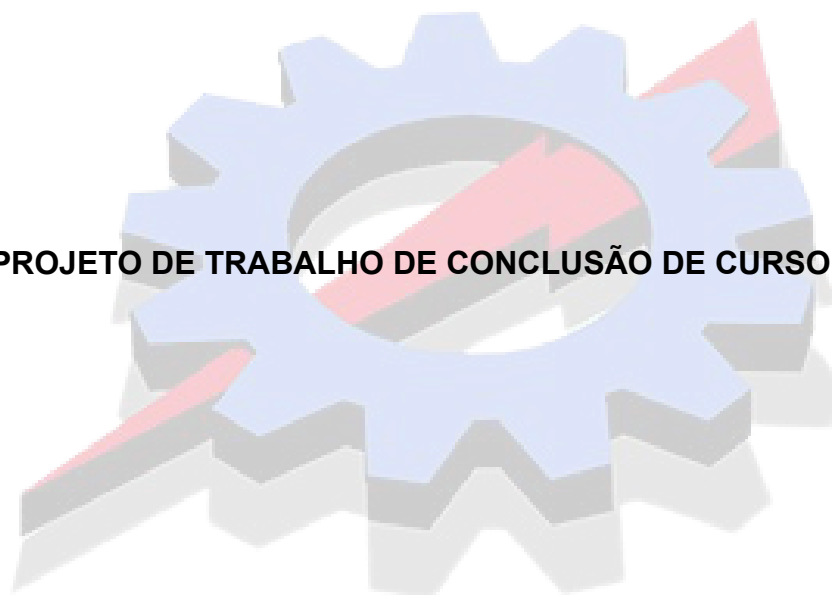


ESCOLA TÉCNICA ESTADUAL FREDERICO GUILHERME SCHMIDT

TÉCNICO EM ELETROMECAÂNICA

PROJETO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO TÉCNICO



**POINTS - PONTEADEIRA DE TRANSFORMADOR DE FORNO DE
MICRO-ONDAS**

**DIEGO RENATO HANNECKER
JOÃO PEDRO DOS SANTOS FONTOURA
MOACIR DOS SANTOS MELCHIOR**

**SÃO LEOPOLDO
2025**

DIEGO RENATO HANNECKER
JOÃO PEDRO DOS SANTOS FONTOURA
MOACIR DOS SANTOS MELCHIOR

**POINTS - PONTEADEIRA DE TRANSFORMADOR DE FORNO DE
MICRO-ONDAS**

Projeto de Trabalho de Conclusão de Curso Técnico apresentado ao Curso de Eletromecânica da Escola Técnica Estadual Frederico Guilherme Schmidt como requisito para aprovação nas disciplinas do curso sob orientação do professor Nereu Farias e coorientação do professor Marcos Rogério.

SÃO LEOPOLDO
2025

RESUMO

Este projeto apresenta o desenvolvimento de uma máquina de solda a ponto, conforme normas ISO, NBR e NR. Construída sobre materiais sucateados, utilizando como componentes elétricos principais os elementos derivados de micro-ondas defeituosos, seu objetivo é disponibilizar tal tecnologia às instituições de ensino e pequenas empresas. A proposta promove equidade, diminuindo a desigualdade educacional, ao fornecer acesso a novas experiências no meio técnico, incentivando microempreendedores, auxiliando-os na entrada do mercado de trabalho, pois possui um custo de implementação quatro vezes menor que os mais baratos modelos disponíveis. A máquina projetada está alinhada com os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030 da ONU, atendendo a (ODS) 8, que promove o crescimento econômico sustentável, a (ODS) 10, que foca na redução de desigualdades dentro e entre diferentes países, e a (ODS) 11, que busca tornar os assentamentos humanos seguros, resilientes, sustentáveis e inclusivos. Seu mecanismo funciona a partir do uso de botoeira e gatilho, nos quais, ao manusear um botão, liga-se a ponteadeira; para acionar os eletrodos, pressiona-se um gatilho; para exercer pressão no material, pressiona-se uma alavanca; concluindo o processo ao soltar os elementos citados. As características físicas foram desenvolvidas em software e fabricadas em oficina mecânica, sendo constituída por elementos mecânicos e elétricos, congruentes com a área técnica de Eletromecânica. Seu uso permite a junção de placas metálicas aplicadas em automóveis, eletrodomésticos e carcaças de eletrônicos. Conclui-se que o projeto atinge seu objetivo principal, ao utilizar de forma funcional um transformador de micro-ondas enquanto mantém um custo de fabricação baixo, devido à utilização de sucata em toda a sua montagem.

Palavras-chave: micro-ondas; solda; sustentável; equidade.

ABSTRACT

This project presents the development of a spot welding machine, in accordance with ISO, NBR, and NR standards. Built from scrap materials, using components derived from defective microwaves as its main electrical components, its goal is to make this technology available to educational institutions and small businesses. The proposal promotes equity, reducing educational inequality by providing access to new experiences in the technical field, encouraging microentrepreneurs, and helping them enter the job market, as it has an implementation cost four times lower than the cheapest models available. The designed machine is aligned with the Sustainable Development Goals (SDGs) of the UN's 2023 Agenda, meeting SDG 8, which promotes sustainable economic growth, SDG 10, which focuses on reducing inequalities within and between different countries, and SDG 11, which seeks to make human settlements safe, resilient, sustainable, and inclusive. Its mechanism works by using a button and a trigger, in which, when the button is pressed, the machine is activated; to activate the electrodes, a trigger is pressed; to apply pressure to the material, a lever is pressed; the process is completed by releasing the mentioned elements. The physical characteristics were developed in software and manufactured in a mechanical workshop, consisting of mechanical and electrical elements, consistent with the technical area of Electromechanics. Its use allows the joining of metal plates applied in automobiles, household appliances, and electronic casings. It can be concluded that the project achieves its main objective by making functional use of a microwave transformer while maintaining low manufacturing costs, due to the use of scrap metal throughout its assembly.

Key-words: microwave; welding; sustainable; equity.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 – Solda por ponto em corte	19
Figura 2 – Ponteadeira manual	20
Figura 3 - Fonte Retificadora	22
Figura 4 - Transformador de microondas	23
Figura 5 - Eletrodos de tungstênio	24
Figura 6 - Exemplos de pontas de eletrodo	25
Figura 7 - Tramontina Disjuntor TDJ3 1P 16A 3kA curva C	26
Figura 8 - Contator Auxiliar 4na Tripolar 220v Jzc4-40 Lukma	27
Figura 9 - Botão Verde Sem Trava À Prova D'água 12mm	28
Figura 10 - Botão Preto Sem Trava À Prova D'água 12mm	29
Figura 11 - Cabos elétricos ilustrativos	29
Figura 12 - CADeSimu 4.0	34
Figura 13 - Diagrama Elétrico	35
Figura 14 - Acionamento do disjuntor	37
Figura 15 - Botão de ligar pressionado	38
Figura 16 - Gatilho pressionado	39
Figura 17 - Fusível rompido	40
Figura 18 - Disjuntor desacionado	41
Figura 19 - Botão de desligar pressionado	42
Figura 20 - Vista geral do protótipo	44
Figura 21 - Cabo de alimentação	45
Figura 22 - Transformador de forno de micro-ondas	46
Figura 23 - Eletrodos presos em haste e base de madeira	46
Figura 24 - Chapas de aço zincado para teste de soldagem	47
Figura 25 - Chapas de aço zincado com o ponto de solda feito	48
Figura 26 - Eletrodo superior	49
Figura 27 - Eletrodo inferior	49
Figura 28 - Eletrodos fixados ao protótipo	50

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Estado da Arte	14
Tabela 2 - Componentes do Circuito Elétrico	36
Tabela 3 - Cronograma 2024	51
Tabela 4 - Cronograma 2025	52
Tabela 5 - Recursos	53
Tabela 6 - Preços estimados	55
Tabela 7 - Análise comparativa de custos	57
Tabela 8 - Análise comparativa de eficiência	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ODS	Objetivos de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
SDGs	Sustainable Development Goals
UN	United Nations
TWIP	Twinning Induced Plasticity
ZTA	Zona Termicamente Afetada
CA	Corrente Alternada
CC	Corrente Contínua
AC	Alternate Current
DC	Direct Current
un	Unidade
NA	Normalmente Aberto
NF	Normalmente Fechado
NR12	Norma Regulamentadora 12
IA	Inteligência Artificial

LISTA DE SÍMBOLOS

W	watt
VA	volt-ampère
VA _r	volt-ampère reativo
J	Joule
A	ampère
V	Volt
VCC	Volt em corrente contínua
K	Kelvin
mm	milímetro
m	metro
°C	Celsius
cal/g°C	calor específico
s	segundos
R\$	Real Brasileiro

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	11
1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO	12
1.2 PROBLEMA	12
1.3 OBJETIVOS	12
1.3.1 Objetivo Geral	12
1.3.2 Objetivos Específicos	12
1.4 JUSTIFICATIVA	13
2 ESTADO DA ARTE	14
2.1 PROCESSO DE SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA	15
2.2 SELEÇÃO DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM	15
2.3 METODOLOGIA NÃO DESTRUTIVA DA QUEIMA DO ZINCO	15
2.4 MICROSTRUCTURE EVOLUTION AND FAILURE MODES	16
2.5 MÁQUINA DE SOLDA PONTO	16
2.6 PONTEADEIRA DE TRANSFORMADOR DE FORNO DE MICRO-ONDAS	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
3.1 SOLDAGEM	18
3.2 SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA	18
3.2.1 Parâmetros de Soldagem por Resistência	18
3.2.2 Soldagem por Ponto	19
3.2.3 Soldabilidade	20
3.3 PONTEADEIRA	20
3.3.1 Componentes da Ponteadeira	21
3.3.1.1 Circuitos Elétricos	21
3.3.1.2 Fonte de Tensão	21
3.3.1.2.1 Fonte Retificadora	21
3.3.1.3 Transformador	22
3.3.1.3.1 Transformador de Micro-ondas	22
3.3.1.4 Eletrodos e Pinça de Solda	23
3.3.1.4.1 Tipos de Eletrodos	24
3.3.1.4.2 Resfriamento e Montagem de Eletrodos	25
3.3.1.5 Chave Geral	25
3.3.1.6 Chave Contatora	26
3.3.1.7 Botões de Comando	27
3.3.1.7.1 Botão de Energização	28
3.3.1.7.2 Botão de Desenergização	28
3.3.1.8 Cabos Secundários	29
4 METODOLOGIA	31
4.1 TIPO DE PESQUISA	31
4.3 TESTES COM TRANSFORMADOR DE MICRO-ONDAS	31
4.3.1 Limites de Potência Impostos	31

4.4 FUNÇÃO DOS COMPONENTES	32
4.4.1 Transformador de Micro-ondas	32
4.4.2 Eletrodos e Pinça de Solda	32
4.4.3 Chave Geral	33
4.4.4 Cabos Secundários	33
4.5 ESQUEMA ELÉTRICO	33
4.5.1 Software de Esquematização Elétrica	33
4.5.1.1 O que é CAdSimu	34
4.5.2 Diagrama Elétrico	35
4.5.2.1 Componentes do Diagrama Elétrico	36
4.5.2.2 Casos Específicos	37
4.6 PROCEDIMENTOS APÓS A MODELAGEM	42
4.7 PROTÓTIPO FUNCIONAL	43
4.7.1 Fotos do Protótipo	44
4.7.1.1 Alimentação	45
4.7.1.2 Transformador	45
4.7.1.3 Eletrodos	46
4.7.1.4 Chapas de teste	47
4.7.1.5 Resultado da soldagem	47
4.8 POSSIBILIDADES DE MELHORIA	48
4.9 MELHORIAS ALCANÇADAS	48
5 CRONOGRAMA	51
6 RECURSOS	53
7 RESULTADOS PARCIAIS	54
7.1 ANÁLISE COMPARATIVA	55
7.1.1 Análise de custos	55
7.1.2 Análise de eficiência	57
REFERÊNCIAS	59

1 INTRODUÇÃO

Os processos de soldagem flexibilizam a indústria por meio de suas variadas utilizações, unindo materiais metálicos de diferentes proporções sem a perda de eficiência mecânica no processo, com sua correta aplicação.

Em meio às variantes disponíveis, a solda por resistência destaca-se por diferentes vantagens, como velocidade, simplicidade e ociosidade de consumíveis, como gases e metais. Dentre seus métodos, a solda ponto dedica-se à união de chapas metálicas por meio da aplicação de pressão e calor em um ponto em comum, por um determinado tempo, variável conforme o material escolhido e sua espessura, por meio de uma ponteadeira.

Ponteadeiras possuem uma gama de orçamentos, que permeiam centenas a milhares de reais, dependendo de sua produtividade e finalidade. Comumente, os modelos mais frequentes são manuais, utilizados por técnicos em trabalhos menores, pneumáticos, para amplas demandas no meio industrial, e automáticos, contendo uma programação que viabiliza a produção constante.

Observando os recursos utilizados em diferentes instituições públicas e privadas de ensino, nota-se o déficit desta variação de equipamentos de solda no aprendizado prático da disciplina. Unindo física e suas vertentes no entendimento do fenômeno da fusão da matéria, em meio a estudos mais aplicados, pela introdução do uso prático da solda, a presença de tal ferramenta proporciona experiência e ampla compreensão ao aluno.

O afastamento de acesso à solda ponto no Brasil vem de sua política protecionista, não tendo participação constante em relações comerciais no mercado global, por não atender às demandas impostas, como taxas (como as cambiais, inflacionárias, de importação, etc.) que geram um preço mais alto em desenvolvimento tecnológico no país, além da desigual expansão do caráter agrícola e diminuição do caráter industrial, em comparação às proporções da década de 70, da economia nacional.

Desse modo, o conjunto das influências econômicas, sobre o acesso à tecnologia abordada, urge pelo desenvolvimento sustentável como solução lógica para a aproximação da mesma, não só de instituições de ensino, como também de microempreendedores com baixo orçamento. O POINTS visa, então, incorporar tal

demanda como uma alternativa objetiva, que engloba as necessidades orçamentárias e a reutilização de eletrônicos inutilizados.

1.1 TEMA E SUA DELIMITAÇÃO

Viabilização técnica e econômica de ponteadeira de solda para o auxílio de instituições de ensino e de microempresas, utilizando um transformador de forno de micro-ondas.

1.2 PROBLEMA

É possível produzir uma ponteadeira, a partir de materiais sucateados de micro-ondas, acessível para as pequenas instituições e empresas?

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Projetar e fabricar, de forma economicamente viável, uma máquina de solda a ponto, utilizando componentes de micro-ondas inutilizados e materiais sucateados diversos.

1.3.2 Objetivos Específicos

Atingir um orçamento final de até R\$750,00;

Alcançar os valores necessários de calor e tempo para que a solda seja eficiente e resistente a choques mecânicos;

Descobrir formas de reciclar materiais para a construção do protótipo gastando o mínimo possível;

Construir um protótipo funcional, que respeite as normas regulamentadoras NR5, NR10 e NR12.

1.4 JUSTIFICATIVA

Ao utilizarmos na montagem do protótipo um transformador de forno de micro-ondas, obtido em um equipamento sucateado, o custo de produção da máquina de solda ponto é minimizado, tornando-a uma alternativa viável para a aquisição de seus componentes e posterior fabricação.

A presença desse maquinário nas instituições de ensino será benéfica, para que os alunos aprendam de forma prática e teórica sobre máquinas de solda, gerando compreensão sobre seu funcionamento e perspectiva quanto ao seu uso. Sua relevância no mercado atual é inegável, uma vez que todas as fábricas de automóveis utilizam-nas no processo de montagem da carroceria, etapa essa automatizada, vinculando seu uso à 4ª Revolução Industrial ao implementar tecnologias envolvendo robótica e IoT. Acima de tudo, o projeto visa alcançar e auxiliar inúmeras organizações e institutos, para uma economia, ensino e futuro melhores, englobando microempreendedores e microempresas que precisem utilizar a solda ponto, visto o alto custo de implementação dessa tecnologia.

Com base em pesquisas sobre preços do maquinário, é comum observarmos valores exorbitantes, impedindo sua acessibilidade, variando entre R\$750,00 a R\$20.500,00.

O projeto POINTS possibilita, portanto, a fabricação de uma máquina de solda ponto derivada de materiais sucateados, na qual o critério mínimo para redução de custos é a utilização de um transformador de forno de micro-ondas sucateado, viabilizando seu uso às instituições de ensino e microempresas, alinhando sua tecnologia à economias emergentes, gerando novas perspectivas aos alunos e promovendo a reciclagem de materiais outrora considerados obsoletos.

2 ESTADO DA ARTE

Neste capítulo, serão apresentados projetos e artigos relacionados ao tema da pesquisa, para compreender o estado passado e atual do conhecimento em relação ao tema. Para isso, abaixo há uma tabela apresentando as pesquisas citadas e, logo após, uma explicação resumida de cada projeto.

Tabela 1 - Estado da Arte

Pesquisa	Autoria	Ano de publicação
PROCESSO DE SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA	ALEXANDRE Q. BRACARENSE	2000
SELEÇÃO DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM A PONTO POR RESISTÊNCIA, BASEADO NA MEDIÇÃO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA ENTRE CHAPAS	VINICIUS C. DO NASCIMENTO	2008
METODOLOGIA NÃO DESTRUTIVA DE PARAMETRIZAÇÃO DA QUEIMA DO ZINCO NO PROCESSO DE SOLDAGEM A PONTO POR RESISTÊNCIA	ADRIANO C. BALDIM, SEBASTIÃO C. DA COSTA, THAIRONE C. S. AGUIAR	2015
MICROSTRUCTURE EVOLUTION AND FAILURE MODES OF A RESISTANCE SPOT WELDED TWIP STEEL	TIAGO COLOMBO, GUILHERME DOS SANTOS, PEDRO TERUEL, JORGE OTUBO, ALFREDO FARIA	2018
MÁQUINA DE SOLDA PONTO	ADRIAN A. VENDRAMI, ANTHONY E. M. MENDES, JÚLIA O. M. PAZ, LUCAS A. VINTENA, LUKA P. MARCIANO, FERNANDA ZENDRON, RYAN A. MILLNITZ, CÁSSIA A. SCHUCK, RICARDO BERGAMO	2022

Fonte: os autores (2024)

2.1 PROCESSO DE SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA

A pesquisa aborda o processo de soldagem por resistência, destacando a importância de três fatores principais: aquecimento, tempo e pressão. A ponteadeira de solda é um dispositivo essencial nesse processo, onde eletrodos não consumíveis pressionam as peças, permitindo que uma alta corrente elétrica passe gerando calor suficiente para fundir a região de contato entre as peças, conforme a Lei de Joule. Existem diferentes tipos de solda a ponto, como a solda direta, solda em série e solda de topo a topo, cada uma com suas especificidades na aplicação da corrente elétrica e no controle da qualidade da solda. A soldagem por resistência também inclui métodos como soldagem por projeção e solda por costura, adaptados para diferentes aplicações industriais, como na fabricação de tanques de gasolina e catalisadores.

2.2 SELEÇÃO DE PARÂMETROS DE SOLDAGEM

A pesquisa examina a aplicação da solda a ponto por resistência elétrica em produção em série, destacando a necessidade de ajustes programáveis nos parâmetros de soldagem devido a variações no tipo e espessura do material. Em operações manuais, o operador deve trocar o programa para adaptar-se a diferentes condições, o que pode levar a erros. O estudo investiga a possibilidade de ajustar os parâmetros de soldagem baseando-se na medição da resistência elétrica das chapas. Experimentos mostraram que é possível determinar a resistência elétrica das combinações de chapas com seis ciclos, e que a variação da resistência é suficientemente consistente para usar esse princípio na separação de combinações por resistência elétrica, considerando espessura e revestimento. A técnica "Queima do Zinco" (burn-zinc) foi definida e um procedimento experimental foi proposto para otimizar os parâmetros de soldagem em chapas galvanizadas.

2.3 METODOLOGIA NÃO DESTRUTIVA DA QUEIMA DO ZINCO

O projeto trata da soldagem de aços galvanizados, muito usados na indústria automotiva por sua resistência à corrosão e baixo custo, através do processo de

soldagem a ponto. Devido à camada de zinco desses aços, utiliza-se a técnica de "burn zinc" (queima do zinco) para minimizar os efeitos negativos do zinco durante a soldagem. O estudo investigou um método não destrutivo para remover adequadamente essa camada de zinco, utilizando um sensor para registrar o deslocamento do eletrodo baseado na expansão térmica da chapa. Foram realizados experimentos variando a corrente e o tempo de preaquecimento, com os resultados sendo analisados e apresentados em gráficos. As evidências indicaram que o sinal de deslocamento do eletrodo é um método eficiente para determinar os parâmetros adequados de "burn zinc" na soldagem a ponto de chapas de aço galvanizadas.

2.4 MICROSTRUCTURE EVOLUTION AND FAILURE MODES

Este estudo examina a microestrutura, ensaio de tração quasi-estático e modos de falha de um aço TWIP (Twinning Induced Plasticity) soldado a ponto por resistência. Foram produzidos pontos de solda variando os parâmetros principais: corrente de soldagem, tempo de soldagem e força do eletrodo. Os mapas de dureza por microindentação mostraram diferenças significativas de dureza entre a zona fundida, a zona termicamente afetada (ZTA) e o metal-base. A zona fundida apresentou menor dureza, facilitando falhas interfaciais durante ensaio de tração-cisalhamento. No entanto, com alto aporte térmico, o modo de falha mudou para parcialmente interfacial e arrancamento, aumentando a resistência em tração-cisalhamento e a capacidade de absorção de energia, conforme confirmado por microscopia eletrônica de varredura.

2.5 MÁQUINA DE SOLDA PONTO

Este projeto focou na restauração e aprimoramento de uma máquina de solda ponto no Instituto Federal Catarinense, campus Blumenau. A solda ponto é amplamente utilizada, desde aplicações domésticas até a indústria automobilística, operando pela focalização de uma corrente elétrica através de um eletrodo não consumível, aquecendo e fundindo o material entre duas hastes. O projeto substituiu o eletrodo original de latão, com ponto de fusão de cerca de 900 °C, por um de tungstênio, com ponto de fusão de 3400 °C, oferecendo melhor condução e menor

perda de energia. Embora o protótipo não seja adequado para uso industrial, ele demonstrou eficiência em menor escala. Testes mostraram que, para uma solda de qualidade, a peça deve estar reta e limpa, pois ondulações concentram energia e comprometem a solda. A restauração e aprimoramento foram considerados bem-sucedidos pela equipe.

2.6 PONTEADEIRA DE TRANSFORMADOR DE FORNO DE MICRO-ONDAS

Este projeto integra conhecimentos adquiridos de estudos anteriores e pesquisas adicionais para alcançar economia monetária e eficiência a baixo custo. Ele visa melhorar uma máquina de solda ponto utilizando um transformador recuperado de um forno de micro-ondas. A ideia é utilizar tecnologia acessível para otimizar o desempenho da máquina, mantendo ou melhorando sua capacidade de soldagem sem comprometer a qualidade do processo. Essa abordagem não apenas reduz custos, mas também aproveita recursos disponíveis de forma criativa, promovendo uma solução sustentável e eficaz para a aplicação da solda ponto em diversas áreas, desde o uso doméstico até aplicações industriais.

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 SOLDAGEM

Segundo MARQUES, Paulo Villani, 2005, soldagem é o “Processo de união de materiais usado para obter a coalescência(união) localizada de metais e não-metais, produzida por aquecimento até uma temperatura adequada, com ou sem utilização de pressão e/ou material de adição”.

3.2 SOLDAGEM POR RESISTÊNCIA

Trata-se de um tipo de soldagem no qual duas peças são ligadas entre si em estados específicos de sua estrutura sob pressão, sem adição de materiais.

3.2.1 Parâmetros de Soldagem por Resistência

Existem três fatores que influenciam na soldagem por resistência, sendo eles o **aquecimento** (Efeito Joule), **tempo** e **pressão**.

De acordo com Correia (2017), “as peças a serem soldadas são pressionadas uma contra a outra, por meio de eletrodos não consumíveis, fazendo passar por estes uma alta corrente.”

A corrente que passa entre as peças ocasiona, segundo a Lei de Joule ($Q = K \times R \times I^2 \times t$), um calor proporcional à resistência elétrica, intensidade de corrente e tempo, que deverá ocasionar a fusão entre as regiões de contato das peças.

Em uma situação direta, para soldar uma chapa na outra, deve-se calcular a potência necessária levando em conta o material das chapas, a espessura delas, a área que quer soldar, o tempo que vai ficar soldando e a pressão do contato dos eletrodos com as chapas.

Para calcular a potência, precisa-se saber a energia necessária para pôr essa área das duas chapas em ponto de fusão, que é a equação:

$Q = m \times c \times \Delta T + m \times L_f$, onde:

Q = energia necessária (em J)

m = massa que quer fundir (em g)

c = calor específico do material (em cal/g°C),

ΔT = temperatura que deve variar para alcançar a temperatura de fusão (em °C)

L_f = calor necessário para mudar o estado do material (em cal/g).

Após saber a energia necessária, deve-se calcular a potência do transformador, utilizando o cálculo $E = P \times t$, onde:

E = energia necessária para a fusão (em J)

P = potência que o transformador deve fornecer (em W)

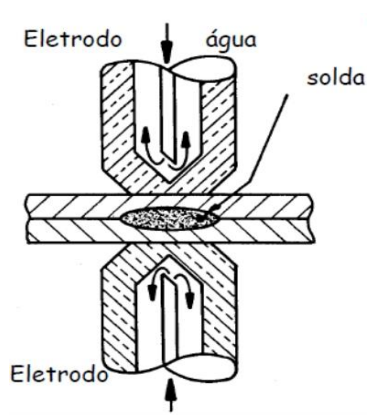
t = tempo que o transformador estará ativo (em s)

3.2.2 Soldagem por Ponto

Segundo Guilherme (2013) a soldagem por pontos trata-se de um modelo de soldagem por resistência onde o processo de solda ocorre por meio de pressão e aquecimento de uma região comum a duas peças. Uma vez que os pontos nas superfícies em contato entram em fusão, a pressão entre as peças é mantida até que ambas solidifiquem, enfim afastando os eletrodos.

As principais vantagens observadas no processo são a alta velocidade de uso, a economia, a precisão dimensional obtida e a “adaptabilidade para automação em montagens de chapas em linhas de fabricação-robotização”(CORREIA, 2017). Dentre as desvantagens comuns, está a dificuldade em manutenção e reparo, o que pode ser desenvolvido e superado, o valor do equipamento de solda, problema este que é o tópico principal neste projeto, a demanda de energia e a baixa resistência à tração e à fadiga, quando comparado a outros processos de soldagem.

Figura 1 - Solda por ponto em corte



Fonte: Processos de Soldagem (2024)

3.2.3 Soldabilidade

Trata-se da facilidade que os materiais possuem para unirem-se através da solda, mantendo as propriedades mecânicas dos materiais originais em uma série contínua e sólida.

A fim de calcularmos a soldabilidade, utilizamos a seguinte equação:

$W = [R / (F \cdot kt)] \cdot 100$, onde:

W=Potência

R=Resistividade

F=Ponto de fusão

k=Condutividade térmica

Para definirmos a condutividade térmica, utilizamos a equação: $kt = k(\text{material}) / k(\text{cobre puro})$.

3.3 PONTEADEIRA

É a máquina responsável por realizar a solda ponto. Pode ser móvel, fixa, industrial, sempre contendo em sua constituição uma pinça de solda acionada por sistema mecânico, cilindro pneumático ou hidráulico, um sistema pneumático ou hidráulico e eletrodos de solda.

Figura 2 - Ponteadeira manual



Fonte: Soldas Brasil

3.3.1 Componentes da Ponteadeira

3.3.1.1 Circuitos Elétricos

Circuito elétrico é um conjunto de equipamentos que pavimentam a passagem da corrente elétrica para fins específicos. Desse modo, é uma ligação de dispositivos, como geradores, resistores, receptores, capacitores, indutores, etc., feita por um fio condutor que permite a passagem de cargas elétricas pelos elementos do circuito. A corrente elétrica passa pelo circuito graças à aplicação de uma diferença de potencial elétrico, produzida por uma fonte de tensão.

3.3.1.2 Fonte de Tensão

“Fonte de tensão é qualquer dispositivo que gere uma força eletromotriz entre seus terminais ou derive uma tensão secundária de uma fonte primária de força eletromotriz”

3.3.1.2.1 Fonte Retificadora

Existem dois tipos de fonte de tensão, a DC e a AC, também conhecidas como CC e CA, para Corrente Contínua e Corrente Alternada. Em micro-ondas encontramos fontes CA.

A fonte de corrente alternada permite que o sentido da corrente elétrica em seus terminais alterne entre positivo e negativo. No caso de nosso projeto, utilizaremos uma Fonte Retificadora de 24V. Ela recebe a corrente alternada(CA) e a transforma em corrente contínua(CC) a 24V, direcionada aos sistemas de comando, enquanto mantém os padrões da CA ao transformador. O modelo selecionado é uma Fonte de Tensão Elétrica FTL-2x 24vdc/50ma c/ adaptador de trilho Novus.

Figura 3 - Fonte Retificadora



Fonte: Mercado Livre (2025)

3.3.1.3 Transformador

Transformadores são dispositivos elétricos utilizados para regular a tensão elétrica, por meio da indução eletromagnética, em circuitos de transmissão ou consumo de energia elétrica. Consistem em dois enrolamentos de fios, primário e secundário, também conhecidos como bobinas, envolvidos em um núcleo metálico. A passagem de uma corrente elétrica alternada no enrolamento primário induz à formação de uma corrente elétrica alternada no enrolamento secundário.

A proporção entre as correntes primária e secundária depende da relação entre o número de voltas em cada um dos enrolamentos.

Se um transformador baixa uma tensão elétrica, ele automaticamente aumenta a intensidade da corrente elétrica de saída e vice-versa, mantendo sempre constante a potência transmitida, dada pelo produto da corrente pela tensão.

3.3.1.3.1 Transformador de Micro-ondas

O transformador de micro-ondas é projetado para corrente alternada(CA). Seguindo as informações dispostas no funcionamento do transformador, especificado no tópico 3.3.1.3 - Transformador, neste caso os condutores positivo e

negativo serão introduzidos à bobina primária, enquanto na bobina secundária terá um único terminal, com a saída única do condutor positivo. O condutor restante será aterrado.

Figura 4 - Transformador de microondas



Fonte: Eletro 112 (2024)

3.3.1.4 Eletrodos e Pinça de Solda

É o componente que possibilita a soldagem. Eletrodos são componentes mecânicos em formatos cilíndricos, comumente feitos de ligas de cobre, no que diz respeito aos usos da soldagem por ponto, pelos quais a corrente elétrica passa gerando calor.

Ele entra em contato com a peça e trabalha em condições extremas, desse modo, determina-se que este deve seguir rigorosamente características como: condutibilidade elétrica e térmicas elevadas; alta resistência mecânica; tendência nula ou muito baixa a formar ligas com o material a ser soldado; e trabalho com devido resfriamento de sua ponta.

Problemas corriqueiros encontrados no uso dos eletrodos são: grande área de contato; partículas de chapas encravadas em sua superfície (recorrentes da criação de liga entre chapa e eletrodo); depressão no centro da ponta, sendo este um indicativo de que sua vida útil acabou; e mudança na coloração da ponta.

Resumidamente, trata-se dos componentes metálicos envoltos por uma estrutura metálica, a qual permite seu movimento até o contato da ponta dos eletrodos. Para este fim, utilizaremos uma Tocha de Cobre.

Figura 5 - Eletrodos de tungstênio

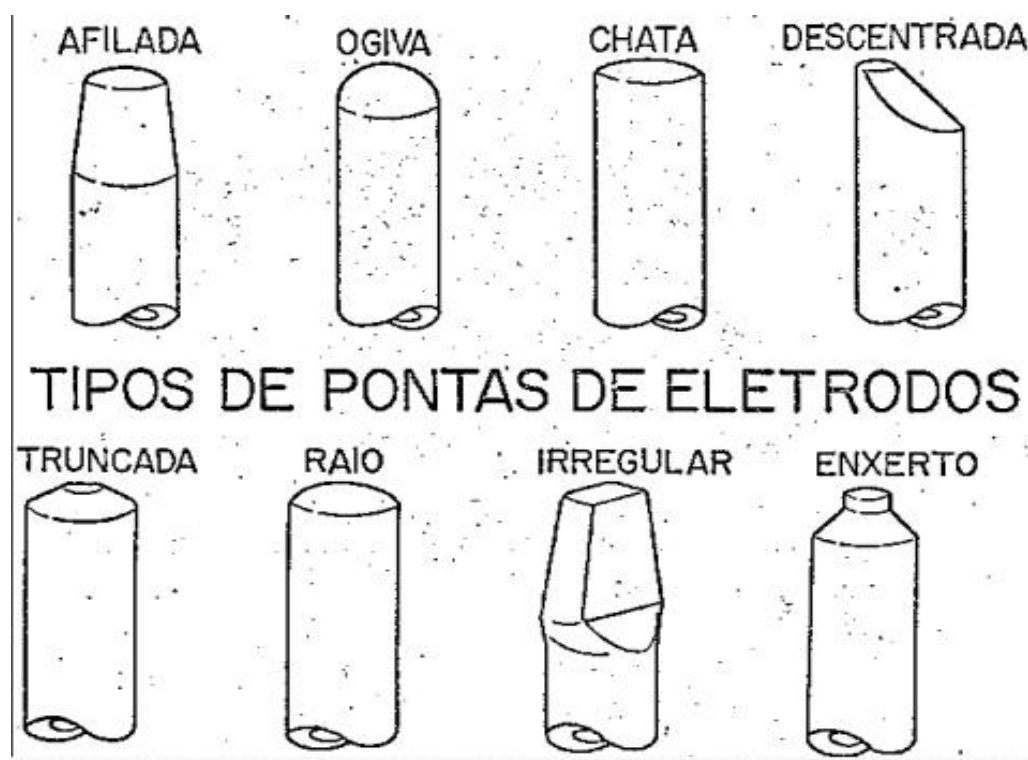


Fonte: AliExpress (2024)

3.3.1.4.1 Tipos de Eletrodos

A diferenciação dos eletrodos, fora os materiais que os compõem, reside, principalmente, em seu formato de ponta.

Figura 6 - Exemplos de pontas de eletrodo



Fonte: (ifsc.edu.br) (2024)

3.3.1.4.2 Resfriamento e Montagem de Eletrodos

A água é utilizada como componente de resfriamento de ponta de eletrodos, “[...] deve ser levada tão perto quanto possível da ponta dos eletrodos, aproximadamente 12mm da ponta.” (CORREIA, 2017)

A montagem dos eletrodos pode carregar erros que garantirão ineficiência na solda, tal qual pontas viradas, inclinadas ou desalinhadas. Desse modo, torna-se tão essencial quanto seu resfriamento, o alinhamento perfeito na realização do movimento.

3.3.1.5 Chave Geral

Trata-se de um componente elétrico de segurança, que corta a corrente do sistema quando ocorre uma sobrecarga de energia. Por tratar-se de um projeto que lida com altas potências, torna-se essencial seu uso. Escolhemos um Tramontina Disjuntor TDJ3 1P 16A 3kA curva C para o protótipo. O disjuntor curva C possui a

sensibilidade de corrente elétrica adequada para o projeto, desarmando de 5 a 10 vezes a corrente nominal. O tipo de curva D possui pouca sensibilidade, logo, não seria seguro, por ser capaz de superaquecer o circuito, já o tipo B têm uma sensibilidade maior que a necessária, desarmando a corrente de partida da ponteadeira.

Figura 7 - Tramontina Disjuntor TDJ3 1P 16A 3kA curva C



Fonte: Amazon (2024)

3.3.1.6 Chave Contatora

Também conhecido simplesmente como “contator”, trata-se de um dispositivo de manobra, utilizado para ligar e desligar cargas elétricas à distância de forma repetitiva. Diferencia-se do disjuntor, referenciado no tópico “3.3.1.5 Chave Geral”, pois não possui os sistemas de segurança contra curto-circuitos e sobrecargas.

Seu funcionamento pode ser dividido entre etapas, iniciando pela bobina, que gera um campo magnético ao ser energizada. O campo gerado fecha os contatos, permitindo que a corrente chegue ao dispositivo a ser acionado.

A função dos contatos é transmitir altas cargas ao componente seguinte do sistema, por meio de um mecanismo dependente da presença do campo magnético.

A etapa final é seu desligamento, onde o contator é desenergizado e seus contatos se fecham, cessando o campo magnético e cortando a corrente. O modelo de Chave Contatora selecionado é um Contator Auxiliar 4NA Tripolar 220v Jzc4-40 Lukma.

Figura 8 - Contator Auxiliar 4na Tripolar 220v Jzc4-40 Lukma



Fonte: Dj Led Elétrica (2024)

3.3.1.6.1 Selo do Contator

O selo contator é um mecanismo de auto-alimentação utilizado no circuito elétrico para garantir a energização da chave contatora mesmo depois que o botão de acionamento, como um botão de “ligar”, for liberado. Ele mantém o funcionamento dos equipamentos conectados até que o comando de parada seja dado.

3.3.1.7 Botões de Comando

Trata-se de componentes que conectam e desconectam a energia do sistema por meio de pressionamento. Diferenciam-se das chaves geral e contatora por não possuírem sistemas de segurança ou manipulação de corrente integrados, sendo assim integrantes externos dos mesmos, exercendo as funções prévias e subsequentes necessárias para a manutenção do funcionamento do circuito todo, variando conforme o projeto aplicado.

Seu uso é regulamentado pela norma IEC 60073, que aborda “[...] os princípios de codificação para indicadores e elementos de controle”(SCHNEIDER,

2024). Dentre suas seções, é especificado o uso de cores em botões de acionamento.

Os botões utilizados serão especificados nos tópicos “3.3.1.7.1”, “3.3.1.7.2” e “3.3.1.7.3”, suas cores são verdes, preto e branco, respectivamente, e seus usos são definidos da seguinte forma: botão verde indica acionamento da fonte retificadora, botão preto indica desligamento, e botão branco indica acionamento dos eletrodos. A fonte está referida no tópico “3.3.1.2.1 Fonte Retificadora”.

3.3.1.7.1 Botão de Energização

Trata-se do botão de cor verde, seguindo instruções da norma IEC 60073, que indica função de segurança, determinando o estado de condição normal da máquina, energizando-a. O modelo selecionado é um Botão Verde Sem Trava À Prova D'água 12mm.

Figura 9 - Botão Verde Sem Trava À Prova D'água 12mm



Fonte: Casa da Robótica (2024)

3.3.1.7.2 Botão de Desenergização

Trata-se do botão de cor preta, seguindo instruções da norma IEC 60073, que indica função ordinária, relativa à permanência voltada ao desligamento da ponteadeira. O modelo escolhido é um Botão Preto Sem Trava À Prova D'água 12mm.

Figura 10 - Botão Preto Sem Trava À Prova D'água 12mm



Fonte: Baú Da Eletrônica (2024)

3.3.1.8 Cabos Secundários

Sistema elétrico de conectores que ligam os outros componentes elétricos e permitem a passagem de corrente elétrica. Utilizaremos cabos elétricos.

Figura 11 - Cabos elétricos ilustrativos



Fonte: Tecnocabos (2019)

Trata-se de um sistema de associação de subsistemas estruturais e mecânicos visando transmitir forças ou momentos. No caso da ponteadeira, utilizaremos a característica do torque para diminuirmos o esforço do usuário na ativação do sistema, de modo que o torne usual.

4 METODOLOGIA

Neste capítulo serão apresentados os recursos e meios utilizados para o atendimento do projeto proposto.

4.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa descrita é qualitativa e quantitativa. Isso se deve ao fato de combinar aspectos qualitativos, como a pesquisa de formas de reciclar materiais para a construção do protótipo e avaliar a viabilidade de um processo de soldagem sem materiais de consumo, com aspectos quantitativos, como o dimensionamento dos valores necessários de calor e tempo para que a solda seja eficiente e resistente a choques mecânicos.

A pesquisa pode ser classificada como exploratória e descritiva.

Exploratória: A pesquisa visa explorar a viabilidade de um processo de soldagem usando um transformador de forno de micro-ondas, o que é uma abordagem inovadora e pouco estabelecida. Envolve a investigação de métodos mais eficazes, o que caracteriza a natureza exploratória do estudo.

Descritiva: A pesquisa também é descritiva porque busca descrever o processo de soldagem, os valores necessários de calor e tempo, as formas de reciclagem de materiais, e a construção de um protótipo funcional. Ao documentar essas informações, a pesquisa contribui para um entendimento detalhado e sistemático do tema.

4.3 TESTES COM TRANSFORMADOR DE MICRO-ONDAS

Simultâneo ao planejamento do protótipo, terão de ser feitos testes com um transformador de forno de micro-ondas para identificar a potência que o mesmo é capaz de produzir. Desta forma, será possível descobrir qual o limite mínimo e máximo de trabalho para a máquina ponteadeira de solda, tal qual o dimensionamento necessário dos seus componentes.

4.3.1 Limites de Potência Impostos

Através de testes usando o transformador em estado vazio e em estado de curto circuito entre os terminais do secundário, foi possível medir a corrente de vazio de 120A e corrente de curto circuito de 450A, que é o suficiente para realizar a

soldagem de chapas de alguns materiais e espessuras menos resistentes termicamente.

4.4 FUNÇÃO DOS COMPONENTES

Neste capítulo, são detalhadas as funções dos componentes da ponteadeira de solda. Cada componente tem um papel fundamental no processo de soldagem, contribuindo para a eficiência, segurança e qualidade da união das chapas metálicas. A descrição cobre como cada parte do equipamento atua para garantir que o processo de solda seja realizado de maneira eficaz e segura, assegurando a integridade das peças metálicas unidas.

4.4.1 Transformador de Micro-ondas

O transformador desse eletrodoméstico é um dos componentes principais da ponteadeira de solda. Sua função essencial é transformar a alta tensão da fonte de alimentação em uma baixa tensão, ao mesmo tempo, em que aumenta consideravelmente a corrente elétrica. Esse aumento de corrente é vital para o processo de solda, pois é responsável pela geração do calor necessário para fundir o metal nas chapas. O transformador de micro-ondas garante que a energia fornecida seja suficiente para criar uma solda forte e duradoura, minimizando a ocorrência de arcos elétricos indesejados, que poderiam comprometer a integridade da solda.

Para alcançarmos os parâmetros necessários à corrente aplicada, altera-se a estrutura padrão do componente. Serrando a bobina secundária, torna-se possível sua retirada. Substituindo-a, adiciona-se um fio de cobre revestido de 10mm², enrolado de modo a estabelecer uma relação de transformação de 3 pra 110, que nos permite alcançar uma média de 450A de corrente elétrica.

4.4.2 Eletrodos e Pinça de Solda

Os eletrodos e a pinça de solda são componentes que têm contato direto com as chapas metálicas durante o processo de solda. A principal função dos eletrodos é permitir a passagem da corrente elétrica gerada pelo transformador, concentrando-a no ponto de solda. Os eletrodos devem ser fabricados com materiais que possuam alta condutividade térmica e baixa resistência elétrica, para evitar que eles próprios

sejam fundidos durante o processo. A pinça de solda serve como um suporte para os eletrodos, garantindo o alinhamento preciso e a pressão adequada sobre as chapas, fatores que são cruciais para uma solda de qualidade.

4.4.3 Chave Geral

A chave geral é um componente de segurança crucial no sistema de comando da ponteadeira de solda. Ela permite a interrupção imediata do fornecimento de corrente elétrica para o sistema, protegendo os componentes da máquina e o operador em situações de sobrecarga ou emergências. Ao cortar a energia de forma rápida e eficaz, a chave geral previne danos aos equipamentos e ajuda a evitar acidentes. Como dito anteriormente, o disjuntor será do tipo Curva C.

4.4.4 Cabos Secundários

Os cabos secundários são responsáveis por interligar os componentes do circuito que estão fora do controle analógico de potência, como o botão de comando, os eletrodos e a chave geral. Esses cabos devem ter a capacidade de conduzir correntes elevadas sem aquecer excessivamente, o que é garantido pelo uso de condutores com baixa resistência elétrica e isolamento adequado para suportar as condições de operação.

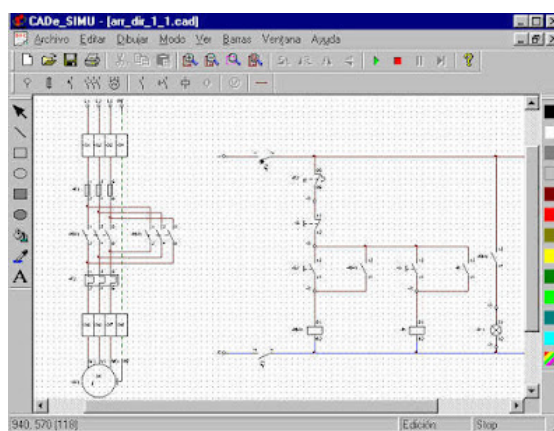
4.5 ESQUEMA ELÉTRICO

Neste capítulo será apresentado o diagrama dos componentes e suas conexões em um sistema elétrico. Será demonstrado o fluxo da corrente elétrica através dos componentes e suas interligações, facilitando a compreensão, construção e manutenção do circuito.

4.5.1 Software de Esquematização Elétrica

Na esquematização do circuito elétrico para o protótipo será utilizado o software de projetos elétricos industriais CAdSimu, na sua versão 4.0.

Figura 12 - CADeSimu 4.0



Fonte: Canal PCL (2021)

4.5.1.1 O que é CADeSimu

É um software especializado na simulação e análise de circuitos elétricos. Ele oferece uma plataforma para projetistas e engenheiros modelarem, simularem e verificarem o comportamento de circuitos elétricos e sistemas, permitindo realizar testes virtuais antes da construção física dos circuitos.

Entre suas principais funcionalidades, o CADeSimu permite a modelagem precisa de circuitos, utilizando uma ampla gama de componentes eletrônicos. O software executa simulações para prever o comportamento dos circuitos sob diferentes condições, o que ajuda a identificar problemas e otimizar o design. Além disso, fornece ferramentas para a análise dos resultados das simulações, como tensões, correntes e potência, facilitando a compreensão do desempenho do circuito.

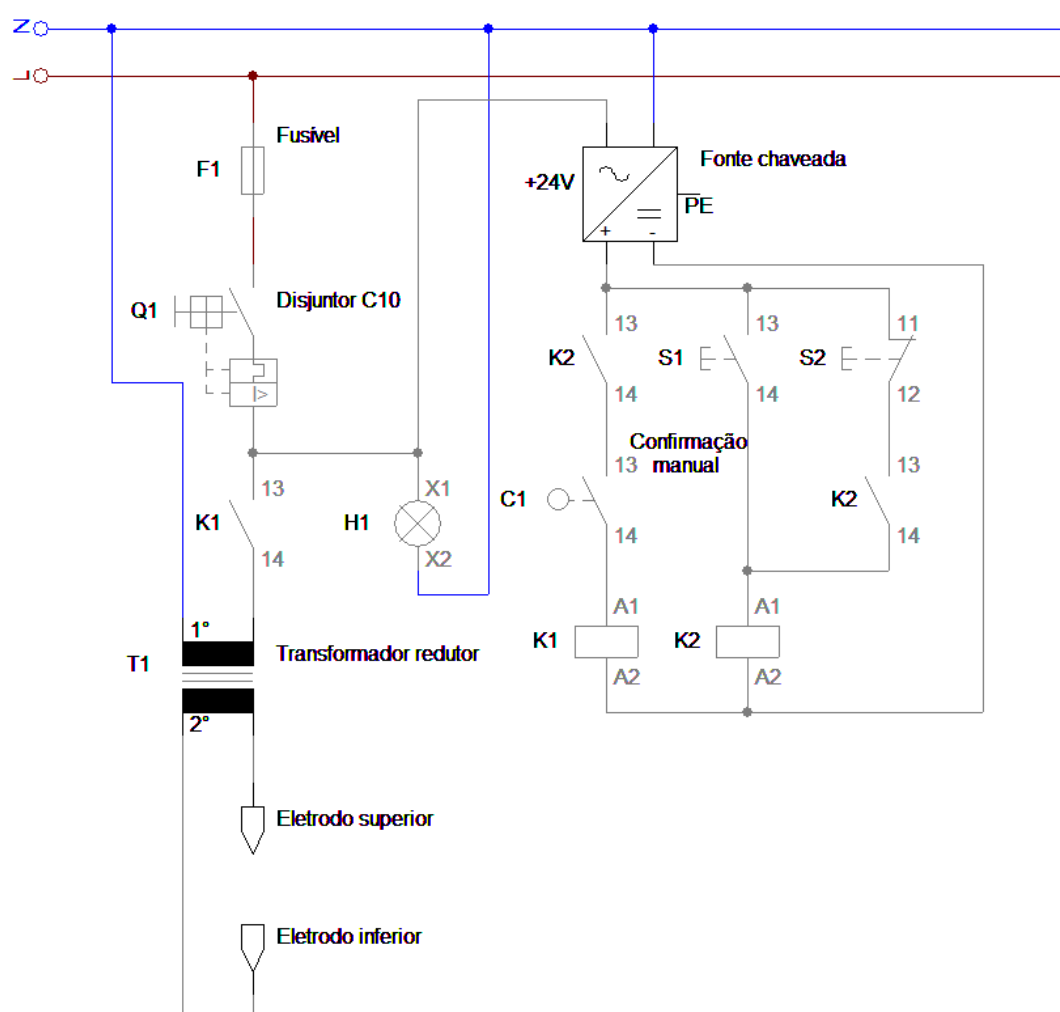
O CADeSimu também gera relatórios e documentação detalhada dos circuitos e dos resultados das simulações, que podem ser usados para revisão e apresentação. Dessa forma, o programa é essencial para projetistas de sistemas elétricos, pois possibilita a validação e o teste de circuitos em um ambiente virtual, economizando tempo e recursos durante o desenvolvimento do projeto.

4.5.2 Diagrama Elétrico

Nesta seção, será apresentado, descrito e detalhado o diagrama elétrico utilizado no protótipo. O foco será projetar adequadamente os componentes do circuito, assegurando que cada um esteja corretamente dimensionado para suas respectivas funções. Além disso, serão discutidos possíveis problemas que podem surgir durante o funcionamento, bem como as funções específicas de cada componente dentro do sistema, garantindo que o protótipo opere com eficiência e segurança.

Na seguinte figura, é possível observar o diagrama utilizado no protótipo funcional.

Figura 13 - Diagrama Elétrico



Fonte: os autores (2025)

4.5.2.1 Componentes do Diagrama Elétrico

Com base na figura 17, os componentes utilizados no diagrama elétrico serão identificados e descritos na tabela a seguir. Essa tabela fornecerá informações sobre cada componente, suas características e suas respectivas funções dentro do circuito, facilitando a compreensão do funcionamento do protótipo e o papel de cada elemento no sistema elétrico:

Tabela 2 - Componentes do Circuito Elétrico

Nome no diagrama	Nome do componente	Função do componente
L1 e N	Alimentação Monofásica e Neutro	A alimentação da rede que irá ser ligada ao protótipo de forma direta.
F1	Fusível de proteção contra sobrecarga	Proteção contra picos de tensão e corrente que poderiam danificar o circuito ou causar acidentes na operação do mesmo.
Q1	Disjuntor de proteção contra sobrecorrente	Proteção contra picos de corrente com curva de quebra C para 10A, desarmando em 50A a 100A
T1	Transformador de micro-ondas redutor de tensão	Transformador redutor de tensão com proporção de 36,6 para 1 (110:3).
1° e 2°	Primário e secundário do T1, respectivamente	Primário com 220 espiras recebendo 220V e secundário com 6 espiras produzindo 6V para a saída do transformador.
Eletrodos	Eletrodos da ponteadeira de solda	Máquina responsável pela soldagem das chapas, onde se encontram os eletrodos.
Fonte chaveada	Fonte retificadora 24V	Reduz a tensão de rede de 220VCA para 24VCC, para utilizar no comando do circuito
H1	Sinaleiro de sistema energizado	Acende em vermelho quando o sistema elétrico está energizado
S1 e S2	Botões liga e desliga, respectivamente	Botoeiras verde e vermelha que ligam e desligam o funcionamento da ponteadeira
K1 e K2	Contatores de funcionamento	Contatores que permitem a soldagem com uma verificação dupla(botão e gatilho)

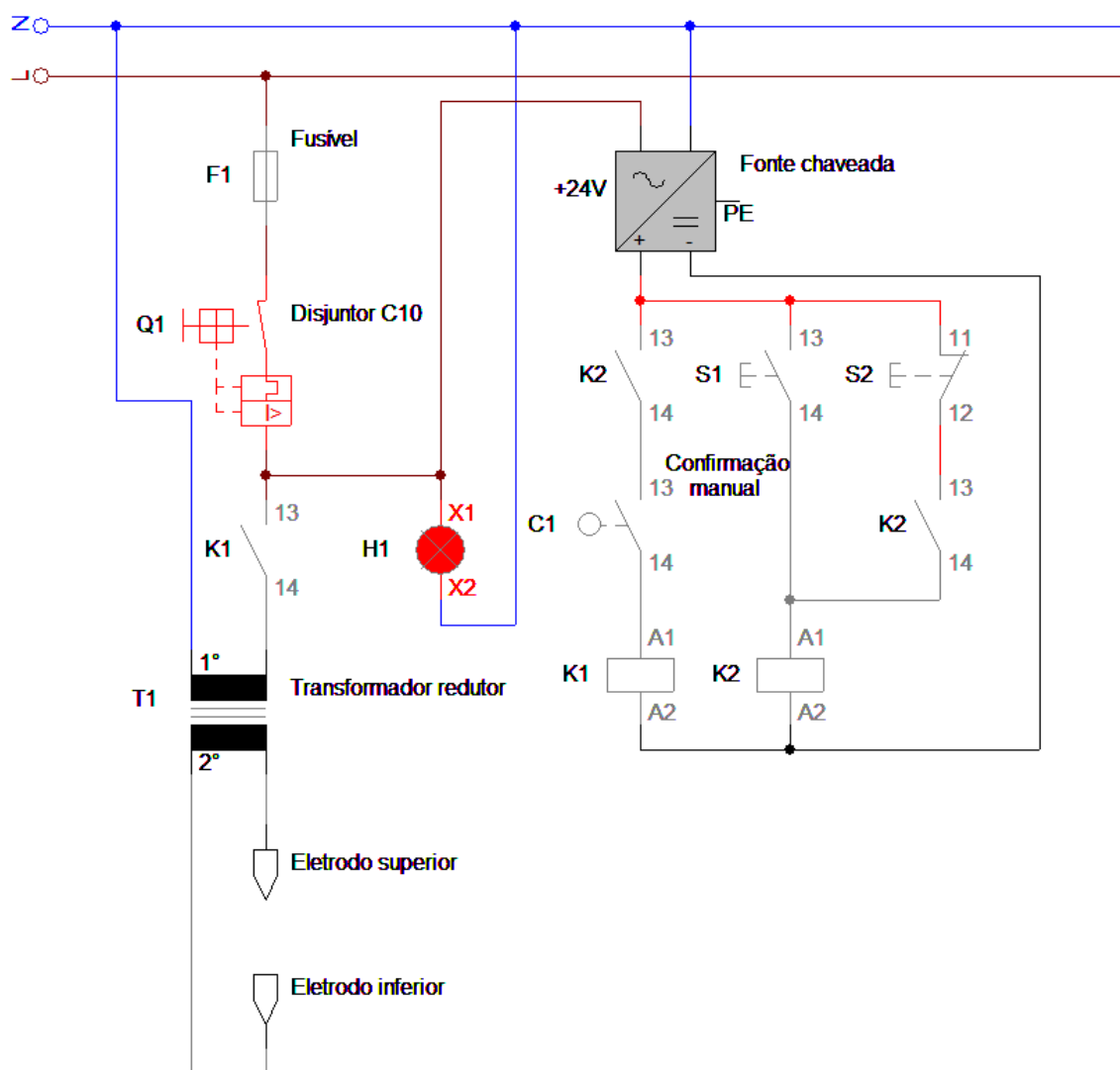
C1	Gatilho mecânico	Verificação manual para permitir a soldagem do material, a corrente não chega em T1 se não acionar o gatilho
----	------------------	--

Fonte: os autores (2025)

4.5.2.2 Casos Específicos

Neste capítulo serão apresentados os casos específicos em formato de relatório de prática do uso do circuito apresentado anteriormente, como as ligações e ativações de alguns componentes utilizados.

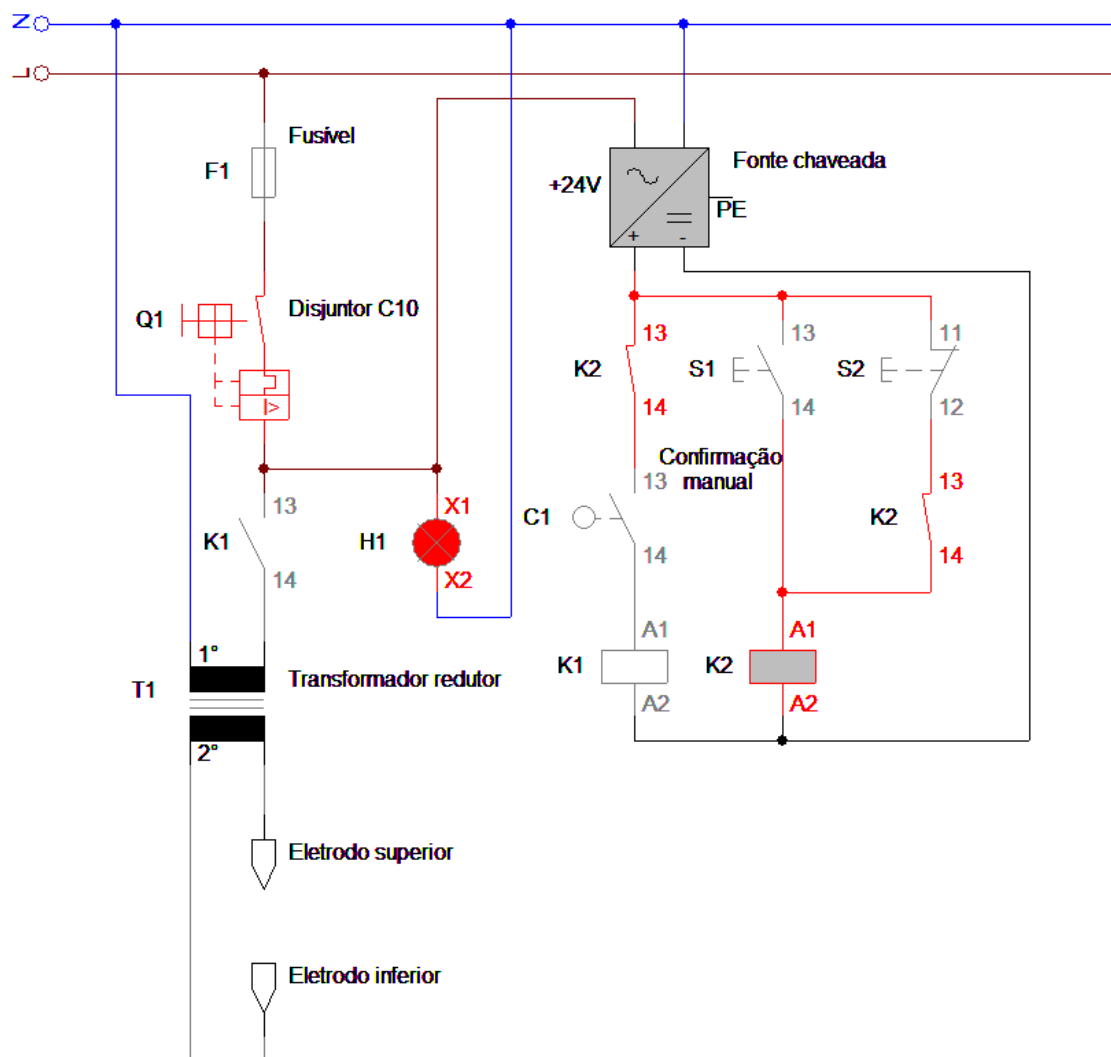
Figura 14 - Acionamento do disjuntor



Fonte: os autores (2025)

Neste primeiro passo, o disjuntor é acionado, permitindo a passagem da corrente tanto para fonte 24VCC quanto pro sinaleiro H1, acionando assim o circuito de comando.

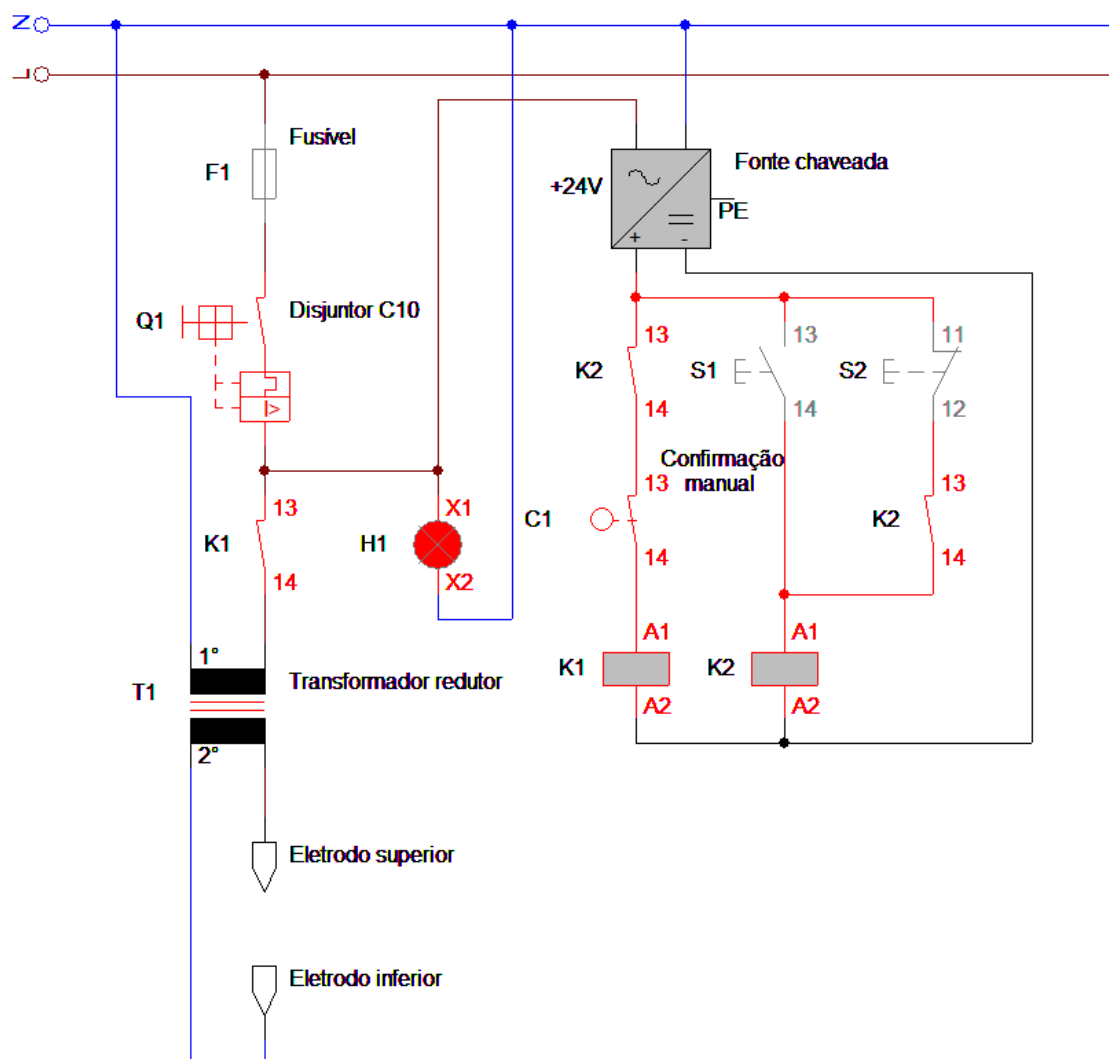
Figura 15 - Botão de ligar pressionado



Fonte: os autores (2025)

Ao pressionar o botão verde S1, a bobina de K2 é acionada e se mantém sustentada por um contato de selo, fechando uma das duas verificações necessárias para realizar a soldagem do material.

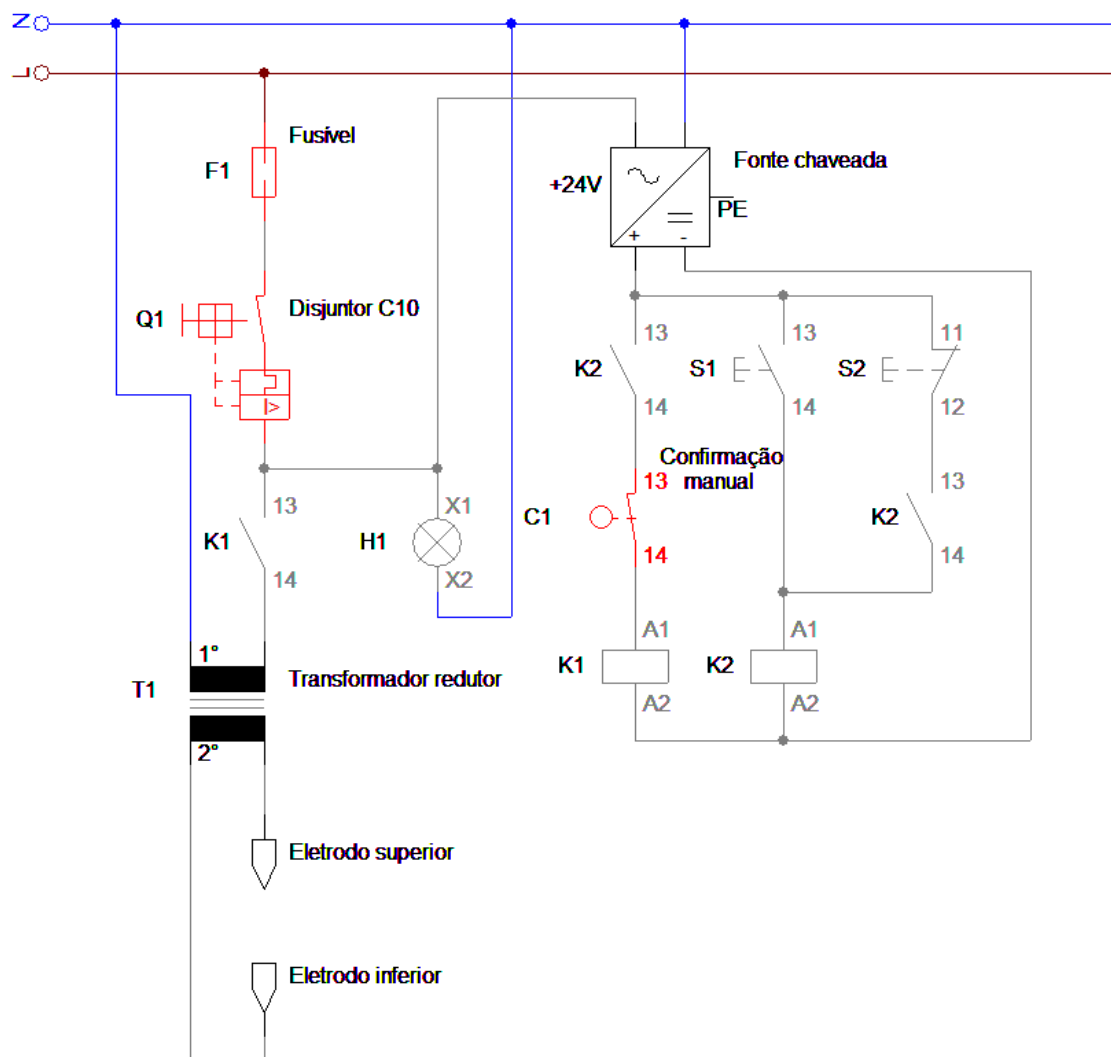
Figura 16 - Gatilho pressionado



Fonte: os autores (2025)

Ao pressionar o gatilho C1 que aloja-se na ponta da alavanca que segura o eletrodo superior, a bobina de K1 é energizada, fechando a segunda das tuas verificações necessárias para realizar a soldagem do material, energizando assim o transformador T1 e realizando a solda, caso soltar o gatilho, o transformador é desenergizado.

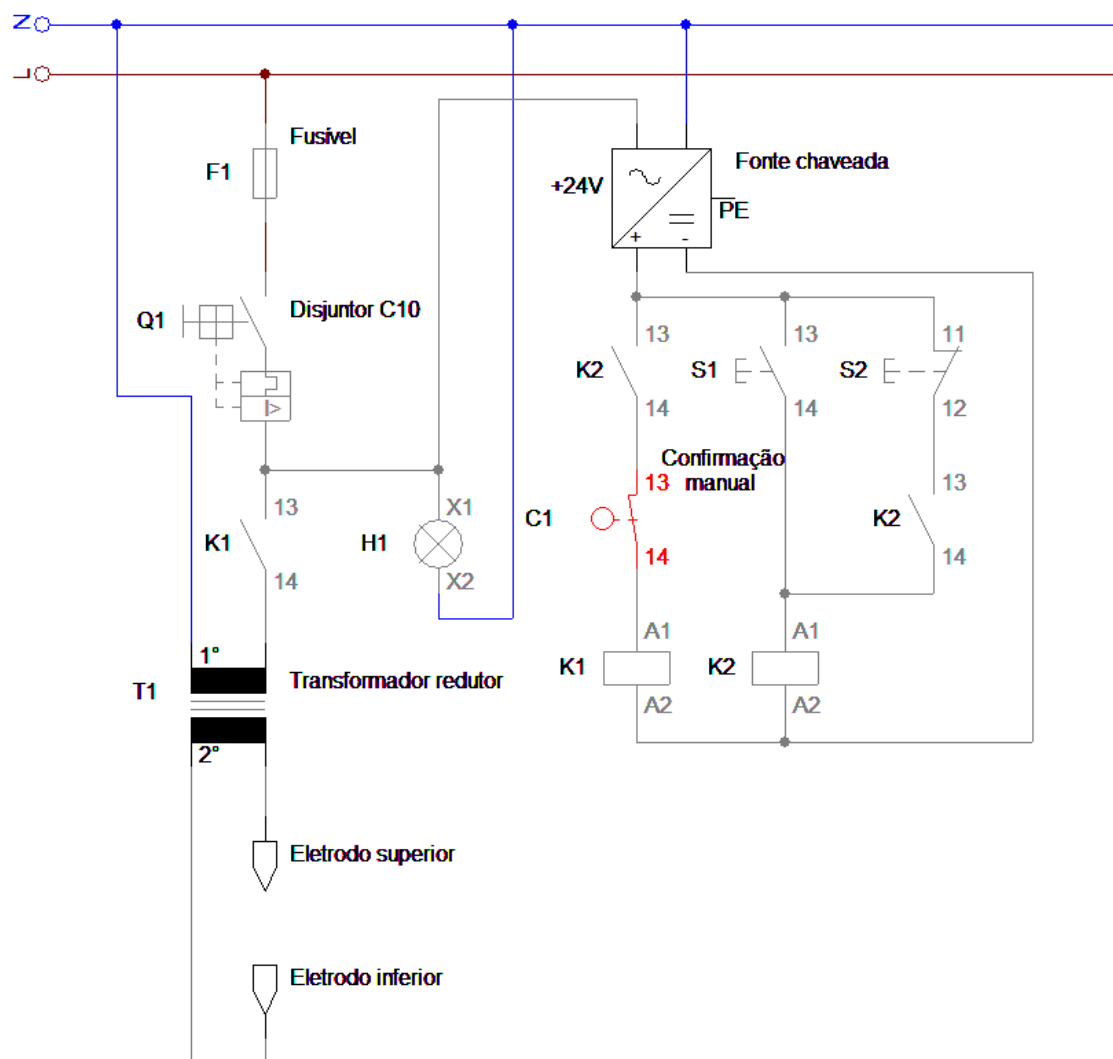
Figura 17 - Fusível rompido



Fonte: os autores (2025)

Caso devido á algum problema elétrico, o fusível F1 romper, a energia é impedida de chegar no transformador e na fonte 24VCC, desenergizando instantaneamente todas as partes subsequentes do circuito e parando de soldar o material que estaria entre os eletrodos.

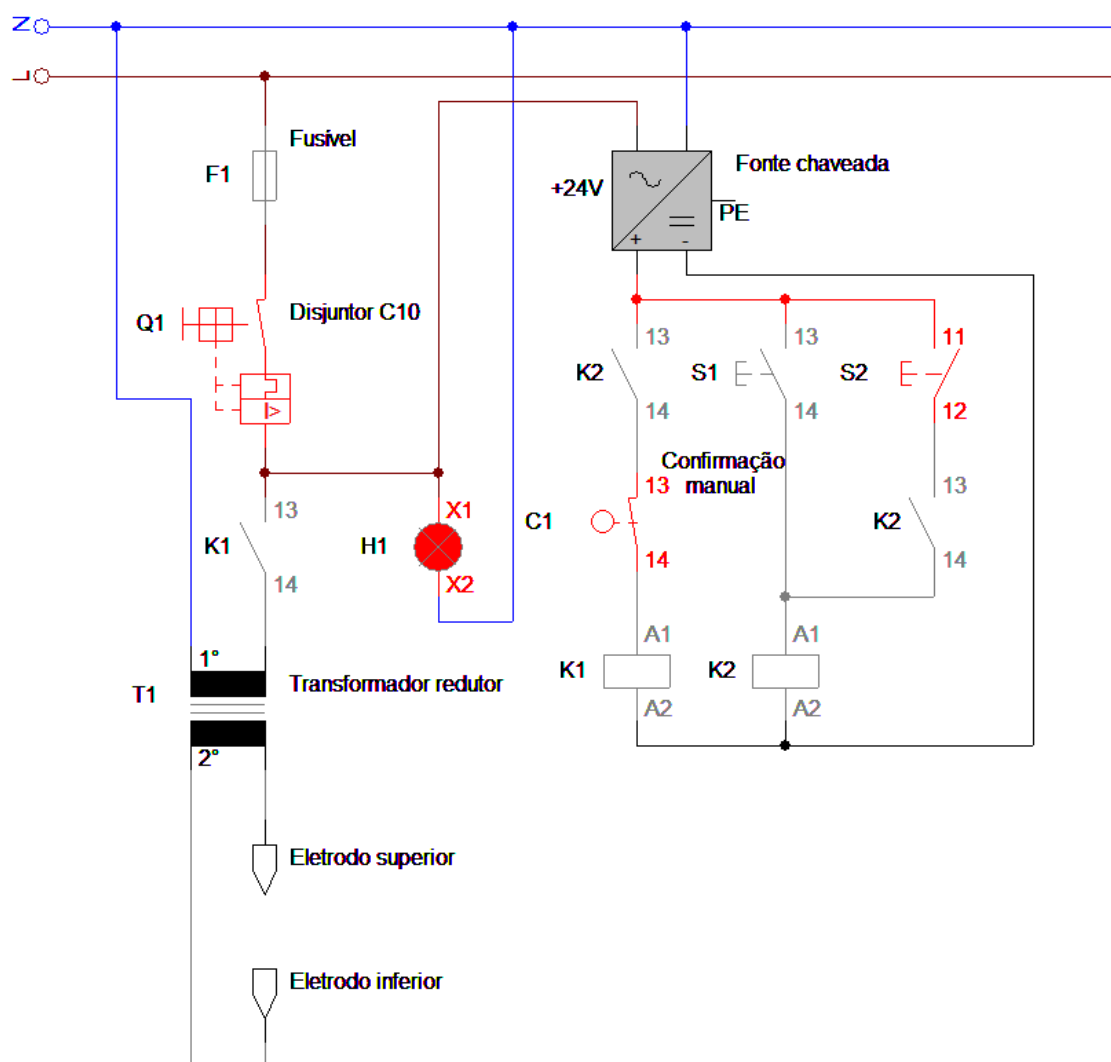
Figura 18 - Disjuntor desacionado



Fonte: os autores (2025)

Caso o disjuntor Q1 for desacionado manualmente ou devido á algum problema elétrico, o circuito subsequente também é completamente desenergizado, sendo mais um fator de segurança em caso de problemas ocorrerem durante a soldagem.

Figura 19 - Botão de desligar pressionado



Fonte: os autores (2025)

Ao pressionar o botão vermelho S2, a bobina de K2 é desacionada, abrindo uma das duas verificações necessárias para o funcionamento da soldagem, e se só o gatilho estiver pressionado, o transformador T1 ainda não é energizado, como uma garantia que o operador terá ciência de que ligou a máquina antes de usá-la.

4.6 PROCEDIMENTOS APÓS A MODELAGEM

A metodologia de aquisição e montagem do projeto será baseada em um planejamento cuidadoso, para garantir que os recursos necessários sejam obtidos

dentro de um orçamento restrito, priorizando eficiência e custo-benefício. O foco é manter o custo total máximo de R\$1000, assegurando que o projeto seja acessível e econômico.

Caso o valor ultrapasse esse limite, serão feitas reavaliações para identificar onde cortes podem ser feitos sem afetar o desempenho. O uso de materiais metálicos, que pode elevar o custo, será cuidadosamente avaliado, e ajustes serão considerados para garantir que o orçamento seja respeitado.

Durante a montagem estrutural, as partes metálicas do protótipo necessitarão de métodos específicos de fixação. A soldagem será utilizada para unir essas peças com precisão e segurança, enquanto elementos de fixação como parafusos, porcas e rebites serão aplicados nas partes que não exigirem solda. A escolha desses fixadores será feita considerando o tipo de material e a força necessária para garantir a estabilidade e durabilidade do protótipo. À medida que a montagem avança, serão realizados testes constantes para verificar o alinhamento e a eficácia das fixações.

Após a montagem, serão conduzidos testes para avaliar a eficiência do protótipo e a funcionalidade de seus componentes elétricos e estruturais. Caso surjam problemas durante os testes, ajustes e substituições serão realizados. O protótipo será cuidadosamente verificado quanto à segurança, especialmente em relação ao isolamento elétrico e à integridade das conexões metálicas. Todo o processo de aquisição, montagem e testes será documentado para futuras referências, permitindo que ajustes ou melhorias sejam implementados. A revisão final do projeto considerará tanto o desempenho quanto os custos, garantindo que o objetivo de criar um protótipo acessível e funcional tenha sido alcançado.

4.7 PROTÓTIPO FUNCIONAL

Utilizando os componentes descritos na tabela 2, um protótipo funcional foi desenvolvido, atendendo os objetivos geral e específicos, porém deficiente de componentes de segurança elétrica, como contadores e disjuntores.

4.7.1 Fotos do Protótipo

Figura 20 - Vista geral do protótipo



Fonte: os autores (2025)

Na figura 21 apresentada acima, pode-se ver todos os componentes utilizados no protótipo funcional.

4.7.1.1 Alimentação

Na figura seguinte será apresentado o cabo de alimentação utilizado no protótipo funcional, o qual constitui um conector de dois terminais para que seja ligado às duas fases necessárias para a ativação da máquina.

Figura 21 - Cabo de alimentação



Fonte: os autores (2025)

4.7.1.2 Transformador

Na figura seguinte será apresentado o transformador pelo qual a pesquisa é baseada, com a proporção de espiras de 3:110, com 6 espiras de um cabo de 10mm² de cobre revestido no secundário e 220 espiras de um condutor fino de cobre.

Figura 22 - Transformador de forno de micro-ondas



Fonte: os autores (2025)

4.7.1.3 Eletrodos

Na figura seguinte serão apresentados os eletrodos utilizados no protótipo funcional, onde para formar o eletrodo inferior fixo, foi utilizado um parafuso 4,5x50, e para constituir o eletrodo superior móvel, foi utilizado um prego 16x24 de material desconhecido, o que o torna resistente à passagem de corrente, prejudicando o acabamento superficial da solda ponto.

Figura 23 - Eletrodos presos em haste e base de madeira



Fonte: os autores (2025)

4.7.1.4 Chapas de teste

Na figura seguinte serão apresentadas as chapas de aço zincado com 0,65mm de espessura utilizadas para a realização dos testes de soldagem com o intuito de descobrir se o transformador apresenta potência suficiente para realizar os objetivos propostos.

Figura 24 - Chapas de aço zincado para teste de soldagem

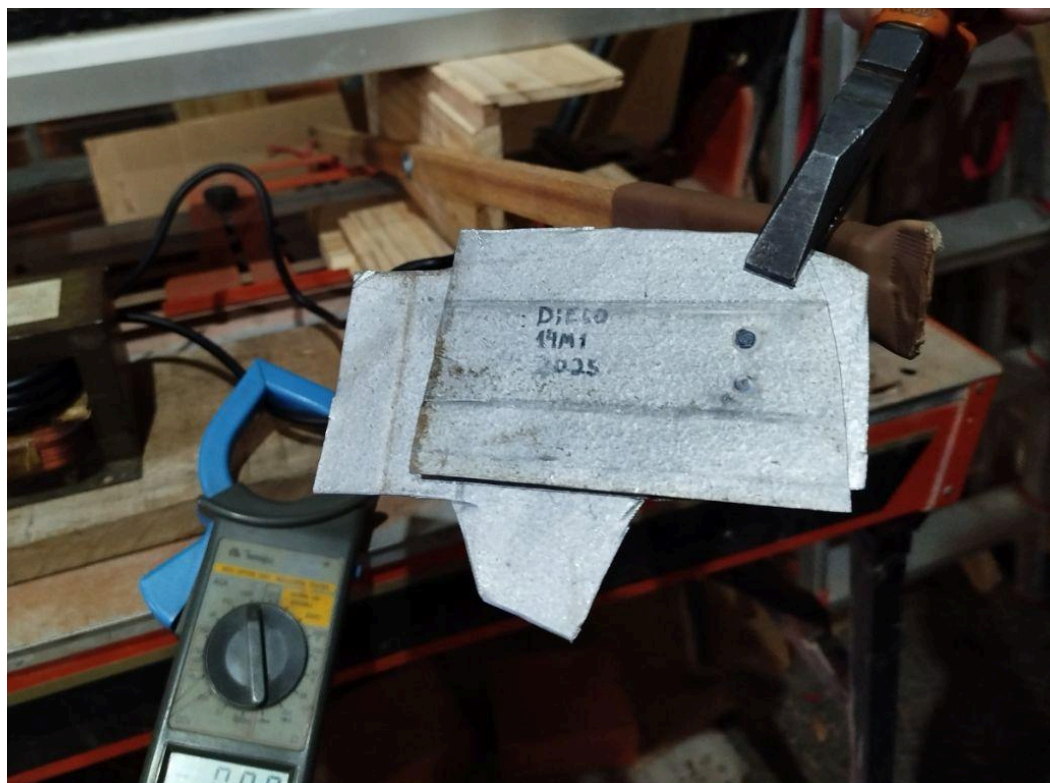


Fonte: os autores (2025)

4.7.1.5 Resultado da soldagem

Na figura seguinte será apresentado o resultado da soldagem das chapas causado pelo teste do transformador, é possível analisar que o acabamento superficial da solda ficou relativamente ruim, e a principal causa disso é o material dos eletrodos apresentarem uma certa resistência elétrica, absorvendo parte do calor que deveria ter sido direcionado às chapas.

Figura 25 - Chapas de aço zincado com o ponto de solda feito



Fonte: os autores (2025)

4.8 POSSIBILIDADES DE MELHORIA

Como fora observado na figura 26 e descrito anteriormente, o acabamento superficial poderia ser mais satisfatório através da utilização de eletrodos mais adequados, como eletrodos de cobre com 99,9% de pureza e uma secção mais próxima de eletrodos convencionais, como algo em torno de 10mm.

Outra melhoria prevista para o protótipo seria a implementação de um sistema de segurança elétrica, através da utilização de um disjuntor para desarme em sobrecarga, contadores e botoeiras para que possa ter um controle mais seguro do funcionamento da máquina, podendo utilizar até mesmo um contato fim de curso para a confirmação manual da soldagem.

4.9 MELHORIAS ALCANÇADAS

Visto que o protótipo teve seu resultado de soldagem de forma razoável, foi necessário a troca dos eletrodos provisórios (o prego e o parafuso anteriormente

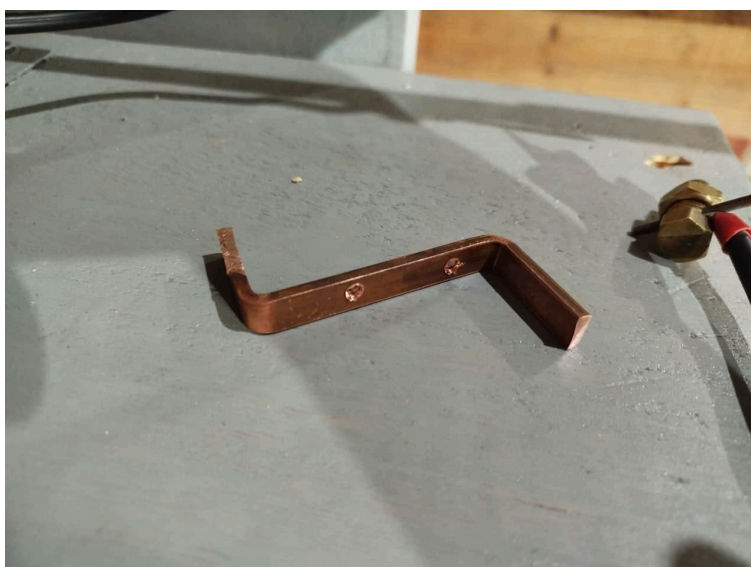
citados em 4.7.1.3 Eletrodos) pelos eletrodos oficiais, sendo um barramento de cobre reciclado, cortado e usinado como pode ser visto na imagem abaixo.

Figura 26 - Eletrodo superior



Fonte: os autores (2025)

Figura 27 - Eletrodo inferior



Fonte: os autores (2025)

Figura 28 - Eletrodos fixados ao protótipo



Fonte: os autores (2025)

Através da maior condutividade concedida pelo cobre e o pequeno diâmetro das pontas (quanto menor a secção transversal, maior a resistência causadora de calor), é possível uma qualidade de soldagem superior ao do primeiro teste.

Além disso, para atender e se alinhar com a NR12, foi instalado ao protótipo um painel elétrico, onde estará montado o circuito elétrico de comando e de potência para o funcionamento, garantindo segurança e viabilidade ao operador ou estudante que o utilizar. O painel possui 40mm de altura, e 30mm de largura.

O painel de comando possui um disjuntor bifásico para energização do equipamento, um botão para a passagem de corrente entre os eletrodos, botão de desligar/barrar passagem de corrente, sinaleiro para indicação de que o solda ponto está energizado (cor vermelha).

Através de novos testes de solda foi possível ver um resultado melhorado do anterior, chegando a um valor de corrente de 545A aproximadamente antes do curto-circuito necessário para a solda. O teste foi realizado com chapas de aluzinco (uma liga de alumínio – aproximadamente 55% –, zinco – cerca de 43,5% – e silício – 1,5%) de 0,65mm cada uma somando 1,3mm no total, além das chapas estarem galvanizadas (material com camada protetora de zinco para aumentar a resistência à corrosão).

5 CRONOGRAMA

Tabela 3 - Cronograma 2024

[illegible]

2024	MA R	ABR	MAI	JUN	JUL	AG O	SET	OU T	NO V
Referências									
Avaliação do CRC									
Produção do Banner									
26ª Exposchmidt									

Fonte: os autores (2024)

Tabela 4 - Cronograma 2025

2025	MA R	ABR	MAI	JUN	JUL	AG O	SET	OU T	NO V
Levantamento de literatura científica									
Introdução									
Fundamentação teórica									
Metodologia									
Cronograma									
Recursos									
Resultados esperados ou parciais									
Avaliação do CRC									
Produção do Banner									
27ª Exposchmidt									

Fonte: os autores (2025)

6 RECURSOS

Neste capítulo, estão listados os materiais que o protótipo usa, seguidos de seu valor, quantidade, fonte e a data da pesquisa.

Tabela 5 - Recursos

Material	Valor unitário	Quantidade	Valor total	Fonte	Data
Contator de potência tripolar - 1 auxiliar NA 24VAC	Doação	1un	Doação	Doado por apoiadores	05/07/25
Fonte chaveada 24V Alimentação 50mA bivolt	Doação	1un	Doação	Doado por apoiadores	05/07/25
Transformador de microondas 220V	Reciclado	1un	Reciclado	Microondas descartado	19/03/25
Condutores elétricos	Reciclado	15m	Reciclado	Obtido de lixo eletrônico	03/07/25
Fusível 250V/10A	Doação	1un	Doação	Doado por apoiadores	05/07/25
Botão NA/NF	Doação	2un	Doação	Doado por E.T.E.Frederico G. Schmidt	05/07/25
Disjuntor Curva C 10A Monopolar	R\$44,46	1un	R\$44,46	Mercado Livre	04/10/25
Mini Contator Auxiliar Weg 24VCC 10A 2NA 2NF	R\$107,76	1un	R\$107,76	View Tech	04/10/25
Sinaleiro 220V vermelho	Doação	1un	Doação	Doado por E.T.E. Frederico G. Schmidt	05/07/25
Caixa plástica para painel de comando	R\$114,00	1un	R\$114,00	Ecel Elétrica	04/10/25
Gatilho NA/NF	Reciclado	1un	Reciclado	Microondas descartado	19/03/25

Haste de cobre puro	Doação	1m	Doação	Doado por apoiadores	04/10/25
Base de madeira	Doação	1un	Doação	Doado por apoiadores	13/09/25
Coluna de metal de base	Doação	1un	Doação	Doado por apoiadores	14/09/25
Base de pneu com concreto	Doação	1un	Doação	Doado por apoiadores	14/09/25
Elementos de fixação diversos	Doação	1pct	Doação	Doado por apoiadores	14/09/25
Valor final: R\$266,22					

Fonte: Os autores (2025)

7 RESULTADOS PARCIAIS

O protótipo foi capaz de realizar o processo de soldagem utilizando um transformador de forno de micro-ondas, conectado diretamente à rede elétrica da instituição. O processo será iniciado quando o operador acionar a alimentação de corrente alternada.

Em seguida, com a haste móvel abaixada e tocando na chapa superior, será permitido que a corrente elétrica flua diretamente pelos eletrodos, gerando o calor necessário para a fusão das chapas sobrepostas. As chapas, fixadas sobre uma bancada estável, receberão calor até que a temperatura atinja o ponto de fusão adequado, promovendo a união eficaz dos materiais.

O protótipo foi capaz de realizar o processo de soldagem em duas chapas de aço zincado de 0,65mm de espessura, chegando a 545A de corrente no secundário do transformador, criando uma resistência mecânica mediana e um acabamento superficial ruim no ponto de solda.

O objetivo final de desenvolver um projeto economicamente viável, acessível para pequenas empresas e instituições, com um custo estimado de até R\$1000 foi cumprido, com o custo final do protótipo funcional totalizado em R\$0 (zero reais),

dependendo de como forem adquiridos os componentes. No caso do protótipo em questão, todos os componentes foram adquiridos através de reciclagem e doações.

7.1 ANÁLISE COMPARATIVA

É necessário uma série de comparações do protótipo com as máquinas de solda ponto/ponteadeiras tradicionais do mercado atual, trazendo uma visualização de competência em custos, eficiência e durabilidade, se diferenciando de alguma forma do concorrente.

7.1.1 Análise de custos

O método usado para saber os preços aproximados de uma ponteadeira de solda foram três: Média calculada através de preços encontrados na internet, busca realizada e verificada por IA e contato com fabricante e fornecedor do produto.

Baseado nos cálculos de média, foi possível achar o valor de R\$2.472, 16 para uma ponteadeira de solda industrial geralmente de 5 KVA de potência. Já por IA confiável, foi passado um valor de R\$2.000 os mais simples até R\$8000 os complexos.

E por último, entramos em contato com um fabricante de ponteadeiras de tecnologia de ponta em São Paulo e o responsável do setor nos informou que o modelo mais simples que eles oferecem possui o preço de R\$25.000, com 20 KVA. Já o nosso protótipo, como visto anteriormente foi praticamente de graça por causa dos recursos sucateados e doados, no total R\$266,22, contudo, visando que as possibilidades de uma instituição ou mini -empresa conseguir os mesmos recursos possa não ser alta, quantificamos os materiais que usamos mas se fossem comprados, podendo ser visto na tabela abaixo.

Tabela 6 - Preços estimados

Material	Valor na compra	Quantidade	Valor total	Fonte
Contator Tripolar 12A 1210 3POLOS	R\$49,90	1un	R\$49,90	Shopee

+ 1na 220v				
Fonte Chaveada 24v 1a 24w Bivolt	R\$33,82	1un	R\$33,82	KaBuM
Transformador de microondas 220V	Reciclado	1un	Reciclado	Microondas descartado
Condutores elétricos	R\$14,90	2m	R\$29,80	KaBuM
Botoeira Painei Monobloco Reversível Na-nf	R\$16,57	2un	R\$33,14	Alinstaladora
Disjuntor Bipolar 10A Curva C	R\$27,02	1un	R\$27,02	LojaEletrica
Contator Auxiliar 20-24Vca 50/60HZ 3NA+1NF	R\$64,79	1un	R\$64,79	dimensional
Placa Lisa de Madeira Crua MDF - Tamanho: 30 x 40 Cm	R\$10,60	2un	R\$21,20	Casa da Arte
Sinaleiro Led Vermelho 22mm 220v	R\$9,80	1un	R\$9,80	Mercado Livre
Haste de Aterramento Padrão Cobre 1/2 1m	R\$13,74	1un	R\$13,74	EletroRastro
Caixa plástica para painel de comando 30x40x20	R\$114,00	1un	R\$114,00	Ecel Elétrica
Valor final: R\$397,21				

Fonte: Os autores (2025)

A tabela 6 deixa explícito que o valor final do protótipo, caso todos os componentes fossem comprados e apenas o transformador for reciclado, ainda sim seria muito menor que as máquinas ponteadeiras de solda presentes no mercado atualmente.

O protótipo se provou fácil de operar, eficiente em seu processo de soldagem, e adaptável a diferentes cenários de uso, além de ter uma ampla possibilidade de

melhoria envolvendo seus eletrodos e circuito elétrico, garantindo que possa atender a uma ampla gama de necessidades industriais e comerciais.

Logo, podemos fazer tal análise comparativa:

Tabela 7 - Análise comparativa de custos

PONTEADEIRA TRADICIONAL	PROTÓTIPO REAL	PROTÓTIPO COM PREÇOS ESTIMADOS
R\$2.236,08	R\$266,22	R\$397,71

Fonte: os autores (2025)

7.1.2 Análise de eficiência

Quando se trata da eficiência ou competência de uma máquina de solda ponto, geralmente é analisado sua potência, especificamente sua potência aparente em KVA, sendo na maioria dos casos entre 2KVA a 5KVA as ponteadeiras de maior custo benefício, como foi visto na análise de custos. Normalmente elas conseguem realizar as soldas em espessuras de 0,5mm cada chapa, dependendo também do material de cada chapa, normalmente sendo aço.

Já o nosso protótipo chegou numa potência 3,3 KVA, capaz de soldar chapas de aluzinco galvanizadas com 0,67mm cada uma das chapas, como visto em 4.9 MELHORIAS ALCANÇADAS, o que demonstra uma eficiência surpreendente para uma ponteadeira que visa acessibilidade e eficiência que seja tangível ao projeto.

Tabela 8 - Análise comparativa de eficiência

	POTÊNCIA ALCANÇADA	ESPESSURA DAS CHAPAS
PONTEADEIRA TRADICIONAL	4 KVA	0,5mm cada
PROTÓTIPO	3,3 KVA	0,65mm cada

Fonte: os autores (2025)

Logo, conseguimos concluir que a ponteadeira de solda com transformador de micro-ondas consegue se diferenciar positivamente de seu concorrente nos dois parâmetros escolhidos.

REFERÊNCIAS

Aliexpress. WP17 18/26 Tocha Tungstênio Eletrodo Pinça, Argônio Soldagem Consumíveis, 1.0mm, 1.6mm, 2.4mm, 3.2mm Comprimento, 10Pcs. Disponível em: <https://pt.aliexpress.com/item/1005006320866527.html>. Acesso em: 16 jul. 2024.

BALDIM, A. C., COSTA, S. C. da e Aguiar, T. C. S. (2015) “Metodologia Não Destrutiva de Parametrização da Queima do Zinco no Processo de Soldagem a Ponto por Resistência”, *Soldagem e Inspeção / Welding and Inspection*, 20(1), p. 81–91. doi: 10.1590/0104-9224/si2001.09.

Baú da Eletrônica. Botão 12mm à Prova d'água Sem Trava Vermelho. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/produto/botao-12mm-a-prova-dagua-sem-trava-vermelho.html>. Acesso em: 16 jul. 2024.

Baú da Eletrônica. Kit Cabo Garra Jacaré - 10 Unidades. Disponível em: <https://www.baudaeletronica.com.br/produto/kit-cabo-garra-jacare-10-unidades.html>. Acesso em: 16 jul. 2024.

BRACARENSE, Alexandre. Processo de Soldagem por Resistência. Minas Gerais: UFMG, 2000.

Casa do Eletricista. Conector WAGO Legítimo 221-612 - 2 Pólos - Até 6mm. Disponível em: <https://www.casadoeletricistasc.com.br/con-p-emenda-c-alav-2-fios-6mm-wago/p/4518>. Acesso em: 16 jul. 2024.

Casa do Eletricista. Disjuntor DIN Mono 127/220V 63A - Curva C - Siemens/ Iriel. Disponível em: <https://www.casadoeletricistasc.com.br/disjuntor-din-mono-127-220v-63a-curva-c-siemens-iriel/p/5286>. Acesso em: 16 jul. 2024.

COLOMBO, T. et al. (2018) “Microstructure evolution and failure modes of a resistance spot welded TWIP steel”, *Soldagem e Inspeção / Welding and Inspection*, 23(4), p. 460–473. doi: 10.1590/0104-9224/si2304.02.

Distribuidora Archote. Fonte 24v Mini Slim Chaveada 5a 120w. Disponível em: https://www.distribuidoraarchote.com/MLB-4635352146-fonte-24v-mini-slim-chaveada-5a-120w-_JM. Acesso em: 7 set. 2024.

MAGAZINE LUIZA. Fusível Cerâmico 20A para Micro-ondas 127v/220v Universal. São Paulo: Mix Eletrônicos e Acessórios. Disponível em: <https://m.magazineluiza.com.br/fusivel-ceramico-20a-para-micro-ondas-127v-220v-universal-pci-eleto/p/gh77e13a5b/ed/acmi/>. Acesso em: 8 set. 2024.

Mercado Livre. Borne Fusível Ask 1 24v 0,5 - 4mm 6.3a Weidmuller Conexel. [S.l.]. Weidmuller Conexel. Disponível em: <https://www.mercadolivre.com.br/borne-fusivel-ask-1-24v-05-4mm-63a-weidmuller-conexel/p/MLB32066744>. Acesso em: 8 set. 2024.

Mercado Livre. Contator Auxiliar 4na Tripolar 220v Jzc4-40 Lukma. Disponível em: https://www.mercadolivre.com.br/contator-auxiliar-4na-tripolar-220v-jzc4-40-lukma/p/MLB31058894?matt_tool=18956390&utm_source=google_shopping&utm_medium=organic&item_id=MLB4422192370&from=gshop. Acesso em: 7 set. 2024.

Mercado Livre. Retificador Tensão Ac-dc Entrada 24vac / Saída 10vdc + 24vdc. [S.I.]. DESCOMPLICASOLUÇÕES IND.. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-4082242914-retificador-tenso-ac-dc-entrada-24vac-saida-10vdc-24vdc-_JM. Acesso em: 8 set. 2024.

MERCADO LIVRE. Fonte 24v Mini Slim Chaveada 5a 120w. [S.I.]. DISTRIBUIDORAARCHOTEMATELET. Disponível em: https://produto.mercadolivre.com.br/MLB-4635352146-fonte-24v-mini-slim-chaveada-5a-120w-_JM. Acesso em: 8 set. 2024.

NASCIMENTO, Vinicius Castanheira do. *Selection of resistance spot welding parameters, based on the measurement of the electrical resistance between sheets*. 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em Engenharias) - Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2008.

SHOPEE. BOTAO XB2 EA31 PLASTICO VERDE NA/NF LUKMA. São Paulo: ELETRICA SUZUKI. Disponível em: <https://shopee.com.br/BOTAO-XB2-EA31-PLASTICO-VERDE-NA-NF-LUKMA-i.426017811.23033752359>. Acesso em: 8 set. 2024.

SHOPEE. DISJUNTOR MONOFÁSICO DIN 1x20A TRAMONTINA. [S.I.]. DEGRAUS LAR E CONSTRUÇÃO. Disponível em: <https://shopee.com.br/DISJUNTOR-MONOF%C3%81SICO-DIN-1X20A-TRAMONTINA-i.882711358.23291577915>. Acesso em: 8 set. 2024.

SHOPEE. Mini Contator WEG AUXILIAR CAW04-22-00V05 220Vac 60Hz. São Paulo: Instaladora. Disponível em: <https://shopee.com.br/Mini-contator-WEG-AUXILIAR-CAW04-22-00V05-220Vac-60HZ-i.405532665.9452255674>. Acesso em: 8 set. 2024.

STRAHL. Botão de Emergência Tipo Cogumelo Nf SGB2-EC42 Strahl. [S.I.]. Strahl. Disponível em: https://loja.strahl.com/produtos-em-liquidacao/botao-de-comando-cogumelo-o-40mm-vermelho-o-22-5mm-nf?srsId=AfmBOopZ_TZZYiA6Si2hTBjyOVhC3IExrc3eWWSa5iNurRt6sOJqq04i. Acesso em: 8 set. 2024.

STRAHL. Botão de Pulso para Comando Faceado Metálico Na + Nf Strahl. [S.I.]. Strahl. Disponível em: https://loja.strahl.com/produtos-em-liquidacao/botao-de-comando-faceado-metalico-na-nf-o-22-5mm?srsId=AfmBOorxiQrgLpvsqopcZVJ1dpeGFXyvCsbzs8JSrs8FMloqJ2bbdy_. Acesso em: 8 set. 2024.

VENDRAMI, A. A. et al. (2022) "Máquina de solda ponto", *Anais da Mostra de Ensino, Pesquisa, Extensão e Cidadania (MEPEC)* - ISSN 2596-0954, 4. Disponível em: <https://publicacoes.ifc.edu.br/index.php/MEPEC/article/view/3328> (Acesso em: 14 de julho de 2024).