elétricos ou através do calor gerado durante o processo de soldagem, faz-se necessário meios de proteção aos condutores elétricos.

Para proteger os condutores elétricos na célula robotizada são utilizadas canaletas, porém a quantidade de cabos e fios é grande, conseqüentemente a canaleta deverá possuir dimensões adequadas para que os condutores não fiquem prensados uns aos outros, mas que fiquem livres e de fácil identificação para posterior manutenção. As canaletas não devem possuir cantos vivos, superfícies cortantes ou quinas que possam ocasionar riscos ao operador, conforme o item 12.99. A figura 13 apresenta uma proposta que atende os requisitos especificados anteriormente, o isolamento dos condutores através de canaletas está destacado na cor azul.

Figura 13 – Proposta de proteção dos cabos elétricos da célula robotizada.

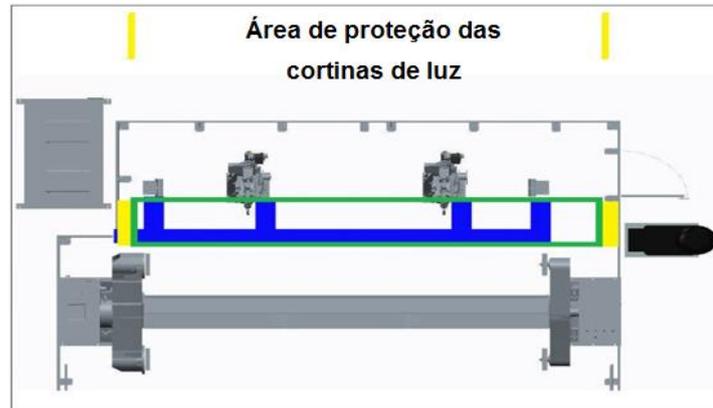


**Fonte:** Elaborado pelo autor (2015).

Com a aplicação das canaletas de segurança, criamos alguns pontos de zona morta (permite que o operador permaneça em zona de perigo sem que seja identificado), na qual se apresenta a seguinte situação: as pessoas podem permanecer sobre as canaletas de segurança e estar sujeitas a riscos de colisão com o equipamento. Devido ao risco existente, o item 12.38 indica que as zonas mortas devem possuir sistemas de segurança. Como proposta para eliminar a área de zona morta, podem-se aplicar cortinas de luz sobre a área das canaletas. Com o objetivo de alertar a presença de uma pessoa em uma zona de perigo, não há necessidade de realizar o cálculo de distância mínima de segurança. A resolução da cortina de luz aplicada deve ser de 30 mm ou superior.

A figura 14 apresenta uma proposta que atende os requisitos especificados anteriormente, realizando o isolamento dos condutores através de canaletas e também eliminando a zona morta criada sobre as canaletas.

Figura 14 – Proposta de proteção da zona morta sobre as canaletas.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2015).

Realizando a aplicação das proteções aos condutores elétricos e eliminação do ponto de zona morta sobre as canaletas, conforme especificado anteriormente, pode-se estimar os riscos conforme o quadro 21.

Quadro 21 – Análise de risco da proteção dos cabos elétricos.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Improvável	1,5
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Arranhão / Contusão leve	0,1
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		0,375
Risco, Aceitável		

**Fonte:** Adaptado da metodologia HRN.

#### 4.8 COMANDO LÓGICO PROGRAMÁVEL (CLP)

O item 12.42a especifica o requisito de aplicação de comando lógico programável (CLP), que é responsável pelo monitoramento dos dispositivos de segurança que impeçam a ocorrência de falhas e que os dispositivos percam suas funções de segurança.

O CLP possui no mercado diversos fabricantes, todos possuem seu modo de fabricação, com formatos diferentes, porém sua função é a mesma para todos.

Combinar sinais para atuar com o equipamento certo no momento certo. O CLP será responsável por monitorar os dispositivos de segurança da célula robotizada de soldagem. Os dispositivos controlados serão:

- Comando bimanual
- Acesso frontal ao interior da célula: Cortinas de luz, tapetes de segurança ou scanner de área.
- Acesso lateral ao interior da célula: Sensores de segurança na porta.
- Interior da célula: Tapetes de segurança e cortinas de luz.
- Paradas de emergência.
- Robôs de solda e dispositivo de posicionamento.

Realizando a aplicação do CLP conforme especificado anteriormente, podem-se estimar os riscos conforme o quadro 22.

Quadro 22 – Análise de risco do CLP da célula robotizada.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Improvável	1,5
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Arranhão / Contusão leve	0,1
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		0,375
Risco, Aceitável		

**Fonte:** Adaptado da metodologia HRN.

#### 4.9 SINALIZAÇÕES DE SEGURANÇA

As formas de sinalização são de grande importância nas máquinas e equipamentos, pois irão orientar os operadores e auxiliar na redução de acidentes para as pessoas que não conhecem o local e seus perigos, porém não irá eliminar o risco. A norma NR-12 cita em seu tópico sinalização do item 12.116 ao 12.124.1 os requisitos de segurança das máquinas. De acordo com Parlow (2014) as sinalizações de segurança utilizam simbologia, inscrições, cores, sinais sonoros ou luminosos, dentre outras formas. A importância é destacar na máquina, em local visível e de clara compreensão para todos os riscos presentes.

De acordo com a Norma as sinalizações devem estar escritas em português, devem identificar o local em que está presente o risco. Informações relevantes sobre a máquina ou equipamento também devem constar, como CNPJ, razão social e

endereço do fabricante. Também devem constar o tipo, modelo, capacidade, número de série, ano de fabricação, registro do fabricante no CREA e seu peso. Como já citado anteriormente, a norma ressalta, em seu tópico aspectos ergonômicos, as formas de sinalização devem ser claras e apresentar de forma coerente suas funções, aplicadas em locais de fácil visualização e de iluminação adequada. A figura 15 apresenta uma proposta que atende os requisitos especificados anteriormente.

Figura 15 – Proposta de sinalização de segurança da célula robotizada.



Fonte: Elaborado pelo autor (2015).

Realizando a aplicação das sinalizações conforme especificado anteriormente, podem-se estimar os riscos conforme o quadro 23.

Quadro 23 – Análise de risco da sinalização de segurança da célula robotizada.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Improvável	1,5
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Arranhão / Contusão leve	0,1
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		0,375
Risco, Aceitável		

Fonte: Adaptado da metodologia HRN.

#### 4.10 PROTEÇÕES CONTRA RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

A geração de radiação não ionizante durante o processo de soldagem está estabelecida como um risco adicional pela norma NR-12 em seu item 12.106c, como um risco que oferece danos à saúde e integridade física dos trabalhadores. Como

medida de controle para reduzir a exposição dos trabalhadores, devem ser inseridos dispositivos que impeçam a passagem de radiação gerada durante o processo. Os dispositivos de proteção serão inseridos na parte frontal onde há exposição dos operadores e também no robô de solda.

Os dispositivos de segurança consistiram em cortinas que impeçam a passagem de radiação ultravioleta, conforme ilustrado na figura 16, apresenta-se uma proposta de proteção contra a radiação ultravioleta na parte frontal da célula. O dispositivo que abre e recolhe a cortina de luz, deve evitar que sejam necessários esforços físicos do operador, de acordo com o item 12.94g, para isso, recomenda-se mantê-los lubrificados, facilitando assim a sua operação.

Figura 16 – Proposta de proteção contra radiação ultravioleta da célula robotizada.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2015).

Conforme ilustrado na figura 17, apresenta-se uma proposta aplicando as cortinas de luz no robô de solda, impedindo a passagem de radiação ultravioleta. As cortinas do robô geralmente são aplicadas quando se utilizam coifas de exaustão, onde elas serão fixadas. As mesmas não impedem nenhum movimento do robô, pois são flexíveis e apropriadas para trabalho com solda.

Figura 17 – Proposta de proteção contra radiação ultravioleta da célula robotizada.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2015).

Realizando a aplicação das cortinas contra radiação ultravioleta conforme especificado anteriormente, podem-se estimar os riscos conforme o quadro 24.

Quadro 24 – Análise de risco da sinalização de segurança da célula robotizada.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Improvável	1,5
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Arranhão / Contusão leve	0,1
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		0,375
Risco, Aceitável		

**Fonte:** Adaptado da metodologia HRN.

#### 4.11 EXAUSTÃO DE FUMOS METÁLICOS

A geração de fumos metálicos durante o processo de soldagem que gera riscos a saúde e integridade física dos trabalhadores é classificado como risco adicional na NR-12, em seu item 12.106a. Como medida de controle dos fumos metálicos gerados durante o processo de soldagem os dispositivos utilizados para exaustão dos fumos metálicos podem ser tochas aspiradas ou coifas de exaustão.

Segundo NEDERMAN (2015) as tochas aspiradas é o sistema ideal de captação de fumos metálicos em robôs de solda, ela possui um sistema de mangueiras que são flexíveis aos movimentos realizados pelo robô, e possui uma eficiência de captação de 70% a 98%, atingindo valores desejados. Porém, esse sistema de exaustão através da tocha aspirada, limita o acesso aos locais de solda que possuem área limitada, isso se deve ao conjunto de exaustão que está acoplado à tocha de solda. Conforme ilustrado na figura 18, apresenta-se uma proposta de

exaustão aspirada diretamente na tocha dos fumos metálicos produzido durante o processo, atendendo os requisitos da norma.

Figura 18 – Proposta de tocha aspirada da célula robotizada.



**Fonte:** Nederman (2015).

O sistema de exaustão com a utilização de coifa sobre o processo de soldagem abrange todo o local de solda, porém este método não tem ação direta sobre o local onde está sendo gerado o fumo metálico. Segundo ANSCHAU (2010) a exaustão localizada apresenta resultados muito mais viáveis e superiores em termos de captação dos fumos de solda ou outros particulados em suspensão. Usando-se este método, o risco dos soldadores estarem sujeitos a altas concentrações dos perigosos fumos de solda, é bastante reduzido. Devido a esses fatores é preciso realizar uma análise no conjunto de solda e determinar a forma de exaustão. O método de exaustão dos fumos metálicos através de uma coifa pode possuir um sistema fixo ou móvel, conforme apresentado na figura 19. A escolha do formato da coifa irá variar conforme a necessidade do projeto.

Figura 19 – Proposta de coifa de exaustão da célula robotizada.



**Fonte:** Elaborado pelo autor (2015).

Além dos sistemas de exaustão citados anteriormente, seja através da tocha aspirada ou através de coifas de exaustão, o sistema necessita de uma unidade de extração e filtragem dos fumos metálicos. Realizando o sistema de conforme especificado anteriormente, pode-se estimar os riscos conforme o quadro 25.

Quadro 25 – Análise de risco sistema de exaustão de fumos metálicos.

Tabela HRN		
Probabilidade de Ocorrência (PE)	Improvável	1,5
Frequência de Exposição (FE)	Diariamente	2,5
Grau de possíveis danos (GPD)	Arranhão / Contusão leve	0,1
Número de pessoas expostas (NP)	1-2 pessoas	1
Valor do HRN Classificação		0,375
Risco, Aceitável		

**Fonte:** Adaptado da metodologia HRN.

## 5. CONCLUSÕES

Através do estudo realizado em torno de uma célula robotizada de soldagem foi possível perceber os riscos presentes, que contribuem para elevar as taxas de acidentes no país, sendo que esses fatores têm levado as empresas a buscarem equipamentos seguros e de acordo com as normas de segurança que são impostas pelos órgãos responsáveis.

Percebe-se que o objetivo geral em desenvolver um estudo dos requisitos necessários de segurança em uma célula robotizada de soldagem de acordo com a NR-12, foi alcançado com sucesso, como se pode visualizar nos resultados apresentados, as classificações obtidas na análise de risco atingiram níveis aceitáveis, sendo assim o equipamento está apto a funcionar.

Quanto aos objetivos específicos, vale ressaltar que todos foram alcançados, sendo o primeiro o embasamento teórico sobre a norma de segurança NR-12 e assuntos relacionados ao projeto, exposto no item 2.3, além de necessário durante o decorrer do estudo, cumprindo assim o primeiro objetivo específico. O segundo e terceiro objetivos específicos, de realizar o levantamento dos riscos presentes em uma célula robotizada sem os dispositivos de segurança e após realizar uma análise de riscos, estão expostos no item 3.3 e 3.4, estes objetivos foram cumpridos, apresentando os resultados esperados e comprovando que o equipamento não estava apto a funcionar. O quarto objetivo específico, em desenvolver um estudo dos requisitos necessários de acordo com a NR-12, está exposto no item 3.5, foi alcançado com o desenvolvimento dos requisitos da norma para a célula robotizada. O quinto e sexto objetivo específico, que havia o propósito de apresentar os dispositivos de segurança para a célula robotizada e posteriormente realizar uma nova análise de riscos, estão expostos no item 4.0, cumprindo assim todos os objetivos específicos.

Todos os objetivos propostos no trabalho foram atingidos com êxito, possibilitando a implementação do equipamento de acordo com a norma de segurança NR-12, estando assim apto a operar e prevenir a ocorrência de acidentes em ambiente fabril.

## 6. REFERÊNCIAS

ANSCHAU, L. D. **Análise de fumos de soldagem, sistemas de proteção e desenvolvimento de protótipo para estudo da emissão de fumos de soldagem para processo mig/mag.** Monografia (Engenharia Mecânica). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Panambi, 2010.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-12 – Segurança no trabalho em máquinas e equipamentos.** Brasília, DF, 2013. Disponível em: <[http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A4295EFDF0142FC261E820E2C/NR12%20\(atualizada%202013\)%20III%20-%20\(sem%2030%20meses\).pdf](http://portal.mte.gov.br/data/files/8A7C816A4295EFDF0142FC261E820E2C/NR12%20(atualizada%202013)%20III%20-%20(sem%2030%20meses).pdf)>. Acesso em: 20 Mai. 2015.

CHIA, I. M. C. **Segurança em uma célula robotizada.** Monografia de especialização (Automação Industrial). Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2014.

FÜHR, T. A. **Reconhecimento e avaliação dos riscos ambientais gerados nos processos de soldagem de uma empresa do segmento metal mecânico.** Monografia de especialização (Pós Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012.

GOVASKI, O. J. **Proposta de adequação de uma prensa hidráulica à nr12.** Monografia (Engenharia Mecânica). Faculdade Horizontina – FAHOR, Horizontina, 2014.

INBEP. **Normas regulamentadoras (NRs) – O que são e como surgiram?** Disponível em: <<http://inbep.com.br/blog/normas-regulamentadoras-nrs-o-que-sao-e-como-surgiram/>>. Acesso em 5 Out. 2015.

KUKA. **KR 16 arc HW, KR 16 L8 arc HW.** Disponível em: <[http://www.kuka-robotics.com/res/sps/e6c77545-9030-49b1-93f5-4d17c92173aa\\_Spez\\_KR\\_16\\_arc\\_HW\\_pt.pdf](http://www.kuka-robotics.com/res/sps/e6c77545-9030-49b1-93f5-4d17c92173aa_Spez_KR_16_arc_HW_pt.pdf)>. Acesso em 22 Ago. 2015.

MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem Fundamentos e Tecnologia.** 3º ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2011.

NEDERMAN. **Riscos e soluções para os fumos de solda.** Disponível em: <[http://www.nederman.com.br/solutions/~-/media/ExtranetDocuments/PublishedCatalogue/B\\_R\\_PT\\_MANUALSAUDESOLDADORES1.ashx](http://www.nederman.com.br/solutions/~-/media/ExtranetDocuments/PublishedCatalogue/B_R_PT_MANUALSAUDESOLDADORES1.ashx)>. Acesso em 9 Ago. 2015.

PARLOW R. C. **Adequação de uma serra circular à nr-12.** Monografia (Engenharia Mecânica). Faculdade Horizontina – FAHOR, Horizontina, 2014.

PEIXOTO, N. H. **Segurança do Trabalho.** Disponível em: <[http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos\\_automacao/primeira\\_etapa/seguranca\\_trabalho\\_2012.pdf](http://estudio01.proj.ufsm.br/cadernos_automacao/primeira_etapa/seguranca_trabalho_2012.pdf)>. Acesso em 6 Mai. 2015.

POWERMIG. **Células Robotizadas.** Disponível em: <<http://www.powermig.com.br/pt-br/celulas-robotizadas>>. Acesso em 6 Mai. 2015.

PUCMINAS. **Mapa de risco.** Disponível em: <[http://www1.pucminas.br/imagedb/documento/DOC\\_DSC\\_NOME\\_ARQUI20081104143622.pdf](http://www1.pucminas.br/imagedb/documento/DOC_DSC_NOME_ARQUI20081104143622.pdf)>. Acesso em 4 Ago. 2015.

QUITES, A. **Definição de Soldagem.** Disponível em: <<http://soldasoft.com.br/portal/generalidades/Definicao%20de%20soldagem.pdf>>. Acesso em 4 Ago. 2015.

ROCKWELL AUTOMATION. **Medidas de proteção e equipamento complementar.** Disponível em: <<http://50.18.122.28/pt/3377539/5866177/3378076/7131359/626892ec0d2f562f6f2e8ad2e54f31c4/Seguran&ccedil;a.pdf>>. Acesso em: 22 Ago. 2015.

ROCKWELL AUTOMATION. **Scanner de segurança a laser SafeZone Mini Manual do usuário.** Disponível em: <[http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/442l-um005\\_-pt-p.pdf](http://literature.rockwellautomation.com/idc/groups/literature/documents/um/442l-um005_-pt-p.pdf)>. Acesso em: 25 Ago. 2015.

RODAS, A. C. C. et al. **Soldagem robótica aplicada a indústria automobilística: a evolução e processos adaptativos para o desenvolvimento do setor.** Artigo, Engenharia Mecatrônica, Maceió, 2014

ROSÁRIO, J. M. **Princípios de Mecatrônica.** 1º ed. São Paulo: Editora Prentice Hall, 2005.

SCHNEIDER, E. E. **Instalações de dispositivos de segurança para máquinas operatrizes conforme a norma regulamentadora nº12 com ênfase em dispositivos elétricos.** Monografia de especialização (Pós Graduação em Engenharia de Segurança do Trabalho). Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2011.

SCHMERSAL. **Tapetes de segurança.** Disponível em: <<http://www.2a.com.br/download/schmersal/Tapetes%20de%20Seguranca.pdf>>. Acesso em 21 Ago. 2015.

SOUZA, G. B. **Riscos ambientais e medidas de controle de riscos.** Disponível em: <<http://pt.slideshare.net/gerlanebatistasouza/segurana-do-trabalho-27551384>>. Acesso em 29 Jun. 2015.

VECCHIO, M. D. **NR12 - sem mistérios.** Disponível em: <[http://www.ciespsorocaba.com.br/documentos/palestras/ciesp\\_nr\\_12.pdf](http://www.ciespsorocaba.com.br/documentos/palestras/ciesp_nr_12.pdf)>. Acesso em 29 Jun. 2015.