



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

RAFAEL BRUNO BIAS DOS SANTOS

**UTILIZAÇÃO DE MANIPULADORES ROBÓTICOS NA INDÚSTRIA COMO
FORMA DE AUMENTO DE PRODUTIVIDADE COM QUALIDADE E
SEGURANÇA**

**JOÃO PESSOA
2025**

RAFAEL BRUNO BIAS DOS SANTOS

**UTILIZAÇÃO DE MANIPULADORES ROBÓTICOS NA INDÚSTRIA COMO
FORMA DE AUMENTO DE PRODUTIVIDADE COM QUALIDADE E
SEGURANÇA**

Trabalho de Conclusão de Curso que apresenta à
Coordenação do Curso Engenharia de Produção do Centro
de Tecnologia da Universidade Federal da Paraíba
(UFPB), como parte dos requisitos para obtenção do título
de Engenheiro de Produção.

Orientador: Profº. Dr. Darlan Azevedo Pereira.

JOÃO PESSOA
2025

Catálogo na publicação
Seção de Catalogação e Classificação

S237u Santos, Rafael Bruno Bias Dos.
UTILIZAÇÃO DE MANIPULADORES ROBÓTICOS NA INDÚSTRIA
COMO FORMA DE AUMENTO DE PRODUTIVIDADE COM QUALIDADE E
SEGURANÇA / Rafael Bruno Bias Dos Santos. - João
Pessoa, 2025.
51 f. : il.

Orientação: Darlan Azevedo Pereira.
TCC (Graduação) - UFPB/CT.

1. Manipuladores robóticos. 2. Viabilidade
econômica. 3. Melhoria de processos. 4. Automação. I.
Pereira, Darlan Azevedo. II. Título.

UFPB/CT/BSCT

CDU 658.5(043.2)



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO**

FOLHA DE APROVAÇÃO

Aluno: **RAFAEL BRUNO BIAS DOS SANTOS**

Título do Trabalho: **UTILIZAÇÃO DE MANIPULADORES ROBÓTICOS NA
INDÚSTRIA COMO FORMA DE AUMENTO DE PRODUTIVIDADE COM
QUALIDADE E SEGURANÇA**

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em 14/04/2025 pela banca
examinadora:

BANCA EXAMINADORA

Documento assinado digitalmente
gov.br **DARLAN AZEVEDO PEREIRA**
Data: 22/04/2025 20:22:06-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Orientador - *Prof.^o Dr.^o* – Darlan Azevedo Pereira

Documento assinado digitalmente
gov.br **LIGIA DE OLIVEIRA FRANZOSI BESSA**
Data: 22/04/2025 14:47:08-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador interno - *Prof.^a Dr.^a* – Lígia de Oliveira Franzosi Bessa

Documento assinado digitalmente
gov.br **JONAS ALVES DE PAIVA**
Data: 22/04/2025 19:53:31-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Examinador interno - *Prof.^o Dr.^o* – Jonas Alves de Paiva

DEDICATÓRIA

Dedico esse trabalho aos meus pais (Joilma e Claudemir), por todo o esforço, a dedicação e o apoio em cada momento da minha vida.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela sua graça e bondade, que me deu saúde e força para superar todos os momentos difíceis que encontrei ao longo da graduação e por estar sempre guiando os meus caminhos.

Aos meus pais, que sempre estiveram presentes em minha vida e realizaram todos os esforços para que eu pudesse crescer pessoalmente e profissionalmente.

Ao meu professor orientador Darlan Azevedo Pereira, por todo apoio e paciência ao longo da minha formação e na elaboração do meu projeto final. Como também, deixo meu agradecimento a todos os professores do Departamento de Engenharia de Produção, por todos os conselhos e ajuda aos meus estudos.

Aos meus amigos de trabalho e parceiros de pesquisa, por toda ajuda durante o um período tão importante na minha formação acadêmica.

RESUMO

Este trabalho traz consigo os principais conceitos, desenvolvimento e resultados da implementação de um manipulador robótico como forma de melhoria de processo, e, como tais mudanças afetaram a produtividade, qualidade e segurança. Para isto, se faz necessário uma fundamentação teórica dos principais conceitos envolvendo a automação industrial e os mais variados tipos de manipuladores robóticos, bem como as possibilidades que existem com esses equipamentos. Outro ponto explorado, é a importância de características como a qualidade e segurança em uma melhoria de processo e como os manipuladores podem ser um ponto chave para contribuir com esses pontos, detalhando normas de segurança que foram fundamentais durante toda ideia e criação da melhoria. Além disso, para entendimento do projeto, foi necessário descrever os passos para o seu desenvolvimento, desde o estudo do processo anterior, passando pela criação junto ao fornecedor e implementação do equipamento na fábrica, detalhando os desafios encontrados. Por fim, apresenta-se as discussões e resultados, como tal aplicação aumentou o desempenho da produção, diminuindo o tempo de ciclo do processo com a nova tecnologia, e, também, trazendo melhorias significativas na qualidade do produto e segurança do processo, com diminuição dos índices de retrabalho, teste de falhas mais preciso, prevenindo acidentes e melhorando a fadiga dos funcionários.

Palavras-chave: Manipuladores robóticos. Viabilidade econômica. Melhoria de processos. Automação.

ABSTRACT

This paper presents the main concepts, development and results of the implementation of a robotic manipulator as a way of improving the process, and how such changes affected productivity, quality and safety. To achieve this, a theoretical basis of the main concepts related to industrial automation and the most varied types of robotic manipulators is necessary, as well as the possibilities that exist with this equipment. Another point explored is the importance of characteristics such as quality and safety in a process improvement and how manipulators can be a key point in contributing to these points, detailing safety standards that were fundamental throughout the idea and creation of the improvement. In addition, to understand the project, it was necessary to describe the steps for its development, from the study of the previous process, through the creation with the supplier and implementation of the equipment in the factory, detailing the challenges encountered. Finally, the discussions and results are presented, as such application improved production performance, delaying the process cycle time with new technology, and, also bringing significant improvements in product quality and process safety, with reduced rework rates, more accurate failure testing, preventing accidents and improving employee fatigue.

Keywords: Robotic manipulators. Economic viability. Process improvement. Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 -Classificação das articulações mecânicas	15
Figura 2 - Estruturas do robô manipulador	16
Figura 3 – Fluxograma das Etapas do Projeto.....	21
Figura 4 - Fluxograma das Etapas do Processo Industrial	26
Figura 5 - Estação antes da mudança e Capacitor	27
Figura 6 - Tampa do Capacitor	27
Figura 7 - Representação do robô com os parâmetros	34
Figura 8 - Posição inicial do capacitor dentro da cabine.....	35
Figura 9 - Movimentação do capacitor para soldagem	35
Figura 10 - Sensor a laser.....	36
Figura 11 - Movimento de descarga do capacitor	36
Figura 12 - Documento registro de reunião.....	37
Figura 13 - Layout da tela	37
Figura 14 - Sistema definido	38
Figura 15 - Injetor de gás hélio	38
Figura 16 - Ponto de entrada do gás hélio e capacitor.....	39
Figura 17 - Formulário de Gestão de Mudança.....	40
Figura 18 - Painel elétrico	41
Figura 19 - Célula de proteção (NR12).....	41
Figura 20 - Célula de proteção (vista frontal)	42
Figura 21 - Novo layout com o equipamento.....	43
Figura 22 - Retirada do capacitor do carrinho.....	44
Figura 23 - Capacitor dentro do equipamento realizando a solda (vista frontal)	44
Figura 24 - Capacitor dentro do equipamento realizando a solda (vista superior).....	45
Figura 25 - Processo de soldagem e teste de hélio em execução	45
Figura 26 - Detalhes da cabine e processo	46
Figura 27 - Posicionamento do capacitor soldado no carrinho	46

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Cenário antigo de produção	28
Tabela 2 - Produção antiga.....	29
Tabela 3 - Custos de viabilidade da proposta.....	30
Tabela 4 - Parâmetros para escolha do robô.....	31
Tabela 5 – Elementos homem-máquina	33
Tabela 6 - Produção antes e depois	47
Tabela 7 - Comparativos de melhoria	48

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO:	9
1.1 Contextualização e Apresentação do tema:	9
1.2 Objetivos:	11
1.3 Importância e Justificativa do Projeto:	11
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1 Indústria 4.0:	13
2.2 Automação Industrial e Manipuladores robóticos:	14
2.3 Tipos de Robôs Manipuladores:	15
2.4 Solda e Manipuladores robóticos	17
2.5 Produtividade e Qualidade na Indústria	18
2.6 Segurança no Ambiente de Trabalho	18
2.7 Capacitor de alta potência:	19
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS:	21
3.1 Etapas do projeto	21
3.1.1 Análise do Processo Atual	22
3.1.2 Estudo de viabilidade de mudança de processo e investimento	23
3.1.3 Escolha do Fornecedor	23
3.1.4 Seleção e Especificação do Robô	24
3.1.5 Testes e acompanhamento em Campo	24
3.1.6 Instalação e Configuração da Célula Robótica	24
3.1.7 Programação do Robô	24
3.1.8 Validação com a Segurança do Trabalho	25
3.1.9 Treinamento com os operadores e realização dos testes	25
3.1.10 Coleta de dados e Análise	25
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	26
4.1 Processo Antigo	26
4.2 Viabilidade de melhoria e investimento	29
4.3 Escolha do Robô e início do Projeto	31
4.3 Testes em Campo	36
4.4 Teste de Qualidade (Hélio)	38
4.5 Validação de uma operação segura	39
4.6 Implementação na Estação de Trabalho	43
5 CONSIDERAÇÕES FINAIS	49
6 REFERÊNCIAS	50

1 INTRODUÇÃO:

1.1 Contextualização e Apresentação do tema:

A otimização dos processos produtivos, que envolve a integração de recursos humanos, tecnológicos e organizacionais, visa aumentar a eficiência, reduzir custos e garantir os padrões de qualidade dos produtos, sendo um dos principais objetivos da Engenharia de Produção (MONTANHA, 2021). Um dos maiores desafios enfrentados pela indústria é encontrar o equilíbrio entre o aumento da produtividade e a manutenção, ou até mesmo a melhoria, dos padrões de qualidade e segurança (SOUZA, 2022). Nesse cenário, a automação industrial com o uso de tecnologias avançadas, como os manipuladores robóticos, assume um papel fundamental, contribuindo para a modernização dos processos e a maximização dos resultados (ALMEIDA, 2023).

Um manipulador robótico é um sistema automático concebido para executar tarefas específicas em um ciclo fechado, garantindo precisão e consistência (CARVALHO, 2020). Quando integrado adequadamente a um processo de produção, esse tipo de tecnologia possui um grande potencial para otimizar significativamente a eficiência operacional (PEREIRA, 2021). A implementação de manipuladores robóticos já é uma realidade em diversas indústrias, incluindo os setores de alimentos, eletrônicos e automotivo. Nesses contextos, a automação de processos não apenas reduz as falhas humanas, mas também promove um aumento na precisão e diminui os riscos operacionais (SILVA, 2022). Em processos de fabricação de automóveis, por exemplo, são usados robôs na grande maioria para soldagem a ponto e pintura, com tal tecnologia, acabam reduzindo a variabilidade entre peças, por ser um processo altamente repetitivo eles nunca se cansam ou se distraem, então cada ciclo é executado da mesma maneira. Eles também não deixam cair as peças ou as manipulam de maneira que cause danos, reduzindo o desperdício anteriormente causado por erro humano, o que também significa menos variabilidade na montagem do carro.

Alguns manipuladores robóticos são equipados com sistemas de visão, permitindo que robôs automotivos detectem variações nos materiais recebidos e adaptem seus caminhos programados para se adequarem a essas mudanças (GOMES, 2021). Essa capacidade de adaptação resulta em maior satisfação do cliente, redução de erros e diminuição dos custos de garantia, especialmente ao longo de todo o processo de montagem das partes (FERREIRA, 2022). A utilização de tecnologias avançadas, como a visão computacional, fortalece a

eficiência operacional e a qualidade dos produtos, refletindo diretamente na competitividade das indústrias (MELO, 2023).

Além de sua utilização na produção industrial os robôs podem ser encontrados em ambientes domésticos, educacionais e hospitalares, sendo utilizados para realização de tarefas e até mesmo como forma de entretenimento. Devido a sua grande importância e em conjunto com a evolução tecnológica, novas técnicas de controle foram desenvolvidas utilizando elementos de Inteligência Artificial e Aprendizado de Máquina.

Com a programação avançada e à integração com sistema de controle, é possível reconfigurar os robôs para diferentes tarefas com facilidade, fazendo com que fiquem cada vez mais flexíveis em suas utilizações. Essa "facilidade" refere-se à capacidade de ajustar rapidamente os manipuladores robóticos para atender às demandas variadas do processo produtivo, permitindo que uma mesma célula robótica seja adaptada para diferentes etapas de produção. Essa adaptabilidade não apenas otimiza a utilização de recursos, mas também reduz significativamente a necessidade de investimentos substanciais em novas máquinas ou linhas de produção. Segundo Groover (2018), a flexibilidade é um dos principais benefícios da automação, pois permite que as empresas respondam rapidamente às mudanças nas exigências do mercado, mantendo a competitividade e a eficiência operacional.

Segundo Groover (2018), os robôs são divididos basicamente em três categorias: os Manipuladores - Robôs Industriais; Veículos Autoguiados (AGV) e os Robôs Móveis. Cada grupo possui suas características únicas, no entanto, analisando apenas os manipuladores, este grupo possui uma versatilidade muito alta, podendo ser usados na manipulação de materiais, soldadura, pintura a spray, na pulverização de produtos agrícolas e entre outras aplicações. Hoje em dia, a propagação desta tecnologia torna em alguns casos a sua aplicação fundamental, como é o caso das linhas de montagens, estimulando cada vez mais a parceria entre indústrias e instituições acadêmicas para o desenvolvimento de sistemas mais complexos e que atendam à realidade de cada serviço requisitado.

A utilização de manipuladores robóticos na indústria tem sido amplamente discutida em diversos estudos que ressaltam seu impacto significativo na produtividade, qualidade e segurança dos processos produtivos. Um exemplo é o trabalho de Widz (2018), que analisa a implementação de robótica em linhas de montagem e destaca como a automação não apenas aumenta a eficiência operacional, mas também melhora a qualidade dos produtos, reduzindo erros humanos e garantindo um padrão mais uniforme.

Outro estudo relevante é o de Janário (2014), que explora a integração de sistemas robóticos com tecnologias de controle avançadas, enfatizando a importância dessa união para a

otimização de processos. O autor argumenta que a robótica flexível permite que as empresas se adaptem rapidamente a diferentes demandas de produção, o que é crucial em um mercado em constante mudança.

Além disso, a pesquisa realizada por Allyson Janário (2014) investiga especificamente como a implementação de manipuladores robóticos pode contribuir para a segurança no ambiente industrial. O estudo destaca que, ao delegar tarefas repetitivas e potencialmente perigosas a robôs, as empresas não apenas protegem a saúde e o bem-estar dos trabalhadores, mas também podem se beneficiar de uma redução nos custos associados a acidentes de trabalho.

Esses estudos, entre outros, demonstram que a adoção de manipuladores robóticos na indústria não é apenas uma tendência tecnológica, mas uma estratégia essencial para alcançar maior competitividade e eficiência, promovendo um ambiente de trabalho mais seguro e produtivo.

1.2 Objetivos:

O objetivo do presente trabalho é analisar e demonstrar, por meio de estudo teórico e aplicação prática, como a utilização de manipuladores robóticos em processos industriais - especificamente em uma operação de solda - contribui para o aumento da produtividade, da qualidade e dos padrões de segurança.

O estudo busca evidenciar os impactos da tecnologia na otimização dos processos produtivos, com base em um caso prático de implementação de um manipulador robótico em uma indústria. Tal caso prático será demonstrar o projeto dentro de uma indústria que fabrica capacitores de alta potência na cidade de Jundiaí-SP.

1.3 Importância e Justificativa do Projeto:

A parceria entre indústria e unidades acadêmicas se tornou algo muito importante para a inovação tecnológica, chegando ao conceito da indústria 4.0, que se caracteriza pela digitalização e integração das tecnologias nos processos produtivos. Tal conceito se adota de alguns sistemas como a Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, big data e automação com o intuito de otimizar a produção, melhorar a qualidade e aumentar a segurança no ambiente industrial.

Ao passar dos tempos, houve uma grande disseminação dos robôs manipuladores em ambiente industrial (STEFFEN, 2011). Este termo explica a aplicação das tecnologias

inovadoras nas principais atividades industriais. Os manipuladores robóticos constituem como um pilar desta nova revolução industrial, oferecendo agilidade ao processo de automação.

A utilização de manipuladores robóticos permite a repetição precisa de tarefas, o que é especialmente relevante em processos de solda, onde falhas podem comprometer a integridade estrutural do produto e gerar custos elevados de reparo ou substituição. Além disso, o trabalho também se justifica pelo impacto positivo que o robô de solda oferece em termos de segurança no ambiente de trabalho. Em operações de soldagem, trabalhadores estão expostos a riscos elevados, como radiações, calor intenso e materiais tóxicos, que representam potenciais danos à saúde e segurança. Com a implantação de robôs, é possível minimizar ou até eliminar essa exposição, além de atender aos requisitos de segurança estabelecidos pela NR-12 e outras normativas aplicáveis, criando um ambiente industrial mais seguro e alinhado com as regulamentações.

Durante o mapeamento do processo produtivo, foi identificado um gargalo significativo em uma das etapas manuais da linha de montagem, responsável por limitar diretamente o ritmo de produção. Esse processo, além de representar o ponto de maior lentidão, era também o principal responsável pela quantificação da produtividade diária, já que o total de peças montadas ao final de cada turno dependia diretamente da eficiência dessa operação específica. A constatação desse entrave produtivo foi um dos principais motivadores para a realização deste estudo, direcionando a análise para soluções que permitissem otimizar essa etapa crítica, com foco em aumentar a produtividade sem comprometer a qualidade e a segurança operacional.

Assim, este estudo é relevante tanto para o desenvolvimento acadêmico, ao oferecer um caso prático de aplicação da automação robótica, quanto para o setor industrial, ao fornecer uma análise fundamentada sobre os impactos da automação na otimização de processos e na melhoria das condições de trabalho. A aplicação do robô de solda não apenas atende às exigências contemporâneas do mercado, mas também contribui para a evolução tecnológica e a adaptação da mão de obra a novas competências, essenciais para a indústria do futuro.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Indústria 4.0:

A Indústria 4.0 é baseada na digitalização e na interconectividade entre máquinas, sistemas e pessoas. Esse conceito surgiu na Alemanha no início da década de 2010 e visa transformar a manufatura tradicional por meio do uso de tecnologias como Internet das Coisas (IoT), inteligência artificial, computação em nuvem e robótica avançada (HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

Um dos pilares da Indústria 4.0 é a automação industrial, que envolve a utilização de sistemas inteligentes que são capazes de operar com a mínima intervenção humana. Entre essas tecnologias, se destacam os manipuladores robóticos, que desempenham um papel essencial na modernização dos processos produtivos. Esses equipamentos são projetados para executar tarefas repetitivas com precisão, reduzindo erros e aumentando a eficiência das operações.

Para o caso de manipuladores robóticos, a indústria 4.0 se caracteriza:

- **Interoperabilidade:** Capacidade das máquinas e sistemas de se comunicarem e trocarem dados em tempo real. No contexto da automação, os manipuladores robóticos podem ser integrados a redes inteligentes, permitindo controle remoto e monitoramento contínuo;
- **Virtualização:** Uso de modelos digitais e sensores para criar representações virtuais do processo produtivo, possibilitando a simulação de operações e antecipação de falhas antes da produção real;
- **Descentralização:** Os sistemas ciberfísicos permitem que as máquinas tomem decisões de forma autônoma, aumentando a eficiência e reduzindo a dependência da intervenção humana;
- **Capacidade em Tempo Real:** Coleta e análise de dados instantâneos para otimizar o desempenho das operações, garantindo qualidade e produtividade no processo de soldagem automatizada;
- **Modularidade:** Flexibilidade para adaptar os sistemas conforme as demandas produtivas, possibilitando a reconfiguração dos manipuladores robóticos para diferentes aplicações industriais.

(HERMANN; PENTEK; OTTO, 2016).

No setor industrial, a implementação desses princípios tem gerado melhorias significativas em produtividade, qualidade e segurança. A aplicação de manipuladores robóticos na soldagem, por exemplo, reduz a exposição dos operadores a riscos físicos e

químicos, além de garantir soldas mais homogêneas e padronizadas. Assim, a automação alinhada à Indústria 4.0 não apenas otimiza a produção, mas também promove um ambiente de trabalho mais seguro e eficiente.

2.2 Automação Industrial e Manipuladores robóticos:

A automação industrial é uma excelente ferramenta quando estamos lidando com o uso de tecnologias para controlar e monitorar processos produtivos, com o objetivo de auxiliar o trabalho humano em atividades perigosas, repetitivas ou que demandam alta precisão e qualidade. Segundo Corrêa e Giansi (2019), a automação envolve a integração de equipamentos mecânicos, eletrônicos e sistemas de controle que realizam tarefas sem intervenção humana direta. Essa evolução, iniciada na Revolução Industrial, atingiu um novo patamar com a Indústria 4.0, marcada pela digitalização dos processos produtivos e a aplicação de tecnologias avançadas como inteligência artificial (IA), internet das coisas (IoT) e robótica.

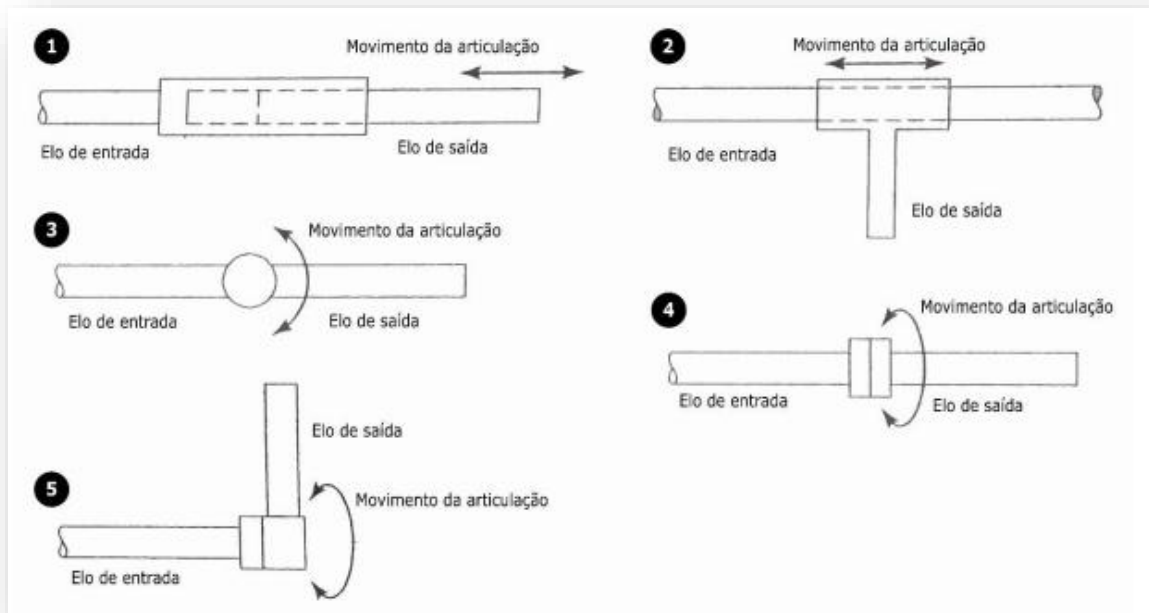
Os manipuladores robóticos são um dos pilares da automação moderna. Eles permitem que empresas integrem soluções automáticas em seus processos de manufatura, buscando aumentar a eficiência, aumentar a produtividade, reduzir custos e ter uma qualidade maior em seus produtos. Com a automação, as empresas conseguem não apenas melhorar o controle sobre o processo produtivo, mas também obter dados em tempo real, que são fundamentais para tomadas de decisão mais precisas e rápidas (Martins et al., 2020).

A introdução de manipuladores robóticos tem permitido às empresas alcançar novos patamares de produtividade e qualidade, especialmente em atividades como soldagem. Robôs de solda são extremamente eficazes na realização de tarefas que demandam uniformidade e controle rigoroso de parâmetros, como temperatura, velocidade e posicionamento, garantindo que o processo seja realizado de forma precisa, independentemente das variáveis ambientais ou do desgaste do equipamento.

O manipulador consiste em uma série de juntas articuladas e elos. Cada articulação irá possibilitar um grau de liberdade do movimento. Os robôs são classificados conforme a quantidade de graus de liberdade, cada articulação possui dois elos, elo de entrada e saída. Elo é a parte rígida do manipulador. (GROOVER, 2011; NIKU, 2009; ROSÁRIO, 2010).

Segundo Groover (2011) e Rosário (2010), a grande maioria dos robôs industriais tem articulações mecânicas que podem ser classificadas como a seguir:

Figura 1 -Classificação das articulações mecânicas



Identificados como na figura como:

- 1 – Articulação linear (articulação do tipo L). O movimento relativo entre os elos de entrada e saída é um movimento de deslizamento translacional, com os eixos dos dois elos paralelos;
- 2 – Articulação ortogonal (articulação do tipo O). Movimento deslizante translacional, mais elos de entrada e saída são perpendiculares uns aos outros durante o movimento;
- 3 – Articulação rotacional (articulação de tipo R). Proporciona movimento relativo rotacional, com o eixo de rotação perpendicular aos eixos dos elos de entrada e saída;
- 4 – Articulação de torção (articulação do tipo T). Movimento rotativo, mais o eixo de rotação é paralelo aos eixos dos dois elos; e,
- 5 – Articulação rotativa (articulação do tipo V). O eixo de entrada é paralelo ao eixo de rotação da articulação, e o eixo do elo de saída é perpendicular ao eixo de rotação.

Fonte: Adaptado de Groover (2011).

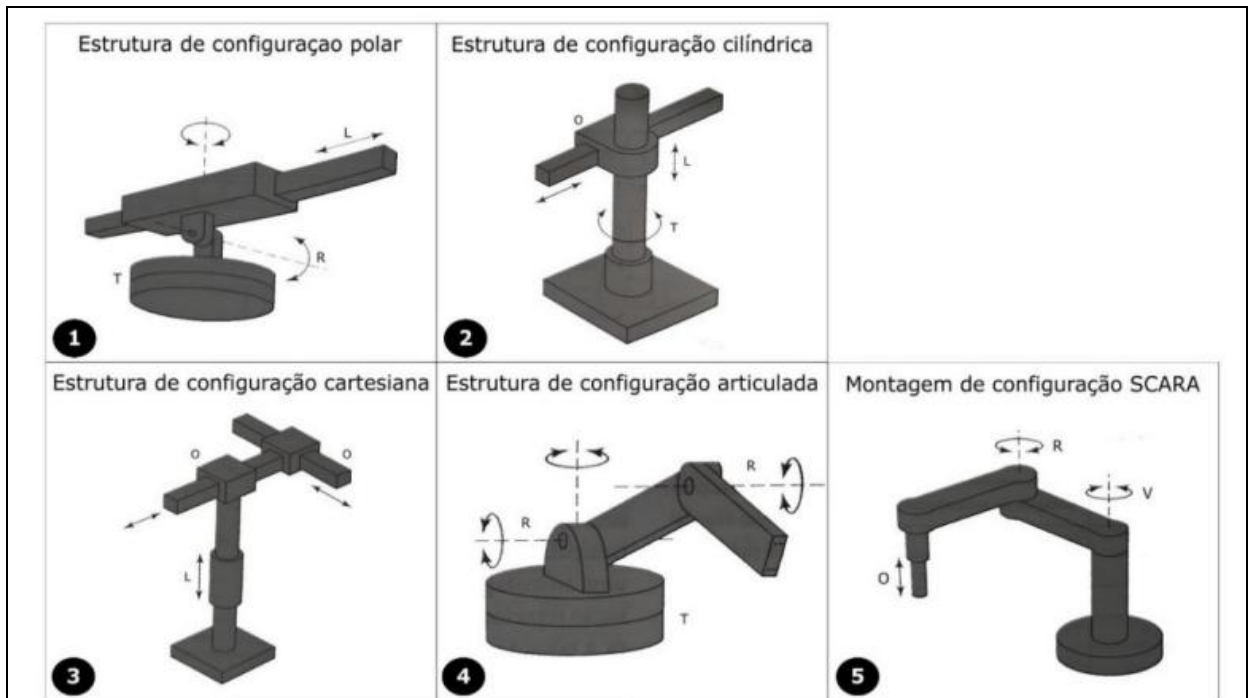
2.3 Tipos de Robôs Manipuladores:

O robô manipulador é dividido em duas partes, a estrutura corpo e braço e o punho. Geralmente o corpo e braço tem 3 graus de liberdade e o punho dois ou três graus. Na ponta do punho fica conectado o atuador, normalmente uma garra que fica a cargo de segurar a peça ou

uma ferramenta. O corpo e braço são utilizados para posicionar o atuador e o punho fica responsável por orientar o atuador. (GROOVER, 2011; NIKU, 2009; ROSÁRIO, 2010).

Os mais utilizados são:

Figura 2 - Estruturas do robô manipulador



1 - Estrutura de configuração Polar. Essa estrutura constitui-se em um braço deslizante com articulação L (linear) ligado em relação ao corpo, que pode tanto rodar em volta de um eixo vertical com articulação T (torção) como girar ao redor do eixo horizontal com articulação R (rotação);

2 - Estrutura de configuração cilíndrica. Essa estrutura constitui-se de uma coluna vertical que ligada a um conjunto de braço que pode subir ou descer. O braço pode ser liberado para dentro e para fora em relação ao eixo da coluna. Usando uma articulação T (torção) para girar a coluna em torno do eixo. Uma articulação L (linear) é utilizada para mover o conjunto de braço verticalmente ao espaço da coluna, enquanto uma articulação O (ortogonal) é usada para gerar o movimento radial do braço;

3 - Estrutura de configuração cartesiana. Constitui-se de três articulações deslizantes, duas das quais são do tipo O (ortogonais);

4 - Estrutura de configuração articulada. Esse tipo de combinação simula os movimentos do braço humano. Constitui-se de uma coluna vertical que roda em volta da base utilizando uma

articulação T (torção). No topo da coluna tem uma articulação R (rotação), onde o elo de saída conecta a uma outra articulação R (rotação).

5 - **Montagem de articulação SCARA** - Seletive Compliance Assembly Robot Arm (Braço Robótico para Montagem com Flexibilidade Seletiva). Essa estrutura de combinação é parecida com a combinação do robô articulado, porém os dois eixos de rotação são verticais, fazendo com que o braço fique muito rígido na orientação vertical, mas flexível na orientação horizontal. Então dessa forma permite operar em montagens na direção vertical, onde se faz necessário o alinhamento lateral para juntar duas peças da melhor forma.

Fonte: Adaptado de Groover 2011

2.4 Solda e Manipuladores robóticos

A soldagem é um processo de fabricação que visa unir materiais, principalmente metais e termoplásticos, por meio do aquecimento e fusão de suas superfícies. Existem diversos tipos de soldagem, como a solda a arco elétrico, solda MIG/MAG, TIG e a solda por resistência, cada uma adequada a diferentes aplicações e materiais.

A qualidade da solda é fundamental, pois qualquer falha pode comprometer a integridade estrutural do produto final. Na indústria, a soldagem manual requer alta habilidade dos operadores, uma vez que pequenas variações no processo, como temperatura, tempo de exposição e alinhamento das peças, podem gerar defeitos como trincas, porosidades e deformações. A introdução de manipuladores robóticos para realizar essa tarefa garante maior controle sobre as variáveis do processo, permitindo que a solda seja realizada de maneira uniforme e repetitiva, resultando em uma maior qualidade e confiabilidade do produto (Martins et al., 2020).

Equipados com sistemas de controle avançados e sensores de monitoramento, os manipuladores robóticos conseguem ajustar automaticamente parâmetros como temperatura, velocidade de soldagem e ângulo de operação, reduzindo significativamente o risco de erros e retrabalho. Além disso, a utilização desses robôs minimiza a exposição dos trabalhadores a condições perigosas, como altas temperaturas e gases tóxicos, aumentando a segurança no ambiente de trabalho (Groover, 2018). A automação do processo de solda com manipuladores robóticos é especialmente valiosa em indústrias que demandam alta repetibilidade e padrões de qualidade rigorosos.

2.5 Produtividade e Qualidade na Indústria

A produtividade pode ser definida pela relação entre a quantidade de insumos utilizados e o volume de produtos gerados, ou seja, quanto uma empresa consegue produzir com os recursos disponíveis (Slack, Chambers & Johnston, 2019). No contexto de competitividade existente no mundo, o aumento da produtividade é um fator importante para a economia das organizações.

Os manipuladores robóticos podem ser um ponto chave para contribuir diretamente para o aumento da produtividade. Eles conseguem operar em várias velocidades diferentes e com precisão constante, muitas vezes, sem a necessidade de pausas ou intervalos, ao contrário dos operadores humanos, que estão sujeitos a pausas por fadiga e variabilidade de desempenho. Além disso, a automação pode fazer com que o tempo de ciclo de produção seja reduzido, tendo como consequência o aumento da produção em uma mesma jornada de trabalho. De acordo com estudos recentes, a utilização de robôs industriais pode elevar a eficiência operacional em até 30% em certos setores (IFR, 2021).

Outro ponto de destaque é a capacidade que os manipuladores robóticos possuem de minimizar erros humanos. A qualidade em processos industriais refere-se à conformidade de um produto com as especificações e expectativas dos clientes. A introdução desses equipamentos traz benefícios diretos ao controle da qualidade dos produtos, uma vez que eles garantem a repetibilidade das operações e a uniformidade dos processos. Segundo Ohno (1988), um dos precursores do Sistema Toyota de Produção, a padronização das atividades é um fator chave para a melhoria contínua e para a eliminação de desperdícios.

Em processos de soldagem, por exemplo, pequenos erros podem comprometer a qualidade do produto e aumentar os custos com retrabalhos. Ao automatizar essa tarefa com robôs, as empresas conseguem reduzir significativamente as taxas de defeito e custos, garantindo um padrão de qualidade mais elevado e consistente. Além disso, muitos sistemas de soldagem robótica possuem sensores e câmeras para monitorar o processo em tempo real, detectando e corrigindo qualquer desvio, o que elimina a necessidade de inspeção humana pós-produção (Groover, 2018).

2.6 Segurança no Ambiente de Trabalho

A segurança no ambiente industrial é uma prioridade para a gestão de operações, especialmente em processos críticos como a soldagem, onde os trabalhadores estão

frequentemente expostos a riscos elevados, como calor extremo, radiação, gases tóxicos e riscos elétricos. Nesse cenário, a introdução de manipuladores robóticos de solda não só melhora a produtividade e a qualidade, mas também desempenha um papel fundamental na mitigação de riscos ocupacionais. Entretanto, a implementação desses robôs deve ser acompanhada de rigorosos controles de segurança, que envolvem tanto a conformidade com normativas nacionais, como a NR-12 (Norma Regulamentadora nº 12), quanto com padrões internacionais, como a ISO 10218 e a ANSI/RIA R15.06, que tratam da segurança em sistemas robóticos.

De acordo com a NR-12, que regula a segurança no trabalho em máquinas e equipamentos no Brasil, todas as máquinas, incluindo manipuladores robóticos, devem operar dentro de uma célula de segurança devidamente projetada para prevenir o acesso inadvertido de pessoas à área de risco durante a operação. No caso dos manipuladores robóticos de solda, é essencial que a célula de trabalho seja equipada com barreiras físicas, sensores de presença, cortinas de luz e sistemas de parada de emergência. Esses dispositivos garantem que, se uma pessoa entrar na área de operação durante o ciclo de soldagem, o robô seja automaticamente interrompido, prevenindo acidentes. Além disso, a NR-12 exige que as áreas de trabalho dos robôs sejam sinalizadas e que os operadores e demais trabalhadores sejam adequadamente treinados para operar e manter esses sistemas de forma segura.

A conformidade com normas internacionais como a ISO 10218 também é importante, pois essa norma fornece diretrizes para a segurança no projeto, instalação e operação de sistemas robóticos, reforçando a necessidade de medidas de proteção automáticas e manuais. A integração correta dos manipuladores robóticos de solda com as normas de segurança não apenas protege os trabalhadores de acidentes, mas também assegura que a operação ocorra de forma eficiente, minimizando paradas não planejadas e possíveis custos relacionados a acidentes de trabalho ou falhas nos sistemas de segurança.

2.7 Capacitor de alta potência:

Os capacitores de alta potência são dispositivos eletrônicos projetados para armazenar e liberar grandes quantidades de energia elétrica em curtos períodos de tempo. Diferentemente dos capacitores convencionais utilizados em circuitos eletrônicos de baixa potência, esses componentes são empregados em aplicações industriais, sistemas de potência e equipamentos de grande porte, onde a demanda por alta capacidade de armazenamento e liberação de energia é essencial.

A principal função dos capacitores de alta potência é corrigir o fator de potência, estabilizar a tensão, filtrar harmônicas e fornecer suporte a sistemas elétricos de alta exigência. Eles são amplamente utilizados em subestações elétricas, sistemas de transmissão e distribuição de energia.

Esses capacitores podem ser encontrados em diferentes tamanhos e capacidades, variando conforme a aplicação específica. Modelos menores são utilizados em equipamentos industriais de médio porte, enquanto unidades de grande capacidade são empregadas em sistemas elétricos de alta tensão.

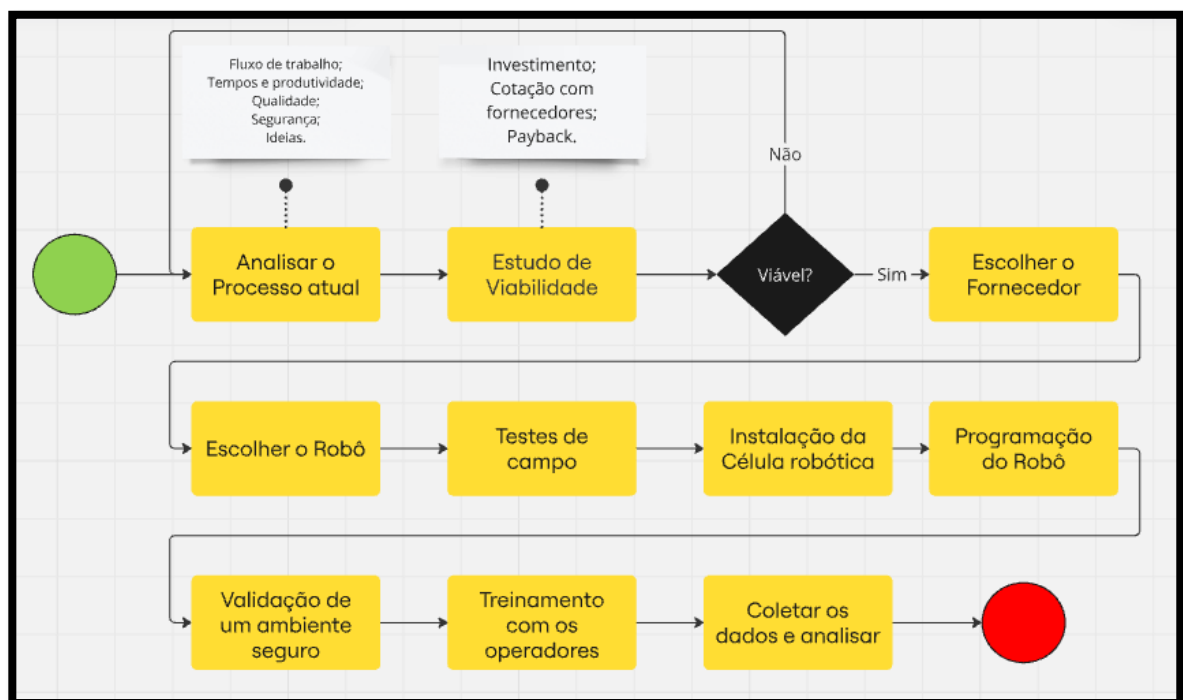
3 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS:

Este trabalho será desenvolvido com base em uma abordagem qualitativa e quantitativa, combinando a análise teórica com a prática da implementação de um robô de solda em um processo produtivo de uma indústria. A pesquisa será de caráter experimental, uma vez que será realizada diretamente no ambiente industrial, visando avaliar os impactos da instalação do manipulador robótico de solda no aumento da produtividade, qualidade e segurança.

O projeto será realizado em uma indústria de manufatura localizada na cidade de Jundiaí-SP onde será feita a instalação e o acompanhamento de um robô de solda em uma linha de produção específica. O processo escolhido para a implementação do robô envolve a soldagem de componentes metálicos, que atualmente é realizado de forma semiautomatizada ou manual.

3.1 Etapas do projeto

Figura 3 – Fluxograma das Etapas do Projeto



Fonte: Produção do autor

3.1.1 Análise do Processo Atual

Inicialmente, será realizada uma análise detalhada do processo produtivo atual, com o objetivo de compreender plenamente as operações antes da implementação da automação. Essa análise incluirá o mapeamento do fluxo de trabalho, que ajudará a identificar cada etapa do processo de soldagem, desde a preparação das peças até a finalização do produto. Serão observados minuciosamente os parâmetros de solda utilizados, como a temperatura, a velocidade de soldagem e a pressão aplicada, além das principais variáveis que impactam tanto a produtividade quanto a qualidade do produto.

A coleta de dados será conduzida de forma rigorosa ao longo de um período de dois meses, durante o qual serão monitorados diversos indicadores de desempenho. Esses indicadores incluirão o tempo de ciclo de soldagem, que é o tempo total necessário para completar uma soldagem, a taxa de defeitos, que mede a quantidade de produtos que não atendem aos padrões de qualidade, e o número de intervenções manuais, que contabiliza quantas vezes os operadores precisam intervir no processo por falhas ou ajustes. Esses dados servirão como linha de base para comparações posteriores, permitindo uma avaliação precisa dos impactos da automação.

Além disso, será implementado um controle rigoroso de variáveis externas que podem influenciar os resultados. Isso incluirá o registro detalhado do tipo de peça sendo soldada, uma vez que diferentes materiais e formatos podem exigir ajustes nos parâmetros de soldagem. O turno de trabalho também será monitorado, uma vez que a produtividade pode variar entre turnos devido a fatores como a experiência da equipe e o nível de fadiga. O tempo de adaptação da equipe ao novo sistema robótico será cuidadosamente considerado, uma vez que a familiarização com a tecnologia pode impactar a eficiência inicial. Por último, interrupções não planejadas, como falhas de máquinas ou problemas de fornecimento de materiais, serão documentadas, pois podem afetar significativamente a continuidade do processo.

Para garantir a eficácia da análise, serão utilizadas ferramentas da qualidade, como fluxogramas, que facilitarão a visualização do fluxo de trabalho, e estudos de movimentos e tempos, que ajudarão na identificação de desperdícios e ineficiências. Essa abordagem abrangente permitirá uma compreensão clara das operações atuais, fornecendo uma base sólida para a implementação de melhorias por meio da automação.

3.1.2 Estudo de viabilidade de mudança de processo e investimento

Para avaliar processos de melhorias e mudanças deve se analisar as ideias e o quanto será gasto para implementar um processo de automação. Nesse caso, foi necessário levantar informações de custos e possíveis economias realizadas após a implementação, um cálculo de payback foi feito. Todos os cálculos e estimativas de melhoria são realizadas antes da compra do ativo, é feito o estudo para que tenha informações para validar e aprovar o investimento.

Aprovação do investimento ser viável foi feita pela gestão da fábrica juntamente com o comitê técnico, formado por representante de cada área.

3.1.3 Escolha do Fornecedor

Após a aprovação do projeto como uma melhoria viável e um investimento estratégico para a empresa, iniciou-se o processo criterioso de escolha do fornecedor responsável pela implementação do manipulador robótico. Essa escolha foi fundamentada em diversos critérios técnicos e administrativos. Primeiramente, foram consideradas apenas empresas previamente cadastradas e homologadas pela área de Suprimentos da empresa, garantindo o atendimento às políticas internas e a conformidade com os requisitos legais e de segurança.

Em seguida, avaliou-se a qualificação técnica dos fornecedores, priorizando aqueles com experiência comprovada em projetos de automação industrial e integração de manipuladores robóticos em linhas de produção similares. Também foram exigidas certificações atualizadas, como NR-12, ISO 9001 e outras normas pertinentes à segurança do trabalho e à qualidade dos processos.

Além disso, foram analisadas propostas técnicas e comerciais, levando em conta não apenas os custos envolvidos, mas também a qualidade do projeto apresentado, o suporte técnico oferecido, os prazos de execução, e estudos de caso e históricos de sucesso em empresas do mesmo segmento. Por fim, foi realizada uma visita técnica a instalações onde o fornecedor já havia executado projetos semelhantes, com o objetivo de validar a eficiência do sistema implantado e a satisfação dos clientes anteriores. Esse conjunto de análises assegurou uma escolha sólida, baseada em critérios técnicos e estratégicos alinhados com os objetivos do projeto.

3.1.4 Seleção e Especificação do Robô

A escolha do robô de solda será feita considerando as características do processo, tais como o tipo de solda (MIG, TIG, etc.), material a ser soldado e a complexidade das operações. As especificações técnicas do manipulador, como carga útil, alcance e precisão, serão detalhadas, garantindo que o equipamento atenda às necessidades do processo produtivo.

3.1.5 Testes e acompanhamento em Campo

Os testes eram feitos na unidade do fornecedor, que é localizada na cidade vizinha, para os testes foram fornecidos alguns capacitores. Diariamente era feita reuniões online com os responsáveis do projeto para atualização de andamento e novas atualizações.

Nos testes eram avaliados quesitos como programação do robô, variabilidade das peças, solda consistente, temperatura, possíveis erros, vazamentos e movimentação.

Por ser um projeto de alto investimento, semanalmente eram feitas visitas juntamente ao fornecedor e realizado testes em conjunto, toda semana um relatório era gerado e apresentado para a gestão. A duração dos testes foi cerca de 4 meses.

3.1.6 Instalação e Configuração da Célula Robótica

Nesta fase, será feita a instalação do robô no ambiente produtivo. A célula de trabalho será configurada de acordo com as normativas de segurança vigentes, como a NR-12, garantindo que o manipulador opere dentro de uma área controlada e segura. Barreiras de proteção, sensores de presença e sistemas de parada de emergência serão implementados para evitar acidentes durante a operação.

3.1.7 Programação do Robô

O robô será programado para realizar a operação de soldagem com os parâmetros ideais de acordo com o tipo de material e a geometria dos componentes a serem soldados. Essa programação incluirá o ajuste de trajetórias, controle de velocidade e otimização do processo de solda para garantir uniformidade e qualidade em cada ciclo.

3.1.8 Validação com a Segurança do Trabalho

Durante a viabilidade foi feita uma reunião com a equipe de engenharia de segurança para realizar a “Gestão de Mudança”, consiste em um documento com diversos itens e requisitos para qualquer tipo de mudança que irá ter dentro da fábrica que possa ter algum risco de segurança para o trabalhador ou ambiental.

Para realizar o preenchimento do documento, será necessário realizar uma reunião com o responsável do projeto de melhoria e a equipe de segurança, onde é apresentado toda melhoria, com intuito de identificar possíveis riscos.

Para que o projeto seja implementado é necessário que tudo o que foi acordado durante a reunião de viabilidade, seja apresentado.

3.1.9 Treinamento com os operadores e realização dos testes

Após a instalação e configuração inicial, serão realizados testes para verificar o desempenho do robô em condições reais de produção. Serão feitas medições de tempo de ciclo, análise de qualidade das soldas e ajustes necessários nos parâmetros de operação para maximizar a eficiência do processo.

O treinamento com os funcionários é feito através de Instruções de Trabalhos, os operadores da área são levados para o local de instalação do equipamento e passam por um treinamento para manuseio de toda a cabine, o operador só irá realizar a atividade que está escrita em instrução.

3.1.10 Coleta de dados e Análise

Durante o período de operação do robô, será realizada uma coleta de dados contínua, envolvendo métricas como tempo de ciclo, taxa de rejeição, consumo de insumos e incidentes de segurança. Esses dados serão comparados com os números obtidos no processo anterior, de forma a validar os ganhos em termos de produtividade, qualidade e segurança.

A análise dos dados será realizada por meio de métodos estatísticos, utilizando gráficos e tabelas para ilustrar os resultados. As melhorias no processo serão avaliadas tanto do ponto de vista quantitativo (produtividade e qualidade) quanto qualitativo (segurança e impacto na operação).

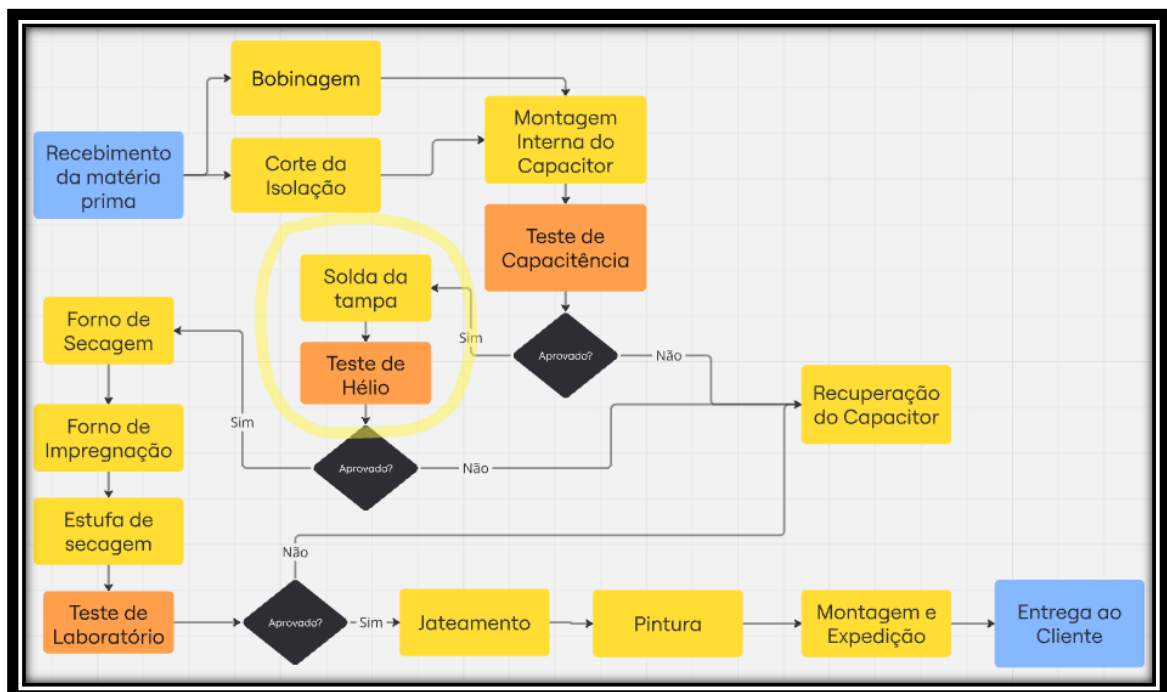
4 APRESENTAÇÃO E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O caso prático será demonstrar o projeto realizado dentro de uma indústria que realiza a fabricação de capacitores de alta potência, localizada na cidade de Jundiaí-SP, no processo que é denominado de “Solda da tampa”. Nesse projeto, serão implementados dois manipuladores robóticos que realizam uma solda MIG/TIG, como também realizam o teste de vazamento com gás hélio. Além disso, o trabalho visa mostrar os desafios da implementação da estação de trabalho e novo processo para que estejam de acordo com as Normas de Segurança e qualidade final esperada.

4.1 Processo Antigo

Para início do projeto foi necessário levantar informações sobre a situação atual da estação de trabalho estudada. O cenário é denominado como “solda da tampa e teste de hélio” e faz parte do processo produtivo de capacitores de alta potência. Segue fluxograma para entendimento:

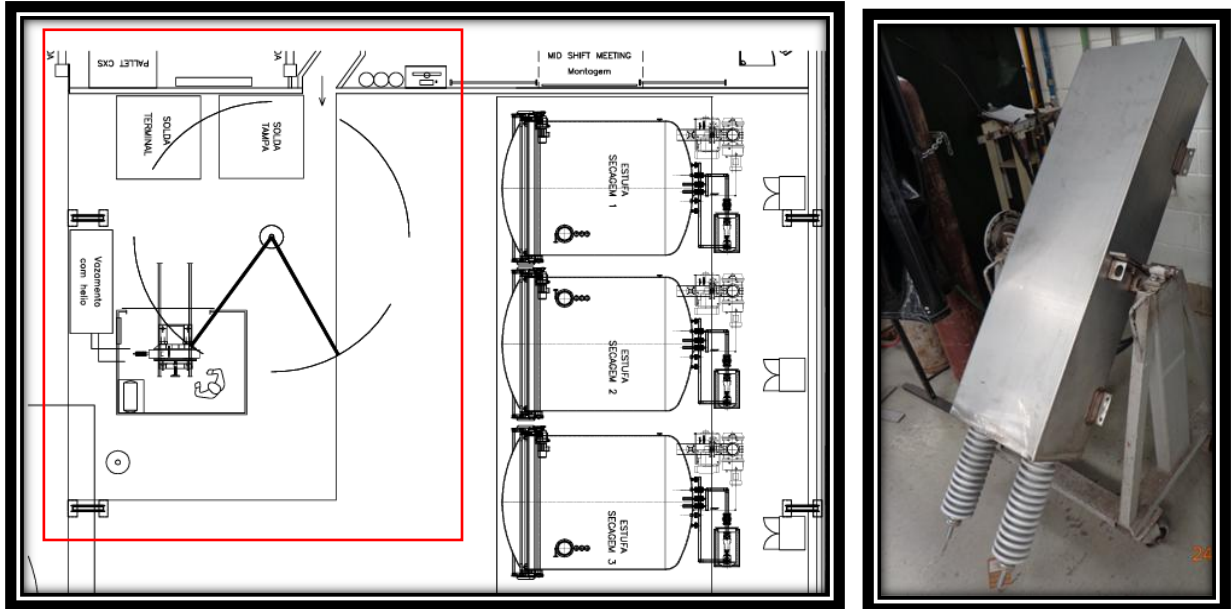
Figura 4 - Fluxograma das Etapas do Processo Industrial



Fonte: Produção do autor

Segue detalhamento da estação em destaque:

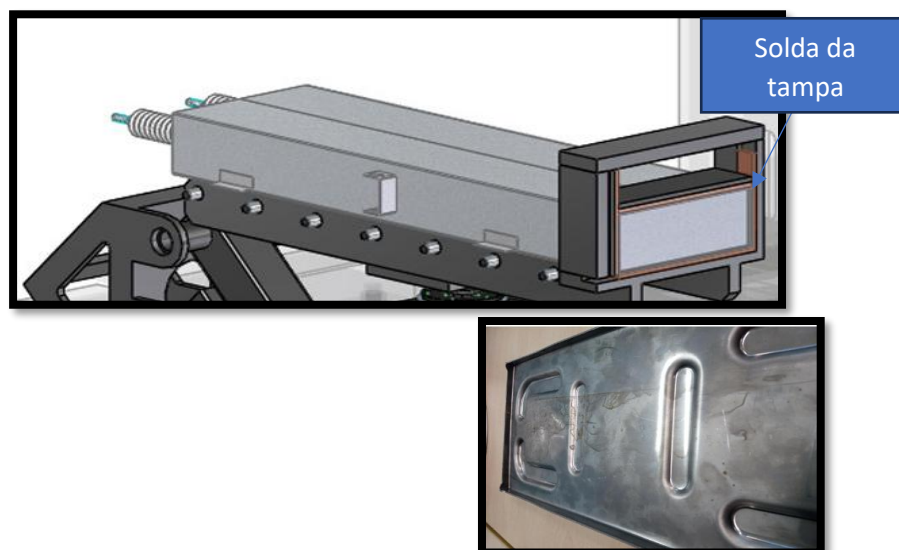
Figura 5 - Estação antes da mudança e Capacitor



Fonte: Produção do autor

Nesse processo, o capacitor, após finalizar sua montagem interna, é direcionado para fechar por completo a “caixa”, soldando a parte de trás com a tampa. O processo de solda é feito totalmente manual, com um operador treinado para essa atividade, em uma cabine de solda. Toda movimentação dos capacitores é feita com uma talha de elevação e um carrinho giratório.

Figura 6 - Tampa do Capacitor



Fonte: Produção do autor

Após finalizar as soldas é necessário realizar uma inspeção em toda extremidade de caixa para verificar se existe alguma anomalia, ou possíveis pontos abertos da solda, logo após essa inspeção física é injetado gás hélio dentro do capacitor, juntamente com um produto de detecção de vazamento colocado onde foi feita a solda. Essa etapa de inspeção de qualidade é muito importante, pois após esse processo o capacitor é abastecido por completo de óleo e teste elétrico, caso tenha algum vazamento pode causar explosões.

O gargalo da produção se dava nesse processo, ele também é o que quantifica a produtividade, ou seja, quantas peças por completo foram montadas no dia. Existiam dias que possuíam peças em estoque entre essa estação de trabalho e a anterior, causando um grande atraso na produção e riscos de segurança para os operadores. Para atingir o faturamento previsto nos próximos anos seria necessário aumentar a produtividade dessa montagem, mais precisamente, dobrar a produção.

Cenário antigo de produção e custo:

Tabela 1 - Cenário antigo de produção

Custos	
Turnos	2
Nº Operadores / Turno	2
Nº Soldadores / Turno	1
Custo/Mês Soldador	R\$ 4.246,00
Custo/Mês Operador	R\$ 2.948,00
Encargos	2,3
Custo de Manutenção 3%	R\$ 29.010,00
Total Mês	R\$ 75.663,20
Total Ano	R\$ 907.958,40

Fonte: dados da pesquisa

Cálculo do custo com mão de obra (sem encargos):

- Operadores: $2 \times 2 \times \text{R\$ } 2.948,00 = \text{R\$ } 11.792,00$
- Soldadores: $2 \times 1 \times \text{R\$ } 4.246,00 = \text{R\$ } 8.492,00$
- Total mão de obra sem encargos: $\text{R\$ } 11.792,00 + \text{R\$ } 8.492,00 = \text{R\$ } 20.282,00$

Mão de obra com encargos:

- $\text{R\$ } 20.282,00 \times 2,3 = \text{R\$ } 46.653,00$

Adição do custo da manutenção:

- $\text{R\$ } 46.653,20 + \text{R\$ } 29.010,00 = \text{R\$ } 75.663,20$ (Total Mês Real)

- **Total Ano:** R\$ 75.663,20 $\times$ 12 = **R\$ 907.958,40**

Tabela 2 - Produção antiga

Produção	
Produção/hora	5 pçs
Total dia	90 pçs

Fonte: dados da pesquisa

Na estação de trabalho possui 2 turnos, com 2 operadores e 1 soldador. A tabela acima mostra a relação de custos de cada trabalhador juntamente com os encargos e custos estipulado de manutenção.

4.2 Viabilidade de melhoria e investimento

Com o objetivo de aumentar o faturamento, a empresa necessitava aumentar a sua produção diária. A demanda está aumentando e os clientes estão cada vez mais rigorosos no processo de suas peças.

Para alcançar os resultados propostos pela empresa, foi necessário realizar uma melhoria de processo, nesse posto de trabalho, justamente por ser o gargalo hoje da produção. Através de reuniões com a equipe, foi definido uma solução, com a automação de integração dos postos de solda e teste de hélio, ou seja, desenvolver um equipamento automatizado que realize todo o processo de solda do capacitor (fundo) e o teste de qualidade, injetando o gás hélio.

Para ter ideias mais concretas sobre a automação desse processo, foi preciso buscar e desenvolver fornecedores da área de automação robótica, como também, o valor de investimento.

Ao longo de 2 meses, pesquisando, desenvolvendo fornecedores, visitas e reuniões técnicas, foi escolhido pelo comitê técnico (Gerência da fábrica, Equipe de Segurança do Trabalho, Qualidade e Engenharia Industrial), a melhor solução para o desenvolvimento do equipamento para automação de soldagem a MIG/ TIG com células robotizadas. Para escolha do projeto e início dos trabalhos, antes mesmo de realizar o investimento da compra do ativo, seria necessário ser calculado o PayBack de investimento.

Para realizar esse cálculo foi necessário buscar informações de custos de operadores e soldadores que trabalham nessa estação como também quantos possuem e quantos serão

realocados para outra área. Foi considerado os encargos e custo de manutenção atual para obter o total do custo do mês e ano, como na tabela a seguir.

Para dobrar a produção, ou seja, 10 peças por hora:

Tabela 3 - Custos de viabilidade da proposta

Custos		
	Método Manual (Hoje)	Automação (Proposta)
Turnos	2	2
Nº Operadores / Turno	2	1
Nº Soldadores / Turno	1	0
Custo/Mês Soldador	R\$ 4.246,00	R\$ 4.246,00
Custo/Mês Operador	R\$ 2.948,00	R\$ 2.948,00
Encargos	2,3	2,3
Custo de Manutenção 3%	R\$ 29.010,00	R\$ 19.340,00
Total Mês	R\$ 75.663,20	R\$ 32.900,80
Total Ano	R\$ 907.958,40	R\$ 394.809,60
Saving Ano	R\$ 513.148,80	
Investimento	R\$ 967.000,00	
Payback / ano	1,88 anos	

Fonte: dados da pesquisa

Cálculo do custo com mão de obra (com encargos):

- $2 \text{ operadores} \times \text{R\$ } 2.948,00 = \text{R\$ } 5.896,00$ (salário base)
- $\text{R\$ } 5.896,00 \times 2,3 = \text{R\$ } 13.560,80$

Total mês com custo de manutenção:

- $\text{R\$ } 13.560,80$ (mão de obra + encargos) + $\text{R\$ } 19.340,00$ (manutenção) = **R\$ 32.900,80**

Total Ano:

- $\text{R\$ } 32.900,80 \times 12 = \text{R\$ } 394.809,60$

Multiplicando a quantidade de turnos, pelo número de operadores/soldadores e encargos temos o custo mensal, tanto antes como depois da automação. Com esse número mensal basta realizar a multiplicação por 12 meses e temos o custo anual.

Realizando a diferença do custo total ano do método manual com o da automação, é observado um Saving de R\$ 513.148,80 anual, como o investimento foi de R\$ 967.000,00 é possível concluir que o Payback é de 1,88, ou seja, o custo do investimento seria pago em aproximadamente 1 ano e 11 meses.

Além disso, outro benefício observado é a redução de três funcionários para apenas 1 operador nessa área, com isso, foi possível realocar duas pessoas para outras áreas que também necessitavam de atenção.

Outro ponto importante é a redução de custo de manutenção, por ser uma área de fluxo constante de peças os equipamentos manuais não suportavam a realização da solda constante, tendo alguns problemas de reparos de célula de solda manual, além de diversos materiais de reposição que iriam se desgastando rápido, como por exemplo bicos de solda.

4.3 Escolha do Robô e início do Projeto

A escolha do robô de solda foi realizada com base em critérios técnicos e operacionais relevantes para o processo produtivo analisado. Foram considerados parâmetros fundamentais como o tipo de soldagem (no caso, MIG/MAG), capacidade de carga para suportar a tocha e eventuais dispositivos, número de eixos (mínimo de 6 para garantir liberdade de movimento e alcance de geometrias variadas), alcance máximo do braço, repetibilidade, velocidade de operação, grau de proteção (IP) contra respingos e ambientes industriais, além da facilidade de programação e integração com sensores e sistemas de visão artificial. Também foi avaliada a compatibilidade com a fonte de solda, a capacidade de controle de trajetória para soldas complexas e, por fim, o custo e retorno sobre o investimento (ROI), estimando ganhos em produtividade, segurança e qualidade.

A decisão final considerou esses critérios combinados, priorizando um robô com 6 eixos, repetibilidade inferior a $\pm 0,08$ mm, alcance de ao menos 1.400 mm, grau de proteção IP67 no pulso, e integração com sistemas de detecção e correção de trajetória. O modelo escolhido foi ideal para a aplicação industrial de soldagem contínua em séries repetitivas.

Tabela 4 - Parâmetros para escolha do robô

Parâmetro	Descrição
Tipo de Soldagem	Define se o robô será utilizado para soldagem MIG/MAG, TIG, por resistência (ponto) ou a laser.

Capacidade de Carga (kg)	Peso máximo que o robô pode suportar, incluindo a tocha de solda e eventuais acessórios.
Número de Eixos	Influencia a flexibilidade e alcance do robô; modelos de 6 eixos são comuns para soldagem.
Alcance (mm)	Distância máxima que o braço robótico pode atingir, impactando a área de trabalho.
Repetibilidade (mm)	Precisão com que o robô pode repetir os mesmos movimentos, fundamental para garantir qualidade na solda.
Velocidade dos Eixos	Afeta a produtividade e o tempo de ciclo da soldagem.
Proteção Contra Ambientes Severos	Avaliação da resistência do robô a poeira, umidade e respingos de solda (grau de proteção IP).
Interface de Programação	Facilidade de programação e compatibilidade com softwares industriais.
Sistema de Controle de Trajetória	Capacidade de seguir trajetórias complexas com precisão, essencial para soldas em geometrias complexas.
Integração com Sensores e Vision System	Permite a adaptação do robô a variações na peça ou no ambiente, melhorando a precisão da solda.
Fonte de Energia e Controle da Tocha	Compatibilidade com a fonte de soldagem e capacidade de ajuste de parâmetros como corrente e tensão.
Custo e Retorno Sobre o Investimento (ROI)	Avaliação do custo inicial, manutenção e economia gerada pelo aumento de produtividade e qualidade.

Fonte: Produção do autor

Para garantir a eficiência e produtividade do processo automatizado, foram aplicadas ferramentas clássicas de engenharia de produção, como o estudo de tempos e movimentos. Esse estudo buscou mapear os movimentos essenciais no processo anterior (manual) e compará-los com o processo automatizado, avaliando ganhos de tempo, redução de esforço físico, aumento de precisão e aproveitamento do tempo ciclo.

Foram observados os seguintes aspectos:

- **Grau de liberdade do robô:** 6 eixos, permitindo movimentos semelhantes ao braço humano (translação e rotação), com articulação nos ombros, cotovelo e punho.
- **Cronometragem de ciclos:** Foram cronometrados os tempos médios de execução da soldagem manual e do robô. O robô apresentou tempo de ciclo 58% menor, com maior repetibilidade.

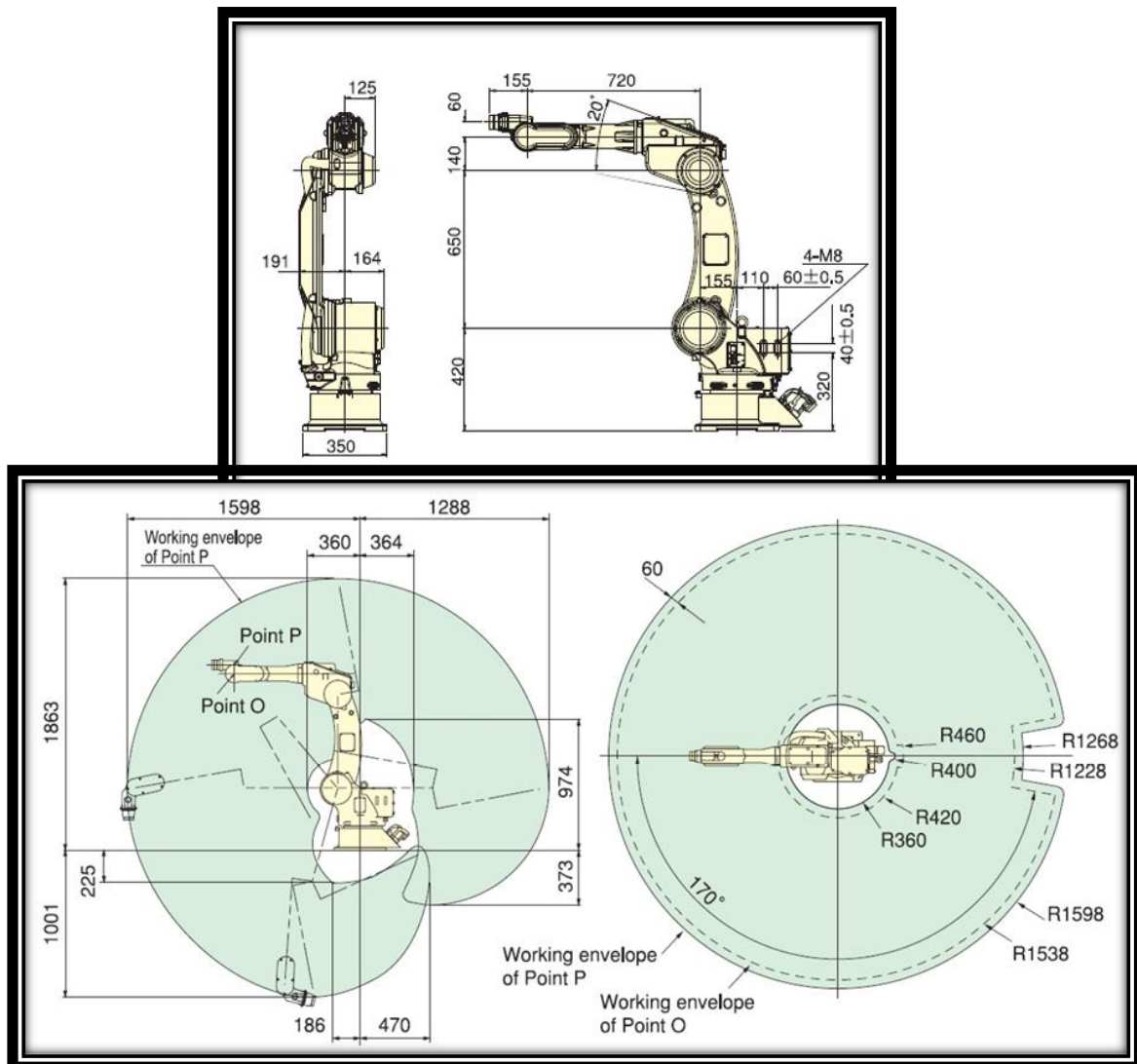
- **Análise de micromovimentos (Therbligs):** O processo manual envolvia movimentos de buscar, posicionar, soldar, inspecionar e ajustar — muitos dos quais foram eliminados ou otimizados no processo robótico.
- **Diagrama homem-máquina:** Foi construído um diagrama comparando a atuação do operador no sistema anterior e atual. No cenário atual, o operador atua apenas na preparação da célula e no monitoramento, enquanto o robô realiza o ciclo produtivo completo, reduzindo o tempo improdutivo humano.

Tabela 5 – Elementos homem-máquina

Elemento	Processo Manual	Processo Automatizado (com Robô)
Grau de liberdade	—	6 eixos
Tempo médio de soldagem/peça	720 segundos (12 min)	300 segundos (5 min)
Peças por hora	5	12
Micromovimentos envolvidos	Buscar, posicionar, ajustar, soldar, inspecionar	Apenas posicionar e monitorar
Repetibilidade	Variável ($\pm 0,5$ mm)	Alta ($\pm 0,08$ mm)
Participação do operador	100% do tempo de ciclo	~20% do tempo (setup e monitoramento)
Atividade simultânea homem-máquina	Não	Sim (monitoramento enquanto o robô executa)

Fonte: Produção do autor

Figura 7 - Representação do robô com os parâmetros



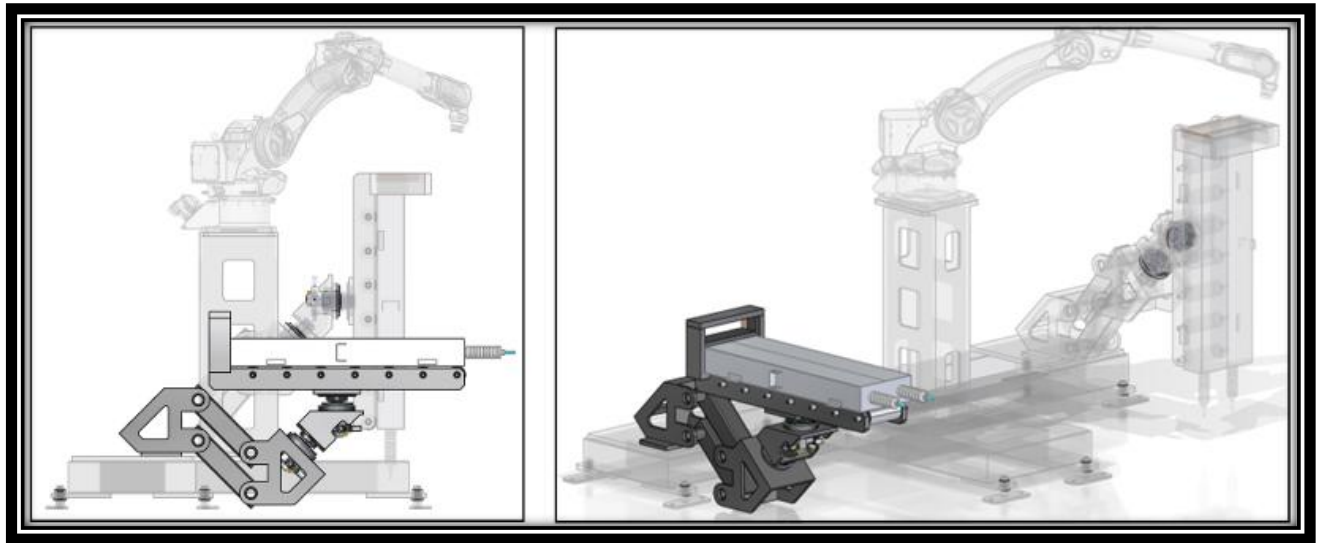
Fonte: Produção do autor

Para que o processo seja totalmente automatizado, a movimentação do capacitor dentro da célula deve também ser feita de forma precisa e automática. Para isso, foi desenvolvido uma mesa de movimentação do tamanho do capacitor, que realiza o giro para soldagem juntamente com o robô de solda.

A peça, ao chegar na estação de trabalho, é retirada do carrinho giratório e posicionado através da talha para a mesa de movimentação da célula de solda, o operador encaixa a tampa no fundo do capacitor e fixa a peça na mesa.

As figuras a seguir demonstram a posição inicial para a carga do gabinete do capacitor.

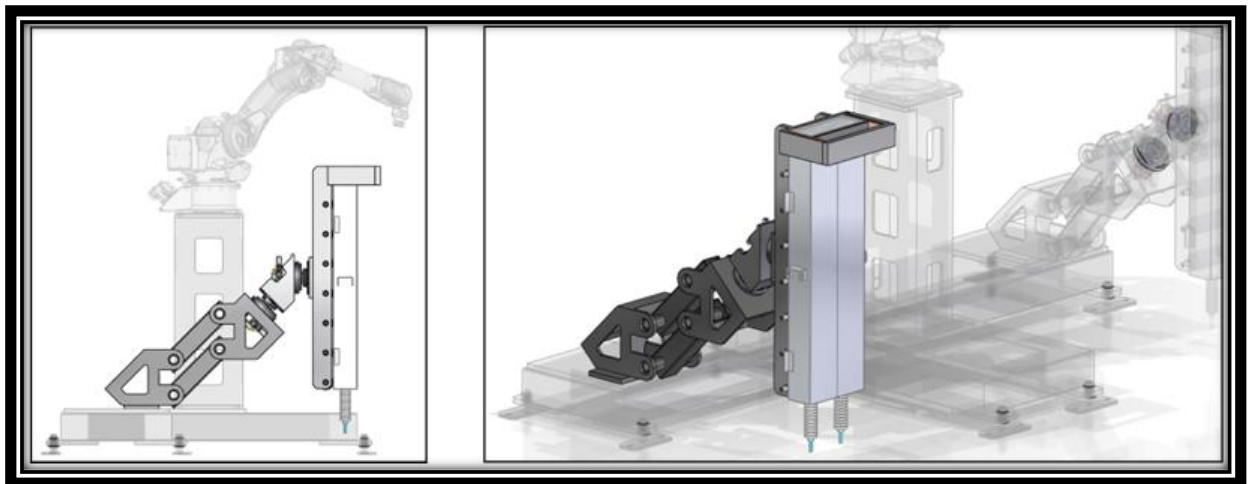
Figura 8 - Posição inicial do capacitor dentro da cabine



Fonte: Produção do autor

Após inserir o capacitor na mesa movimentadora, o equipamento posicionará automaticamente o gabinete do capacitor de soldagem. O equipamento terá 2 eixos rotativos e um braço, todos acionados por servomotores, permitindo precisão e flexibilidade de posicionamento.

Figura 9 - Movimentação do capacitor para soldagem



Fonte: Produção do autor

O processo de soldagem TIG exige um posicionamento preciso da tocha em relação à junta. Para que não tenha problemas com a solda, será utilizado um sensor de medição a laser que escaneará cada gabinete do capacitor a ser soldado para compensar as variações dimensionais e de forma.

Figura 10 - Sensor a laser



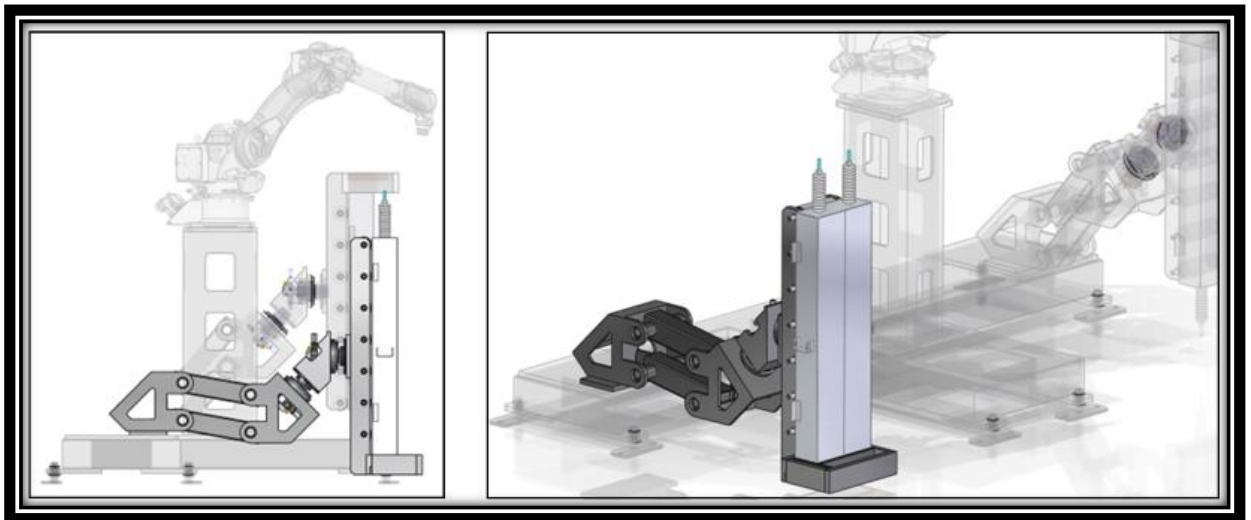
Fonte: Produção do autor

Com as informações obtidas pelo sensor de medição o programa criará um sistema de coordenadas e o robô corrigirá a trajetória de soldagem.

Por fim, para finalizar o processo de movimentação, o equipamento posicionará automaticamente o gabinete do capacitor para a descarga, ficando à disposição de uma talha.

Figura a seguir, ilustra o movimento de descarga do capacitor.

Figura 11 - Movimento de descarga do capacitor



Fonte: Produção do autor

4.3 Testes em Campo

O projeto por completo durou cerca de 8 meses, após ter toda a ideia do projeto já detalhada é necessário realizar testes juntamente com o fornecedor, para isso, foi realizado visitas para acompanhamento e ajustes. Semanalmente eram emitidos relatórios sobre o andamento do projeto para acompanhamento da gerência.

Figura 12 - Documento registro de reunião

SIEMENS

REGISTRO DE REUNIÃO

ET PS CA

+

Início:

23/04/2024 10h30

Término:

23/04/2024 09h00

Assunto:

Visita técnica acompanhamento de automação

Data:

23/04/2024

Local:

Octans Automação – Santo André – São Paulo

Contato:

Massato

Participantes:

Erick Santos (Engenharia, E T PS CA, Siemens Ltda)
Rafael Bruno (Engenharia, E T PS CA, Siemens Ltda)
Massato Sato (Octans automação)

Pauta:

Visita técnica de acompanhamento do processo de automação dos 3 postos.

✓ Etapas de fabricação e montagem.
✓ Acompanhamento do cronograma revisão 03, com data postergada para 25/05.
✓ Checagem das datas de entrega.

Síntese:

- Existem alguns atrasos conforme cronograma revisão 03, o corte a laser da nova estrutura do pórtico ainda não foi liberado, atraso no desenho de detalhamento das chapas. (Massato). Para recuperar os dias de atraso pessoas chaves da Octans trabalharão nesse fim de semana. Acordado com o Sr. Massato.
- Apenas 01 servo-motor que tem data de entrega ainda conflitante com das datas do cronograma, a equipe de compras da Octans está trabalhando para evitar o atraso.
- Não foi constatado a chegada da correia de fibra de carbono responsável pela principal transmissão do sistema de manipulação dos capacitores. (item recorrente) previsão de entrega na próxima semana.
- Foi novamente relatado pelo fornecedor a necessidade de ajustes de usinagem durante as montagens, principalmente nos sistemas de manipulação do capacitor.
- Foi enfatizado, novamente, que a data proposta do cronograma revisão 03, é a última "aceita" pela Siemens.

SIEMENS

REGISTRO DE REUNIÃO

ET PS CA

Segue Fotos:



Fonte: Produção do autor

Para os testes, foi levado as caixas dos capacitores e as tampas para testes de solda. A caixa e a tampa são feitos de aço 304 ou aço 409.

Outro ponto apara realizar é a programação do robô e a comunicação dele com o gabinete de movimentação do capacitor. O fornecedor realizou toda a parte de automação da programação e por solicitação nossa, deixou um layout de fácil entendimento para a utilização futura pelos operadores.

Figura 13 - Layout da tela

MODO MANUAL

REFERENCIAR CONJUNTOS

POSICIONADOR 1

POSICIONADOR 2

ROBO CARTESIANO

SNIFFER

PORTAS

PARÂMETROS

OCTANS AUTOMAÇÃO

ACIONAR RESET EMERGENCIA ACIONAR INSTALAR REFERENCIAMENTO ROBO SOLDA: MODO TREINO ROBO SNIFFER: MODO TREINO ROBO SOLDA: FORA DE POSIÇÃO ROBO SNIFFER: FORA DE POSIÇÃO

HH-MM dd/mm/yy

LIBERA PAUSA DOS EIXOS

ALARMES

PRESSÃO DE ENTRADA 1.23 BAR

PARÂMETROS - DEVELOPER

PARÂMETROS DOS DRIVES

PARÂMETROS DOS INVERSORES

PROGRAMAS CNC

DESATIVA ROBOS

JOG INVERSORES

REFERENCIAMENTO

DESATIVA ALARMES

CARROS DE ENGATE DO GÁS

ALIMENTADOR DE ESTANHO

DESATIVA PORTAS FRONTAIS

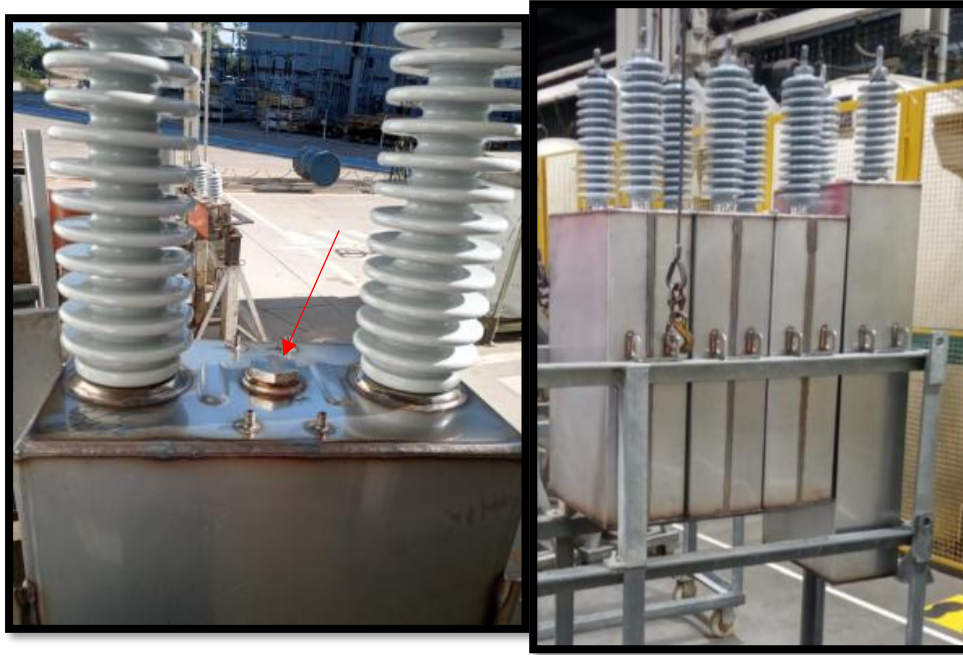
VOLTAR

Fonte: Produção do autor

Ao finalizar os testes, a etapa de solda e a programação do robô com o gabinete estava bem definido, chegando a resultados de nenhum vazamento após a realização da solda.

Após o capacitor ser fechado e antes de estar em posição de retirada, o injetor é acionado e preenche internamente o capacitor através da entrada de impregnação, ao mesmo tempo que é preenchido o braço robótico de detecção realiza uma volta completa em todos os preenchimentos de solda que existe no capacitor e quando algum vazamento é detectado, um sinal sonoro é emitido alertando o operador.

Figura 16 - Ponto de entrada do gás hélio e capacitor



Fonte: Produção do autor

4.5 Validação de uma operação segura

A segurança é um dos fatores primordiais para a implementação de uma melhoria, podendo até desqualificar a mudança se não for seguro totalmente para quem irá operar o equipamento. Para isso, após a aprovação do projeto, é necessário realizar uma Gestão de Mudança, que são vários requisitos que são avaliados através de um *check list*.

Dentro do documento de Gestão de Mudança, existem algumas categorias de risco e dentro de cada uma, são discutidos temas da mudança que vai ser realizada. Por exemplo, na categoria “layout”, dentre outros itens, possui:

- “Foram contempladas as necessidades da NR10 nas alterações planejadas?”
- “Existe necessidade de realizar AET (Análise Ergonômica do Trabalho)?”
- “Há necessidade de revisão do procedimento de instrução de trabalho?”
- “É necessário alterar o mapa de risco da área?”

Para cada item é marcado “sim” ou “não”, com a ação que deve ser realizada, responsável e prazo.

Figura 17 - Formulário de Gestão de Mudança

FORMULÁRIO DE MUDANÇA de LAYOUT - Número de Controle: 039/2023 (EHS)						
FASE DE PLANEJAMENTO						
Título da Mudança: Instalação de sistema automatizado, substituindo os postos de solda do fundo, solda do terminal e teste de estanqueidade com hélio						
Data de preenchimento do formulário: 22/07/2023						
CHECKLIST	SIM	NÃO	N/A	Comentários	Ação ou Medida de Controle. Informar se é Mínima.	Responsável pela ação/ Prazo
Haverá alteração de rotas de fuga/ saídas de emergência?		X				
Haverá redução ou redução de passagens e corredores?		X				
Haverá necessidade de alteração do Projeto de Incêndio (iluminação de emergência/ extintores/ hidrantes/ detectores/ acionadores/ central de alarme/ escadas de emergência)?		X				
Haverá alteração nas instalações elétricas e projetos elétricos?		X				
Foram contempladas as necessidades da NR 10 nas alterações planejadas?	X					
Haverá necessidade de Alteração/ Atualização do Projeto Geral?		X		Verificar junto à S.R.E		
Haverá necessidade de informar a Global Risk?	X	X		Ainda que seja somente em caráter informativo	Notificar a S.R.E sobre as mudanças	Rafael Santos 30/09/23
Existe necessidade de adequação da iluminação de Emergência/ Extintores/ Hidrantes?		X				
A área que sofrerá mudanças possui PCD (Pessoa com deficiência)?		X				
Existe necessidade para instalações especiais de acessibilidade?		X				
Existe a necessidade de adequação do mobiliário para atender a NR 17 - Ergonomia?		X				
Existe a necessidade de realizar AET (Análise Ergonomica da Tarefa)?	X			Necessário analisar a atividade e posto de trabalho após conclusão das alterações	Estudo ergonômico da atividade e posto de trabalho após a implementação	Valdemir da Silva
Há necessidade de revisão de procedimentos e instruções de trabalho?	X			Revisar procedimentos e Instruções de Segurança	Revisar ART da atividade	
Serão gerados novos tipos de resíduos na área?		X				
Haverá utilização de mão de obra terceirizada para a execução da mudança? (Gestão de Terceiros)	X			Atentar-se à necessidade de Integração e Permissões de Trabalho		

<
>
Layout
Instalações Prediais
Equipamentos
Produtos Químicos
Processos + Tecnologia
Função Pessoas
+

Fonte: Produção do autor

A gestão de mudança é feita através de uma reunião presencial com todos os envolvidos no projeto (Engenharia industrial, Qualidade, Segurança do Trabalho, Operação, Gerente da fábrica), nela o Engenheiro de Segurança avalia todos os fatores que podem causar riscos de saúde, riscos ambientais e prediais.

Durante a reunião, após passar por todos os itens de segurança, para cada item que necessita de atenção é emitido uma ação, com responsável e prazo. Para essa melhoria, dentre as diversas ações, é importante destacar as que envolve a NR12 e NR10, as duas normas são de extrema importância para a adequação das proteções do equipamento.

Para a NR10, dentre as ações, destaca-se a atualização do prontuário elétrico do equipamento, identificação, mapeamento completo do painel elétrico e o mapa LOTO.

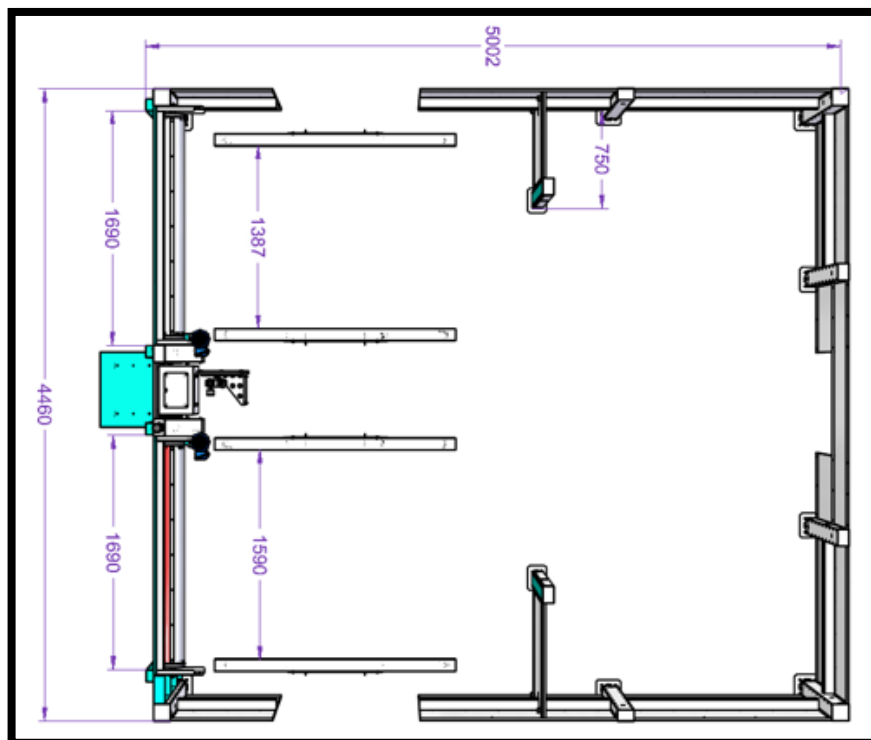
Figura 18 - Painel elétrico



Fonte: Produção do autor

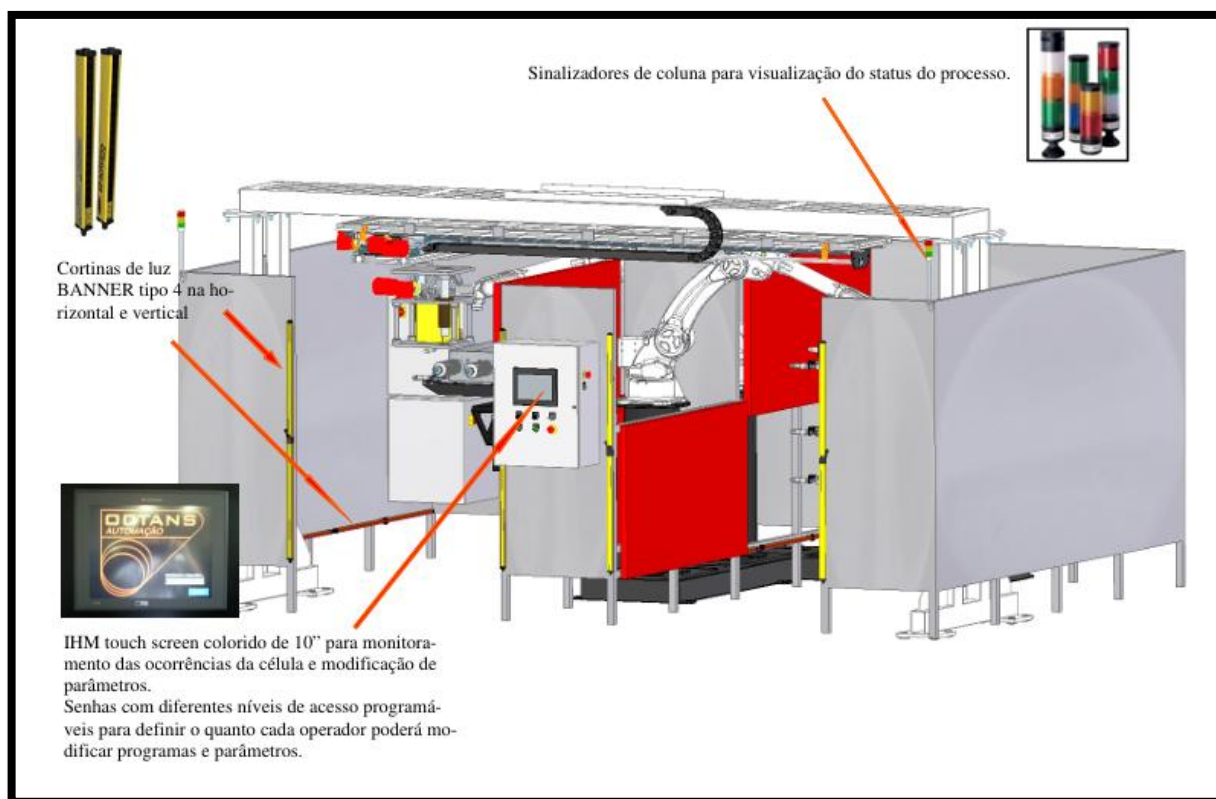
Para a NR12, foi necessário inserir uma célula de proteção ao redor de todos os equipamentos, com cortinas de luz e desligamento automático quando existe invasão do espaço de solda.

Figura 19 - Célula de proteção (NR12)



Fonte: Produção do autor

Figura 20 - Célula de proteção (vista frontal)



Fonte: Produção do autor

Após toda a validação e preenchido o *check list* novamente da gestão de mudança, a operação do teste na fábrica poderia acontecer.

Com a implantação da célula de soldagem automatizada, foram adotadas todas as normas de segurança vigentes, incluindo a instalação de uma cabine de proteção física, sensores de presença, cortinas de luz e intertravamentos, garantindo o isolamento da área de trabalho do robô e prevenindo qualquer tipo de contato acidental. Além disso, foi realizada uma análise dos efeitos da automação sobre a ergonomia e o bem-estar dos colaboradores. Os operadores que anteriormente realizavam a solda manual — uma atividade repetitiva, com exposição a calor, fumaça e posturas inadequadas — foram realocados para funções de operação, monitoramento e inspeção, exigindo menor esforço físico e proporcionando melhores condições de trabalho.

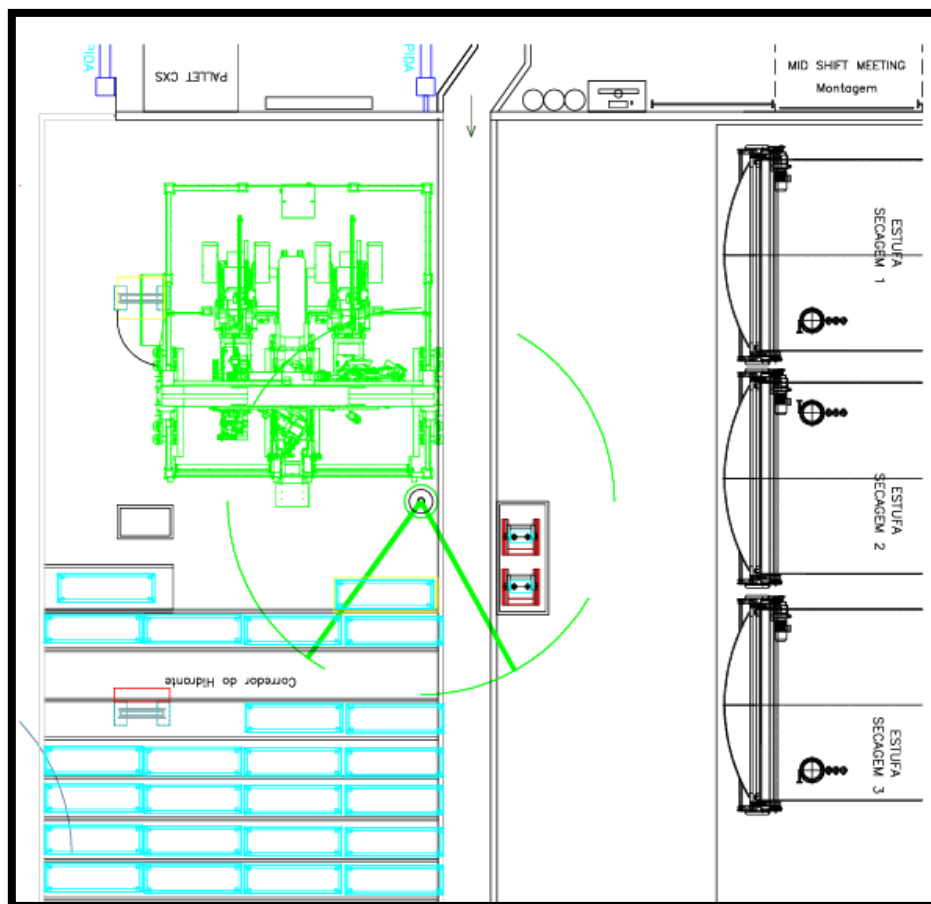
A mudança resultou em redução de riscos ergonômicos, como lesões por esforço repetitivo (LER/DORT), e contribuiu para um ambiente mais limpo, seguro e organizado, alinhado aos princípios de ergonomia e qualidade de vida no trabalho. A NR-17, que trata das condições de conforto e segurança no ambiente de trabalho, foi utilizada como base para a reorganização das tarefas dos operadores, assegurando que as novas funções estivessem em

conformidade com as condições de trabalho adequadas. Com isso, além da melhoria no desempenho da produção, houve um aumento significativo no bem-estar dos colaboradores, que passaram a realizar atividades mais seguras e menos desgastantes fisicamente.

4.6 Implementação na Estação de Trabalho

Com os testes juntamente ao fornecedor realizados e validação da segurança aceita, o projeto pode ser iniciado dentro da estação de trabalho. Primeiro ponto é a mudança do layout, devido a estrutura do equipamento a estação de solda antiga foi retirada.

Figura 21 - Novo *layout* com o equipamento



Fonte: Produção do autor

Com o equipamento no lugar, e acompanhamento da Segurança do trabalho, um ponto fundamental é o treinamento da equipe dos operadores. O treinamento foi realizado através de Instrução de trabalho com todo o detalhamento da operação e registros fotográficos. O processo agora é feito da seguinte forma:

1. Operador recebe o capacitor já montado internamente para realizar o fechamento.
2. Com o auxílio de uma talha, retira o capacitor do carrinho e coloca no gabinete de soldagem.

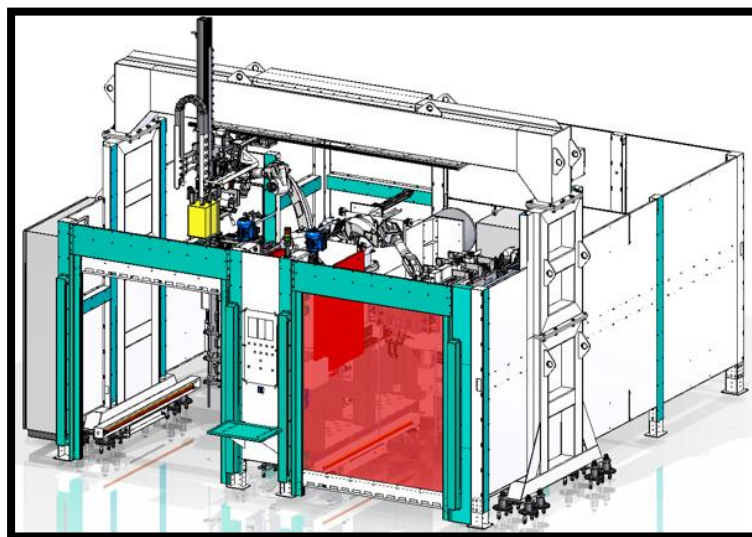
Figura 22 - Retirada do capacitor do carrinho



Fonte: Produção do autor

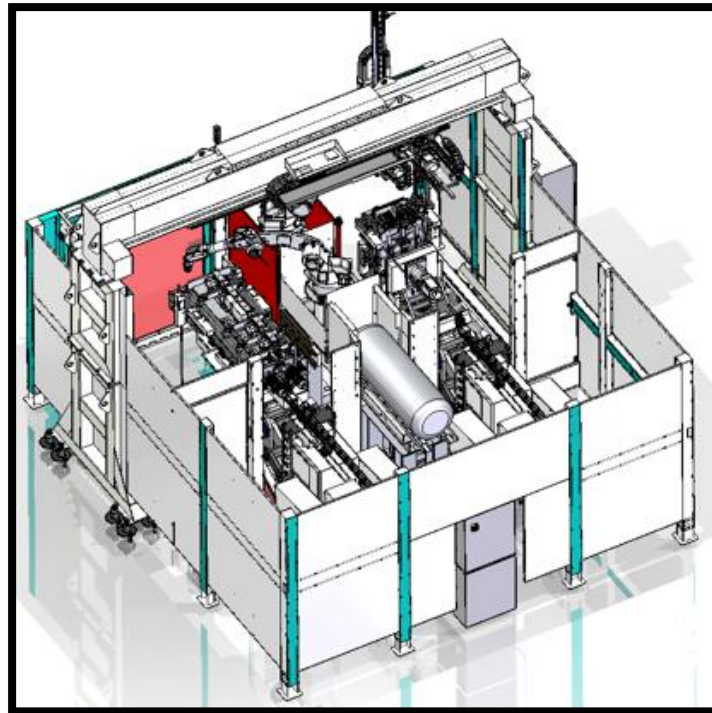
3. Após inserir, encaixa a tampa no capacitor, prende a peça e realize o início ao programa para realizar a soldagem.

Figura 23 - Capacitor dentro do equipamento realizando a solda (vista frontal)



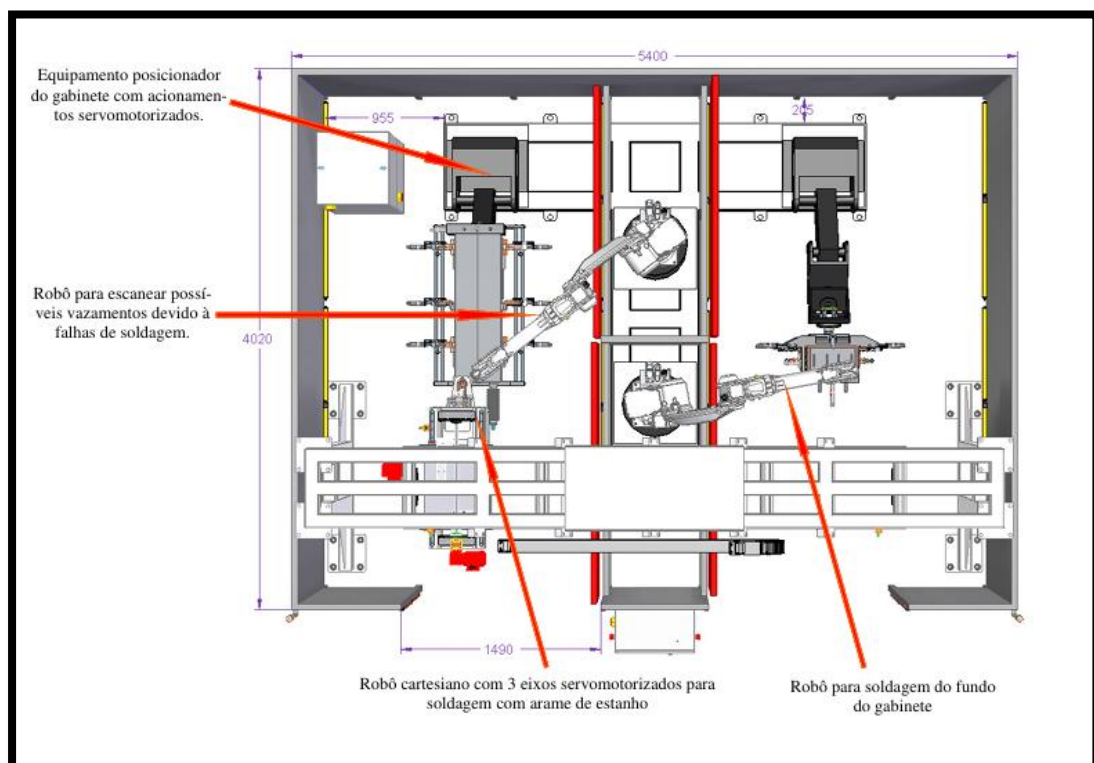
Fonte: Produção do autor

Figura 24 - Capacitor dentro do equipamento realizando a solda (vista superior)



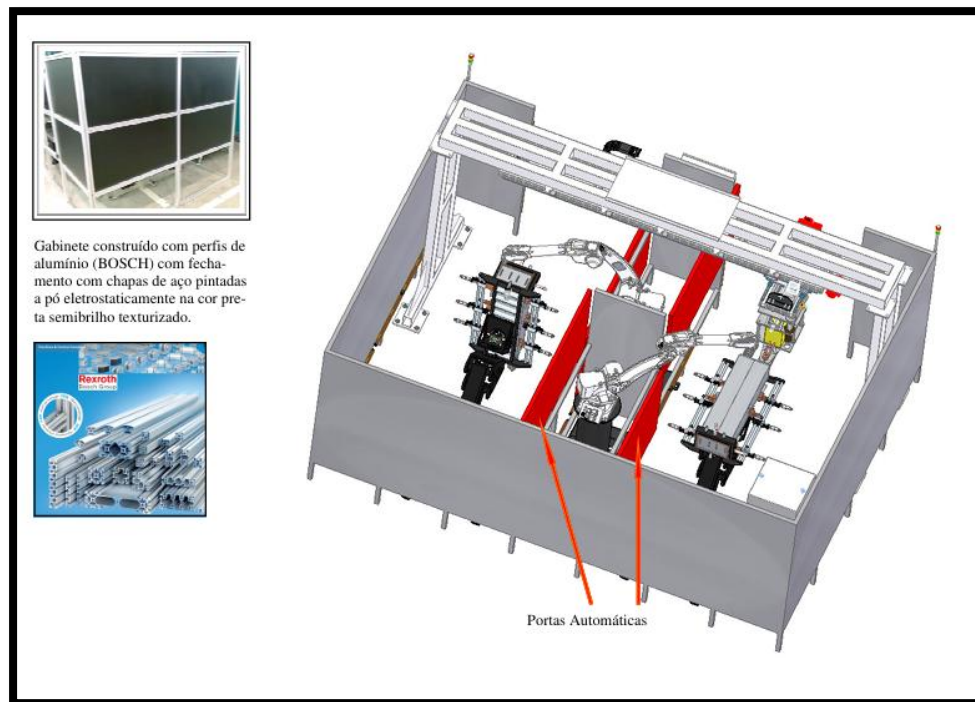
Fonte: Produção do autor

Figura 25 - Processo de soldagem e teste de hélio em execução



Fonte: Produção do autor

Figura 26 - Detalhes da cabine e processo



Fonte: Produção do autor

4. Após completado o ciclo, o capacitor é retirado novamente com o auxílio da talha e posicionado para a próxima estação de trabalho.

Figura 27 - Posicionamento do capacitor soldado no carrinho



Fonte: Produção do autor

Com essa automação a produção diária dobrou de tamanho, chegando a 215 peças diárias montadas completas por dia, um aumento de 2,4 pontos percentuais.

Tabela 6 - Produção antes e depois

Produção (antes)		Produção (depois)	
Produção/hora	5 pçs	Produção/hora	12 pçs
Total dia	90 pçs	Total dia	215 pçs

Fonte: dados da pesquisa

Em relação a produtividade, o objetivo de dobrar a produção foi alcançado, com esse resultado, a empresa pode seguir com o planejamento do faturamento desejado nos próximos anos e atender a demanda de clientes.

As informações levantadas no estudo de viabilidade também se confirmaram, 2 funcionários foram realocados para outras áreas e o custo de manutenção anterior foi retirado. Com um *payback* de 2,5 anos do total investido.

Em relação segurança, todos os itens da Gestão de Mudança (GM) foram realizadas e trouxeram um ganho satisfatório na prevenção de acidentes e fadigas de funcionários, visto que antes os operadores e soldadores ficavam expostos a calor constante e o perigo de queimaduras, além de ser um trabalho repetitivo. Com o módulo de automação, tudo está fechado a partir de uma célula e o operador não tem contato mais com a tocha da solda.

Outro ponto de destaque foi a qualidade dos produtos, primeiramente que a solda passou a ficar totalmente uniforme, sem problemas de vazamento que aconteciam anteriormente quando estava em um processo manual, vazamento de um capacitor que não é detectado durante a produção e é entregue ao cliente pode causar explosões na subestação que ele está instalado.

No processo antigo a verificação de vazamento com o gás hélio era feito em amostras e algumas peças ao passar para o processo seguinte apresentavam vazamentos e precisavam ser reparadas. Com a automação da célula de teste de hélio, esse ponto de qualidade acabou sendo realizado para todas as peças, o que trouxe também valorização da marca para com os clientes.

Tabela 7 - Comparativos de melhoria

Ponto	Antes da Automação	Após a Automação
Produtividade	Baixa produtividade devido ao tempo manual de soldagem e falhas humanas.	Aumento de produtividade: de 5 peças/hora para 12 peças/hora , gerando maior volume de produção em menor tempo.
Qualidade	Falhas de solda frequentes, com inconsistências na qualidade final.	Maior qualidade , com precisão repetível ($\pm 0,08$ mm), eliminando falhas de solda.
Segurança	Riscos físicos elevados devido à exposição dos operadores ao calor, fumaça e movimentos repetitivos.	Maior segurança com a implementação de cabine de proteção, sensores de presença e intertravamentos, reduzindo os riscos de acidentes.
Alocação de Operadores	Operadores executando tarefas repetitivas e fisicamente desgastantes.	Operadores realocados para funções de monitoramento e inspeção , com redução da carga física e aumento do bem-estar.
Custo	Custos elevados com mão de obra e falhas no processo de soldagem.	Redução de custos , com menor necessidade de mão de obra direta na soldagem e menor taxa de retrabalho.

Fonte: Produção do autor

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O presente trabalho teve como objetivo analisar e demonstrar, por meio de um estudo teórico e da aplicação prática, como a utilização de manipuladores robóticos em processos industriais pode contribuir para o aumento da produtividade, da qualidade e da segurança. A partir da fundamentação teórica, foi possível entender o papel da automação na manufatura moderna, destacando os benefícios da robótica industrial, especialmente na soldagem, onde a precisão e a repetibilidade do processo são fundamentais para a eficiência operacional.

A aplicação prática, realizada em uma indústria de capacitores de alta potência na cidade de Jundiaí-SP, permitiu demonstrar os impactos reais da implementação de um manipulador robótico de solda. Os resultados obtidos demonstraram uma significativa redução no tempo de ciclo da operação, indicando um aumento da produtividade. Além disso, a uniformidade e a qualidade das soldas foram aprimoradas, minimizando a necessidade de retrabalho e garantindo maior confiabilidade no produto.

Em relação a segurança, a introdução do robô reduziu a exposição dos operadores a condições de risco que existiam no processo de soldagem, como calor extremo, radiação e gases nocivos. A implementação da célula de segurança em conformidade com a NR-12 garantiu um ambiente de trabalho mais seguro e alinhado às normativas vigentes, reforçando o compromisso da indústria com a proteção de seus trabalhadores.

Dessa forma, o estudo atingiu plenamente seus objetivos, demonstrando que a automação por meio de manipuladores robóticos não apenas otimiza os processos produtivos, mas também melhora a qualidade e a segurança operacional. A análise do caso prático confirmou a viabilidade e os benefícios dessa tecnologia, servindo como referência para futuras aplicações no setor industrial.

A implementação da automação no processo de soldagem trouxe desafios, incluindo a adaptação ao novo processo, que exigiu ajustes no fluxo de produção e calibração do robô. O treinamento dos operadores também foi essencial, pois eles precisaram se adaptar a novas funções de monitoramento e controle. Houve dificuldades na integração do robô com o sistema existente, além de ajustes no layout e infraestrutura, como a instalação da cabine de segurança e sistemas de proteção. Apesar desses desafios, a automação foi bem-sucedida, trazendo ganhos de produtividade, qualidade e segurança.

Assim, conclui-se que a robótica representa um avanço indispensável para a modernização da indústria, contribuindo para a competitividade e a sustentabilidade dos processos produtivos.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F. **Robótica e Automação: Desafios e Oportunidades**. 1. ed. Belo Horizonte: Editora DEF, 2023.

ANSI/RIA R15.06-2012: **Industrial Robots and Robot Systems – Safety Requirements**. Ann Arbor: Robotic Industries Association, 2012.

BRASIL. Ministério do Trabalho e Emprego. **NR-12: Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho-e-previdencia/pt-br/assuntos/seguranca-e-saude-no-trabalho/nr/nr-12>. Acesso em: 07 out. 2024.

CARVALHO, L. **Sistemas Robóticos: Fundamentos e Aplicações**. 1. ed. Porto Alegre: Editora GHI, 2020.

CORRÊA, Henrique L.; GIANESI, Irineu G. N. **Just in time, MRP II e OPT: sistemas de manufatura para competitividade**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

FERNANDES, Orlando R. **Robôs Manipuladores: Tipos e Linguagens**. Universidade do Porto, Engenharia Mecânica, 2006.

FERREIRA, J. **Qualidade e Satisfação do Cliente na Era da Automação**. 1. ed. Florianópolis: Editora STU, 2022.

GOMES, A. **Visão Computacional em Robótica: Aplicações e Desafios**. 1. ed. Campinas: Editora PQR, 2021.

GROOVER, Mikell P. **Automação Industrial e sistemas de manufatura**. 3. ed. São Paulo: Person Education, 2011.

GROOVER, Mikell P. **Automation, production systems, and computer-integrated manufacturing**. 5. ed. New Jersey: Pearson, 2018.

HERMANN, M.; PENTEK, T.; OTTO, B. Design Principles for Industrie 4.0 Scenarios: A Literature Review. In: 49th **Hawaii International Conference on System Sciences (HICSS)**, 2016. p. 3928-3937

IFR - International Federation of Robotics. **World Robotics 2021: Industrial Robots**. Disponível em: <https://ifr.org/industrial-robots/>. Acesso em: 20 set. 2023.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 10218-1:2011: Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots - Part 1: Robots**. Geneva: ISO, 2011.

JANÁRIO, Allyson. **Implementação de Manipuladores Robóticos e sua Contribuição para a Segurança no Ambiente Industrial**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Produção) — Universidade de Santo Amaro, [s.d.]. Disponível em: <http://repositorio.unis.edu.br/bitstream/prefix/649/1/TCC%20ALLYSON%20JANU%C3%81RIO.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2025.

JANÁRIO, Allyson. **Integração de Sistemas Robóticos com Tecnologias de Controle Avançadas**. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia de Controle e Automação) — Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014. Disponível em: https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/9425/2/CT_COALT_2014_2_04.pdf. Acesso em: 18 abr. 2025.

MARTINS, Paulo H.; SILVA, Ricardo M.; COSTA, Thiago L. **Automação e robótica industrial: princípios e aplicações**. 2. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2020.

MELO, R. **Robôs e Eficiência: Um Novo Paradigma na Indústria**. 1. ed. Salvador: Editora VWX, 2023.

MONTANHA, J. **Gestão da Produção e Eficiência**. 1. ed. São Paulo: Editora XYZ, 2021.

NIKU, Saeed B. **Introdução a Robótica**. 2. ed. São Paulo, 2013

OHNO, Taiichi. **O Sistema Toyota de Produção: além da produção em larga escala**. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 1988.

PEREIRA, M. **Eficiência e Automação na Indústria Moderna**. 1. ed. São Paulo: Editora JKL, 2021.

ROSÁRIO, João M. **Robótica Industrial**. São Paulo: Baraúna, 2010

SILVA, T. **Robótica na Indústria: Vantagens e Desafios**. 1. ed. Curitiba: Editora MNO, 2022.

SLACK, Nigel; CHAMBERS, Stuart; JOHNSTON, Robert. **Administração da produção**. 5. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

SOUZA, R. **Qualidade e Segurança na Indústria Contemporânea**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora ABC, 2022.

STEFFEN, A. R. MONOGRAFIA - ESPECIALIZAÇÃO, UTILIZAÇÃO DE UMA TOOLBOX COMO FERRAMENTA DE SIMULAÇÃO DE UM MANIPULADOR ROBÓTICO. Curitiba: [s.n.], 2011. 80 p.

WIDZ, João Antonio. **Análise da Implementação de Robótica em Linhas de Montagem**. 2018. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) — Faculdade de Engenharia Mecânica, 2018. Disponível em: https://fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2018/JoaoAntonioWidz.pdf. Acesso em: 18 abr. 2025.