

INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DO RIO  
GRANDE DO SUL - *CAMPUS* ERECHIM  
CURSO SUPERIOR DE ENGENHARIA MECÂNICA

João Pedro Dors Dembinski

**Análise da viabilidade técnica e econômica  
para a aquisição de um robô de solda**

Erechim  
2023

João Pedro Dors Dembinski

**Análise da viabilidade técnica e econômica  
para a aquisição de um robô de solda**

Trabalho Conclusão de Curso realizado no *Campus* Erechim do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Sul, como parte dos requisitos para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.  
Orientador: Prof. Dr. Airton Bortoluzzi.

Erechim

2023

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus, que me deu saúde, perseverança e coragem para não desanimar nem desistir de meus objetivos.

Agradeço a minha família, especialmente a meus pais, Pedro e Elisabete, minhas irmãs, Analice e Fernanda e meu cunhado Gabriel, que sempre me apoiaram, motivaram, se sacrificaram e me colocaram em suas orações nos diversos momentos em que foi necessário, não apenas durante esses anos de faculdade, mas no decorrer de toda a minha vida.

Agradeço a minha namorada Franciele que estando ao meu lado sempre me incentivou, me manteve firme e focado no meu propósito.

A meu cunhado Anderson, pelos momentos de auxílio e ensino em meio a realização desse trabalho. Todos os ensinamentos foram de grande valia.

Ao professor Airton Bortoluzzi, pelas orientações, correções, leituras e ajuda fornecida a mim para que este trabalho pudesse ser realizado.

Aos demais professores da área da engenharia mecânica do IFRS Erechim, pelos ensinamentos e experiências transmitidas durante todo o curso.

Ao Ezequiel pelo auxílio e conhecimentos compartilhados e em seu nome agradecer ao espaço e informações disponibilizadas pela empresa para tornar esse trabalho possível.

## RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise da viabilidade técnica e econômica na aquisição de um robô de solda para otimização do processo industrial de uma empresa de implementos rodoviários. O objetivo geral é investigar os benefícios e custos envolvidos na implementação dessa tecnologia, considerando seus impactos no desempenho e na eficiência da produção. A metodologia adotada envolveu uma revisão bibliográfica voltada ao processo de soldagem MIG/MAG e sua automação, bem como um estudo de caso voltado a coleta de dados na empresa. Quanto à análise econômica, foram levantados os custos envolvidos na aquisição do robô de solda, incluindo o investimento inicial, os custos operacionais e as potenciais economias decorrentes da automação. Além disso, foram considerados os prazos de retorno do investimento e os indicadores financeiros relevantes para a tomada de decisão, como o *payback* e o valor presente líquido (VPL). Os resultados obtidos revelaram que a aquisição do robô de solda traz benefícios significativos para a empresa, como a redução do tempo de produção, o aumento da qualidade das soldas e a diminuição do quadro de colaboradores. Além disso, verificou-se que o investimento inicial é compensado em um retorno de 34 meses. A análise financeira demonstrou, dentre outros indicadores financeiros, um VPL positivo, reforçando a viabilidade econômica da aquisição. Com base nos resultados, conclui-se que a implementação de um robô de solda é tecnicamente viável e apresenta um atrativo retorno sobre o investimento. Recomenda-se que a empresa considere seriamente a aquisição dessa tecnologia, levando em conta as particularidades de sua operação e os benefícios identificados neste estudo. Pesquisas futuras podem se concentrar em outros aspectos da automação industrial e suas implicações nos processos produtivos.

**Palavras-chave:** Análise de viabilidade. Soldagem robotizada. Automação.

## **ABSTRACT**

This work presents an analysis of the technical and economic feasibility of acquiring a welding robot to optimize the industrial process of a road equipment company. The general objective is to investigate the benefits and costs involved in the implementation of this technology, considering its impacts on performance and production efficiency. The methodology adopted involved a bibliographic review focused on the MIG/MAG welding process and its automation, as well as a case study focused on data collection in the company. As for the economic analysis, the costs involved in the acquisition of the welding robot were raised, including the initial investment, operating costs and potential savings resulting from automation. In addition, investment return terms and relevant financial indicators for decision-making, such as payback and net present value (NPV), were considered. The results obtained revealed that the acquisition of the welding robot brings significant benefits to the company, such as reducing production time, increasing the quality of the welds and reducing the number of employees. Furthermore, it was found that the initial investment pays off in a 34-month payback. The financial analysis showed, among other financial indicators, a positive NPV, reinforcing the economic viability of the acquisition. Based on the results, it is concluded that the implementation of a welding robot is technically feasible and presents an attractive return on investment. It is recommended that the company seriously consider the acquisition of this technology, taking into account the particularities of its operation and the benefits identified in this study. Future research may focus on other aspects of industrial automation and its implications for production processes.

**Keywords:** Feasibility analysis. Robotic welding. Automation.

## FIGURAS

Figura 1 – Representação do processo MIG/MAG.....	18
Figura 2 – Equipamentos utilizados no processo MIG/MAG .....	19
Figura 3 – Componentes de uma tocha de soldagem MIG/MAG .....	20
Figura 4 – Modos de transferência do metal de solda utilizados no processo MIG/MAG .....	23
Figura 5 – Gráfico corrente <i>versus</i> tempo - técnica de soldagem por arco pulsado em aerossol.....	25
Figura 6 – Equipamentos que compõem um processo de soldagem robotizado MIG/MAG .....	27
Figura 7 – Célula de soldagem com 6 graus de liberdade .....	28
Figura 8 – Célula de soldagem com 7 graus de liberdade .....	28
Figura 9 – Em (a) coligamento com respingo de solda - soldagem manual e em (b) coligamento livre de respingo de solda - soldagem robotizada.....	31
Figura 10 – Em (a) Solda de união com ponta de arame – soldagem manual e em (b) solda de união sem pontas de arame - soldagem robotizada. ....	31
Figura 11 – Em (a) <i>Boiler</i> soldado processo robotizado e em (b) <i>Boiler</i> soldado processo manual. ....	32
Figura 12 – Cordão de solda oriundo do processo automático .....	33
Figura 13 – Cordão de solda oriundo do processo manual.....	33
Figura 13 – Parâmetros a serem preenchidos no SAVEPI utilizando uma abordagem determinística.....	45
Figura 14 – Fluxograma geral do trabalho .....	47
Figura 15 –Vista frontal <i>layout</i> célula de soldagem. ....	51
Figura 16 – Vista lateral <i>layout</i> célula de soldagem. ....	52
Figura 17 – Vista superior <i>layout</i> célula de soldagem.....	52
Figura 18 – Conjuntos passíveis de serem soldados automaticamente selecionados. .....	53
Figura 19 – Dados inseridos no aplicativo SAVEPI.....	61
Figura 20 – Braço robótico de solda.....	73

Figura 21 – Alcance máximo e mínimo de soldagem do braço robótico .....	73
Figura 22 – Controlador <i>TAWERS PANASONIC</i> .....	74
Figura 23 – a) Tocha b) Unidade de refrigeração e c) Unidade de limpeza do bocal da tocha .....	75
Figura 24 – Sensor de toque realizando o ajuste de posição.....	76
Figura 25 – Vista isométrica do posicionador de giro horizontal. ....	78

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Especificações AWS de materiais de adição para MIG/MAG. ....	22
Tabela 2 – Escopo de Fornecimento da célula de soldagem escolhida pela empresa. .....	50
Tabela 3 – Conjuntos selecionados e seus perímetros de solda .....	54
Tabela 4 – Tempos levantados para soldagem de 100 mm de cordão de solda pelo processo manual .....	54
Tabela 5 – Velocidade média de soldagem manual.....	55
Tabela 6 – Tempo total para produção diária dos conjuntos selecionados através do processo manual .....	55
Tabela 7 – Tempo total para produção diária dos conjuntos pelo processo automático.....	56
Tabela 8 – Consumo de gás por conjunto: processo manual <i>versus</i> automático .....	57
Tabela 9 – Economia mensal total de gás: processo manual <i>versus</i> automático .....	57
Tabela 10 – Consumo de energia elétrica: processo manual <i>versus</i> automático .....	58
Tabela 11 – Quantidade de colaboradores para atingir a produção diária analisada	58
Tabela 12 – Economia mensal com despesas em mão de obra .....	59
Tabela 13 – Economia mensal gerada pela substituição do processo manual pelo automático.....	59
Tabela 14 – Indicadores da abordagem determinística.....	62
Tabela 15 – Velocidade de rotação de cada membro do braço robótico .....	74

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A	Ampere
A.C.	Antes de Cristo
AWS	<i>American Welding Society</i>
CC -	Corrente Contínua Polaridade Direta
CC +	Corrente Contínua Polaridade Reversa
CC	Corrente Contínua
ESAB	<i>Elektriska Svetsnings Aktie Bolaget</i>
FC	Fluxo de Caixa
IBC	Índice Benefício/Custo
kg	Quilograma
MIG/MAG	<i>Metal Inert Gas / Metal Active Gas</i>
MMI	Metodologia Multi-Índice
MMIA	Metodologia Multi-Índice Ampliada
PAYBACK	Período de Recuperação do Investimento
PI	Projeto de Investimento
ROI	Retorno sobre o Investimento
ROIA	Retorno Adicional sobre o Investimento
SAVEPI	<i>Software</i> de Análise da Viabilidade Econômica de Projetos de Investimentos
TIG	<i>Tungstein Inert Gas</i>
TIR	Taxa Interna de Retorno
TMA	Taxa Mínima de Atratividade
V	Volts
VPL	Valor Presente Líquido
VPLA	Valor Presente Líquido Anualizado

## LISTA DE SIMBOLOS

A.C.	Antes de Cristo
$j$	Período genérico
$FC_j$	Fluxo de Caixa Estimado Para o Período $j$
$FC_0$	Módulo do Investimento Inicial ou Fluxo de Caixa no Momento Zero
$N$	Número de Períodos
$i$	Taxa Interna de Retorno (TIR)
$\Delta$	Variação

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	<b>17</b>
2.1 OBJETIVO GERAL.....	17
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	17
<b>3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	<b>18</b>
3.1 PROCESSO DE SOLDAGEM MIG/MAG.....	18
3.1.1 <i>Princípio de funcionamento do processo</i> .....	18
3.1.2 <i>Equipamentos utilizados no processo MIG/MAG</i> .....	19
3.1.2.1 Fonte de energia.....	20
3.1.2.2 Tocha.....	20
3.1.2.3 Alimentador de arame .....	21
3.1.2.4 Sistema de controle .....	21
3.1.2.5 Cabos elétricos .....	21
3.1.2.6 Arame eletrodo .....	21
3.1.2.7 Gases de proteção .....	22
3.1.3 <i>Transferência metálica</i> .....	23
3.1.3.1 Transferência por curto-circuito .....	24
3.1.3.2 Transferência globular .....	24
3.1.3.3 Transferência por aerossol ( <i>spray</i> ).....	24
3.1.4 <i>Vantagens do processo MIG/MAG</i> .....	26
3.2 CÉLULA DE SOLDAGEM ROBOTIZADA.....	26
3.2.1 <i>Equipamentos utilizados no processo de soldagem MIG/MAG robotizado</i> .....	27
3.3 VANTAGENS E DESVANTAGENS DO PROCESSO MIG/MAG AUTOMÁTICO EM RELAÇÃO AO MANUAL.....	29
3.4 CUSTOS.....	34
3.5 INVESTIMENTOS.....	35
3.6 ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA.....	36
3.6.1 <i>Indicadores financeiros</i> .....	36

3.6.2 Metodologia multi-índice ampliada (MMIA).....	36
3.6.3 Taxa mínima de atratividade (TMA).....	37
3.6.4 Indicadores de retorno.....	37
3.6.4.1 Valor presente líquido (VPL).....	38
3.6.4.2 Valor presente líquido anualizado (VPLA).....	39
3.6.4.3 Índice benefício/custo.....	39
3.6.4.4 Retorno adicional sobre o investimento (ROIA, %).....	40
3.6.4.5 Índice ROIA/TMA.....	40
3.6.4.6 Retorno sobre investimento (ROI, %).....	40
3.6.5 Indicadores de risco.....	41
3.6.5.1 Taxa interna de retorno (TIR).....	41
3.6.5.2 Tempo de retorno de investimento (Payback).....	42
3.6.5.3 TMA/TIR.....	42
3.6.5.4 Payback/N.....	43
3.6.6 Limites de elasticidade.....	43
3.7 SISTEMA DE ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE PROJETOS DE INVESTIMENTO (SAVEPI).....	44
<b>4 METODOLOGIA.....</b>	<b>46</b>
4.1 DELINEAMENTO DA PESQUISA.....	46
4.2 ETAPAS DO TRABALHO.....	47
4.3 COLETA DE DADOS.....	48
4.4 ANÁLISE DE DADOS.....	49
<b>5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>50</b>
5.1 DEFINIÇÃO DO ROBÔ DE SOLDA.....	50
5.1.1 Layout geral da célula de soldagem.....	51
5.2 CUSTO DO INVESTIMENTO.....	53
5.3 AMOSTRAGEM DOS CONJUNTOS A SEREM SOLDADOS.....	53
5.4 VELOCIDADE MÉDIA DE SOLDAGEM MANUAL.....	54
5.5 ANÁLISE DA PRODUÇÃO DIÁRIA REALIZADA PELO PROCESSO DE SOLDA MANUAL.....	55
5.6 ANÁLISE DE PRODUÇÃO DIÁRIA REALIZADA PELO PROCESSO DE SOLDA AUTOMÁTICO...	56
5.7 CONSUMO DE GÁS POR CONJUNTO: PROCESSO MANUAL VERSUS AUTOMÁTICO.....	57

5.8 CONSUMO DE ENERGIA ELÉTRICA: PROCESSO MANUAL <i>VERSUS</i> AUTOMÁTICO.....	57
5.9 ANÁLISE DOS CUSTOS DA MÃO DE OBRA.....	58
5.10 ANÁLISE DOS GANHOS.....	59
5.11 LINHA DE FINANCIAMENTO.....	60
5.12 ANÁLISE DO PROJETO DE INVESTIMENTO.....	60
<b>6 CONCLUSÕES.....</b>	<b>65</b>
<b>7 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS.....</b>	<b>67</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>68</b>
<b><i>ANEXOS</i>.....</b>	<b>73</b>
<b><i>Anexo A1 - Braço robótico de solda PANASONIC TM-1400</i>.....</b>	<b>73</b>
<b><i>Anexo A2 - Controlador e fonte integrados TAWERS PANASONIC</i>.....</b>	<b>74</b>
<b><i>Anexo A3 - KIT para tocha de soldagem</i>.....</b>	<b>75</b>
<b><i>Anexo A4 - Sensor de Toque</i>.....</b>	<b>76</b>
<b><i>Anexo A5 - Posicionador de Giro Horizontal</i>.....</b>	<b>77</b>

## 1 INTRODUÇÃO

A revolução industrial ocorrida em meados do século XVII, inicialmente na Inglaterra, consolidou o capitalismo, responsável por incentivar as empresas a competição pelo seu espaço no mercado. A constante evolução da tecnologia e dos processos de fabricação, como a soldagem, auxiliam diariamente na melhoria da eficiência produtiva, reduzindo custos e tempo de fabricação e aumentando a qualidade final dos produtos, garantindo desta forma, a competitividade da indústria no mercado.

O processo de soldagem – fundamental para a fabricação de produtos da área metal mecânica – é, de acordo com Pires, Loureiro e Bölmsjo (2006), datado inicialmente por volta de 3000 A.C., onde os Egípcios e Sumérios utilizavam técnicas rudimentares de soldagem por pressão (marteladas) para unir materiais metálicos aquecidos como bronze, cobre, ferro e ouro. Porém, a soldagem como é conhecida hoje, foi desenvolvida e aprimorada devido aos conhecimentos adquiridos no final do século XIX e no decorrer do século XX, no âmbito da eletricidade, magnetismo, metalurgia, transferência de calor e termodinâmica.

Nesse contexto, a soldagem passou a ser utilizada como processo de fabricação após o início da Primeira Guerra Mundial, devido a necessidades da época, como a produção e reparo de veículos e armamentos (MODENESI, 2012). Já o processo MIG/MAG<sup>1</sup> tornou-se viável após a Segunda Guerra Mundial e na atualidade se destaca no processo fabril.

A indústria 4.0, apresentada pela primeira vez na *Hannover Messe*, Alemanha, em 2011 com o tema: “Indústria 4.0 – Uma associação de representações de negócios, políticas e acadêmicas” foi anos mais tarde apoiada pelo programa governamental alemão *High-Tech Strategy 2020 for Germany* (NESELLO, 2019). Esse projeto buscou incentivar a ampliação da capacidade industrial manufatureira através da automação dos processos produtivos com equipamentos de produção autônomos e capazes de se autocontrolar, por meio de informações e sensores (EBRAHIMI; BABOLI; ROTHER, 2018).

---

<sup>1</sup> Soldagem MIG/MAG: MIG – *Metal Inert Gas*; MAG – *Metal Active Gas*.

Como consequência, visualizando as vantagens da robótica nos processos de fabricação, as indústrias se interessaram por automatizar os processos produtivos, visando redução de custos, maior produtividade, refinamento da qualidade, controle sobre falhas nos procedimentos, padronização dos processos e garantia de maior segurança a seus colaboradores, visto que em operações como a soldagem, o operador é exposto a riscos químicos, físicos, ergonômicos e de acidentes (FÜHR, 2012).

Outros desafios encontrados atualmente pelas empresas estão relacionados a falta de mão de obra qualificada no mercado, que procede da baixa capacitação dos candidatos, e de acordo com Scotti e Ponomarev (2008), a carência do processo MIG/MAG convencional, frente ao aumento da produtividade e concorrência no mercado, incapaz de reduzir mais seu tempo de soldagem.

Segundo Pires, Loureiro e Böllmsjö (2006), a automação na soldagem é um investimento válido pois, os robôs desempenham funções próximas às humanas por um tempo proficiente maior a um custo de produção menor, com superior capacidade de produção e maior adaptação a diferentes situações de operação, devido a capacidade de programação.

O robô de solda apresenta diversas vantagens técnicas frente a solda manual, a precisão é um ponto positivo visto que o robô é apto a se manter no curso pré-programado com grande precisão e repetibilidade, além de dispor de sensores que verificam a qualidade da solda em tempo real, atestando a qualidade do produto. Outro fator favorável é a velocidade, visto que a solda robotizada é mais rápida que a soldagem manual e executa a função continuamente. Apresenta ainda flexibilidade de movimento comparável a humana, em virtude dos seus eixos de operação. (MERRIFIELD, 2005, apud RAKOSKI, 2013, p.13).

A empresa de implementos rodoviários, objeto deste estudo – situada na região Norte do Rio Grande do Sul –, defronta-se com gargalos advindos dos processos de produção, sendo um desses o processo de soldagem MIG/MAG. Nesse sentido, uma possível solução para o embate é a aquisição de uma célula de soldagem robotizada para o processo MIG/MAG. Entretanto, devido ao alto custo envolvido o investimento deve ser analisado, para confirmar se é viável técnica e economicamente a

implementação do robô de solda, visto que esse investimento traz além dos benefícios mencionados acima, possíveis limitações em relação a sua usabilidade.

## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo Geral**

Este trabalho tem por objetivo analisar a viabilidade técnica e econômica na aquisição de uma célula de soldagem robotizada, em uma empresa de implementos rodoviários.

### **2.2 Objetivos Específicos**

A fim de atingir o objetivo geral são previstas as seguintes etapas:

- Coletar dados técnicos e econômicos respectivos ao desempenho do setor de soldagem da empresa;
- Coletar dados técnicos e econômicos referentes a células de soldagem robotizadas;
- Comparar tecnicamente, através da literatura, o desempenho entre a solda robotizada e a solda manual;
- Realizar a coleta e a análise dos indicadores financeiros de acordo com os dados do processo;
- Realizar a análise da viabilidade técnica econômica para a tomada de decisão.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste Capítulo é apresentada a base conceitual que dá suporte ao entendimento do trabalho, discorrendo sobre os assuntos relativos ao contexto da pesquisa.

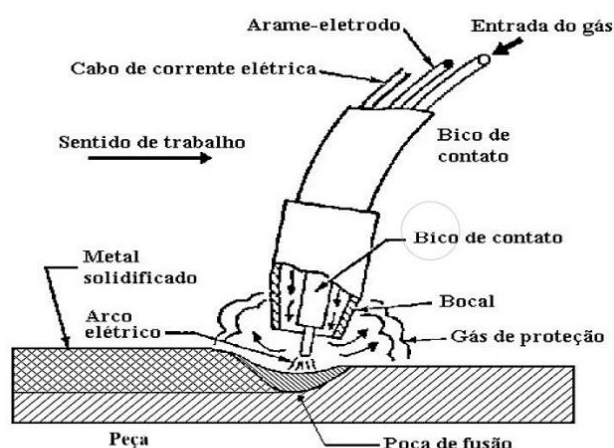
#### 3.1 Processo de soldagem MIG/MAG

O processo de soldagem MIG/MAG é essencial para a área de fabricação, sendo um dos processos de soldagem mais utilizados nas indústrias, devido a sua grande capacidade produtiva, alto fator de trabalho e elevada taxa de fusão. (AZEVEDO, 2019).

##### 3.1.1 Princípio de funcionamento do processo

A soldagem MIG/MAG, segundo Gimenes e Ramalho (2002), é caracterizada pela união, por meio da fusão, das peças e eletrodo não revestido. Essa união é formada por um arco elétrico existente entre eles, criando assim uma poça de fusão. A região de solda é protegida pela difusão constante de um ou mais gases evitando a contaminação atmosférica. A Figura 1 a seguir ilustra o processo.

Figura 1 - Representação do processo MIG/MAG



Fonte: GIMENES e RAMALHO (2002).

O processo utiliza CC (corrente contínua) para a realização da solda, normalmente na configuração de polaridade reversa (CC+), onde o eletrodo é o polo positivo e a peça a ser soldada é o negativo. A configuração polaridade direta (CC-) não é comumente utilizada devido as suas deficiências em transferir o metal fundido do arame para a peça. Ainda, os valores de corrente utilizados variam de 50 A a 600 A e as tensões de 15 V a 32 V (ESAB, 2005).

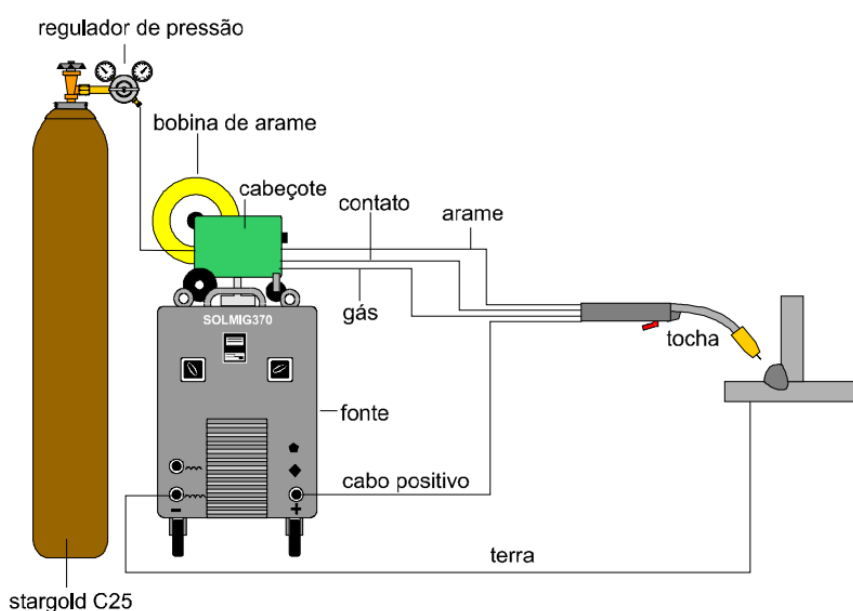
Para obter um arco elétrico estável devem-se manter constantes a velocidade do alimentador do arame eletrodo e a tensão, o comprimento do arco é mantido constante pelo próprio sistema (GIMENES e RAMALHO, 2002).

### 3.1.2 Equipamentos utilizados no processo MIG/MAG

Para realizar o processo MIG/MAG são utilizadas uma fonte de energia, tocha de soldagem, alimentador de arame, sistema de controle, cabos elétricos, válvulas reductoras para o gás de proteção, canalizações para transporte do gás, cilindro de gás de proteção, garras de fixação (GIMENES E RAMALHO, 2002).

A Figura 2 ilustra os equipamentos utilizados.

Figura 2 - Equipamentos utilizados no processo MIG/MAG



Fonte: SOLCI (2016).

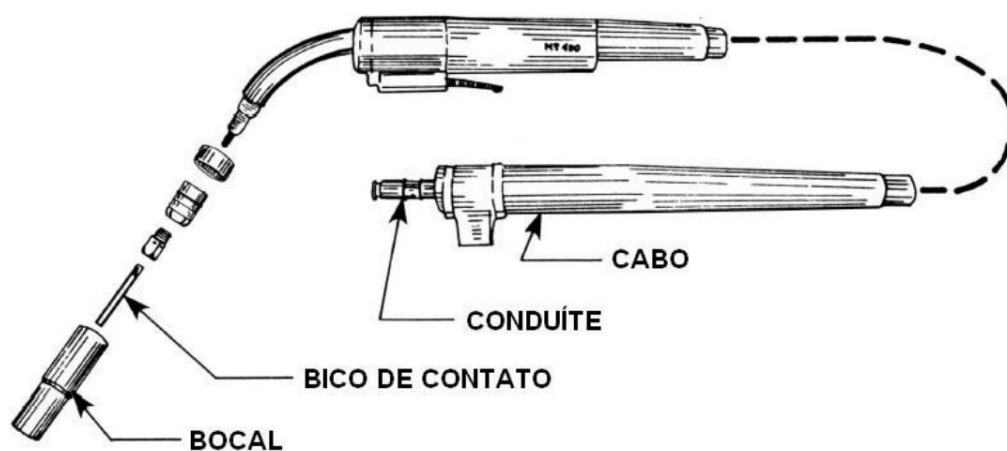
### 3.1.2.1 Fonte de energia

Para o fornecimento da corrente utilizada no processo podem ser empregadas fontes convencionais ou fontes pulsadas. As fontes convencionais proporcionam uma corrente constante no decorrer do tempo autorregulando o arco elétrico por meio da alteração na distância entre a peça e o bico da tocha. Já as fontes pulsadas fornecem a corrente variando ao passar do tempo, essa característica propicia uma solda de alta qualidade mecânica e acabamento e é indicada para a soldagem de alumínio, aços inoxidáveis e aços carbono (SOLCI, 2016).

### 3.1.2.2 Tocha

A tocha de soldagem, ilustrada na Figura 3, utilizada no processo manual, consiste em um bico de contato elétrico deslizante para energizar o arame eletrodo, um bocal de material cerâmico ou cobre para possibilitar a passagem da corrente de soldagem e do fluxo do gás de proteção e um gatilho responsável por energizar o circuito de soldagem, acionar o alimentador de arame e abrir a válvula solenoide responsável pelo fluxo de gás para a tocha (GIMENES E RAMALHO, 2002).

Figura 3 - Componentes de uma tocha de soldagem MIG/MAG



Fonte: ESAB (2005).

### 3.1.2.3 Alimentador de arame

O alimentador de arame é constituído pelo motor de alimentação e o controle de soldagem, tem a função de puxar o arame do carretel a fim de alimentar o arco de solda, a velocidade é constante e ajustável e influencia diretamente na corrente de soldagem, a partir do gatilho é possível iniciar e finalizar a alimentação do arame (ESAB, 2005).

### 3.1.2.4 Sistema de controle

O controle dos parâmetros de soldagem como velocidade de alimentação do arame, corrente e tensão de soldagem são realizados no *display* do sistema de controle composto por diversos componentes eletroeletrônicos (GIMENES E RAMALHO, 2002).

### 3.1.2.5 Cabos elétricos

Os cabos elétricos são responsáveis tanto em transmitir a eletricidade aos eletrodos, quanto em retornar a mesma pelo terra fixado, por meio de garras, das peças soldadas (GIMENES E RAMALHO, 2002).

### 3.1.2.6 Arame eletrodo

Segundo Gimenes e Ramalho (2002), os arames utilizados no processo de soldagem MIG/MAG são compostos por metais ou ligas metálicas que apresentam composição química, dureza, condições superficiais e dimensões bem controladas.

Atualmente existe uma variedade muito ampla de arames para o processo de soldagem MIG/MAG, dentre os materiais utilizados, estão: ferro fundido, aços carbono, baixa liga e inoxidáveis, também são utilizados cobre, alumínio, níquel,

titânio e suas respectivas ligas (SOLCI, 2016). A Tabela 1 relaciona a variedade do material e a sua especificação na de acordo com a AWS (*American Welding Society*).

Tabela 1 - Especificações AWS de materiais de adição para MIG/MAG.

<b>Especificação</b>	<b>Materiais</b>
AWS – A 5.7	Cobre e suas ligas
AWS – A 5.9	Aço inox e aços com alto Cr
AWS – A 5.10	Alumínio e suas ligas
AWS – A 5.14	Níquel e suas ligas
AWS – A 5.15	Ferros Fundidos
AWS – A 5.16	Titânio e suas ligas
AWS – A 5.18	Aço Carbono e baixa liga
AWS – A 5.19	Magnésio e suas ligas
AWS – A 5.28	Aços Baixa Liga

Fonte: SOLCI (2016).

### 3.1.2.7 Gases de proteção

Os gases de proteção são empregados com a finalidade de proteger da contaminação a poça de fusão, que ocorre devido a interação do ar atmosférico com a região de soldagem. Este ar pode conter elementos como o nitrogênio, que implica em redução da ductibilidade, tenacidade da solda e pode causar porosidade no metal solidificado, o oxigênio, que em excesso pode causar porosidade combinando-se com o carbono, além de formar inclusões no metal de solda se combinando com outros elementos e o hidrogênio capaz de gerar fissuras no cordão de solda, além de também causar porosidade na solda em combinação com o ferro e o alumínio (ESAB, 2005).

A proteção da região de solda pode ser realizada por gases inertes, ativos ou ainda pela mistura de ambos. A escolha do gás influencia em variações nas características do arco, transferência de metal, penetração da solda, largura e formato do cordão e influencia ainda na velocidade e custo de operação e na ocorrência de defeitos (GIMENES E RAMALHO, 2002).

Segundo Solci (2016), os gases inertes mais utilizados no processo MIG/MAG são: o Argônio, o Hélio ou ainda a mistura de ambos, já entre os gases ativos utilizados

estão: o dióxido de carbono, a mistura de argônio com dióxido de carbono, argônio com oxigênio e ainda a mistura entre argônio, dióxido de carbono e oxigênio.

De acordo com ESAB (2005), o desempenho do processo de soldagem pode ser influenciado devido a variação das propriedades dos gases como: propriedades térmicas a altas temperaturas que afetam na tensão do arco e na energia térmica transferida à solda, reações químicas entre o gás, os elementos que constam no metal e o arame de solda, influência do gás na transferência do metal.

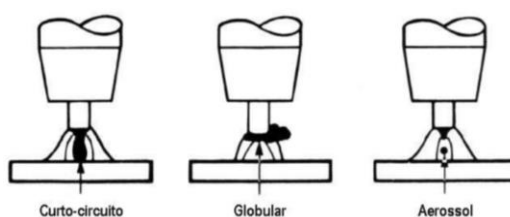
### 3.1.3 Transferência metálica

A transferência metálica é o deslocamento do metal fundido, encontrado na extremidade do arame de solda, até a poça de fusão, para posterior solidificação. As características do processo, como: parcela dos gases incorporados pelo metal fundido, estabilidade do arco, quantidade de respingos produzidos e gama de posições de soldagem que podem ser realizadas variam de acordo com a forma que este deslocamento ocorre (GIMENES E RAMALHO, 2002).

Ainda segundo Gimenes e Ramalho (2002), a forma como ocorre a transferência é afetada pelos seguintes fatores: intensidade, tipo e densidade da corrente, tensão da corrente, modelo e extensão livre do arame eletrodo, gás utilizado e o modelo da fonte de energia.

Existem 3 principais formas de transferência metálica, a globular, a realizada por curto-circuito e por aerossol (*spray*). A Figura 4 ilustra cada uma das técnicas de transferência citadas.

Figura 4 - Modos de transferência do metal de solda utilizados no processo MIG/MAG



Fonte: ESAB (2005).

### 3.1.3.1 Transferência por curto-circuito

A transferência por curto-circuito utiliza arames com diâmetros que variam de 0,8 mm a 1,2 mm, além de configurações de operação com baixas tensões e correntes de soldagem. Com isso, é obtido uma poça de fusão de menor tamanho que solidifica mais rapidamente (ESAB, 2005).

Essa técnica é utilizada em situações em que é necessário unir peças com menores espessuras podendo ser aplicada em diversas posições, também pode ser utilizada em passes de raiz e devido ao baixo calor transmitido à poça de fusão, é indicada em casos em que é necessário um baixo índice de distorções das peças soldadas (GIMENES E RAMALHO, 2002).

### 3.1.3.2 Transferência globular

A transferência globular começa a ocorrer quando são ultrapassados os valores de tensão e corrente, indicados para o processo de transferência por curto-circuito, essa nova configuração acarreta gotas de metal fundido maiores que o próprio arame, também é alterado o momento de transferência passando a ocorrer durante o arco (ESAB, 2005).

De acordo com Solci (2016), essa transferência proporciona uma geração excessiva de respingos e limita o processo a ser realizado apenas na posição plana, devido ao grande volume da gota e fluidez elevada.

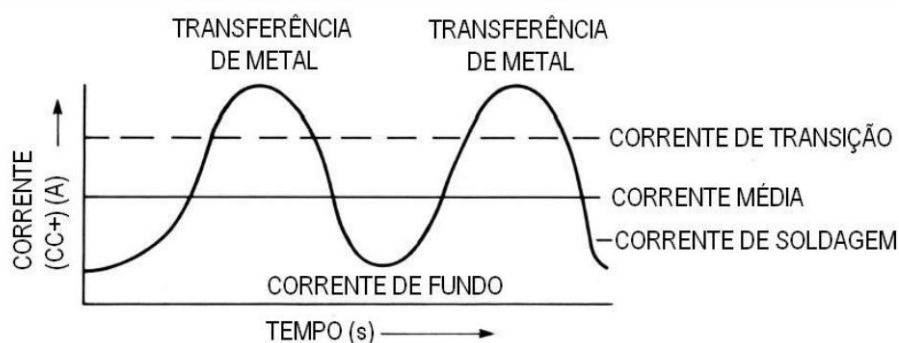
### 3.1.3.3 Transferência por aerossol (*spray*)

A transferência por aerossol é obtida quando se aumentam ainda mais os valores de corrente e tensão. Os valores de corrente variam de acordo com a espessura do arame e o tipo de gás empregado, gases de proteção com teor, de dióxido de carbono, maior que 15%, em aços carbono, impedem a transição da transferência globular para a aerossol (ESAB, 2005).

Essa transferência, de acordo com Esab (2005), garante, gotas de menor dimensão acarretando uma estabilidade de arco satisfatória, poucos respingos, altas taxas de deposição de metal de solda, porém sua utilização se restringe a posição plana, exceto para soldar alumínio e cobre. Ainda, esse processo é indicado para unir chapas de espessuras iguais ou superiores a 2,4 mm.

Para realizar soldas em peças de menor espessura e em diferentes posições de solda, foi desenvolvida uma variação da técnica de arco em aerossol, denominada soldagem pulsada em aerossol. Essa variação pulsa a corrente entre um valor alto e outro baixo, possibilitando uma transferência mais estável e uniforme, durante o valor baixo de corrente a gota é formada e desenvolvida, já no pico alto da corrente a gota é transferida para a poça de fusão, conforme Figura 5. Porém, para a utilização deste método, novas variáveis são introduzidas ao processo de transferência por aerossol, o tempo e corrente de pico e o tempo e corrente de pulso, ampliando a complexidade do procedimento (GIMENES E RAMALHO, 2002).

Figura 5 – Gráfico corrente *versus* tempo - técnica de soldagem por arco pulsado em aerossol



Fonte: ESAB (2005).

### 3.1.4 Vantagens do processo MIG/MAG

O processo MIG/MAG segundo ESAB (2005), na soldagem de metais, manual ou automaticamente, apresenta diversas vantagens em aplicações de baixa a alta produção, quando comparado aos processos eletrodo revestido, arco submerso e TIG (*Tungsten Inert Gas*). As principais vantagens são:

- Sem restrição de posições para soldagem;
- Sem remoção de escória;
- Deposição de metal de solda elevada;
- Alta velocidade de soldagem;
- Menor distorção das peças;
- Possibilita o preenchimento de largas aberturas, facilitando reparos;
- Tempo de execução mais ágil que a solda por eletrodo revestido, além de não haver perdas de pontas.

### 3.2 Célula de soldagem robotizada

A soldagem robotizada é definida como processo realizado por um equipamento que executa operações de soldagem, sem auxílio ou controle por parte do operador de solda pós programação inicial (ROMANO, 2002).

O processo de solda automático, segundo Alba (2013), ganhou destaque utilizando a técnica MIG/MAG devido esta possuir condições que viabilizassem a sua automação, como:

- Melhor gerenciamento do processo;
- Redução da dependência de trabalhadores altamente qualificados;
- Melhoria da saúde e segurança;
- Aumento da produção;
- Redução dos custos de produção.

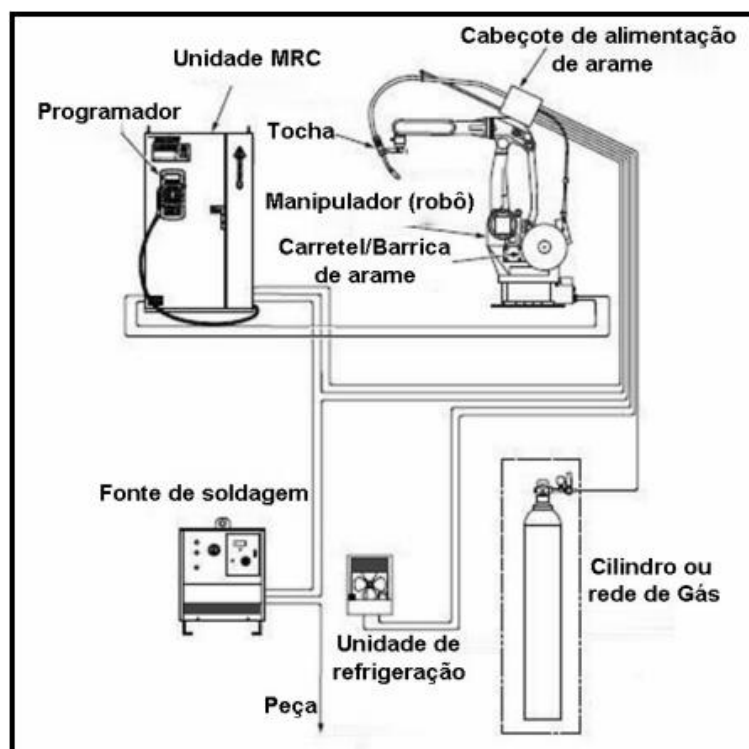
### 3.2.1 Equipamentos utilizados no processo de soldagem MIG/MAG robotizado

Os equipamentos, de acordo com Dellay (2021), utilizados no processo de soldagem automática são:

- Robô de solda;
- Tocha;
- Fonte de energia;
- Sistema de segurança;
- Alimentador de arame;
- Posicionadores;
- Estação de limpeza;
- Consumíveis (arame e o gás de proteção).

Segue Figura 6, ilustrando a disposição desses equipamentos em um sistema de soldagem robotizado.

Figura 6 - Equipamentos que compõem um processo de soldagem robotizado MIG/MAG



Fonte: PEREZ (2007).

Os robôs utilizados para a realização da soldagem automática possuem 6 graus de liberdade e capacidade de carga média para sustentar uma tocha de soldagem de 6 kg. Normalmente são montados em bases fixas em frente aos dispositivos de direção e posicionadores, conforme apresentado na Figura 7. Alguns ainda dispõem de mais graus de liberdade ao se deslocarem em um eixo coordenado em relação à peça por meio de carros. Sua fixação pode ser normal ou invertida em relação a peça facilitando desta forma o acesso as juntas a serem soldadas, de acordo com a Figura 8. Ainda alguns robôs dispõem de sensores capazes de autocorrigir a posição da tocha de soldagem evitando dessa forma possíveis falhas e defeitos originados de uma divergência de programação (PEREZ, 2007).

Figura 7 - Célula de soldagem com 6 graus de liberdade



Fonte: SUMIG (2023).

Figura 8 - Célula de soldagem com 7 graus de liberdade



Fonte: SUMIG (2023).

### 3.3 Vantagens e desvantagens do processo MIG/MAG automático em relação ao manual

A automatização dos processos industriais é uma opção interessante, frente ao alto custo da produção, maior exigência na qualidade, maior necessidade de demanda, além de melhores condições de trabalho ao colaborador (ALVES, 2009).

Conforme afirma Merrifield (2005), entre os fatores que contribuem para a automação industrial estão:

- Controle do processo;
- Falta de mão de obra qualificada;
- Saúde e segurança do operador;
- Altos padrões de qualidade;
- Aumento da produção;
- Custos de produção.

De acordo com Pires et al. (2006), a soldagem manual deve ser reduzida devido o desconforto do operador, tempo de *setup*, custo e segurança. Outro fator negativo de grande influência para a soldagem a arco manual é o tempo de arco aberto diário do soldador que é expressivamente menor quando comparado a soldagem automática. Como afirma Das (2012), em um ciclo de trabalho de 8 horas diárias de trabalho o soldador passa de 9,8% a 13,5% do tempo efetivamente soldando, o restante do período o colaborador está realizando atividades essenciais (relacionadas ao conjunto de trabalho) como buscar as peças a serem soldadas, posicionar os mesmos corretamente na bancada com auxílio de um gabarito ou não, regular a tensão e corrente da máquina de solda, desengordurar a junta a ser soldada, remover escórias remanescentes, além das atividades com trabalhos auxiliares (não relacionadas as peças de trabalho), como colocar e retirar itens de proteção para a função, descansar devido a temperatura elevada de trabalho, posição desconfortável, também deslocar-se até o banheiro ou ainda para se hidratar. Muitas dessas atividades, como posicionamento dos conjuntos, podem ser evitadas em células de soldagem que utilizam dois posicionadores para ao passo que um conjunto é soldado o outro é preparado.

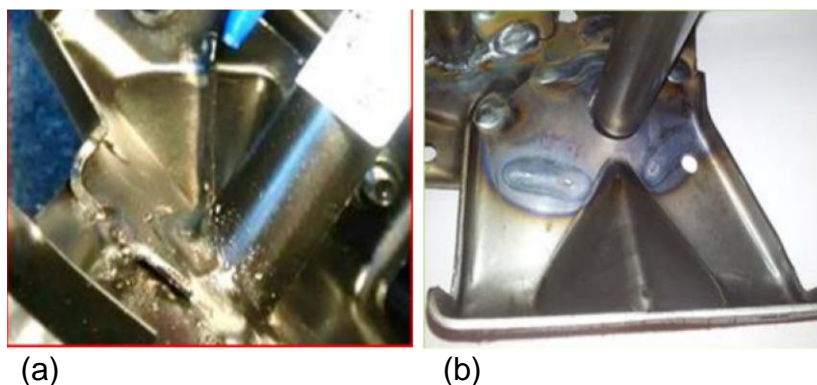
De acordo com Miller (2020), o tempo médio de ativação do arco em uma operação de soldagem é de 10% a 12%, sendo que o tempo de arco não computa o período consumido ajustando a peça ou ainda limpando o conjunto pós soldagem.

A ausência das falhas por fator humano, ao empregar robôs manipuladores no processo de soldagem industrial, favorece a qualidade e maximiza a produtividade, enquanto minimiza o custo final do produto (PIRES, 2006).

Segundo Dias e Dumont (2016), analisando os problemas encontrados durante os acompanhamentos às operações de solda manual, foram constatados problemas como: instabilidade do arco elétrico devido a variação do *stick-out* (distância definida entre o final do bico de contato da tocha e o ponto onde o arame se funde em um arco elétrico aberto), alta velocidade de soldagem, alteração do ângulo de trabalho, respingos causados pela instabilidade do arco, dosagem incorreta do gás de proteção, acúmulo de pontas de arame no início do cordão de solda, manutenção de um *preset* de parâmetros único para soldar diferentes juntas em variadas posições, gasto excedente de consumíveis do processo devido má operação e falhas ou ausência de soldaduras em “produtos acabados”.

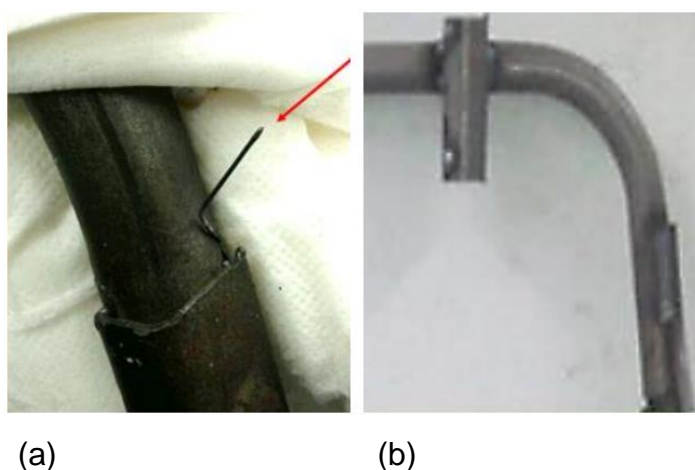
Comparando os resultados obtidos pelas operações manuais e robotizadas, no processo de soldagem de estruturas de assentos veiculares, Dias e Dumont (2016), apresentam importantes resultados referentes a qualidade final da solda de seus produtos. A solda manual revelou falhas como: respingos de solda em diversas regiões das peças, pontas de arame soldadas em locais indesejados e ausência do cordão, ou falhas devido à dificuldade do acesso a pontos de interesse causando instabilidade dos parâmetros de soldagem. Esses defeitos puderam ser evitados utilizando a célula de soldagem robotizada, conforme é apresentado nas Figuras 9 e 10, reforçando que a soldagem automática apresenta um melhor acabamento e qualidade.

Figura 9 - Em (a) coligamento com respingo de solda - soldagem manual e em (b) coligamento livre de respingo de solda - soldagem robotizada.



Fonte: Adaptado de DIAS e DUMONT (2016).

Figura 10 - Em (a) Solda de união com ponta de arame – soldagem manual e em (b) solda de união sem pontas de arame - soldagem robotizada.



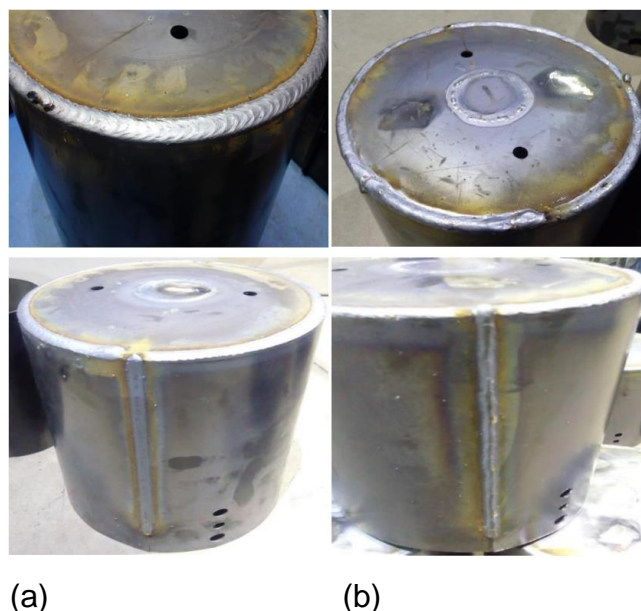
Fonte: Adaptado de DIAS e DUMONT (2016).

Analisando a diferença entre os resultados obtidos pelos processos de soldagem MIG/MAG automatizado e manual para a fabricação de 10 *boilers* (vasos de pressão), sendo 5 unidades pelo processo manual e 5 pelo automático, Cremon Junior et al. (2019), comprovaram por meio de ensaios que a soldagem robotizada propicia uma padronização no cordão de solda. Essa conclusão foi consequência da análise de variação da massa dos vasos de pressão soldados roboticamente ter sido de apenas 0,002 kg, enquanto a variação da massa dos vasos soldados manualmente ter sido de 0,033 kg.

Conforme os autores do estudo, comparando o tempo médio de soldagem dos *boilers*, a solda automática demonstrou ser mais eficiente consumindo 23,81 minutos enquanto o processo manual consumiu 43,28 minutos, demonstrando assim, um ganho de 45,1% de tempo hábil.

Por fim, foi realizado um ensaio visual e constatou-se que os corpos de prova soldados automaticamente apresentaram uma qualidade superior e alta padronização (soldas idênticas), enquanto os soldados manualmente revelaram cordões não uniformes, conforme é demonstrado na figura 11.

Figura 11 - Em (a) *Boiler* soldado processo robotizado e em (b) *Boiler* soldado processo manual.



Fonte: Adaptado de CREMON JUNIOR et al (2019).

Concluiu-se que a soldagem robotizada é superior a manual quando se é considerado a qualidade, o tempo do processo e a padronização, porém o investimento só deve ser realizado se a empresa trabalhar com um produto padrão em larga escala de produção além disso, é necessário um período para adaptações em relação às peças e suas etapas de fabricação (CREMON JUNIOR *et al*, 2019).

Analisando a produtividade dos processos manual e automatizado na fabricação da peça estrutural responsável por sustentar o cilindro de inclinação da lança dos guindastes, Fraga *et al.* (2013), concluíram que o processo robotizado

apresentou índice de retrabalho nulo, devido a programação ser realizada especificamente para o projeto da peça. Já na soldagem manual, o índice foi de 5% somado a defeitos como: porosidade, fissuras e baixa qualidade no acabamento. A Figura 12 mostra o cordão de solda realizado pelo processo automatizado, enquanto a Figura 13 apresenta o cordão pelo produzido pelo processo manual.

Figura 12 - Cordão de solda oriundo do processo automático



Fonte: FRAGA *et al* (2013).

Figura 13 - Cordão de solda oriundo do processo manual



Fonte: FRAGA *et al* (2013).

Ainda Fraga et al. (2013), verificaram que o processo automatizado frente ao manual, apresentou uma redução de 58% do tempo de operação. Também constataram que a fator de utilização foi 25% maior no automatizado frente ao manual.

Isso reforça que os efeitos sofridos pelo operador, no processo manual, devido as condições de operação, como calor excessivo e postura inadequada, reduzem consideravelmente a sua produtividade, situação que não se aplica a solda robotizada.

Por fim, no Quadro 1 estão resumidas as principais diferenças encontradas comparando ambos os processos para a construção dos *boilers*.

Quadro 1 – Processos manual *versus* automático para construção de vasos de pressão

Variáveis	Manual	Automático
Varição da massa dos vasos de pressão (kg)	0,033	0,002
Tempo médio de soldagem (min)	23,81	43,28
Índice de retrabalho (%)	5	0
Defeitos	Porosidades, fissuras	Inexistente
Ensaio visual	Cordões não uniformes	Qualidade superior, alta padronização

Fonte: Adaptado de FRAGA et al (2013).

### 3.4 Custos

O conceito de custos pode ser compreendido como todos os gastos incorridos na produção e distribuição de bens ou serviços, até o momento em que eles são vendidos (CHRISTMANN, 2009 *apud* LIMA, 1982). Esse custo inclui qualquer recurso, como matéria-prima, mão de obra, equipamentos, despesas administrativas, entre outros.

Os custos podem ser classificados como diretos, indiretos, fixos e variáveis (MARTINS, 2003).

Segundo Strutz (2017), os custos diretos podem ser quantificados e identificados no produto de análise com facilidade, não sendo necessário realizar métodos de rateio para destinar a qual produto ou serviço pertence.

Os custos indiretos não podem ser destinados completamente a um produto específico, por esse motivo, são utilizados critérios de rateio para alocar a parcela correta do custo ao produto ou serviço (STRUTZ, 2017).

Custos fixos não variam de acordo com o número de unidades de um produto produzido (STRUTZ, 2017 *apud* LEONE, 2000). Já os custos variáveis estão diretamente relacionados a proporção da produção ou venda (STRUTZ, 2017).

O planejamento, estimativas, orçamentos, financiamentos e o controle integram um bom gerenciamento de custos, garantindo assim a manutenção dos gastos, para a realização de um projeto, sem ultrapassar o orçamento pré-estabelecido (SILVA, 2016).

Ainda segundo Silva (2016), o planejamento consiste em determinar os procedimentos, documentação e políticas que serão a base para o gerenciamento do projeto, estimar os custos do projeto representa computar os recursos monetários que serão necessários para a conclusão do projeto, os orçamentos auxiliam o gestor a constituir uma base de custos real e por fim o controle representa a atualização do orçamento por meio da supervisão do andamento do projeto.

### **3.5 Investimentos**

Para Martins (2003), os investimentos representam todos os gastos contidos nos ativos da empresa que são quitados no momento da venda, consumidos, perdidos ou desvalorizados.

Investimento é o gasto em um bem ou serviço que trará benefícios futuros ou durante a sua vida útil (VICECONTI E NEVES, 2017).

Para Ribeiro (2018), são considerados investimentos, os gastos destinados à obtenção de bens de uso ou aplicações de caráter permanente, também as mercadorias destinadas a troca, a transformação de matérias primas ou ainda os bens de consumo, como materiais de expediente, enquanto não são consumidos.

Por fim, Veiga e Santos (2016), definem o investimento como um gasto destinado a finalidade do negócio, que inicialmente pode ser remetido ao estoque pelo valor de custo de aquisição.

### 3.6 Análise de viabilidade econômica

De acordo com Souza (2008), para analisar a viabilidade do investimento de capital, deve-se primeiro, gerar e avaliar todas as alternativas que atendam às especificações técnicas do investimento. Após elencar as alternativas técnicas se parte então para a análise financeira da aplicação do capital.

O objetivo da análise é garantir que os investimentos ofereçam o menor índice de risco possível, aumentando assim as chances do resultado ser positivo economicamente (BORTOLOSSI, 2021 *apud* LIMA, 2016).

Segundo Rodrigues e Rozenfeld (2014), a análise de viabilidade econômico-financeira de um projeto de investimento para produtos ou serviços tem por objetivo computar e avaliar a possibilidade de um desempenho financeiro satisfatório frente aos resultados do projeto.

#### 3.6.1 Indicadores financeiros

Os indicadores financeiros compõem a principal ferramenta para análise e interpretação dos dados obtidos do projeto proporcionando a transformação deles em informações e resultados financeiros, passíveis de serem analisados gerencialmente (HELFERT, 2000).

A utilização de uma quantidade maior de indicadores é preferível ao uso isolado de qualquer um deles, devido as informações obtidas com eles serem mais consistentes e proporcionarem um aprofundamento no momento de avaliar os riscos e as expectativas de retorno (SOUZA e CLEMENTE, 2009).

#### 3.6.2 Metodologia multi-índice ampliada (MMIA)

A metodologia multi-índice (MMI) conforme Souza e Clemente (2009), busca através de uma grande quantidade de indicadores garantir o embasamento necessário para a aceitação ou rejeição do projeto analisado. Os indicadores são divididos em dois grupos, os indicadores de retorno compostos por: Valor Presente

Líquido (VPL), Valor presente Líquido Anualizado (VPLA), Índice Benefício/Custo (IBC), Retorno Adicional sobre o Investimento (ROIA), Retorno sobre o Investimento (ROI) e utilizando a (TMA) Taxa mínima de atratividade, o índice ROIA/TMA. O segundo grupo é composto pelos indicadores de risco do projeto, como: Taxa Interna de Retorno (TIR), Período de Recuperação do Investimento (*Payback*) e índices TMA/TIR e *Payback/N*. A partir da MMI foi desenvolvida a MMIA visando uma melhor precisão dos riscos associados ao investimento, criando ainda três indicadores voltados aos limites de elasticidade.

### 3.6.3 Taxa mínima de atratividade (TMA)

A Taxa Mínima de Atratividade (TMA), também conhecida como custo de oportunidade, representa a taxa de retorno ideal, com um baixo nível de risco, para a aplicação de capital em análise. Conforme mencionado por Souza e Clemente (2009), a TMA é considerada uma taxa praticamente livre de risco e é a melhor opção de investimento disponível. Dessa forma, ao calcular a rentabilidade, apenas o ganho adicional em relação à TMA será considerado, ou seja, o valor obtido além do retorno esperado pela aplicação do capital à TMA (LIMA, 2023).

A TMA pode ser definida segundo Lima (2023), de acordo com a política da empresa onde o Projeto está sendo analisado, em taxas de juros livres de riscos como a SELIC, encontrada no Banco Central (BACEN). Por fim, pode-se também utilizar o custo médio ponderado do capital (CMPC).

### 3.6.4 Indicadores de retorno

Os indicadores de retorno são fundamentais na MMIA, pois fornecem informações sobre o rendimento financeiro obtido em relação ao investimento inicial. Esses indicadores podem incluir o retorno absoluto, que representa o ganho ou perda total em termos dinâmicos, e o retorno relativo, que compara o desempenho do ativo em relação a outros ativos. Ao analisar os indicadores de retorno, os investidores

podem tomar decisões sobre suas estratégias de investimento e avaliar a eficácia na obtenção de resultados consistentes (SAVEPI, 2023).

#### 3.6.4.1 Valor presente líquido (VPL)

O valor presente líquido concentra os valores aguardados de um fluxo de caixa na data zero. A taxa de desconto utilizada é a TMA. É a técnica mais conhecida e utilizada além de ser a mais simples do conceito de atratividade de projetos (SOUZA e CLEMENTE, 2009).

Pode também ser definido como o total de movimentações entre entradas e saídas de caixa, trazendo este valor para o tempo presente (CADORE e GIASSON, 2012 *apud* MOTTA e CALÔBA (2002)). Quanto ao período estipulado, não necessariamente será a presente (zero), podendo ser a data do início do projeto que está sendo analisado (KASSAI, 2000).

Caso o valor final for maior que zero, então deve-se aceitar o projeto de investimento, devido os retornos oferecidos cobrirem o capital investido, a taxa de atratividade e ainda proporcionar um ganho líquido satisfatório ao investidor. Se o resultado for igual a zero, o projeto de investimento é indiferente, pois o retorno irá cobrir o capital investido e o retorno mínimo exigido. Por fim, se o valor for negativo então o projeto de investimento não deve ser realizado porque o retorno não cobrirá a taxa da atratividade exigida (CHRISTMANN, 2009 *apud* BREALEY, 2006).

Para o cálculo do Valor Presente Líquido (VPL) é utilizada a Equação 1, conforme segue:

$$VPL = \sum_{j=1}^N \frac{FC_j}{(1+TMA)^j} - FC_0 \quad (1)$$

Onde:

TMA: Taxa mínima de atratividade;

j: Período genérico;

$FC_j$ : Fluxo de caixa estimado para o período j;

$FC_0$ : Módulo do investimento inicial ou fluxo de caixa no momento zero;

N: Número de Períodos.

### 3.6.4.2 Valor presente líquido anualizado (VPLA)

O valor presente líquido anualizado tem quase a mesma finalidade do VPL, porém é indicado para análises de projetos de longa duração. Desta forma é possível mensurar os ganhos do investimento em diferentes períodos como mensalmente e anualmente (ALBANO, 2023). Abaixo, segue Equação 2 representando o Valor Presente Líquido Anualizados (VPLA):

$$VPLA = VPL \times TMA \frac{(1+TMA)^N}{(1+TMA)^N - 1} \quad (2)$$

Onde:

N: Horizonte de planejamento;

VPL: Valor presente líquido;

TMA: Taxa mínima de atratividade.

### 3.6.4.3 Índice benefício/custo

O índice benefício/custo segundo SAVEPI (2023), constitui as perspectivas de ganho por unidade de capital investido no projeto, além do ganho se essa unidade de capital tivesse sido aplicada a TMA. Segue Equação 3 referente ao IBC:

$$IBC = \frac{VPL + |FC_o|}{|FC_o|} \quad (3)$$

Onde:

VPL: Valor presente líquido;

FC<sub>o</sub>: Investimento inicial.

#### 3.6.4.4 Retorno adicional sobre o investimento (ROIA, %)

O ROIA é o melhor indicador para estimar a rentabilidade de um projeto de investimento. Corresponde, percentualmente a riqueza formada pelo projeto e é proveniente da taxa equivalente ao IBC para cada período do projeto (SOUZA e CLEMENTE, 2009). Segue a equação 4 para o cálculo do ROIA:

$$ROIA = \sqrt[N]{IBC} - 1 \quad (4)$$

Em que:

N: Horizonte de Planejamento;

IBC: Índice de Benefício/Custo, considerando apenas o custo de implementação.

#### 3.6.4.5 Índice ROIA/TMA

É calculado por meio da razão entre o ROIA e o TMA. Mostra uma perspectiva do retorno extra do investimento, é o retorno advindo da decisão de proveniente no projeto (SAVEPI, 2023). A seguir Equação 5 referente ao índice ROIA/TMA.

$$\text{Índice ROIA/TMA} = \frac{ROIA}{TMA} \quad (5)$$

#### 3.6.4.6 Retorno sobre investimento (ROI, %)

Indicador responsável por medir a magnitude do retorno total do investimento, por um determinado período. Pode ser comparado ao TMA (SAVEPI, 2023). Segue Equação 6 referente ao ROI.

$$ROI = (1 + TMA) \times (1 + ROIA) - 1 \quad (6)$$

### 3.6.5 Indicadores de risco

Os indicadores de risco fornecem uma visão abrangente e quantitativa dos diferentes tipos de riscos associados aos ativos financeiros. Eles auxiliam os investidores a avaliar a volatilidade, a mistura e a possibilidade de perdas em seus investimentos, ao considerar os indicadores de risco, os investidores podem tomar decisões mais duradouras (SAVEPI, 2023).

#### 3.6.5.1 Taxa interna de retorno (TIR)

Segundo Cadore e Giasson (2012), a TIR é empregada para converter o VPL equivalente a zero, é possível medir o retorno do investimento além de limitar superiormente a rentabilidade do projeto ao passo que não se conhece o valor da TMA.

De acordo com Souza e Clemente (2009), a TIR só pode ser levada em consideração como representativa de rentabilidade do projeto se os valores da TMA coincidirem com os valores da TIR. Segue Equação 7 referente a TIR.

$$FC_0 = \sum_{j=0}^N * \frac{FC_j}{(1+i)^j} \quad (7)$$

Onde:

i: Taxa interna de retorno (TIR);

$FC_j$ : Fluxo de caixa qualquer.

Para utilizar o TIR como medida de retorno deve-se analisar se a TIR for maior que a TMA, isso significa que há mais lucro em investir no projeto do que na TMA, se TIR for igual a TMA é indiferente realizar o projeto ou manter os recursos rendendo juros na TMA e por fim, se a TIR for menor que a TMA o projeto é inviável economicamente (SOUZA e CLEMENTE, 2009).

### 3.6.5.2 Tempo de retorno de investimento (*Payback*)

Segundo Assaf (2020), o *payback* é flexível quanto a sua aplicação e corresponde na definição do tempo utilizado para que o valor investido seja recuperado por meio do fluxo de caixa gerado pelo próprio investimento.

Um período maior para o retorno do investimento determina que os valores estarão trancados por um tempo maior aumentando também o risco deste investimento (BRIGHAM, 2016).

De acordo com Christmann (2009), tempo de retorno de investimento é definido como o tempo exigido para que o dispêndio de capital equivalente ao investimento inicial seja restaurado ou superado pelo fluxo de caixa. Segue Equação 8 referente ao tempo de retorno de investimento.

$$\textit{Payback} = \frac{\textit{Investimento inicial}}{\textit{Ganho no período}} \quad (8)$$

### 3.6.5.3 TMA/TIR

O índice TMA/TIR é considerado como um taxa referente ao risco financeiro. É calculado por meio da razão entre a taxa mínima de atratividade e a taxa interna de retorno (SAVEPI, 2023 *apud* SOUZA e CLEMENTE, 2015). A Equação 9 evidencia como realizar este cálculo.

$$\textit{Índice} = \frac{\textit{TMA}}{\textit{TIR}} \quad (9)$$

Onde:

TMA: Taxa mínima de atratividade;

TIR: Taxa interna de retorno.

### 3.6.5.4 Payback/N

O índice *Payback/N* mensura o risco de não reaver o capital investido no projeto através da razão entre o tempo de retorno do investimento e o horizonte de planejamento, com isso, a percepção do risco frente a recuperação do capital investido é evidenciada (SAVEPI, 2023). Para calcular o Índice *payback/N* é utilizada a Equação 10.

$$\text{Índice} = \frac{\text{Payback}}{N} \quad (10)$$

Onde:

*Payback*: Tempo mínimo necessário para o retorno do investimento;

N: Horizonte de planejamento.

### 3.6.6 Limites de elasticidade

O mínimo que um investidor visa receber de um investimento ou ainda o máximo que ao realizar o empréstimo o tomador está disposto a pagar é a taxa de juros conhecida como TMA (taxa mínima de atratividade). Com isso, a TMA representa um investimento com a melhor taxa e menor risco disponível para aplicação do capital, devido o ganho ser somente o valor excedente ao capital aplicado sobre a TMA (RASOTO *et al.*, 2012).

Os limites de elasticidade compostos por: variação da TMA ( $\Delta\%TMA$ ), variação do investimento inicial ( $\Delta\%FC_0$ ) e variação do fluxo de caixa ( $\Delta\%FC_j$ ) evidenciam que se o resultado de ambos for positivo é indicado o quanto de variação o projeto de investimento suportará antes de se tornar economicamente inviável, já se o valor for negativo a indicação é relacionada a variação mínima que a TMA, ou a  $FC_0$ , ou ainda a  $FC_j$  devem conter para que o projeto se torne viável (SAVEPI, 2023 *apud* Lima *et al.* 2015). Para o cálculo da variação da TMA é utilizada a Equação 11.

$$\Delta \% TMA = \frac{TIR}{TMA} - 1 \quad (11)$$

Onde:

TMA: Taxa mínima de atratividade;

TIR: Taxa interna de retorno.

Para o cálculo da Variação do investimento inicial ( $\Delta\%FC_0$ , %) é utilizada a Equação 12.

$$\Delta\%FC_0 = IBC_1 - 1 \quad (12)$$

Onde:

$IBC_1$ : Índice benefício custo, considerando apenas o custo de implementação;

Segue Equação 13 para cálculo da variação do fluxo de caixa ( $\Delta\%FC_j$ )

$$\Delta\%FC_j = 1 - 1/IBC_1 \quad (13)$$

Onde:

$IBC_1$ : Índice benefício custo, considerando apenas o custo de implementação.

### **3.7 Sistema de Análise de Viabilidade Econômica de Projetos de Investimento (SAVEPI)**

Desenvolvida pelo Prof. Dr. José Donizetti de Lima, o SAVEPI é uma ferramenta computacional que tem como objetivo flexibilizar o processo de avaliação de projetos de investimento e auxiliar o ensino. De acordo com Lima (2023), o SAVEPI reúne os dados fornecidos e produz indicadores, gráficos e informações para tornar mais fácil a visualização e análise dos resultados, facilitando assim a tomada de decisão sobre a viabilidade econômica.

A MMIA avalia segundo Lima (2023), um projeto de investimentos em ativos reais analisando as dimensões de retorno, riscos e sensibilidades sob uma abordagem determinística, que mantêm todos os parâmetros de entrada constantes e inalteráveis, diferentemente de uma abordagem estocástica que considera a aleatoriedade presente nos parâmetros de entrada utilizando-se de funções de distribuição de probabilidades.

A Figura 13 demonstra como é a janela onde são inseridos os parâmetros de entrada do SAVEPI para uma abordagem determinística analisando, recursos próprios e financiamentos.

Figura 14 – Parâmetros a serem preenchidos no SAVEPI utilizando uma abordagem determinística

The screenshot displays the SAVEPI software interface for entering project parameters. The interface is organized into several sections:

- Top Section:** Three input fields for "Taxa Mínima de Atratividade (TMA, %)", "Impostos + Contribuições (IR+CSLL, %)", and "Horizonte de Planejamento (N)".
- Project A Section:** Includes checkboxes for "Recursos Próprios" (checked), "Financiamento" (checked), and "Leasing" (unchecked).
- Investment and Depreciation Section:** Contains input fields for "Investimento Inicial (FC<sub>0</sub>)", "Valor Residual (VR)" (set to 0), "Fluxo de Caixa (FC<sub>j</sub>)", "Depreciação Linear (DL<sub>j</sub>)" (set to 0), and "Prazo Depreciação (P<sub>d</sub>)". Below these are checkboxes for "FC constante?" (checked) and "Depreciação constante?" (checked).
- Financing Information Section:** Includes input fields for "Percentual Financiável (%)", "Prazo máximo", "Taxa de Juros (%)", and "Carência".
- Amortization Section:** Features a "Sistema de Amortização" section with radio buttons for "SAC" (selected), "PRICE", and "Outro", and a checkbox for "Com capitalização?" (unchecked).
- Bottom Section:** Contains "Limpar" and "Calcular" buttons.

Fonte: O autor (2023).

## 4 METODOLOGIA

A metodologia tem como objetivo estabelecer os parâmetros de pesquisa, sendo que os procedimentos metodológicos consistem na aplicação de técnicas para embasar e aprimorar projetos científicos. Para definir esses procedimentos, é fundamental utilizar métodos que correspondam às diretrizes necessárias para a execução e compreensão dos objetivos (BIAVA, 2015 *apud*. MARTINS e THEÓPHILO, 2009).

Desta forma, no presente capítulo foram descritos os procedimentos adotados para condução do estudo, tais como o delineamento da pesquisa, a descrição dos métodos utilizados no estudo e a definição da estratégia de coleta e análise de dados.

### 4.1 Delineamento da pesquisa

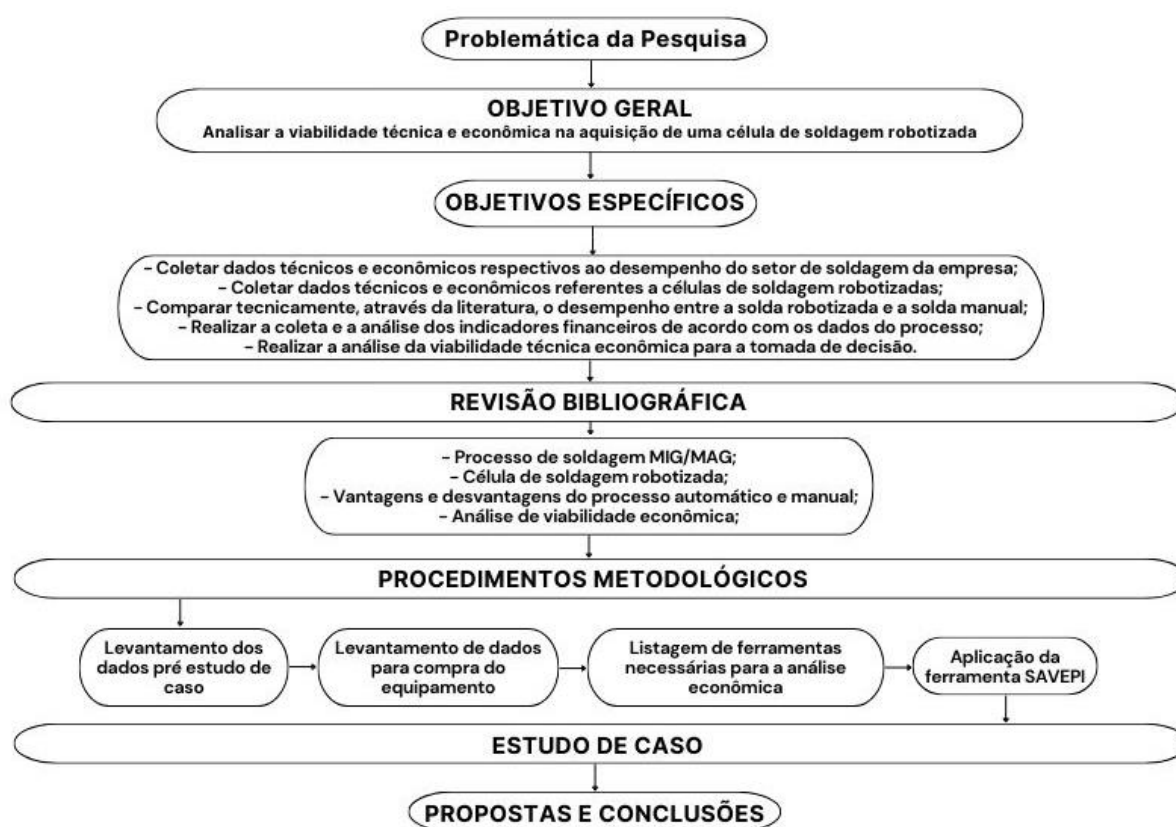
A pesquisa em questão tem fim descritivo pois, segundo Vergara (2016), apresenta as características de um fenômeno e pode estabelecer correlações entre variáveis, definindo sua natureza. Ainda possui fim explicativo visando elucidar fatores contribuintes para a ocorrência de determinado fenômeno.

Ainda Vergara (2016), assinala que os tipos de pesquisa, não são mutuamente excludentes, podendo conter na mesma pesquisa mais de um tipo aplicável.

Nesse sentido, a pesquisa é classificada, quanto aos meios, como: estudo de caso e bibliográfica. Estudo de caso, porque o trabalho em questão busca, com foco na empresa de implementos rodoviários situada na região Norte do Rio Grande do Sul, coletar dados quantitativos para, a partir deles, evidenciar possibilidades de redução de custos e obtenção de fluxo de caixa (FC) com intenção de analisar a viabilidade do projeto de investimento. Bibliográfica pois, para a fundamentação teórico-metodológica do trabalho buscou-se utilizar de referências teóricas já existentes, para embasamento e capacitação a fim de ampliar os conhecimentos voltados ao tema da pesquisa e aplicar as metodologias de análise de viabilidade posteriores.

A Figura 14 representa o fluxograma geral do trabalho.

Figura 15 – Fluxograma geral do trabalho



Fonte: AUTOR (2023).

## 4.2 Etapas do trabalho

Durante a elaboração da introdução e do referencial teórico, foram conduzidas diversas pesquisas em artigos científicos e livros para estabelecer uma base de dados. Dando segmento ao trabalho, os itens abaixo retratam as próximas etapas do estudo:

- Definir os custos iniciais para a aquisição da célula de soldagem;
- Realizar a coleta de informações na empresa através do levantamento de dados vinculados ao PI (projeto de investimento);
- Projetar os elementos do fluxo de caixa do PI;
- Calcular os indicadores a partir dos dados coletados;
- Utilizando a MMIA, gerar os resultados de seus respectivos índices através do SAVEPI;

- Organizar os dados gerados a partir do SAVEPI, para posterior interpretação e análise;
- Concluir se o investimento é viável ou não para a empresa em estudo.

### **4.3 Coleta de dados**

A empresa em estudo está situada na região norte do Estado do Rio Grande do Sul, no município de Erechim, atuando no ramo de Implementos rodoviários há 40 anos. Uma das dificuldades hoje enfrentadas pela empresa é a de escassez de mão de obra qualificada em diversos setores de fabricação como o setor de hidráulica, de eletricidade, de pintura e de soldagem. Porém, com o avanço da tecnologia torna-se possível sanar algumas dessas dependências por meio da automação de processos, evitando falhas humanas, reduzindo retrabalhos e maximizando sua produtividade, que são essenciais para a manutenção da empresa na competição pelo mercado.

Inicialmente foi realizado o levantamento dos conjuntos passíveis de substituição do processo de soldagem manual pelo automático, levando em consideração a geometria do conjunto, acesso a área de solda e existência ou necessidade de produção de gabaritos para a realização do processo no conjunto. Também foi considerado a quantidade diária demandada de produção dos conjuntos.

Após a etapa de seleção dos conjuntos, a engenharia de métodos e processos da empresa, buscando atender as demandas de redução da mão de obra direta, dos postos de trabalho, da área fabril e dos custos operacionais, além do aumento de produtividade, da padronização, da qualidade da solda e da evolução tecnológica desenvolveu um escopo do robô, o qual foi atendido por duas empresas fornecedoras, porém, devido a uma oferta de serviços mais atrativa, a empresa A foi selecionada.

A partir da definição do robô foi analisado se o equipamento atendia a demanda estabelecida pelos conjuntos a serem soldados, bem como a dimensão da célula, necessidade de 7 eixos de rotação, velocidade de soldagem, qualidade e produtividade.

Com os dados do equipamento selecionado já estabelecidos, foi levantada a velocidade média do processo manual de soldagem da empresa, por meio da média dos tempos de produção de cordões de 3 mm de perna e 100 mm de comprimento

em juntas de ângulo (90°) de filete realizados por cinco soldadores. Com a obtenção da velocidade média de soldagem manual, foi possível comparar o tempo de produção para os conjuntos demandados com os tempos do processo automático simulados pela empresa fornecedora do equipamento.

Também foi levantado o custo por m<sup>3</sup> e vazão do gás de proteção utilizado para a soldagem de chapas de carbono. A potência consumida diariamente pelas máquinas de solda MIG/MAG foi calculada com base na corrente, medida por meio de um alicate amperímetro digital, marca Minipa e modelo ET-3880 em momento de arco aberto e com a tensão trifásica da rede visando obter o consumo de energia elétrica mensal dos equipamentos. Posteriormente comparou-se os dados obtidos com os dados do processo automático a fim de evidenciar possíveis diferenças que gerem economias e formem o fluxo de caixa dessa substituição. Ainda, foi levantado o número de soldadores atualmente empregados e a despesa média da empresa com cada colaborador, para posterior comparação com o processo automático.

Por fim, foi levantado o lucro bruto anual da empresa, foco deste trabalho, visando designar uma linha de crédito mais vantajosa e estável para a análise econômica do projeto de investimento.

#### **4.4 Análise de dados**

Foi realizada a análise de dados gerados a partir dos cálculos dos indicadores financeiros e com o auxílio de gráficos e informações geradas no SAVEPI (Sistema de Análise de Viabilidade Econômica de Projetos de Investimento) com base nos dados previamente inseridos no programa. Sendo possível, após análise das informações em questão, decidir se é viável ou não a aquisição de uma célula de soldagem robotizada para a empresa foco do projeto.

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo, será discutido o desenvolvimento do estudo prático realizado na empresa de implementos rodoviários. Com base na metodologia proposta, na coleta de dados e no orçamento obtido, foi possível analisar a viabilidade técnica e econômica do projeto de aquisição de um robô de solda. Ao longo desta seção, serão apresentados os resultados obtidos e suas discussões.

### 5.1 Definição do robô de solda

O modelo da célula de soldagem designado pela engenharia de métodos e processos da empresa possui a configuração registrada na Tabela 2.

Tabela 2 – Escopo de Fornecimento da célula de soldagem escolhida pela empresa.

Quantidade (un)	Descrição
1	Braço robótico de solda com sensor de colisão em 6 eixos PANASONIC TM-1400
1	Controlador integrado TAWERS PANASONIC
1	Fonte de solda integrada TAWERS PANASONIC 350A @ 60%
1	Tocha de solda interna refrigerada PANASONIC
1	Unidade de limpeza POWER CLEANNER II
1	Unidade de refrigeração da tocha
1	Sensor de toque “ <i>touch sensing</i> ”
1	Sensor de arco “ <i>arc sensing</i> ”
1	Economizador sinérgico de gás “eco gás” POWERMIG
1	Expansão de memória
1	Base de referenciamento do robô
2	Posicionador de giro horizontal 1000 kg
1	Conjunto de manuais
1	Sistema de segurança NR-12 e NR-10 com proteções perimetrais
1	Pacote de treinamento e instalação da célula – 96 h
1	Pacote de acompanhamento técnico – 80 h

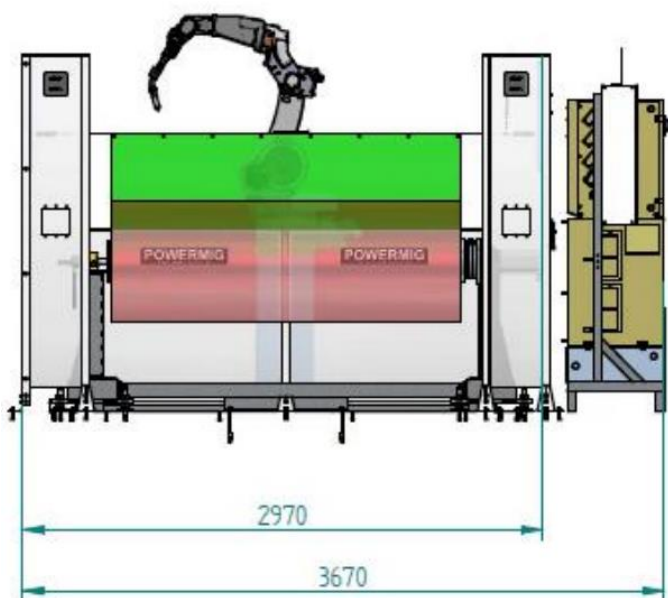
Fonte: Fornecedor (2023).

Os principais componentes, presentes na célula de soldagem selecionada para a empresa, estão descritos nos Anexos.

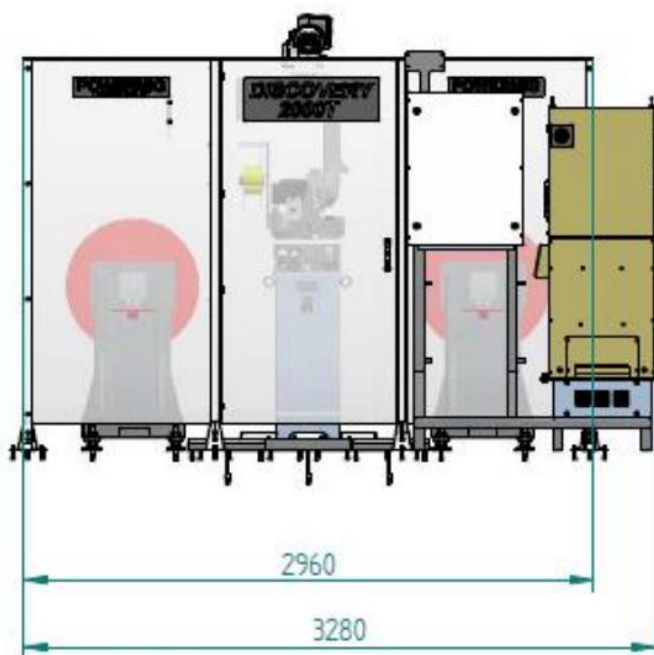
### 5.1.1 *Layout* geral da célula de soldagem

A célula de soldagem necessitará de um espaço físico em torno de 16 m<sup>2</sup> para sua instalação no setor de soldagem, visto que esse espaço está disponível hoje na empresa, não há maiores problemas para a alocação do equipamento. Abaixo, nas Figuras 15, 16 e 17 estão disponíveis as vistas frontal, superior e lateral do *layout* geral da célula de soldagem e suas principais dimensões.

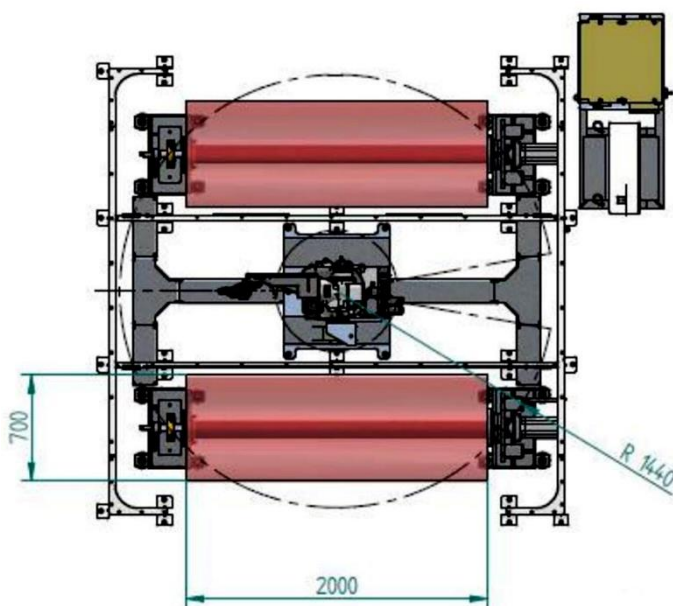
Figura 16 –Vista frontal *layout* célula de soldagem.



Fonte: Fornecedor (2023).

Figura 17 – Vista lateral *layout* célula de soldagem.

Fonte: Fornecedor (2023).

Figura 18 – Vista superior *layout* célula de soldagem.

Fonte: Fornecedor (2023).

## 5.2 Custo do investimento

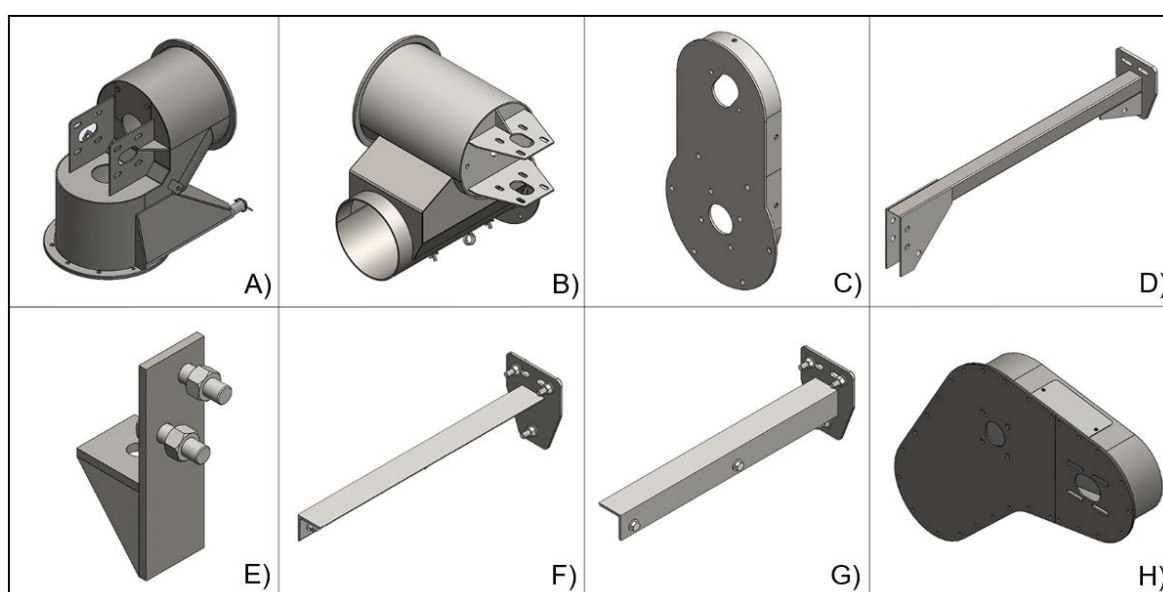
A empresa realizou um orçamento junto a fornecedora, referente a todos os itens declarados no escopo de fornecimento da célula de soldagem, entre eles estão a célula, o robô e a estação de solda, e obteve um custo total de R\$ 789.577,69, valor este com a adição dos impostos ICMS e PIS/COFINS.

Para quitar esse investimento buscou-se formar um fluxo de caixa com todos os valores que atualmente são gastos pelo processo manual de soldagem e comparar com o processo automático. Para tanto, levou-se em consideração o consumo de gás de proteção, de energia elétrica e despesas salariais.

## 5.3 Amostragem dos conjuntos a serem soldados

Para a amostragem dos conjuntos passíveis de serem soldados automaticamente, foram selecionados a quantidade de 8 montagens, considerando sua geometria, matéria prima, necessidade de produção diária e complexidade. Os conjuntos selecionados estão dispostos na Figura 18 e seus respectivos perímetros de solda estão apresentados na Tabela 3.

Figura 19 – Conjuntos passíveis de serem soldados automaticamente selecionados.



Fonte: Autor (2023).

Tabela 3 – Conjuntos selecionados e seus perímetros de solda

Conjunto	Perímetro (mm)
A	7778
B	7617
C	1345
D	1764
E	346
F	188
G	188
H	4090

Fonte: Autor (2023).

#### 5.4 Velocidade média de soldagem manual

Para ser possível analisar o tempo consumido com o processo de soldagem dos conjuntos selecionados, foi realizado um levantamento de dados afim de estimar a velocidade média de soldagem manual da empresa, os tempos em segundos para soldar 100 mm de comprimento com perna igual a 3 mm estão expostos na Tabela 4.

Tabela 4 – Tempos para soldagem de 100 mm de cordão de solda pelo processo manual

Cordão	Tempo para soldar 100 mm (s)				
	Soldador A	Soldador B	Soldador C	Soldador D	Soldador E
1	27,3	21,3	23,5	22,2	23,9
2	26,5	24,5	26,1	20,4	24,6
3	26,7	23,9	26,6	24,1	26,6
4	27,3	28,8	24,3	28,6	28,3
5	25,5	25,3	28,8	23,3	24,4
<b>Desvio padrão</b>	0,66	2,42	1,86	2,74	1,65
<b>Média individual</b>	<b>26,6</b>	<b>24,8</b>	<b>25,9</b>	<b>23,7</b>	<b>25,6</b>

Fonte: Autor (2023).

Após obter os valores médios referentes ao tempo de soldagem individual, foi realizada uma média coletiva da velocidade de soldagem para posterior análise da produção dos conjuntos selecionados com o processo automático. A Tabela 5 apresenta a velocidade média coletiva em mm/min.

Tabela 5 – Velocidade média de soldagem manual

Velocidade de solda (mm/min)					
	Soldador A	Soldador B	Soldador C	Soldador D	Soldador E
<b>Média individual</b>	225,2	242,4	231,9	252,8	234,8
<b>Média coletiva</b>	<b>237,4</b>				

Fonte: Autor (2023).

### 5.5 Análise da produção diária realizada pelo processo de solda manual

Para analisar o tempo total de produção diária realizada pelo processo de solda manual foi necessário cruzar os dados já levantados com a produção diária de cada componente e ainda considerar o tempo efetivo de soldagem do processo manual, que é caracterizada como o tempo em que o arco voltaico está aberto, frente ao tempo total de trabalho diário. A porcentagem do tempo de arco aberto diário utilizado para análise foi de 13,5% para o processo manual, visando realizar uma análise protegida. O resultado considerando o tempo efetivo de soldagem está disponível no Tempo para produção diária. Estes dados estão descritos na Tabela 6.

Tabela 6 – Tempo total para produção diária dos conjuntos selecionados através do processo manual

Conjunto	Perímetro (mm)	Velocidade (mm/min)	Tempo de arco aberto (s)	Tempo por unidade (min)	Produção diária (un)	Tempo para produção diária (min)	Tempo de arco aberto para produção diária (min)
<b>A</b>	7778	237,4	32,8	242,7	4,0	970,8	131,1
<b>B</b>	7617	237,4	32,1	237,7	4,0	950,7	128,3
<b>C</b>	1345	237,4	5,7	42,0	1,0	42,0	5,7
<b>D</b>	1764	237,4	7,4	55,0	19,0	1045,8	141,2
<b>E</b>	346	237,4	1,5	10,8	24,0	259,1	35,0
<b>F</b>	188	237,4	0,8	5,9	2,0	11,7	1,6
<b>G</b>	188	237,4	0,8	5,9	2,0	11,7	1,6
<b>H</b>	4090	237,4	17,2	127,6	3,0	382,9	51,7
<b>Tempo total para produção diária (h)</b>						61,2	8,3

Fonte: Autor (2023).

Conforme demonstrado na Tabela 7, o tempo total para a produção diária pelo processo manual é de 61,2 horas, sendo que o setor de soldagem da empresa em

questão trabalha 8,8 horas diárias. Desta forma, para atingir a produção diária estabelecida são necessários 7 operadores.

### 5.6 Análise de produção diária realizada pelo processo de solda automático

Com o objetivo de obter o tempo de produção pelo processo de solda automático foi necessário encaminhar os conjuntos selecionados para o fornecedor. Cada conjunto foi simulado e analisado individualmente visando quantificar a velocidade em que o robô conseguiria realizar a soldagem do conjunto. A produtividade do robô TM-1400, segundo a fornecedora, é de 85% e foi considerada para os cálculos de tempo por unidade.

A Tabela 7 contém os dados referentes ao tempo total para a produção diária dos conjuntos por meio do processo automático.

Tabela 7 – Tempo total para produção diária dos conjuntos pelo processo automático

Conjunto	Perímetro (mm)	Velocidade (mm/min)	Tempo de arco aberto (s)	Tempo por unidade (min)	Produção diária (un)	Tempo para produção diária (min)	Tempo de arco aberto para produção diária (min)
A	7778	570,8	13,63	16,03	4	64,12	54,50
B	7617	557,6	13,66	16,07	4	64,28	54,64
C	1345	545,6	2,47	2,9	1	2,9	2,47
D	1764	356,0	4,96	5,83	19	110,77	94,15
E	346	152,5	2,27	2,67	24	64,08	54,47
F	188	172,8	1,09	1,28	2	2,56	2,18
G	188	172,8	1,09	1,28	2	2,56	2,18
H	4090	615,3	6,65	7,82	3	23,46	19,94
<b>Tempo total para produção (h)</b>						5,58	4,74

Fonte: Autor (2023).

Conforme evidenciado na Tabela 8, o tempo total para a produção pelo processo automático foi de 5,58 horas, revelando uma redução de 90,9% no tempo de produção quando comparado ao processo manual, ainda o tempo não ultrapassa as 8,8 horas diárias de trabalho, possuindo um tempo hábil restante de 3,22 horas para soldar outros conjuntos que possam ser adicionados a produção robotizada posteriormente.

### 5.7 Consumo de gás por conjunto: processo manual *versus* automático

A empresa utiliza atualmente uma vazão média de 15 L/min de gás para soldar os conjuntos produzidos, a qual também foi utilizada para análise da soldagem automática. Como a vazão é constante no período de arco aberto, o tempo de solda efetivo irá influenciar diretamente no consumo de gás. O custo no momento presente do m<sup>3</sup> de gás é de R\$ 29,17 para a empresa.

A Tabela 8 apresenta os dados referentes ao consumo de gás de proteção.

Tabela 8 – Consumo de gás por conjunto: processo manual *versus* automático

Conjunto	A	B	C	D	E	F	G	H
<b>Tempo arco aberto manual (min)</b>	32,76	32,09	5,67	7,43	1,46	0,79	0,79	17,23
<b>Tempo arco aberto automático (min)</b>	13,63	13,66	2,47	4,96	2,27	1,09	1,09	6,65
<b>Vazão de gás (L/min)</b>	15	15	15	15	15	15	15	15
<b>Quantidade de conjuntos diários (un)</b>	4	4	1	19	24	2	2	3
<b>Varição de consumo diário de gás entre o processo manual e automático (m<sup>3</sup>)</b>	1,148	1,106	0,048	0,704	-0,292	-0,009	-0,009	0,476
<b>Diferença total diária (m<sup>3</sup>)</b>				3,17				

Fonte: Autor (2023).

Foi possível constatar que o processo automático proporciona uma economia diária de 3,17 m<sup>3</sup>, devido ao tempo de arco aberto necessário para a produção dos componentes analisados ser menor e, assim, o consumo de gás também se reduz gerando uma economia, conforme apresentado na Tabela 9.

Tabela 9 – Economia mensal total de gás: processo manual *versus* automático

Descrição dos itens analisados	Valores (R\$)
<b>Preço do gás (R\$/m<sup>3</sup>)</b>	29,17
<b>Economia diária (R\$)</b>	92,53
<b>Economia mensal para 21 dias (R\$)</b>	1943,10

Fonte: Autor (2023).

### 5.8 Consumo de energia elétrica: processo manual *versus* automático

Para comparar o consumo de energia elétrica utilizada atualmente pela empresa e o consumo estimado da célula de soldagem, foi calculada a potência por

meio da Equação (14), considerando o tempo de arco aberto diário. O custo atual do kWh na empresa é de R\$ 0,80. Dessa forma, foi possível chegar aos resultados expostos na Tabela 10.

Tabela 10 – Consumo de energia elétrica: processo manual *versus* automático

Referência	Manual	Automático
<b>Arco aberto diariamente (h)</b>	8,3	4,7
<b>Tensão (V)</b>	380,0	380,0
<b>Corrente (A)</b>	20,0	18,0
<b>Potência (kWh)</b>	13,2	11,8
<b>Consumo diário (kWh/dia)</b>	108,9	56,2
<b>Custo kWh (R\$)</b>	0,8	0,8
<b>Custo diário (R\$)</b>	84,9	43,8
<b>Custo mensal (R\$)</b>	1783,2	919,8
<b>Economia (R\$)</b>	863,34	

Fonte: Autor (2023).

Como verificado, a economia gerada é de R\$ 863,34 mensais. Este valor se justifica devido o processo automático utilizar fontes de energia com maior tecnologia consumindo menos e entregando um desempenho superior. Outro fator decisivo para a redução do consumo está em o robô necessitar um tempo menor para a produção diária, influenciando diretamente no consumo.

## 5.9 Análise dos custos da mão de obra

Para verificar a economia com despesas salariais gerada pela substituição do processo manual pelo automático, inicialmente foi levantada a quantidade necessária de colaboradores para que a produção diária dos conjuntos fosse realizada levando em consideração o tempo total de produção, estes dados estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 – Quantidade de colaboradores para atingir a produção diária analisada

Descrição	Quantidade
<b>Produção diária processo manual (h)</b>	61,2
<b>Jornada diária de trabalho (h)</b>	8,8
<b>Número de soldadores necessários (un)</b>	7

Fonte: Autor (2023).

Como mostrado na Tabela 12, são necessários 7 colaboradores para a produção dos conjuntos diários. A partir dessa informação, foi levantada a despesa individual mensal de cada soldador e estipulada a futura despesa com o cargo de operador de célula de soldagem. Considerando a quantidade de 2 operadores, prevenindo a empresa frente a possíveis eventualidades. Os dados estão dispostos na Tabela 12.

Tabela 12 – Economia mensal com despesas em mão de obra

Descrição	Despesa mensal por colaborador		Número de colaboradores	Despesa mensal total
<b>Processo Manual</b>	R\$	4.500,00	7	R\$ 31.500,00
<b>Processo Automático</b>	R\$	3.600,00	2	R\$ 7.200,00
<b>Economia Mensal</b>	R\$			24.300,00

Fonte: Autor (2023).

A economia mensal com a mão de obra é muito expressiva, mostrando-se o ponto de maior geração de fluxo de caixa para o PI com valor de R\$ 24.300,00. Esta quantia se explica devido ao alto custo da empresa com os salários e encargos sociais dos soldadores, visto que é uma mão de obra especializada e que atualmente apresenta carência no mercado.

### 5.10 Análise dos ganhos

O fluxo de caixa mensal é formado pela economia dos gastos devido a substituição do processo e tem valor mensal de R\$ 27.106,44, conforme dados descritos na Tabela 13.

Tabela 13 – Economia mensal gerada pela substituição do processo manual pelo automático

Economia em gás de proteção	Economia em salário	Economia em consumo de energia	Fluxo de caixa mensal
R\$ 1.943,10	R\$ 24.300,00	R\$ 863,34	R\$ 27.106,44

Fonte: Autor (2023).

### 5.11 Linha de financiamento

A linha de financiamento que será utilizada para a análise é o FINEP Inovacred 4.0, seu objetivo é facilitar a formulação e implementação de serviços com tecnologia 4.0 buscando solucionar problemáticas existentes em linhas de produção das indústrias brasileiras. O porte econômico onde a empresa se encaixa é o de média empresa I, com receita operacional bruta anual igual ou superior a R\$ 16 milhões e igual ou inferior a R\$ 90 milhões. A configuração disponibilizada pelo FINEP é taxa nominal igual a TR + 5,575% a.a., prazo máximo de 96 meses e carência de 24 meses. Por fim, a participação do FINEP é de até 80% do valor do investimento.

### 5.12 Análise do projeto de investimento

Para a análise da viabilidade econômica do projeto de automação será utilizado o aplicativo SAVEPI, que auxilia na geração de resultados para análise da viabilidade do projeto.

A TMA utilizada para o PI foi de 1,3125%<sup>2</sup> ao mês calculada com o valor atual da Selic acrescido de uma incerteza igual a 2% ao ano, visando agregar qualquer variação inesperada da Selic, visto que a taxa não varia seu valor a essa porcentagem desde 2006.

Ainda, foi considerado para os tributos (IR+CSLL)<sup>3</sup> o Imposto de Renda (IR) cujo valor é 15% acrescido da Contribuição Social Sobre o Lucro Líquido (CSLL) de 9%.

Também, foi inserido um horizonte de planejamento de 96 meses, fluxo de caixa de R\$ 27.106,44, e investimento inicial (FC0) igual a R\$ 789.577,69.

---

<sup>2</sup> Dados considerados para Taxa Selic. Disponível em: <https://www.bcb.gov.br/controleinflacao/historicotaxasjuros> Acesso em: 02 jun. 2023.

<sup>3</sup> Dados considerados para IR+CSLL. Disponível em: <https://www.gov.br/receitafederal/pt-br/assuntos/orientacao-tributaria/tributos/CSLL#:~:text=A%20al%C3%ADquota%20da%20CSLL%20%C3%A9,lucro%20adotada%20para%20o%20IRPJ> Acesso em: 02 jun. 2023.

O valor residual (VR) utilizado foi igual à zero, visando realizar uma análise protegida, levando em consideração a possibilidade de, decorrido o prazo do horizonte de planejamento, o equipamento possuir um valor irrisório, ou a empresa optar por desativar o equipamento ou ainda não o realizar a revenda futuramente.

Por fim, a taxa de juros utilizada foi estabelecida de acordo com a linha de financiamento, com valor igual a 0,6324% ao mês sendo a TR com valor médio de 2,014% a.a.<sup>4</sup> acrescido de 5,575% a.a.<sup>5</sup>

A Figura 20 mostra como os dados são inseridos no aplicativo SAVEPI.

Figura 20 – Dados inseridos no aplicativo SAVEPI

The screenshot displays the SAVEPI application interface with the following data entered:

- Taxa Mínima de Atratividade (TMA, %):** 1.3125
- Impostos + Contribuições (IR+CSLL,%):** 24
- Horizonte de Planejamento (N):** 96
- Projeto A:**
  - Recursos Próprios:
  - Financiamento:
  - Leasing:
- Investimento Inicial (FC<sub>0</sub>):** 789577.69
- Valor Residual (VR):** 0
- Fluxo de Caixa (FC<sub>j</sub>):** 27106.44
- Depreciação Linear (DL<sub>j</sub>):** 8224.77
- Prazo Depreciação (P<sub>d</sub>):** 96
- FC constante?:**
- Depreciação constante?:**
- Informações do Financiamento:**
  - Percentual Financiável (%): 80
  - Prazo máximo: 96
  - Taxa de Juros (%): 0.6324
  - Carência: 24
  - Sistema de Amortização:  SAC  PRICE  Outro
  - Com capitalização?:

Buttons: Limpar, Calcular

Fonte: Autor (2023).

Após inserir os dados no módulo de análise determinística no SAVEPI, utilizando a MMIA, os resultados gerados confrontam o financiamento realizado com recursos próprios e com investimento. A Tabela 14 apresenta os resultados dos seguintes indicadores econômicos: para análise de dimensão do retorno (VPL, VPLA,

<sup>4</sup> Dados considerados para TR. Disponível em: <https://debit.com.br/tabelas/tabela-completa.php?indice=tr> Acesso em: 02 jun. 2023.

<sup>5</sup> Dados considerados para FINEP Inovacred 4.0. Disponível em: [http://www.finep.gov.br/images/a-finep/Condicoes\\_Operacionais/CondicoesOperacionais.pdf](http://www.finep.gov.br/images/a-finep/Condicoes_Operacionais/CondicoesOperacionais.pdf) Acesso em: 02 jun. 2023.

IBC, ROIA e índice ROIA/TMA); para dimensão dos riscos (Payback, TIR, índice Payback/n e índice TMA/TIR) e para a dimensão de Limites de Elasticidade (Variação da TMA, variação do FCo e variação do FCj) os quais são correspondentes à variação da TMA.

Tabela 14 – Indicadores da abordagem determinística

Dimensão	Indicador	Recursos Próprios	Financiamento + TMA
<b>Retorno</b>	VPL (R\$)	438.512,96	650.214,53
	VPLA (R\$)	8.060,77	11.952,28
	IBC (R\$)	1,5554	1,8235
	ROIA (%)	0,46	0,63
	ROIA/TMA (%)	35,14	47,83
	ROI (%)	1,78	1,95
<b>Riscos</b>	Payback (meses)	48	34
	TIR (%)	2,62	3,38
	Índice Payback/N (%)	50	35,42
	Índice TMA/TIR (%)	50,09	38,87
<b>Limites de elasticidade</b>	$\Delta\%$ TMA	99,65	157,24
	$\Delta\%$ FCo	55,54	82,35
	$\Delta\%$ FCj	35,71	45,16

Fonte: Elaborado pelo Autor via aplicativo web SAVEPI (2023).

Caso o projeto seja executado com recursos próprios, esse investimento gerará um retorno no valor de R\$ 438.512,96. Entretanto, caso seja optado pelo financiamento, os benefícios esperados situam-se em torno de R\$ 650.214,53. Isso equivale a um rendimento mensal de R\$ 8.060,77 para recursos próprios e de R\$ 11.952,28 para financiamento.

O índice IBC apresentou os valores de R\$ 1,5554 para recursos próprios, enquanto para financiamento o retorno calculado foi de R\$ 1,8235 para cada R\$ 1,00 investido, favorecendo mais uma vez a utilização do financiamento. Os demais índices de retorno calculados ROIA, ROIA/TMA e ROI também mostraram maior atratividade pelo investimento financiado.

Verificando os índices de risco do PI, constatou-se que a expectativa de retorno *payback*, para o investimento com recursos próprios será de 48 meses, enquanto para

o investimento utilizando o financiamento, o tempo de recuperação do capital investido será de 34 meses.

Quanto a taxa interna de retorno (TIR), possui o intuito de avaliar a relação entre o retorno do investimento e o risco associado, busca-se determinar se a Taxa Interna de Retorno (TIR) é superior a TMA. Quando isso ocorre, indica-se que o projeto proporciona ganhos além da recuperação do valor investido, tornando-se um investimento lucrativo. No entanto, se o resultado da TIR estiver próximo ou abaixo da Taxa Mínima de Atratividade (TMA), o risco do investimento é considerado maior. Portanto, a TIR desempenha um papel importante tanto na mensuração do retorno do investimento quanto na avaliação do risco associado a ele (CADORE; GIASSON, 2012). Para o investimento analisado, a TMA é de 1,3125%, já os valores da TIR, para investimento próprio possui valor igual a 2,62% e utilizando o financiamento o valor chega a 3,38%, conclui-se então que o investimento é altamente atrativo.

O índice *payback/N* relaciona a expectativa de retorno com o horizonte de planejamento, dessa forma quanto menor o valor deste índice menor é o risco de não recuperar o capital investido, para o investimento utilizando o recurso próprio a porcentagem do índice é de 50%, já para o financiamento o valor chega a 35,42%.

Analisando a dimensão limites de elasticidade, o indicador que demonstra a variação necessária da Taxa Mínima de Atratividade (TMA) revela que seria preciso um aumento de 99,65% na opção de recursos próprios e de 157,24% no caso de financiamento para tornar economicamente inviável o atual Projeto de Investimento (PI). Esses aumentos são improváveis, analisando a variação da Taxa SELIC nos últimos 20 anos.

Por sua vez, o indicador de variação do Fluxo de Caixa Inicial (FC0) mostra que o investimento inicial poderia ser aumentado em 55,54% no caso de recursos próprios e 82,35% no caso de financiamento para inviabilizar o PI. Além disso, a variação máxima suportada pelo fluxo de caixa (FCj) antes de inviabilizar o PI é de 35,71% para recursos próprios e 45,16% para a utilização de financiamento.

A seguir, no Quadro 2 propõem-se confrontar as dimensões da MMIA observando a classificação do retorno e dos riscos do projeto de aquisição da célula de soldagem, enquadrando cada caso conforme a categoria e risco.

Quadro 2 – Escala proposta para confrontar as dimensões da MMIA

<b>Categoria</b>	<b>Índice</b>	<b>Obs.</b>	<b>Baixo</b>	<b>Baixo-médio</b>	<b>Médio</b>	<b>Médio-alto</b>	<b>Alto</b>	<b>Obs.</b>
<b>Retorno</b>	<b>ROIA/TMA</b>			Rec. Próprios	Financ. + TMA			-
<b>Riscos</b>	<b>Payback/N</b>			Financiamento + TMA	Rec. Próprios			-
	<b>TMA/TIR</b>			Financ. + TMA	Rec. Próprios			-
<b>Limites de elasticidade</b>	<b><math>\Delta\%</math> TMA</b>						Rec. Próprios	Financ. + TMA
	<b><math>\Delta\%</math> FC0</b>				Rec. Próprios		Financ. + TMA	-
	<b><math>\Delta\%</math> FCj</b>			Rec. Próprios	Financ. + TMA			-
<b>Escala proposta</b>		<b>&lt; 0%</b>	<b>0% a 20%</b>	<b>20% a 40%</b>	<b>40% a 60%</b>	<b>60% a 80%</b>	<b>80% a 100%</b>	<b>&gt; 100%</b>

Fonte: Elaborado pelo Autor via aplicativo web SAVEPI (2023).

Analisando o Quadro 2, o investimento pode ser definido com um retorno de médio risco quando realizado por financiamento e baixo-médio quando concretizado com recursos próprios. Quanto aos riscos da não recuperação do capital investido, para o investimento com capital próprio o risco é médio, já para o investimento o risco é baixo-médio. Por fim, comparando os limites de elasticidade do projeto percebe-se que o financiamento é mais vantajoso pois possibilita uma maior variação tanto da TMA, do FC0 e do FCj, garantindo maior confiabilidade ao investimento.

## 6 CONCLUSÕES

Atualmente, a indústria de implementos rodoviários busca viabilizar meios de manter-se competitiva no mercado empresarial, maximizando seus lucros e minorando seus gastos ao mesmo passo em que aprimora a qualidade de seus produtos. Uma possível forma de atingir esse objetivo é através da automação de processos de produção, como a soldagem. Por esse motivo, o presente trabalho buscou analisar técnica e economicamente a viabilidade para a aquisição de um robô de solda.

Inicialmente, foi realizado um estudo voltado ao processo de soldagem MIG/MAG, principal método hoje utilizado na empresa. Como resultado, compreendeu-se que este método possui grande capacidade produtiva e variada aplicação, além de não possuir restrições quanto a posições de soldagem e garantir alta deposição do arame.

Através da análise técnica, foi constatado que a utilização de um robô de solda pode trazer inúmeros benefícios, tais como a melhoria da qualidade da solda, o aumento da produtividade e a redução de erros humanos. Além disso, o robô apresenta maior flexibilidade operacional, permitindo a execução e adaptação a diferentes demandas de produção.

Em seguida, foi verificado que ao substituir o processo manual pelo automático na empresa, o tempo para a produção diária dos conjuntos analisados reduz 55,62 horas, influenciando no consumo de energia elétrica e de consumíveis do processo, além de reduzir a quantidade necessária de colaboradores no setor, produzindo uma economia mensal de R\$ 27.106,44.

A partir dos dados levantados, foi analisada a viabilidade econômica do projeto de investimento através de uma análise determinística em duas frentes, investimento com recursos próprios e financiamento. O projeto se mostrou viável para a empresa em ambas as simulações, porém muito mais rentável se realizado por meio de financiamento, pois apresentou, além dos demais indicadores de retorno e risco calculados na análise, um valor presente líquido de R\$ 650.214,53, taxa interna de retorno de 3,38% e *payback* de 34 meses.

Ainda foi verificado que a TMA pode variar até 135,35%, o valor do investimento inicial do PI pode aumentar até 78,18% e o fluxo de caixa pode reduzir até 43,88% que o investimento ainda será viável.

Por fim, mediante às análises supracitadas é possível confirmar que o projeto de investimento apresenta viabilidade técnica e econômica.

## 7 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A fim de dar continuidade neste trabalho e ou melhorá-lo, sugere-se como propostas futuras:

- Caso o projeto venha a ser executado, realizar uma análise para comparação do projeto estudado *versus* projeto executado, verificando se houve variações expressivas nos resultados;

- Mensurar o tempo de produção individual de cada componente, tendo em vista eliminar possíveis variações de dados que possam influenciar na análise final do projeto de investimento;

- Utilizar o método realizado no trabalho para futuras análises de viabilidade de projetos de investimento atualizando as taxas ao período analisado.

## REFERÊNCIAS

ALBA, Diego Rafael. **INFLUÊNCIA DOS PARÂMETROS SOBRE A GEOMETRIA DOS CORDÕES PRODUZIDOS POR SOLDAGEM MAG ROBOTIZADA**. 2013. 28 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2013. Disponível em: <https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/66442>. Acesso em: 12 abr. 2023.

ALBANO, Junior Cezar da Silva. **ESTUDO DE VIABILIDADE ECONÔMICA DA EXPANSÃO E AUTOMATIZAÇÃO DO SETOR DE EMBALAGEM EM AGROINDÚSTRIA AVÍCOLA**. 2023. 20 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Engenharia de Produção, Utfpr, Curitiba, 2023. Disponível em: <https://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/22211>. Acesso em: 20 abr. 2023.

ALVES, Valtair de Jesus. **DESENVOLVIMENTO DE ENVELOPES OPERACIONAIS PARA PROCESSO MIG/MAG ROBOTIZADO COM DIFERENTES GASES DE PROTEÇÃO**. 2009. 172 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Minas, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2009. Disponível em: <https://docplayer.com.br/44888388-Desenvolvimento-de-envelopes-operacionais-para-processo-mig-mag-robotizado-com-diferentes-gases-de-protecao-por-valtair-de-jesus-alves.html>. Acesso em: 12 abr. 2023.

APOLINÁRIO, Fábio. **Metodologia da Ciência - Filosofia e prática da pesquisa - 2ª edição revista e atualizada**. [Digite o Local da Editora]: Cengage Learning Brasil, 2013. E-book. ISBN 9788522114719. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522114719/>. Acesso em: 06 mai. 2023.

ARNALDO MELLO SOLCI. **SOLDAGEM AO ARCO ELÉTRICO SOB PROTEÇÃO GASOSA: processo mig - mag**. White Martins, 2016. 34 p. Disponível em: <https://silo.tips/download/soldagem-ao-arco-eletrico-sob-proteao-gasosa>. Acesso em: 16 abr. 2023.

ASSAF NETO, Alexandre. **Finanças corporativas e valor**. 7. ed. São Paulo: Atlas, 2014. 824 p.

AZEVEDO, Sarah Cristina. **AVALIAÇÃO DE ASPECTOS OPERACIONAIS DO PROCESSO DE SOLDAGEM TIG-MIG/MAG**. 2019. 108 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Goiás, Catalão, 2019.

BORTOLOSSI, Diego. **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA PARA IMPLANTAÇÃO DE EMPRESA NO SETOR METAL MECÂNICO**. 2021. 59 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Instituto de Desenvolvimento Educacional do Alto Uruguai Centro Universitário Ideau, Getúlio Vargas, 2021.

CREMON JUNIOR, Onivaldo Aparecido *et al.* **COMPARAÇÕES NA SOLDAGEM MIG/MAG: AUTOMATIZADA E MANUAL**. In: SIMPOSIO DE TECNOLOGIA DA

FATEC DE SERTAOZINHO, 2., 2019, Sertaozinho. 2019. p. 1-10. Disponível em: <https://sitefa.fatecsertaozinho.edu.br/sitefa/article/download/73/36/683>. Acesso em: 14 abr. 2023.

BRIGHAM, Eugene F.; EHRHARDT, Michael C. **Administração Financeira: Teoria e prática** - Tradução da 14ª edição norte-americana. [Digite o Local da Editora]: Cengage Learning Brasil, 2016. E-book. ISBN 9788522124008. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788522124008/>. Acesso em: 02 mai. 2023.

CADORE, Gilse; GIASSON, Oldair Roberto. Análise dos índices financeiros e econômicos de uma importadora de máquinas, para possível investimento. Publicação em: 2012. Disponível em: [http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1505/1/PB\\_EGCF\\_VII\\_2012\\_10%20.pdf](http://repositorio.roca.utfpr.edu.br/jspui/bitstream/1/1505/1/PB_EGCF_VII_2012_10%20.pdf) Acesso em: agosto/2021.

CLEBER FORTES (org.). **Soldagem MIG/MAG**. São Paulo: Esab, 2005. 135 p. Disponível em: <https://www2.ufjf.br/profab/files/2016/09/ESAB-Apostila-MIG-MAG.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2023.

CHRISTMANN, Rodrigo Augusto. **ANÁLISE DE INVESTIMENTOS – UM SISTEMA DE APOIO À DECISÃO**. 2009. 87 f. TCC (Graduação) - Curso de Administração, Centro Universitário Univates, Lajeado, 2009. Disponível em: <https://univates.br/bdu/handle/10737/588>. Acesso em: 16 abr. 2023.

DAS, S. **UNDERSTANDING HIDDEN FACTORS THAT INFLUENCE COSTS OF ARC WELDING OPERATIONS: advances in production engineering & management**. *Apem Journal*. Paldi, p. 213-224. jul. 2012.

DELLAY, Bruna dal Castel. **ANÁLISE DA VIABILIDADE DE UM PROJETO DE AQUISIÇÃO DE UMA CÉLULA DE SOLDAGEM ROBOTIZADA**. 2021. 56 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2021. Disponível em: <http://repositorio.upf.br/handle/riupf/2043>. Acesso em: 16 abr. 2023.

DUMONT, Claudiney Último; DIAS, Gesse. **OTIMIZAÇÃO DO PROCESSO DE SOLDAGEM DE ESTRUTURAS DE ASSENTOS VEICULARES**. 2016. 68 f. Monografia (Especialização) - Curso de Especialização em Soldagem, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/32435/1/Monografia%20Gess%C3%A9%20e%20Claudiney%20-%20UFMG%2019.06.2016%20revis%C3%A3o%20final%206.pdf>. Acesso em: 18 abr. 2023.

EBRAHIMI, M; BABOLI, A; ROTHER, E. **A Roadmap for evolution of existing production system toward the factory of the future: A case study in automotive industry**. IEEE International Conference on Technology Management, Operations and Decisions (ICTMOD), Marrakech, Morocco, 2018. Disponível em: <

<https://ieeexplore.ieee.org/document/8691276/references#references>> Disponível em: 11 mar. 2023.

FRAGA, Gabriel *et al.* AUTOMAÇÃO NO PROCESSO DE SOLDA MIG/MAG. In: INOVTEC, 2., 2013, Sapucaia do Sul: 2013. p. 1-10. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/336829590\\_Automacao\\_no\\_Processo\\_de\\_solda\\_MIGMAG](https://www.researchgate.net/publication/336829590_Automacao_no_Processo_de_solda_MIGMAG). Acesso em: 22 abr. 23.

FÜHR, Tiago. **Reconhecimento e avaliação dos riscos ambientais gerados nos processos de soldagem de uma empresa do segmento metal mecânico.** 2012. 76 folhas. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Ijuí, 2012. Disponível em: < <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/handle/123456789/1259#:~:text=Desta%20maneira%2C%20este%20trabalho%20tem,e%20a%20efici%C3%Aancia%20dos%20trabalhadores.>> Acesso em: 09 mar. 2023.

GIL, Antonio Carlos. **Como elaborar projetos de pesquisa.** São Paulo: Atlas, 2002. 176 p. Disponível em: [https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo\\_C1\\_como\\_elaborar\\_projeto\\_de\\_pesquisa\\_-\\_antonio\\_carlos\\_gil.pdf](https://files.cercomp.ufg.br/weby/up/150/o/Anexo_C1_como_elaborar_projeto_de_pesquisa_-_antonio_carlos_gil.pdf). Acesso em: 24 abr. 2023.

HELFERT, Erich A. Técnicas de análise financeira: um guia prático para medir o desempenho dos negócios. 9. ed. Porto Alegre: Bookman, 2000. 411p.

JOSÉ PINTO RAMALHO. **TECNOLOGIA DOS PROCESSOS DE SOLDAGEM E CORTE.** São Paulo: 2002. 1199 p. Disponível em: [http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec\\_NOTURNO/TM354/Manual%20de%20Processos%20de%20Soldagem.pdf](http://ftp.demec.ufpr.br/disciplinas/EngMec_NOTURNO/TM354/Manual%20de%20Processos%20de%20Soldagem.pdf). Acesso em: 6 abr. 2023.

JOSÉ DONIZETTI DE LIMA. **Guia prático para usuários do SAVEPI.** Pato Branco: Savepi, 2023. 180 p.

KASSAI, José Roberto; KASSAI, Sílvia; SANTOS, Ariovaldo dos; ASSAF NETO, Alexandre. Retorno de Investimento: Abordagem Matemática e Contábil do Lucro Empresarial. São Paulo: Atlas 2000.

MARTINS, Eliseu. **Contabilidade de Custos:** o uso da contabilidade de custos como instrumento gerencial de planejamento e controle. 9. ed. São Paulo: Atlas, 2003. 262 p. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/mod/resource/view.php?id=3204628>. Acesso em: 21 abr. 2023.

MERRIFIELD, T. **Guidelines for Implementing Robotic Arc Welding.** Welding Journal, 84, nº4, p. 34-37, Apr, 2005.

MILLER. **What Is Welding Arc-on Time and Are You Overestimating It?** 2020. Disponível em: <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/what-is-welding->



<[https://www.artliber.com.br/amostra/soldagem\\_mig\\_mag.pdf](https://www.artliber.com.br/amostra/soldagem_mig_mag.pdf)> Acesso em: 10 mar. 2023.

SILVA, Tayrone Godoy da. **ANÁLISE DE VIABILIDADE ECONÔMICA DE UM PROJETO RODOVIÁRIO**. 2016. 53 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2016. Disponível em: [https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/196/1/MONOGRAFIA\\_An%C3%A1liseViabilidadeEcon%C3%B4mica.pdf](https://www.monografias.ufop.br/bitstream/35400000/196/1/MONOGRAFIA_An%C3%A1liseViabilidadeEcon%C3%B4mica.pdf). Acesso em: 15 abr. 2023.

SAVEPI. Sistema de Análise de Viabilidade Econômica de Projetos de Investimento, 2020. Aplicativo educacional. Disponível em: <http://pb.utfpr.edu.br/savepi/recursosDidaticos.php>. Acesso em: 28 abr. 2023

SOUZA, Alceu. **DECISÕES FINANCEIRAS E ANÁLISE DE INVESTIMENTOS: Fundamentos, Técnicas e Aplicações**. [Digite o Local da Editora]: Grupo GEN, 2008. E-book. ISBN 9788597023466. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597023466/>. Acesso em: 01 mai. 2023.

SOUZA, A.; CLEMENTE, A. **Decisões Financeiras e Análises de Investimentos: Conceitos, técnicas e aplicações**. 6. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

STRUTZ, Emerson. **Gestão e Análise de Custos**. Indaial: Uniasselvi, 2017. 199 p. Disponível em: <https://www.uniasselvi.com.br/extranet/layout/request/trilha/materiais/livro/livro.php?codigo=23504>. Acesso em: 13 abr. 2023.

SUMIG. Disponível em: <https://www.sumig.com>. Acesso em: 16 abr. 2023.

VEIGA, W. E.; SANTOS, F. A. **Contabilidade de custos: gestão em serviços, comércio e indústria**. São Paulo: Atlas, 2016.

VERGARA, Sylvia C. **Projetos e Relatórios de Pesquisa em Administração, 16ª edição**. [Digite o Local da Editora]: Grupo GEN, 2016. E-book. ISBN 9788597007480. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788597007480/>. Acesso em: 06 mai. 2023.

VICECONTI, Paulo. **Contabilidade básica**. [Digite o Local da Editora]: Editora Saraiva, 2017. E-book. ISBN 9788547220921. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788547220921/>. Acesso em: 04 mai. 2023.

## ANEXOS

### Anexo A1 - Braço robótico de solda PANASONIC TM-1400

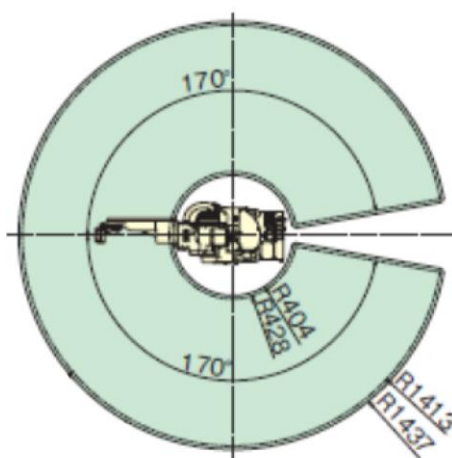
O braço robótico de solda selecionado é o PANASONIC TM-1400, ele possui 6 graus de liberdade, repetibilidade em torno de 0,08 mm, área máxima de trabalho de 1437 mm e mínima de 404 mm, conforme a representação da Figura 21.

Figura 21 – Braço robótico de solda



Fonte: Fornecedor (2023).

Figura 22 – Alcance máximo e mínimo de soldagem do braço robótico



Fonte: Fornecedor (2023).

Ainda, suas velocidades de rotação, que influenciam na velocidade final de soldagem, estão dispostas na tabela 3 abaixo:

Tabela 15 – Velocidade de rotação de cada membro do braço robótico

Velocidade (°/s)	Descrição
225	Tronco giratório
225	Braço superior
225	Antebraço
425	Pulso giratório
425	Dobrar pulso
625	Torcer pulso

Fonte: Autor (2023).

## **Anexo A2 - Controlador e fonte integrados *TAWERS PANASONIC***

O sistema de controle da *TAWERS I/O (in/out)* combina hardware e software avançado para otimizar o desempenho dos robôs de manuseio. O controlador é integrado com o robô e outros equipamentos relacionados, como fontes de energia, tochas de controle e dispositivos de rastreamento. Este controlador é capaz de fornecer um controle preciso do arco elétrico durante o processo de soldagem e ajusta automaticamente em tempo real os parâmetros de tensão, corrente, velocidade de alimentação do arame e gás de proteção, para maior qualidade do cordão.

Ainda o *TAWERS* pode recolher e analisar dados durante o processo de soldagem, identificando padrões e anomalias que podem afetar a qualidade da solda. Isso permite que o operador realize ajustes e correções imediatas para garantir a conformidade com os padrões de qualidade exigidos.

Segue Figura 22, representando a caixa de comando juntamente com a fonte de alimentação.

Figura 23 – Controlador *TAWERS PANASONIC*



Fonte: Fornecedor (2023).

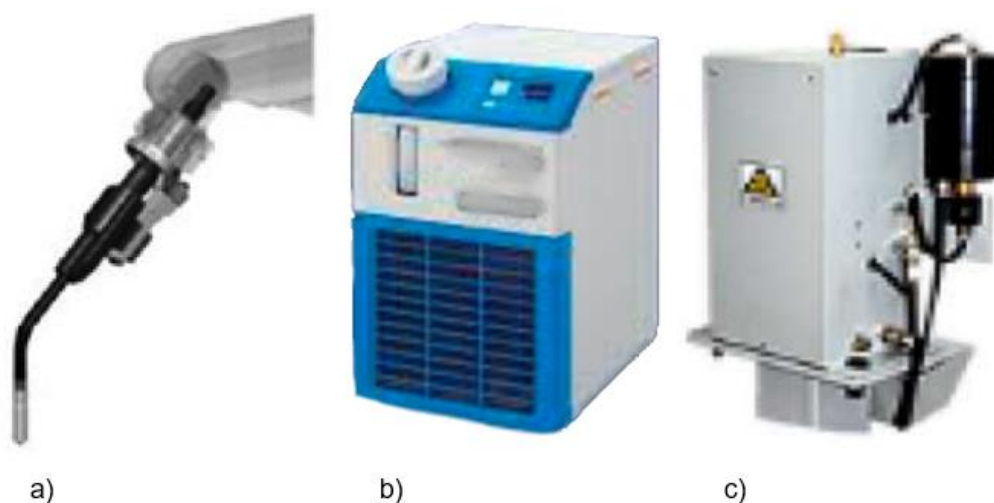
### **Anexo A3 - KIT para tocha de soldagem**

A tocha de soldagem possui um sistema de refrigeração que utiliza água gelada deionizada. Esse sistema, contém um reservatório de 5 litros o qual, permite refrigerar eficientemente tanto a tocha quanto seus componentes, prolongando a vida útil deles. Além disso, esse sistema tem uma faixa de temperatura de operação que varia de 5°C a 40°C.

Ainda, a tocha conta com um mecanismo de limpeza, que garante uma remoção eficiente dos respingos que se acumulam no bocal. Para auxiliar nesse processo, há a presença de um injetor de antirrespingo e um cortador de arame integrado à tocha.

Abaixo, segue Figura 23 com representação dos itens que compõem o KIT para tocha de soldagem.

Figura 24 – a) Tocha b) Unidade de refrigeração e c) Unidade de limpeza do bocal da tocha



Fonte: Autor (2023).

#### **Anexo A4 - Sensor de Toque**

Essa função tem o objetivo de verificar a posição da peça de trabalho ao detectar o movimento usando um fio de solda ou um bico de gás. O robô é capaz de realizar o deslocamento com base nos dados verificados pelo movimento de detecção tátil. O movimento de detecção tátil já está disponível como uma biblioteca e pode ser incorporado ao programa selecionando o tipo de movimento desejado. Com isso, o programador pode reduzir o tempo de programação necessário.

O sensor é útil para identificar possíveis deslocamentos (incorretos) das peças de trabalho. Por meio de uma tensão gerada entre o fio e cada peça de trabalho é possível determinar a posição do conjunto a ser soldado. Caso exista algum desvio entre a posição original e atual, este valor é registrado como um dado de deslocamento, permitindo ao robô ajustar-se de acordo com esses dados.

Segue Figura 24, representado o sensor de toque em funcionamento.

Figura 25 – Sensor de toque realizando o ajuste de posição.



Fonte: Autor (2023).

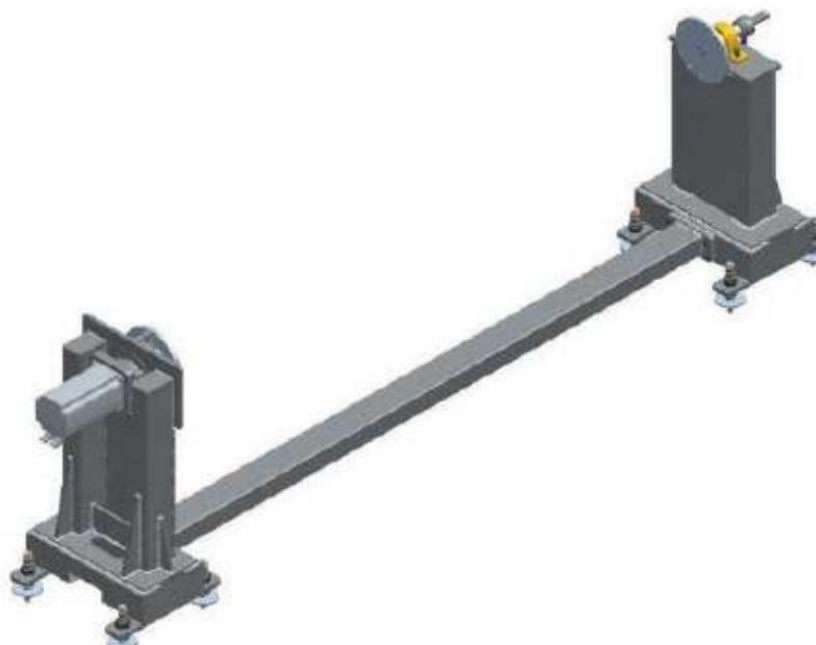
Essa função é de grande valor para a empresa, visto que atualmente, os setores de dobra e corte sofrem com variações recorrentes de dimensões em suas peças, com isso será possível realizar a soldagem de uma quantidade maior de elementos, não limitando o processo apenas a conjuntos com tolerâncias dimensionais mínimas.

#### **Anexo A5 - Posicionador de Giro Horizontal**

O posicionador de giro horizontal tem por função rotacionar automaticamente o conjunto a ser soldado de acordo com a necessidade. Comandado eletricamente pelo controlador e harmonizando sua rotação aos movimentos do braço robótico visa facilitar o processo, proporcionar novas posições de soldagem e flexibilizar a solda em posições de difícil acesso.

A distância entre as placas do posicionador é de 2000 mm, o diâmetro de ação de soldagem é de 700 mm e a capacidade de carga em cada posicionador é de 1000 kg, segue Figura 25 uma representação isométrica do posicionador de giro horizontal.

Figura 26 – Vista isométrica do posicionador de giro horizontal.



Fonte: Fornecedor (2023).