

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLOGIA PAULA SOUZA  
ETEC TRAJANO CAMARGO  
TÉCNICO EM SOLDAGEM**

**ANDERSON FARIA SIQUEIRA  
EDUARDO APARECIDO GRANZOTTE  
LUCAS EDUARDO TAVARES DEODATO  
ULISSES JOSÉ DA SILVA**

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE MELHORIA DE RESULTADOS PARA  
UM PROCESSO DE SOLDAGEM**

**LIMEIRA/ SP**

**2025**

**CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLOGIA PAULA SOUZA  
ETEC TRAJANO CAMARGO  
TÉCNICO EM SOLDAGEM**

**ANDERSON FARIA SIQUEIRA  
EDUARDO APARECIDO GRANZOTTE  
LUCAS EDUARDO TAVARES DEODATO  
ULISSES JOSÉ DA SILVA**

**DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE DE MELHORIA DE RESULTADOS PARA  
UM PROCESSO DE SOLDAGEM**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Banca Examinadora, como exigência parcial para a obtenção de título de Técnico em Soldagem da Escola Técnica Trajano Camargo sob a orientação do Professor João Augusto Montesano.

**LIMEIRA/ SP**

**2025**

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA.....	2
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. OBJETIVOS GERAIS.....	5
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	5
3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	6
3.1. O PROCESSO DE SOLDAGEM FCAW.....	6
3.2. HISTÓRICO DO PROBLEMA.....	7
3.3. SOLUCIONANDO O PROBLEMA.....	8
4. METODOLOGIA.....	10
4.1. CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES E PESQUISA TEÒRICA.....	10
4.2. EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES DE DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO.....	11
4.3. RECURSOS NECESSÁRIOS.....	14
5. RESULTADOS ESPERADOS.....	15
5.1. TESTE E APLICAÇÃO DO DISPOSITIVO.....	15
5.2. ENSAIOS VISUAIS E MACROGÁFICOS.....	18
5.3. ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE.....	21
6. CONCLUSÃO.....	22
REFERÊNCIAS.....	23

## 1. INTRODUÇÃO E JUSTIFICATIVA

A soldagem semi automática FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) assim como a GMAW (*Gas-Metal Arc Welding*) é guiada pelo operador, que controla a tocha e ajusta os parâmetros durante o processo, enquanto a automação permite a execução contínua sem intervenção direta, utilizando robôs industriais e outros mecanismos, para melhorar a precisão e a eficiência. A automação do processo FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) tem demonstrado significativos ganhos em termos de qualidade do produto e produtividade, reduzindo os índices de defeitos operacionais e otimizando o uso de recursos produtivos, como evidenciado em estudos que mostram redução de custos e aumento da eficiência com a implementação de sistemas automáticos.

A soldagem é um processo fundamental na indústria metalúrgica, permitindo a união e fabricação de peças metálicas complexas. Com a evolução tecnológica e a crescente demanda por produtos de alta qualidade, a escolha do método de soldagem se tornou crucial para garantir a eficiência produtiva e a qualidade das juntas soldadas. Dentro do contexto de uma empresa, que produz equipamentos para a indústria sucroalcooleira, utilizando processos de soldagem, a escolha dos processos e comparação entre os métodos semiautomático e automático de soldagem assume grande relevância. Este trabalho visa realizar uma análise comparativa entre os processos semiautomático e automático de soldagem FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*), aplicados na produção de eixos de transmissão de moenda. Através de uma revisão teórica e análise prática, serão discutidas as melhorias de qualidade percebidas no novo processo desenvolvido e eficiência produtiva para obter o produto.

O objetivo é fornecer uma visão abrangente dos métodos de soldagem FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) aplicados na empresa, contribuindo para a melhoria contínua dos processos industriais e a satisfação dos clientes, mediante a produção de peças metálicas de alta qualidade e confiabilidade. Este estudo também busca avaliar o impacto da automação na redução de custos operacionais e no aumento da produtividade, oferecendo uma base sólida para futuras decisões estratégicas na empresa.

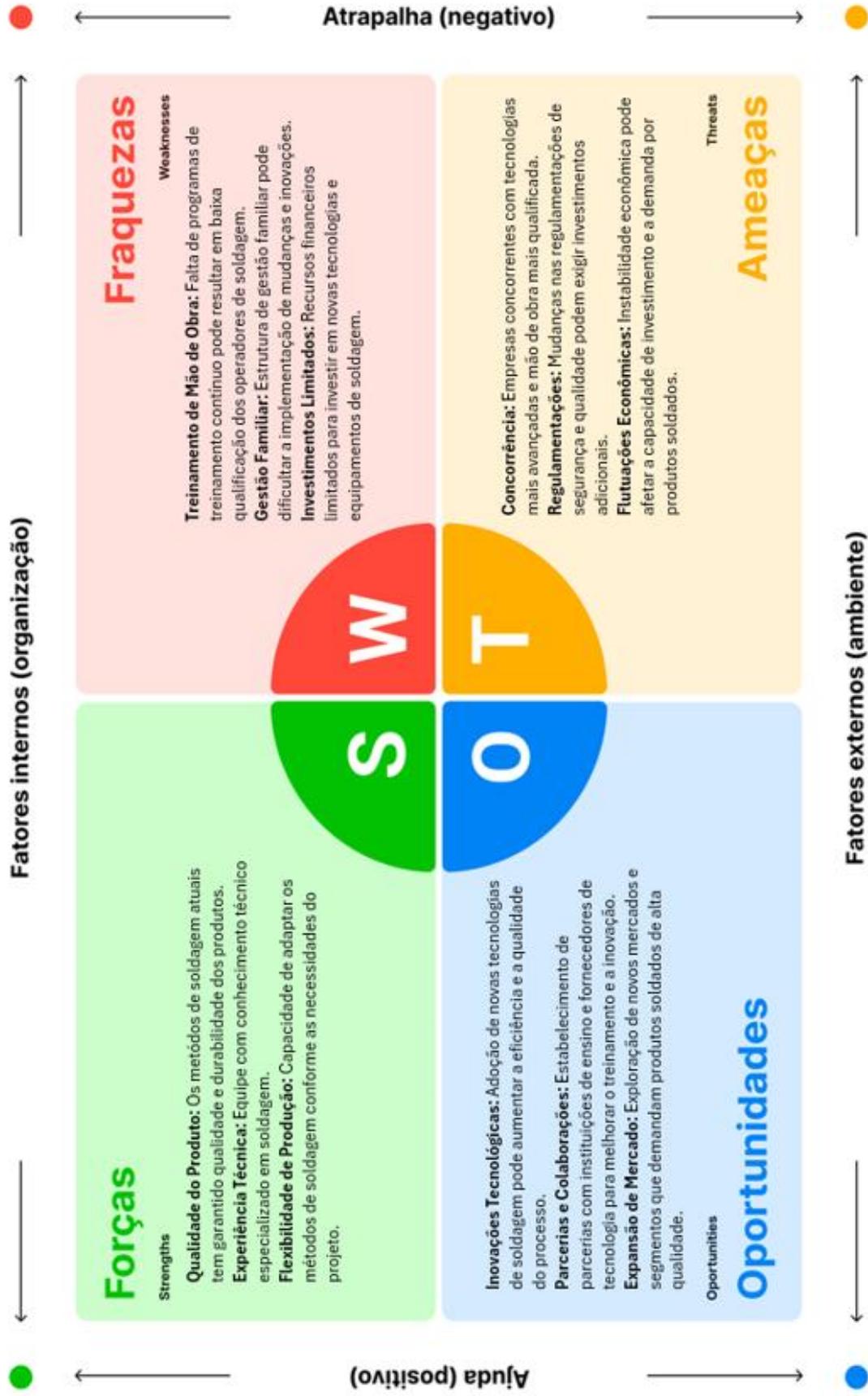
No contexto da análise comparativa entre os processos semiautomático e automático de soldagem FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) dentro de uma empresa, a aplicação da análise SWOT se torna uma ferramenta valiosa para avaliar as vantagens e desvantagens de cada abordagem. A análise SWOT é uma técnica estratégica que permite identificar os pontos fortes, pontos fracos, oportunidades e ameaças associados a um projeto ou processo.

Neste estudo, a análise SWOT será utilizada para comparar os processos de soldagem semi automática e automática FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) na produção de equipamentos para usina sucroalcooleira.

Os pontos fortes incluem aspectos como a eficiência produtiva, a qualidade das soldas e a redução de custos operacionais, os pontos fracos abordarão questões como a necessidade de treinamento para operadores, a dependência de tecnologia avançada e possíveis falhas no equipamento, as oportunidades serão exploradas em termos de melhorias na produtividade, aumento da competitividade no mercado e potencial para expansão dos serviços oferecidos. Por fim, as ameaças consideraram fatores como a concorrência de outras empresas, mudanças tecnológicas rápidas e possíveis impactos ambientais.

Esta análise da Figura 1, permitirá uma visão abrangente dos desafios e oportunidades associados à implementação de processos automáticos de soldagem, contribuindo para a tomada de decisões estratégicas que visem melhorar a eficiência e a qualidade dos produtos na empresa.

Figura.1 – Análise SWOT



Fonte: dos autores.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVOS GERAIS

Desenvolver um dispositivo de baixo custo, capaz de aprimorar o processo de soldagem, assegurando a qualidade do resultado e o aumento da produtividade. Além disso, será realizada uma análise comparativa entre os resultados obtidos com o processo anterior e aqueles alcançados após a implementação do novo dispositivo.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desenvolver um dispositivo para soldagem: Projetar e implementar um sistema automático de baixo custo para soldagem FCAW, adaptável a pequenas e médias empresas, com foco na redução de variações operacionais e aumento da repetitividade do processo.
- Avaliar ganhos produtivos: Comparar tempos de fabricação, custos operacionais e eficiência no uso de recursos entre os processos manual/semiautomático e automatizado, incluindo se possível a análise de retorno de investimento.
- Realizar análise macrográfica das juntas soldadas: Examinar macroestruturas de soldas automatizadas e manuais para identificar diferenças na penetração, geometria do cordão e presença de descontinuidades (poros, trincas, falta de fusão).
- Estes objetivos buscam validar a hipótese de que a automação do FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) melhorará simultaneamente a produtividade (redução de 30 % no tempo de processo) e a qualidade (diminuição de até 90% em defeitos), conforme demonstrado em estudos similares.

### 3. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

#### 3.1. O PROCESSO DE SOLDAGEM FCAW

A soldagem por arame tubular, conhecida pela sigla FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*), é um processo de soldagem semiautomático ou automático que utiliza um eletrodo tubular contínuo, preenchido internamente por um fluxo, para gerar um arco elétrico responsável pela fusão do metal de base e do material de enchimento, formando assim a solda. (INFOSOLDA, 2025). Esse processo pode ser realizado com ou sem a utilização de gás de proteção externo, dependendo da variante empregada.

O funcionamento do FCAW baseia-se na alimentação contínua de um fio de eletrodo tubular, que, ao entrar em contato com a peça de trabalho, estabelece um arco elétrico. O calor gerado funde tanto o fio quanto o metal de base. O fluxo presente no interior do eletrodo desempenha funções essenciais, como a proteção da poça de soldagem contra contaminação atmosférica, desoxidação do metal de solda, adição de elementos de liga e formação de uma camada de escória que protege a solda durante a solidificação. Após o resfriamento, essa escória é removida para revelar o cordão de solda finalizado.

Existem duas principais variantes do processo FCAW:

- FCAW Autoblindado (FCAW-S): O próprio fluxo do eletrodo gera o gás de proteção necessário, dispensando o uso de gás externo. Essa característica torna o processo ideal para aplicações em campo, especialmente sob condições de vento ou ambientes externos, pois o FCAW-S suporta velocidades de corrente de ar superiores a outros processos, como o SMAW.
- FCAW com Gás de Proteção (FCAW-G): Além do fluxo, utiliza-se um gás externo (geralmente CO<sub>2</sub> ou misturas com argônio) para proteção adicional, melhorando a qualidade da solda e reduzindo respingos.

### 3.2. HISTÓRICO DO PROBLEMA

O processo de soldagem manual semi automática FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*), é amplamente utilizado na indústria devido à sua versatilidade e alta taxa de deposição, porém, apresenta desafios significativos relacionados à qualidade, continuidade e produtividade, quando operado manualmente. Esses problemas têm sido reportados em diversos estudos e aplicações industriais, evidenciando a necessidade de melhorias para esse processo.

A soldagem manual FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) depende fortemente da habilidade e atenção do operador para controlar parâmetros críticos como a velocidade de soldagem, o ângulo e a distância da tocha, além da regulagem correta da corrente e tensão. A fadiga e desatenção do soldador podem levar a variações na condução da tocha, resultando em defeitos como mordedura, falta de fusão e cordões desalinhados. Além disso, o controle inadequado do comprimento do arco pode causar curto-circuito momentâneos ou arco longo, afetando a estabilidade da solda e a proteção gasosa, o que compromete a integridade do cordão.

Os defeitos mais comuns encontrados no processo manual FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) incluem porosidade, sobreposição, mordedura e dimensão do cordão de solda. A porosidade, por exemplo, pode ser causada por falhas na proteção gasosa gerada pelo fluxo, quando este estiver úmido, ou devido a correntes de ar ou ao posicionamento incorreto da tocha, permitindo a entrada de contaminantes na poça de fusão. O mau posicionamento das peças no dispositivo de fixação, muitas vezes não sensorizado, também contribui para descontinuidades. Esses problemas geram retrabalhos e descarte de peças, impactando negativamente a eficiência do processo.

A estética do cordão de solda é diretamente afetada pela habilidade do operador e pelas condições do processo. Cordões irregulares, com excesso ou falta de reforço, desalinhados ou com defeitos superficiais, são comuns na soldagem manual FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*), especialmente em operações prolongadas que levam à fadiga do soldador. A variação na velocidade e no ângulo da tocha durante a soldagem manual resulta em cordões com aparência inconsistente, o que pode comprometer a aceitação do produto final, e é para findar esses problemas que a mecanização e automação do processo de soldagem podem auxiliar na indústria.

### 3.3. SOLUCIONANDO O PROBLEMA

A automação do processo de soldagem FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) têm demonstrado melhorias significativas em diversos aspectos, especialmente na qualidade do cordão de solda, na redução de descontinuidades e no aumento da produtividade. Estudos realizados em ambientes industriais, evidenciam que a substituição do processo manual semiautomático pela automação permite o controle rigoroso dos parâmetros de soldagem, minimizando defeitos típicos do processo manual, como porosidade, falta de fusão e respingos.

Além disso, a automação reduz a variabilidade causada pela interferência humana, garantindo maior repetibilidade e padronização das juntas soldadas. A implementação de sistemas automatizados possibilita também a otimização do tempo de ciclo, resultando em uma produção mais rápida e eficiente. A migração do FCAW (*Flux-Cored Arc Welding*) manual para o mecanizado permite a padronização dos parâmetros, melhoria da qualidade do produto final, redução de mão de obra e diminuição dos custos de fabricação. (INFOSOLDA, 2024).

Outro benefício relevante da automação no processo é a melhoria estética do cordão de solda, com redução significativa dos respingos e acabamento mais uniforme, como observado em aplicações no segmento automotivo com soldagem robotizada. Esses ganhos estéticos contribuem para a redução de retrabalhos e melhor aceitação do produto final no mercado.

Do ponto de vista econômico, os estudos indicam que o investimento em automação apresenta retorno financeiro em prazos relativamente curtos (em torno de 2 a 3 anos), devido à redução de rejeições, menor necessidade de retrabalho e diminuição da mão de obra direta. Além disso, a automação oferece maior segurança operacional ao reduzir a exposição do trabalhador a ambientes perigosos e repetitivos.

Em síntese, a automação do processo de soldagem proporciona ganhos expressivos em qualidade, produtividade, segurança e custo, consolidando-se como uma estratégia eficaz para superar as limitações do processo manual e atender às exigências do mercado atual.

Este trabalho é baseado em outras pesquisas e casos industriais apresentados nas referências que serão citadas, que detalham as melhorias alcançadas com a automação do processo FCAW e GMAW.

## 4. METODOLOGIA

Em parceria com a empresa Prolink Correntes, será analisada “in loco” a necessidade de desenvolver e fabricar um dispositivo destinado a aprimorar a segurança, a qualidade e a eficiência da execução do processo de soldagem de eixos e engrenagens utilizados em transportadores.

### 4.1. CRONOGRAMA DAS ATIVIDADES E PESQUISA TEÓRICA

As atividades de pesquisa teórica relacionadas a este projeto serão realizadas na ETEC Trajano Camargo, com o suporte técnico do professor João Montesano, bem como na empresa Prolink Correntes, onde ocorrerão a fabricação do dispositivo e a realização dos testes, conforme estabelecido no fluxograma apresentado na Figura 2.

Figura. 2 – Cronograma das atividades.

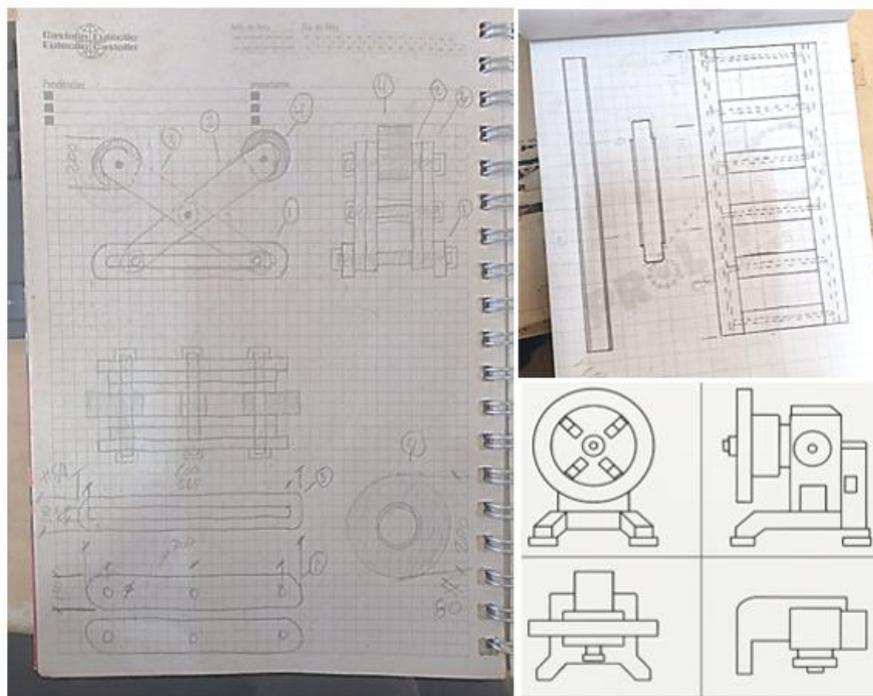
	jul/24	ago/24	set/24	out/24	nov/24	dez/24	fev/25	mar/25	abr/25	mai/25	jun/25
Explicação da metodologia	█	█									
Escolha do tema	█	█									
Plano de Pesquisa	█	█	█								
Desenvolvimento desenhos do dispositivo			█	█							
Corte itens do dispositivo				█	█						
Montagem do Dispositivo					█	█					
Teste do dispositivo						█					
Soldagem corpo de prova							█	█			
Teste corpo de prova								█	█		
Relatório de resultados									█	█	
Finalização do projeto										█	
Apresentação TCC											█

Fonte: dos autores.

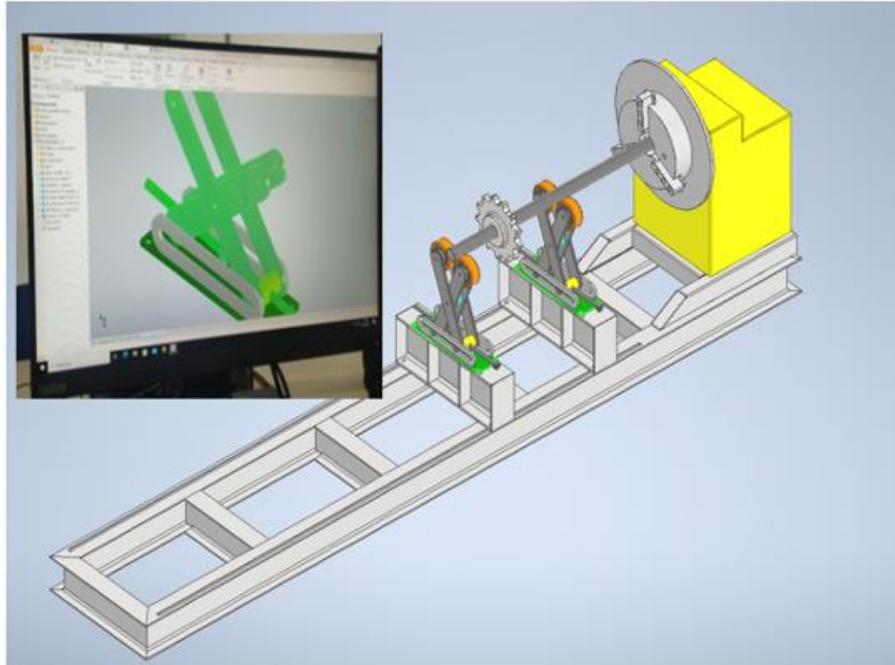
## 4.2. EXECUÇÃO DAS ATIVIDADES DE DESENVOLVIMENTO E CONSTRUÇÃO

O desenvolvimento e a construção do dispositivo tiveram início a partir de uma análise detalhada do processo de fabricação do produto, de acordo com BRANDI (1992), o uso de posicionadores tem influência em vários fatores na soldagem, e por isso se definiu a necessidade desse tipo de aprimoramento. A fase de concepção do projeto foi iniciada com a elaboração de esboços manuais, que possibilitaram a definição do conceito do dispositivo a ser fabricado (Figura 3). Após a finalização dessa etapa inicial, o projeto foi modelado utilizando a ferramenta CAD (Autodesk Inventor), permitindo a identificação de possíveis interferências e erros de projeto por meio de simulações preliminares, conforme a Figura 4.

**Fig. 3** – Esboços feitos à mão.



Fonte: dos autores

**Fig. 4 – Projeto concluído.**

Fonte: dos autores

Após a conclusão da etapa de definição do projeto, deu-se início à fabricação do dispositivo. Inicialmente, foram estabelecidas as etapas do processo produtivo, iniciando-se pela preparação da matéria-prima necessária para sua confecção. Em seguida, foram realizados o corte e a preparação das partes estruturais, garantindo a conformidade dos componentes com as especificações estabelecidas no projeto, conforme Figura 5.

**Figura. 5 – Corte e preparação de matéria prima.**

Fonte: dos autores

Conforme o cronograma estabelecido, após a realização do corte e da preparação da matéria-prima necessária para a montagem e execução do projeto, deu-se início ao processo de montagem e soldagem do dispositivo, conforme a Figura 6. Todas as etapas foram conduzidas em conformidade com as diretrizes especificadas no projeto, garantindo a precisão e a qualidade da estrutura final.

**Fig. 6 – Montagem e soldagem do dispositivo**



Fonte: dos autores

Com a conclusão da fabricação do dispositivo, conforme a Figura 7, iniciou-se a etapa de testes para verificação e ajustes. Foram realizadas simulações para avaliar o funcionamento adequado do sistema, verificando-se o alinhamento e a centralização da peça, bem como a segurança operacional do dispositivo. Essas verificações foram essenciais para garantir a conformidade do projeto com os requisitos técnicos estabelecidos.

**Figura 7 – Verificação e teste de funcionamento**



Fonte: Dos autores

### 4.3. RECURSOS NECESSÁRIOS

Para a execução do projeto, foi necessário um investimento específico, conforme apresentado na Figura 8. Cabe destacar que todos os custos envolvidos foram integralmente financiados pela empresa Prolink, viabilizando a realização das etapas planejadas e garantindo a implementação das melhorias propostas.

**Figura. 8** – Tabela de despesas.

Tabela de custos				
Atividade/Processo	Unidade	Quantidade	Valor	Total
Materia Prima	Kg	677	R\$ 18,00	R\$ 12.186,00
Corte (Serra)	Temp. Hr	8	R\$ 30,00	R\$ 240,00
Corte (Plasma)	Temp. Hr	1	R\$ 180,00	R\$ 180,00
Usinagem	Temp. Hr	9	R\$ 120,00	R\$ 1.080,00
Montagem	Temp. Hr	19	R\$ 200,00	R\$ 3.800,00
Soldagem	Temp. Hr	27	R\$ 270,00	R\$ 7.290,00
Micelaneas	Unid.	1	R\$ 150,00	R\$ 150,00
Rodizios	Unid.	4	R\$ 335,00	R\$ 1.340,00
Posicionador	Unid.	1	R\$ 80.000,00	R\$ 80.000,00
			<b>Total</b>	<b>R\$ 106.266,00</b>

Fonte: Dos autores

## 5. RESULTADOS ESPERADOS

### 5.1. TESTE E APLICAÇÃO DO DISPOSITIVO

Para verificar a eficiência do equipamento desenvolvido, foi realizada a soldagem de corpos de prova com o objetivo de avaliar e comparar a qualidade dos cordões de solda produzidos de maneira automática e manual. Para cada método de soldagem, foram confeccionados dois corpos de prova, seguindo os parâmetros da Figura 9 e procedimentos da Figura 10.

**Figura 9** – Simulação do processo de soldagem automática

Parâmetros de soldagem.			
Etapa	Corrente (A)	Tensão (V)	Observações
Passe de Raiz	150-170	22-24	Penetração firme, arco curto
Enchimento	190-230	24-26	Oscilação leve, múltiplos passes
Acabamento	180-200	23-25	Cordão reto e uniforme

Fonte: Dos autores

**Figura 10 – Procedimento de execução e soldagem**

Procedimento para soldagem	
<p><b>1. Preparação da Junta</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Tipo de junta: ângulo com meia V (chanfro unilateral de 12 mm)</li> <li>- Folga de raiz: 2 a 3 mm</li> <li>- Ângulo de chanfro: 45 graus (recomendado)</li> <li>- Face de raiz (land): 1 a 1,5 mm</li> <li>- Limpeza: escovar ou esmerilhar até metal branco</li> </ul>	<p><b>5. Passe de Acabamento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrente: 180-200 A</li> <li>- Tensão: 23-25 V</li> <li>- Avanço de arame: 6,0-7,0 m/min</li> <li>- Técnica: cordão reto ou levemente oscilado</li> <li>- Foco: acabamento uniforme e fusão lateral</li> </ul>
<p><b>2. Pré-aquecimento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Temperatura: 150-200 grausC</li> <li>- Ferramentas: maçarico ou manta térmica</li> <li>- Medição: termômetro infravermelho ou giz termoindicador</li> </ul>	<p><b>6. Pós-Solda</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Resfriamento controlado com manta térmica ou areia seca</li> <li>- Evitar resfriamento rápido (trincas)</li> <li>- Opcional: alívio de tensões (500-600 grausC por 1h)</li> </ul>
<p><b>3. Passe de Raiz</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Corrente: 150-170 A</li> <li>- Tensão: 22-24 V</li> <li>- Avanço de arame: 5,5-6,5 m/min</li> <li>- Técnica: arco curto com leve oscilação</li> <li>- Objetivo: fusão completa da raiz</li> </ul>	<p><b>7. Inspeção</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Visual: uniformidade, ausência de porosidades e mordeduras</li> <li>- Dimensional: altura e largura do cordão</li> <li>- Ensaios opcionais: Macrografia</li> </ul>
<p><b>4. Passes de Enchimento</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Quantidade: 2 a 3 passes</li> <li>- Corrente: 190-230 A</li> <li>- Tensão: 24-26 V</li> <li>- Avanço de arame: 6,5-8,0 m/min</li> <li>- Técnica: zigue-zague leve</li> <li>- Interpass: manter entre 100-200 grausC</li> </ul>	

Fonte: dos autores

Para realização dos testes, as especificações de desenho técnico do produto foram mantidas, os parâmetros e métodos de soldagem também foram conservados. As Figuras 11 e 12 ilustram perfeitamente as condições que cada teste foi realizado.

**Figura 11 – Simulação do processo de soldagem automática**



Fonte: Dos autores

**Figura 12** – Simulação do processo de soldagem manual



Fonte: Dos autores

Em seguida, foi realizado um ensaio visual para análise da qualidade superficial dos cordões de solda, conforme Figuras 13 e 14.

**Figura 13** – Soldagem Manual EVS



Fonte: Dos autores

**Figura 14** – Soldagem Automática EVS



Fonte: Dos autores

Também foram conduzidas conforme Figura 15, as preparações dos corpos de prova para as macrografias.

**Figura 15** – Corte dos corpos de prova



Fonte: Dos autores

## 5.2. ENSAIOS VISUAIS E MACROGÁFICOS

Ao comparar os resultados obtidos nos corpos de prova durante o ensaio visual, é possível constatar os efeitos positivos advindos da melhoria no processo de soldagem. A Figura 16 apresenta o corpo de prova produzido manualmente, no qual são visíveis descontinuidades superficiais ao longo da face e de grande parte do cordão de solda em seu comprimento.

**Figura 16** – Resultado soldagem manual



Fonte: Dos autores

Por outro lado, a Figura 17 exhibe o corpo de prova confeccionado por meio do processo automatizado. Observa-se, nesse caso, uma melhoria significativa no aspecto visual do cordão de solda, com a ausência das discontinuidades recorrentes no método manual. Como resultado, verifica-se um avanço expressivo na uniformidade e na estética do cordão, evidenciando a eficácia do processo automatizado.

**Figura 17** – Resultado soldagem Automática



Fonte: Dos autores

A segunda análise comparativa entre os processos avaliados foi realizada por meio do ensaio de macrografia, com resultados conforme Figura 18 e 19, no qual também evidenciou uma melhoria significativa na qualidade da solda. Essa melhoria se deve, principalmente, à maior uniformidade dimensional dos cordões de solda e à penetração mais consistente na junta, resultantes do processo automático.

Na Figura 18, observa-se a macrografia do corpo de prova soldado manualmente. Nessa imagem, é possível identificar variações dimensionais entre os cordões adjacentes, além da presença de descontinuidades, como inclusões, falta de fusão na raiz da junta e baixa penetração.

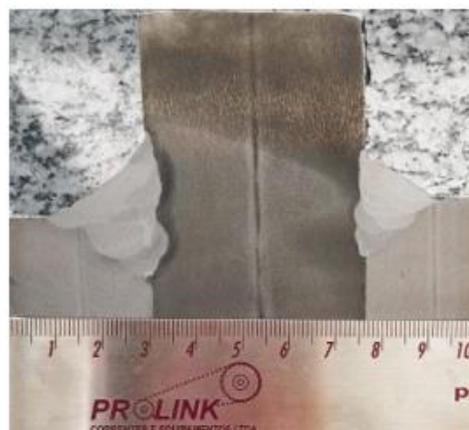
**Figura 18** – Macrografia corpo de prova processo manual.



Fonte: dos Autores

Por sua vez, a Figura 19 exibe a macrografia do corpo de prova submetido à soldagem automática. Observa-se, nesse contexto, uma notável melhoria na uniformidade e nas dimensões dos cordões, além de um avanço considerável na integridade estrutural da solda. Destaca-se, ainda, a penetração mais eficiente na raiz da junta, evidenciando a superioridade do processo automatizado também em relação à qualidade da junta soldada.

**Fig. 19** – Macrografia corpo de prova processo Automático.



Fonte: Dos autores

### 5.3. ANÁLISE DE PRODUTIVIDADE

Para a análise de produtividade foram comparados os tempos de crono análise entre os dois processos de produção das peças, tendo como resultado final os números da tabela da Figura 20.

**Fig. 20** – Tempos do Processo.

Comparativos de tempo			
Processo automático		Processo Manual	
Etapa	Tempo	Etapa	Tempo
Pré-aquecimento	00:15:00	Pré-aquecimento	00:15:00
Solda	01:30:00	Solda	02:00:00
Acabamento	00:15:00	Acabamento	00:45:00

Tempo total: 02:00:00

Tempo total: 03:00:00

Fonte: Dos autores

Com base nos valores da tabela é possível calcular a variação percentual de melhoria na produtividade, para calcular o percentual de melhoria em um processo produtivo, podemos usar a seguinte fórmula disponível no site da *Omni Calculator* (OMNI CALCULATOR, 2024).

$$\text{Percentual de melhoria} = \frac{\text{Novo valor} - \text{Valor antigo}}{\text{Valor antigo}} \times 100$$

Exemplo prático:

- Antes da melhoria, a produção era de 01 unidade a cada 180 minutos.
- Após a melhoria, passou a ser 01 unidade a cada 120 minutos.

$$\text{Melhoria (\%)} = \frac{120-180}{180} \times 100 = 33\%$$

Sendo assim, houve uma melhoria de 33% no processo produtivo.

## 6. CONCLUSÃO

O presente trabalho teve como objetivo principal o desenvolvimento e a implementação de um dispositivo semiautomático para o processo de soldagem FCAW (Flux-Cored Arc Welding), com foco na melhoria da qualidade, produtividade e segurança na fabricação de eixos e engrenagens utilizados em transportadores industriais. A partir de uma análise comparativa entre os métodos semiautomático e automático, foi possível constatar avanços significativos proporcionados pela automação.

Os testes realizados demonstraram que o processo automatizado resultou em cordões de solda com maior uniformidade, melhor acabamento superficial e menor incidência de descontinuidades, como porosidade e falta de fusão. Além disso, a análise macrográfica evidenciou uma penetração mais eficaz e uma estrutura mais homogênea nas juntas soldadas, confirmando a superioridade técnica do novo método.

Do ponto de vista produtivo, a automação contribuiu para a padronização dos parâmetros de soldagem, redução do tempo de ciclo e diminuição da dependência da habilidade do operador, fatores que impactam diretamente na eficiência e na competitividade da empresa. O retorno sobre o investimento, aliado à melhoria da qualidade do produto final, reforça a viabilidade da adoção de sistemas automatizados em ambientes industriais de pequeno e médio porte.

Por fim, este estudo reforça a importância da inovação tecnológica e da melhoria contínua nos processos industriais. Como sugestão para trabalhos futuros, recomenda-se a ampliação da análise para outros tipos de juntas e materiais, bem como a integração de sensores e sistemas de monitoramento em tempo real, visando a criação de um processo de soldagem ainda mais inteligente e autônomo.

## REFERÊNCIAS

OMNI CALCULATOR. Calculadora de Aumento Percentual. Omni Calculator, 2024. Disponível em: <https://www.omnicalculator.com/pt/matematica/aumento-percentual>. Acesso em: 10 jun. 2025.

INFOSOLDA. **Soldagem automatizada:** Um guia completo. Portal Brasileiro da Soldagem. 2024. Disponível em: <<https://infosolda.com.br/soldagem-automatizada-um-guia-completo/>>, acesso em 28 maio 2025.

INFOSOLDA. **Soldagem por arame tubular:** Um guia completo. Portal Brasileiro da Soldagem. 2025. Disponível em: <<https://infosolda.com.br/soldagem-por-arame-tubular-um-guia-completo/>>, acesso em 28 maio 2025.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; MELLO, Fábio Décourt Homem de (coord.). **Soldagem:** processos e metalurgia. São Paulo: Blucher, 1992. *E-book*. Disponível em: <https://plataforma.bvirtual.com.br>. Acesso em: 12 maio 2025.