

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE O PROCESSO
DE SOLDAGEM GMAW MANUAL E ROBOTIZADO
ATRAVÉS DO PARÂMETRO DE VELOCIDADE.**

José Antônio Rangel

Pindamonhangaba - SP

2024

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE O PROCESSO
DE SOLDAGEM GMAW MANUAL E ROBOTIZADO
ATRAVÉS DO PARÂMETRO DE VELOCIDADE.**

José Antônio Rangel

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba para
graduação no Curso Superior de Tecnologia em
Mecânica: Processo de Soldagem

Orientador: Prof. Dr. Edilon de Oliveira França

Pindamonhangaba - SP

2024

R196e

Rangel, José Antônio.

Estudo de caso comparativo entre o processo de soldagem GMAW manual e robotizado através do parâmetro de velocidade / José Antônio Rangel / FATEC Pindamonhangaba, 2024.
47f.: il.

Orientador: Professor Dr. Edilon de Oliveira França
Monografia (Graduação) – FATEC – Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. 2024

1. Soldagem. 2. GMAW. 3. Processo de soldagem robótico. 4. Velocidade. 5. Custo. I. Rangel, José Antônio. II. França, Edilon de Oliveira. III. Título.

CDD 621

Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba

**“ESTUDO DE CASO COMPARATIVO ENTRE O
PROCESSO DE SOLDAGEM GMAW MANUAL E
ROBOTIZADO ATRAVÉS DO PARÂMETRO DE
VELOCIDADE”.**

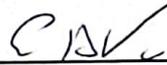
Jose Antonio Rangel

Monografia apresentada à Faculdade de
Tecnologia de Pindamonhangaba, para
graduação no Curso Superior de
Tecnologia em Mecânica: Processos de
Soldagem.

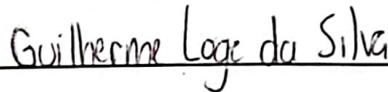
Comissão Examinadora



Orientador – Prof. Dr. Edilon de Oliveira França



Membro – Prof. Dr. Emerson Augusto Raymundo



Membro – Sr. Guilherme Lage da Silva

Pindamonhangaba, 26 de junho de 2024.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho e toda a jornada de conclusão do meu curso à minha esposa, Elaine, que acreditou em mim e esteve ao meu lado em todos os momentos, mantendo-me motivado.

AGRADECIMENTO

Agradeço, primeiramente, a Deus, pelas incontáveis bênçãos em minha vida que me proporcionaram chegar até este momento.

À minha esposa, por acreditar em mim e me incentivar a sempre ir mais longe.

Às minhas filhas, Jade e Nicoli, que são minha maior motivação na busca de novos horizontes.

Ao professor Edilon, que tão bem me guiou na escrita e desenvolvimento deste trabalho.

Ao meu supervisor, Rômulo, que foi um grande incentivador na minha jornada de volta à faculdade.

E por fim, à Nossa Senhora Aparecida, em quem depositei toda a fé e devoção ao longo destes anos e que tenho certeza de que esteve ao meu lado todos estes dias.

“Sem sacrifício, não haverá vitória.”

Michael Bay

RANGEL, JOSÉ ANTÔNIO. **Estudo de Caso Comparativo Entre o Processo de Soldagem GMAW Manual e Robotizado Através do Parâmetro de Velocidade**. 2024. 48p. Trabalho de Graduação (Curso de Tecnologia em Mecânica – Processos de Soldagem). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2024.

RESUMO

O processo de soldagem vem sendo usado desde a antiguidade e idade média e passou por significativas transformações desde então. Entre as possibilidades de execução do processo de soldagem encontra-se o processo de soldagem *Gas Metal Arc Welding* (GMAW), extensivamente aplicado na indústria. A soldagem GMAW tem passado pela transição da utilização do processo manual para o robótico/automatizado, impulsionada por estudos que indicam como critérios responsáveis da transição a escassez do soldador qualificado, a saúde debilitada dos soldadores humanos pela exposição a gases tóxicos e a demanda por produtividade cada vez maior. O presente estudo busca resolver a questão problema “Quais diferenças entre o processo robotizado e manual no processo GMAW em velocidade?” e, sua execução justifica-se pela possibilidade de trazer à literatura acadêmica um estudo baseado em experimentação que possibilitem a tomada de decisão sobre a escolha entre o processo de soldagem manual e robotizado, tendo como objetivos avaliar as diferenças no processo manual de soldagem GMAW para o robotizado, considerando o fator velocidade através da realização de testes em corpos de prova e posterior avaliação de resultados acerca da velocidade e custo dos processos estudados.

Palavras-chave: Soldagem. GMAW. Processo de soldagem manual. Processo de soldagem robótico. Velocidade. Custo.

RANGEL, JOSÉ ANTÔNIO **Comparative Case Study Between the Manual and Robotic GMAW Welding Process Using the Speed Parameter**. 2024. 48p. Graduation Project (Mechanical Technology Course – Welding Processes). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2024.

ABSTRACT

The welding process has been used since antiquity and the Middle Ages and has undergone significant transformations since then. Among the possibilities for carrying out the welding process is the Gas Metal Arc Welding (GMAW) welding process, extensively applied in industry. GMAW welding has undergone a transition from using a manual process to a robotic/automated one, driven by studies that indicate the scarcity of qualified welders, the poor health of human welders due to exposure to toxic gases and the demand for productivity as responsible criteria for the transition. increasingly bigger. The present study seeks to resolve the problem question “What is the difference between the robotic and manual process in the GMAW process at speed?” and, its execution is justified by the possibility of bringing to the academic literature a study based on experimentation that allows decision-making on the choice between the manual and robotic welding process, with the objectives of evaluating the differences in the manual GMAW welding process for the robotic one, considering the speed factor by carrying out tests on specimens and subsequent evaluation of results regarding the speed and cost of the processes studied.

Keywords: Welding. GMAW. Manual welding process. Robotic welding process. Speed. Cost.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – União Macroscópicos A) Rebite e B) Parafuso	18
Figura 2 – Ligações Químicas.....	18
Figura 3 – Exemplo de soldagem A) Ultrassom B) Fricção	19
Figura 4 – Processo de soldagem GMAW.	20
Figura 5 – Equipamento básico para desenvolvimento do processo GMAW	21
Figura 6 – Equipamentos para execução de processo GMAW manual	22
Figura 7 – Componentes de uma célula de soldagem robotizada.....	23

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Mapeamento do Processo de Soldagem Manual.....	30
Quadro 2 – Mapeamento do Processo de Soldagem Robótico.....	31
Quadro 3 – EPI dos Processos de Soldagem	34

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Detalhamento dos cordões de solda do corpo de prova	26
Tabela 2 – Parâmetros de Soldagem GMAW	29
Tabela 3 – Cronoanálise da Etapa 1	33
Tabela 4 – Cronoanálise da Etapa 2	35
Tabela 5 – Cronoanálise da Etapa 3	35
Tabela 6 – Cronoanálise da Etapa 4	36
Tabela 7 – Cronoanálise da Etapa 5	37
Tabela 8 – Cronoanálise da Etapa 6	37
Tabela 9 – Cronoanálise do processo de tombamento, subprocesso da Etapa 6	38
Tabela 10 – Cronoanálise da etapa 7	38
Tabela 11 – Cronoanálise da etapa 8	39
Tabela 12 – Cronoanálise geral dos processos	40
Tabela 13 – Tempo de arco aberto e fator operacional dos processos robótico e manual	41
Tabela 14 – Tempo de Solda dos processos robótico e manual.....	42
Tabela 15 – Custo de mão de obra dos processos manual e robótico.....	43

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 PROBLEMA	15
1.2 OBJETIVOS	16
1.2.1 Objetivo Geral	16
1.2.2 Objetivos Específicos	16
1.3 JUSTIFICATIVA	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 SOLDAGEM	17
2.1.1 Processo GMAW	20
2.1.2 Processo de soldagem manual	21
2.1.3 Processo de soldagem robotizado	22
2.2 <i>LEAN MANUFACTURING</i>	23
2.2.1 Cronoanálise	23
2.2.2 Setup	24
2.2.3 Matriz 5W2H	25
3 MATERIAIS E MÉTODOS	26
3.1 CARACTERIZAÇÃO E PARÂMETROS DO PROCESSO GMAW DA EMPRESA	27
3.1.1 Caracterização do procedimento de soldagem manual	27
3.1.2 Caracterização do procedimento de soldagem robótico	28
3.2 PLANEJAMENTO DOS TESTES COMPARATIVOS	28
3.2.1 Parâmetros de soldagem nos testes	28
3.2.2 Mapeamento dos processos comparados	29
3.2.3 Etapas dos Testes Comparativos	31
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	33
4.1 CRONOANÁLISE DAS ETAPAS	33
4.1.1 Cronoanálise da etapa 1 – Vestimenta de EPI (Equipamentos de Proteção Individuais)	33
4.1.2 Cronoanálise Da Etapa 2 – Movimentação da peça para a célula de soldagem	34
4.1.3 Cronoanálise da Etapa 3 – Leitura e Interpretação e EPS (Especificação de Procedimento de Soldagem)	35

4.1.4 Cronoanálise da Etapa 4 – Ajuste dos Parâmetros de Máquina	36
4.1.5 Cronoanálise da Etapa 5 – Pré-aquecimento.....	36
4.1.6 Cronoanálise da Etapa 6 – Soldagem.....	37
4.1.7 Cronoanálise da Etapa 7 – Limpeza de escórias e respingos.....	38
4.1.8 Cronoanálise da Etapa 8 – Envio para o controle de qualidade	39
4.2 CRONOANÁLISE GERAL DOS PROCESSOS.....	39
4.3 COMPARAÇÃO DO CUSTO DA SOLDAGEM PARA CADA PROCESSO	40
4.3.1 Cálculo do Fator Operacional de cada Processo	40
4.3.2 Custo Do Valor Da Mão De Obra De Cada Processo	42
5 CONCLUSÃO	44
REFERÊNCIAS.....	45

1 INTRODUÇÃO

A definição adotada pela AWS *American Welding Society* (2013) para o processo de soldagem é um processo que tem como objetivo obter a fusão localizada produzida pelo aquecimento, por chama ou arco elétrico, onde pode-se utilizar pressão ou sem pressão, com material de adição ou sem material de adição (autógena).

Segundo Silva (2014), o processo de soldagem vem sendo usado desde a antiguidade e idade média, com a finalidade de confecção de armas e instrumentos cortantes. Desde então, o processo passou por transformações que o levaram ao seu estado atual, de integração entre a mão de obra humana e robotizada para garantia de resultados cada vez mais padronizados e eficazes.

O processo de soldagem *Gas Metal Arc Welding* (GMAW) é extensivamente aplicado na indústria e passado pela transição da utilização do processo manual para o robótico/automatizado. Alguns estudos indicam como critérios responsáveis pelo impulsionamento da transição a escassez do soldador qualificado, a saúde debilitada dos soldadores humanos pela exposição a gases tóxicos e a produtividade, por não poder atender a demanda de fabricação, cada vez maior, levando a necessidade de um processo automatizado de qualidade (WANG *et al.*, 2020).

Para Jin *et al.* (2020), automatizar o processo GMAW requer capacidade de monitoramento e diagnóstico em tempo real da qualidade da solda, bem como, criar e manter de forma consistente a forma da solda durante a soldagem é essencial para garantir e manter a qualidade da solda especificada.

1.1 PROBLEMA

Quais diferenças entre o processo robotizado e manual no processo GMAW em velocidade?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

Avaliar as diferenças no processo manual de soldagem GMAW para o robotizado, considerando o fator velocidade.

1.2.2 Objetivos Específicos

São os objetivos específicos do presente trabalho:

- Realizar soldagem processo GMAW manual e robotizado em um corpo de prova;
- Avaliar a velocidade de soldagem nos dois processos.

1.3 JUSTIFICATIVA

A realização do trabalho justifica-se pela possibilidade de trazer à literatura acadêmica um estudo baseado em experimentação, capaz de avaliar parâmetros relevantes do processo de soldagem e apresentar informações que possibilitem a tomada de decisão sobre a escolha entre o processo de soldagem manual e robotizado.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

O segundo capítulo deste trabalho contempla a revisão de literatura realizada para compor a base teórica necessária no desenvolvimento do projeto objeto deste estudo de caso.

2.1 SOLDAGEM

Conforme descrito em Delgado (2024) na indústria metalmeccânica são inúmeros processos diferentes que utilizam o termo soldagem na fabricação, construção, montagem e recuperação de peças, equipamentos e estruturas.

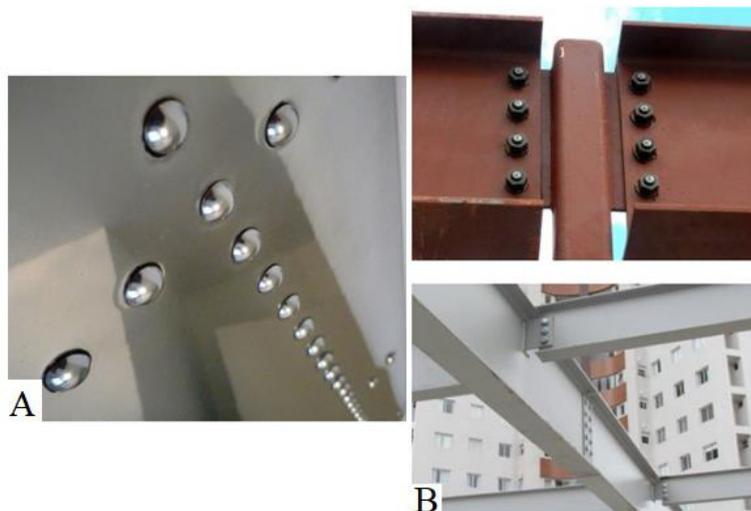
A definição de soldagem é um processo que visa unir dois materiais iguais ou diferentes com adição de material ou sem adição (autógena), porém, muitos desses processos ou variações desses são usados para a deposição de material sobre uma superfície, com a finalidade de recuperar uma peça que apresenta desgaste ou para a formação de um revestimento com características especiais como resistência a desgaste e corrosão (DELGADO, 2024).

Muitos pontos abordados na Metalurgia da Soldagem são válidos para essas operações. Apresentam-se, abaixo, diferentes definições propostas para a soldagem:

- Processo de junção de metais por fusão, ocorre a união dos dois metais com material de adição ou sem material de adição solda autógenas;
- Soldagem que tem a finalidade de realizar a união de duas ou mais peças, com a fim de manter e assegurar as propriedades físicas, químicas e metalúrgicas de todo o conjunto;
- Operação de aquecimento localizado a uma temperatura adequada com o objetivo de realizar a fusão, onde pode utilizar pressão ou não e com adição de metal de adição ou sem (SILVA, 2014);
- Conforme descrito em introdução à metalurgia da soldagem por Modenesi; Marques; Bracarense (2011), os processos de união dos metais podem se dividir em duas categorias distintas:
 - **Macroscópicos** são utilizadas forças mecânicas aparentes entre as partes a serem unidas. exemplos a parafusagem e a rebiteagem, a resistência da junta é dada pela resistência ao cisalhamento do parafuso ou rebite, mais as forças de atrito entre

as superfícies em contato. Demonstrada na Figura 1 (DELGADO, 2024).

Figura 1 – União Macroscópicas A) Rebite e B) Parafuso



Fonte: Mecânica Industrial, 2024

- **Microscópicas** são as uniões baseados em forças microscópicas (Inter atômicas ou intermoleculares). A união é conseguida pela aproximação dos átomos e moléculas das partes a serem unidas, ou destas e um material intermediário, até distâncias suficientemente pequenas para a formação de ligações químicas primárias (metálica, covalente ou iônica) ou secundárias (ligação de Van der Waals). Demonstrada na Figura 2.

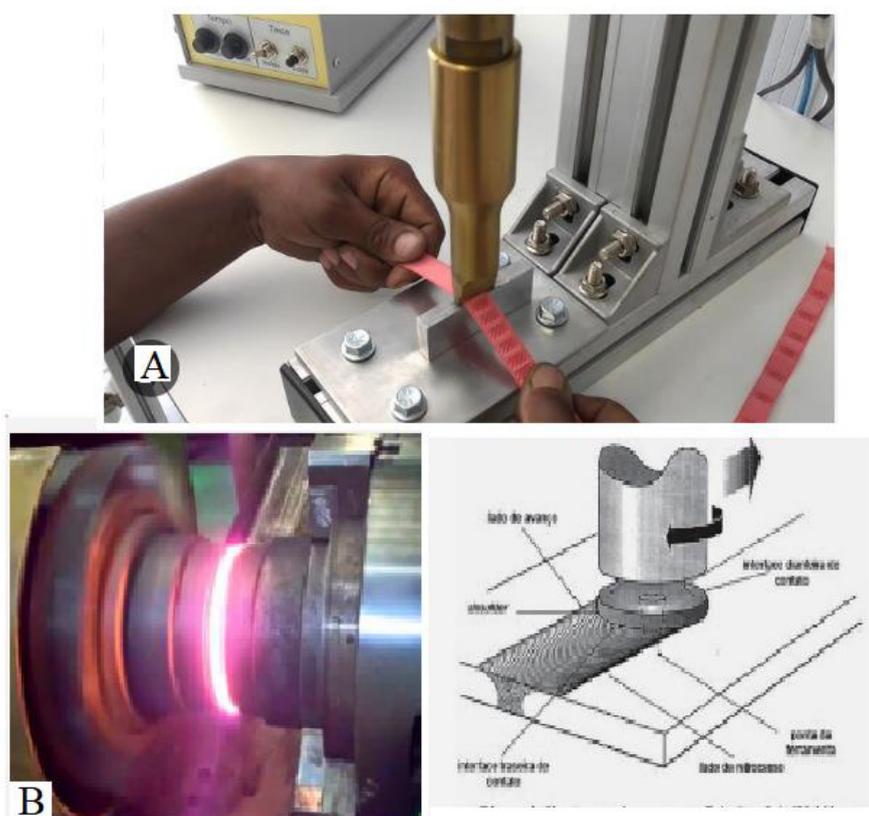
Figura 2 – Ligações Químicas



Fonte: Estratégia Vestibulares, 2024.

A soldagem é um processo que pode ser realizado por pressão onde ocorre uma deformação localizada das partes a serem unidas. Também pode ser feito um aquecimento localizado das partes até uma temperatura inferior à fusão dos materiais, deste modo é facilitada a deformação das superfícies de contato. Este grupo inclui os processos de soldagem por forjamento, por ultrassom, por fricção, por difusão, por explosão, na Figura 3 o exemplo de soldagem.

Figura 3 – Exemplo de soldagem A) Ultrassom B) Fricção



Fonte: Pontos das Soldas, 2024.

O processo de soldagem que funde o material de adição e metal base, utilizando o calor na região a ser soldada até a sua fusão. Estes processos de soldagem por fusão dividem-se em processos à chama, a arco elétrico, em banho de escória, aluminotermia, feixe de elétrons, laser e a plasma (MASCARENHAS, 2024).

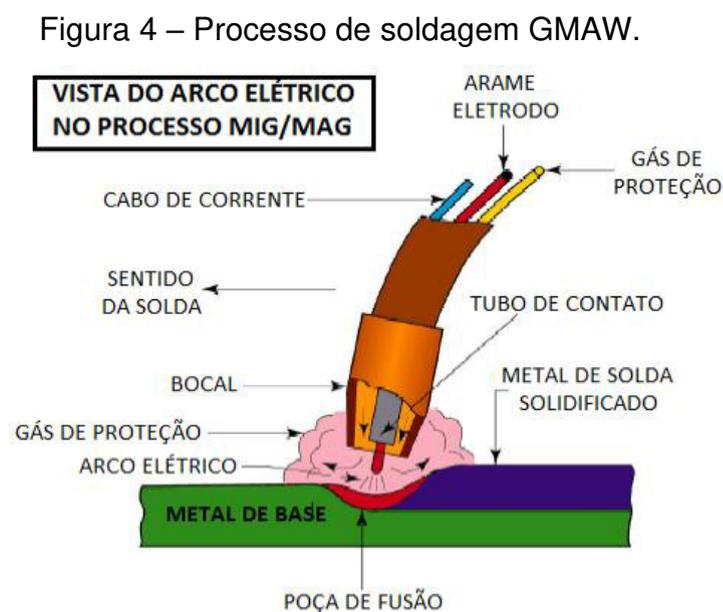
Destes processos, a Soldagem por arco elétrico se destaca e são os mais utilizados nas indústrias devido a vantagem de baixo custo de aquisição da fonte de soldagem e de obter alta concentração de calor com altas temperaturas em uma pequena região. Nessa categoria se destacam a soldagem por Eletrodo Revestido,

(MAG/MIG) MIG (Metal Inerte Gás) MAG (Metal Ativo Gás) e TIG (Tungstênio Inerte Gás) os dois últimos processo pode ser manual ou mecanizado (RIBEIRO, 2012).

2.1.1 Processo GMAW

O processo de soldagem a arco elétrico com proteção gasosa, do inglês *Gas Metal Arc Welding* – GMAW, também conhecido como processo de soldagem MIG/MAG, sendo *Metal Inert Gas* - MIG é quando sua proteção gasosa se dá através de misturas inertes e *Metal Ative Gas* – MAG, quando sua proteção gasosa é composta por misturas de gases ativos.

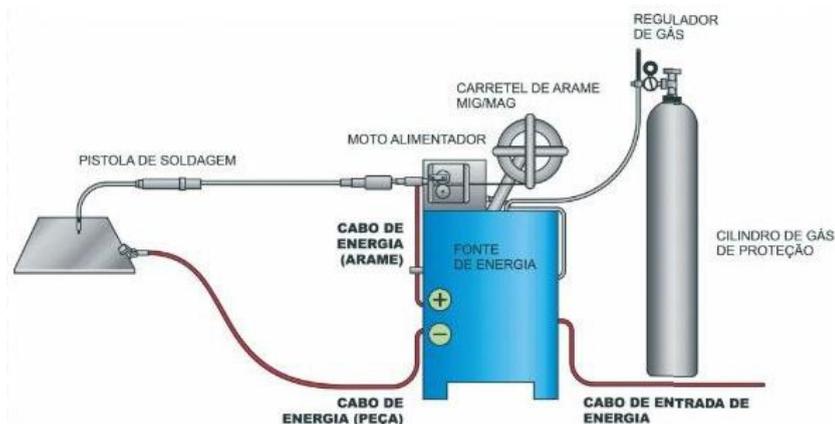
Este processo de soldagem acontece devido ao aquecimento através de um arco elétrico de um eletrodo metálico consumível arame maciço e o metal base de trabalho, protegidos por uma proteção gasosa inerte ou ativa. A Figura 4 esquematiza o processo de soldagem GMAW (NAZARÉ, 2022).



Fonte: Sumig, 2024.

Segundo Modenesi; Marques; Bracarense (2011), o processo GMAW pode ser realizado manual ou automaticamente, sendo o equipamento básico para o desenvolvimento do processo composto por uma fonte de energia, um sistema alimentador de arame, uma tocha de soldagem, um sistema fornecedor de gás, sistema de refrigeração da tocha, cabos e mangueiras, conforme a Figura 5.

Figura 5 – Equipamento básico para desenvolvimento do processo GMAW



Fonte: Cesar, 2024.

Solci (2016) destaca as principais características do processo de soldagem GMAW manual:

- a) Alta taxa de deposição (alta produtividade): 6,0 kg / hora com arame sólido e 12 kg / hora com arame tubular;
- b) Solda em todas as posições;
- c) Solda a maioria dos metais;
- d) Pouca geração de fumos;
- e) Bom acabamento, principalmente com a utilização de misturas a base de argônio;
- f) Pode ser facilmente automatizado.

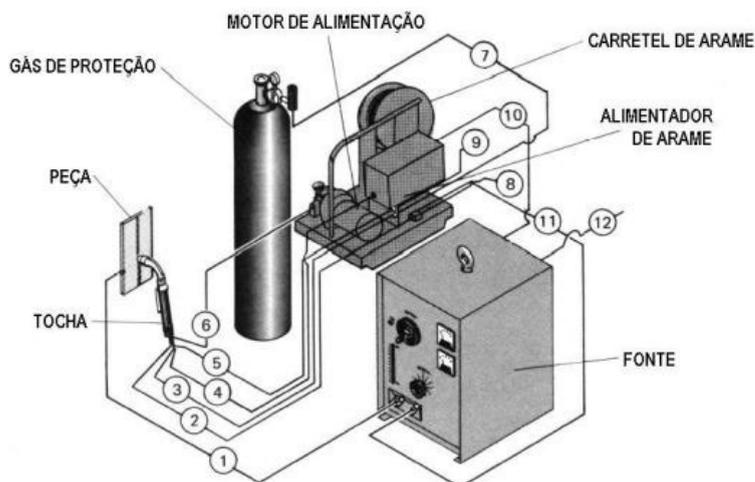
2.1.2 Processo de soldagem manual

De acordo com Fortes (2024) Equipamentos para soldagem manual são de fácil instalação. Como o trajeto do arco é realizado pelo soldador, somente três elementos principais são necessários:

- a) Tocha de soldagem e acessórios;
- b) Motor de alimentação do arame;
- c) Fonte de energia.

Na Figura 6 mostra a disposição dos equipamentos necessários para a execução do processo de soldagem manual.

Figura 6 – Equipamentos para execução de processo GMAW manual



Fonte: Fortes, 2024.

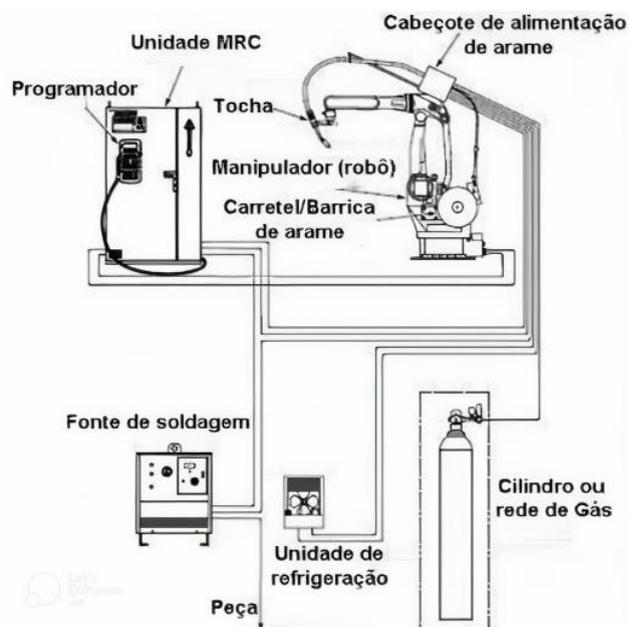
O processo de soldagem manual, ao contrário do automatizado ou robótico, possui a capacidade de absorver variações de posicionamento de soldagem ou material base, uma vez que estas variáveis dependem do operador e não de dados armazenados no software do robô (SCOTTI; PONOMAREV, 2008).

2.1.3 Processo de soldagem robotizado

De acordo com o SENAI (2013), a soldagem a arco elétrico a robotização teve crescimento maior a partir da evolução das máquinas de soldagem, dotadas também de microprocessadores que permitem respostas rápidas a condições de soldagem como corrente e tensão, estabilidade de arco, controle de falha de arco e de tocha na peça.

As células de soldagem robotizadas para aplicações industriais são normalmente compostas por um posicionador, que irá movimentar a peça a ser soldada buscando deixar a junta a ser soldada nas posições que proporcionam maior taxa de deposição, ou seja, quantidade de material depositado por unidade de tempo. As células de soldagem robotizadas contam ainda, com braço robótico, que será responsável pela manipulação da tocha de soldagem, e máquina de solda, demonstrada na Figura 7 (WAINER, 2015. SENAI, 2013).

Figura 7 – Componentes de uma célula de soldagem robotizada



Fonte: Dellay (2021).

2.2 LEAN MANUFACTURING

O *lean manufacturing* foi desenvolvido na indústria japonesa automotiva e devido a comprovações das vantagens, como redução de custos, flexibilidade e reposta rápida, o sistema foi disseminado em países de todo o mundo (SHARMA; LATA, 2018).

De acordo com Sharma e Lata (2018), o Sistema Toyota de Produção é um sistema multidimensional de eliminação de desperdícios. Ohno (1988) definiu os sete desperdícios em um sistema produtivo: desperdício por superprodução, desperdício por transporte, desperdício por processamento em si, desperdício por fabricação de produtos defeituosos, desperdício nos estoques, desperdício por movimento, desperdício por espera.

2.2.1 Cronoanálise

Segundo Slack, Chambers e Johnston (2009), o estudo de tempos, ou medição do trabalho, trata-se da aplicação de técnicas estabelecidas para determinar o tempo necessário em que um trabalhador qualificado e especificado venha realizar a tarefa em um nível definido de desempenho.

Razmi e Shakhs-Niykee (2008) definem o estudo de tempos como um procedimento para a melhoria da produtividade ao estabelecer padrões de tempo e classificar os movimentos utilizados ou necessários para executar uma determinada série de operação e atribuindo padrões de tempo predeterminados para estes movimentos

Figueiredo *et al.* (2011) afirma que a utilização da cronoanálise (cronometragem) pode determinar o método mais eficiente e rápido para execução de uma operação, dispondo também a possível identificação de falhas e redução de custos de produção.

2.2.2 Setup

Os processos de *setup* são variados, dependem do tipo de operação e do equipamento utilizado. Basicamente contempla a sequência descrita a seguir (SHINGO, 1985):

- Preparação, processo de pós ajustagem e checagem da matéria-prima: esta etapa consiste na conferência das ferramentas e no seu funcionamento. Também estão inclusos o tempo de remoção das ferramentas, do transporte até a ferramentaria e a limpeza de máquina;
- Montagem e remoção das ferramentas e peças: consiste no período em que as peças, as ferramentas e fixações são removidas as máquinas após a conclusão de um lote e fixação das peças e ferramentas dos próximos lotes;
- Medições, setups e calibrações: refere-se a todas as medições e calibrações necessárias que devem ser realizadas para a execução de uma operação, como centragem da peça e aferição de temperatura;
- Execução de testes e ajustes: trata-se dos ajustes que devem ser feitos a partir da primeira peça fabricada. Os ajustes aplicados serão inversamente proporcionais a qualidade com que as calibrações da etapa anterior foram realizadas.

O tempo de *setup* é constituído pela soma do tempo do *setup* interno e do *setup* externo. O *setup* interno ocorre quando o equipamento está parado, necessariamente, enquanto o *setup* externo ocorre quando o equipamento está em funcionamento (SILVA, 2018).

2.2.3 Matriz 5W2H

De acordo com Meirelles (2001) a matriz 5W2H é construída a partir da realização de um quadro cujas colunas terão como título palavras em língua inglesa que comporão o levantamento de dado:

- *What?* (Qual ação deve ser realizada);
- *Why?* (Por que deve ser realizada);
- *Who?* (Quem irá realizar?);
- *Where?* (Onde será realizada?);
- *When?* (Quando será realizada?);
- *How?* (Como será executada?) e
- *How Much?* (Quanto custará a execução)

Segundo Polacinski (2012) essa ferramenta consiste em um plano de ação para atividades pré-estabelecidas que tem a necessidade de serem desenvolvidas com a maior clareza possível, além de funcionar como um mapeamento dessas atividades. Também tem como objetivo principal responder a sete questões e organizá-las.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O desenvolvimento deste trabalho se deu por meio de um estudo de caso das operações de soldagem manual e robotizada executadas em uma indústria do Vale do Paraíba, tendo como propósitos: (1) comparar os processos de soldagem manual e robotizado, (2) apresentar os benefícios na transição do processo manual de soldagem GMAW para o robotizado, avaliando o fator velocidade.

Na comparação entre os processos de soldagem manual e robótico, como corpo de prova, utilizou-se uma determinada peça, componente de uma das máquinas do portfólio da empresa, na qual são realizadas soldas transversais, longitudinais, em diferentes posições e elevado número de cordões de solda com volumes variados. O Tabela 1 a seguir detalha os cordões de solda aplicados na peça.

Tabela 1 - Detalhamento dos cordões de solda do corpo de prova

Posição de soldagem	Comprimento do cordão (mm)	Quantidade de Cordões	Comprimento Total da solda (mm)
Transversal	300	6	1800
Transversal	150	6	900
Longitudinal	800	6	4800
Longitudinal	560	2	1020
Longitudinal	700	2	1400
Longitudinal	600	3	1800
Comprimento Total das Soldas			11720

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Para maior confiabilidade nas análises dos resultados neste trabalho, foram realizados a soldagem de 3 peças completas nas condições: soldagem Robotizada e Manual.

Durante cada processo de soldagem foram realizados o acompanhamento do parâmetro de velocidade através de uma cronoanálise dos processos.

3.1 CARACTERIZAÇÃO E PARÂMETROS DO PROCESSO GMAW DA EMPRESA

A soldagem GMAW aplicada na empresa estudada neste trabalho é realizada durante o processo de fabricação de maquinário de grande porte e, por isso, demanda alto grau de parametrização e confiabilidade em seus processos. Os materiais utilizados na fabricação do maquinário são compostos pela liga metálica de aço carbono, cuja constituição confere ao material um elevado nível de resistência.

3.1.1 Caracterização do procedimento de soldagem manual

O processo de soldagem da peça utilizada como base comparativa dos processos de soldagem manual e robótico deste estudo realizava-se, anteriormente, na empresa estudada, apenas através do processo manual.

Para a execução do procedimento de soldagem manual deste componente, o soldador inicialmente consulta a EPS (Especificação de Procedimento de Soldagem) para compreensão do procedimento a ser realizado na peça. Compreendido o procedimento, o soldador realizava um pré-aquecimento na peça para retirar a umidade e, em seguida, iniciava o procedimento de soldagem. Visto que a peça possui uma geometria complexa, os diferentes cordões de solda aplicados durante o processo demandavam que o soldador realizasse um elevado número de tombamentos de forma a tornar sua posição de trabalho mais favorável à execução do processo de soldagem.

Avaliando-se agora o tempo de execução da soldagem manual da peça em questão, percebe-se que o procedimento de proteção individual do soldador requeria um maior tempo de *setup*, visto que a operação só começava uma vez que o profissional estivesse devidamente preparado e protegido. Também influenciavam no *setup* da operação os procedimentos de tombamento e adequação de posição do componente soldado, dado que cada soldador possui uma estatura e, ao trocarem-se os turnos de trabalho, era necessário realizar uma nova configuração do posicionamento.

Nos capítulos posteriores deste trabalho, serão apresentados os dados quantitativos relacionados ao tempo de *setup* e de operação do processo de soldagem manual do componente comparado.

3.1.2 Caracterização do procedimento de soldagem robótico

Para a execução do procedimento de soldagem robótico deste componente, o soldador operador do robô não precisa consultar a EPS antes da realização do procedimento de soldagem, dado que a atividade já foi realizada pelo programador durante a construção do programa de soldagem. Também não é necessário que o soldador operador do robô realize tombamentos ou reposicionamentos na peça, dado que a célula robótica possui manipuladores que posicionam a peça favoravelmente ao procedimento de soldagem do robô, em quaisquer posições que sejam necessárias. Cabe ao soldador operador do robô no processo de soldagem robótica, portanto:

- Realizar o pré-aquecimento da peça para remoção da umidade;
- Acionar o processo de *check-up*, ou verificação, dos pontos e linhas de soldagem programados.

Como resultado do *check-up*, o robô informará se está apto a iniciar o procedimento de soldagem ou se precisa de alguma outra correção do soldador operador. Finalizadas as correções, o robô realiza automaticamente o processo de soldagem.

Avaliando-se também o tempo de operação, nota-se que o *setup* da operação robótica é diminuído em relação á manual uma vez que o soldador operador tem participação mínima no posicionamento e fixação da peça, e o número de movimentações é menor dado que o braço robótico que realiza o processo de soldagem é capaz de trabalhar em posições nas quais o corpo humano não trabalharia.

3.2 PLANEJAMENTO DOS TESTES COMPARATIVOS

Para a realização do presente estudo, foram realizados 06 ensaios de soldagem GMAW, sendo 03 através dos processos manual e 03 através do robótico.

3.2.1 Parâmetros de soldagem nos testes

Para realizar os testes foram utilizados os parâmetros que estão descrito na Tabela 2.

Tabela 2 – Parâmetros de Soldagem GMAW

Parâmetro de Soldagem	Soldagem	Soldagem
	Manual	Robótica
Mistura de Gases	ArCO ₂	ArCO ₂
Diâmetro do arame (mm)	1,2	1,4
Garganta do cordão (mm)	6	6
Tensão de Operação (V)	28,5	30,8
Corrente de Operação CO (A)	320	428
Corrente de Início (CO %)	80	80
Corrente Final	50	50
Vazão de Gás (L/min)	18	18
Velocidade de Soldagem (mm/min)	470	600
Velocidade de Arame (m/min)	9,5	11,4
Correção do Comprimento do Arco	3,0	3,0
Rampa de Subida (s)	1,0	1,0
Rampa de Descida (s)	1,0	1,0
Taxa deposição Efetiva (kg/h)	0,7	2,3
Valor de Mão de Obra (R\$/h)	15,80	17,50

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Segundo Glassdoor a e Glassdoor b (2024) o valor utilizado como referência para Valor de Mão de Obra (R\$/h), na qual constam a média salarial do cargo de Soldador no Brasil, de R\$ 3.475 por mês, e de Operador de Robô de Soldagem no Brasil, de R\$3.850,00 por mês.

3.2.2 Mapeamento dos processos comparados

Para o mapeamento dos processos de soldagem manual e robótico, foi utilizada uma adaptação da matriz 5W2H conforme os Quadros 1 e 2. A adaptação exclui o parâmetro *How Much* (quanto custa a execução), uma vez que este não se encontra no escopo de análise do trabalho e oculta o parâmetro *Who* (quem) pois todas as atividades são executadas pelo soldador.

Quadro 1 – Mapeamento do Processo de Soldagem Manual

Identificação	WHAT	WHY	WHERE	WHEN	HOW
M1	Colocar EPI's	Assegurar segurança	Setor Produtivo	Antes de entrar na Produção	Conforme instruções
M2	Movimentar a peça	Iniciar operação	De caldeiraria para célula de soldagem	Após liberação de caldeiraria para soldagem	Ponte rolante
M3	Ler e interpretar a EPS	Compreender o procedimento	Livro de instruções	Após posicionar peça para soldagem	Busca na EPS por parâmetro de posições
M4	Ajustar parâmetros da máquina	Assegurar especificações da EPS	Fonte de soldagem	Após leitura de EPS	Regulagem de tensão e corrente
M5	Pré-aquecer a peça	Remover a umidade	Célula de soldagem	Após ajuste de parâmetros	Aplicação de calor com maçarico
M6	Soldar da peça	Unir os componentes	Célula de soldagem	Após pré-aquecimento	Seguir EPS
M7	Limpar escórias e respingos	Incrementar a qualidade superficial para pintura	Célula de soldagem	Ao finalizar a soldagem	Uso de raspador e desincrustador
M8	Enviar para departamento de qualidade	Assegurar qualidade	De célula de soldagem para controle de qualidade	Após a limpeza de escórias e respingos	Uso de empilhadeira

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Quadro 2 – Mapeamento do Processo de Soldagem Robótico

Identificação	WHAT	WHY	WHERE	WHEN	HOW
R1	Colocar EPI's	Assegurar segurança	Setor Produtivo	Antes de entrar na Produção	Conforme instruções
R2	Movimentar a peça	Iniciar operação	De caldeiraria para célula de soldagem	Após liberação de caldeiraria para soldagem	Ponte rolante
R3	Pré-aquecer a peça	Remover a umidade	Célula de soldagem	Após ajuste de parâmetros	Aplicação de calor com maçarico
R4	Soldar da peça	Unir os componentes	Célula de soldagem	Após pré-aquecimento	Seguir Programação
R5	Limpar escórias e respingos	Incrementar a qualidade superficial para pintura	Célula de soldagem	Ao finalizar a soldagem	Uso de raspador e desincrustador
R6	Enviar para departamento de qualidade	Assegurar qualidade	De célula de soldagem para controle de qualidade	Após a limpeza de escórias e respingos	Uso de empilhadeira

Fonte: Elaborado pelo Autor.

3.2.3 Etapas dos Testes Comparativos

Os testes comparativos foram divididos nas seguintes etapas:

- **Etapa 1:** Descrição e cronoanálise dos procedimentos de vestimenta dos EPIs nos dois processos (M1 e R1).
- **Etapa 2:** Cronoanálise da movimentação da peça do setor de caldeiraria para a célula de soldagem nos dois processos (M2 e R2).
- **Etapa 3:** Cronoanálise da leitura e interpretação de EPS no processo manual (M3).
- **Etapa 4:** Cronoanálise do ajuste dos parâmetros de máquina no processo manual (M4).
- **Etapa 5:** Cronoanálise do pré-aquecimento nos dois processos (M5 e R3).
- **Etapa 6:** Cronoanálise dos dois processos de soldagem (M6 e R4).

- **Etapa 7:** Cronoanálise do processo de limpeza de escórias e respingos nos dois processos (M7 e R5).
- **Etapa 8:** Cronoanálise do processo de envio para o controle de qualidade nos dois processos (M8 e R6).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir, estão apresentados os resultados obtidos no presente estudo e subsequentes discussões acerca deles.

4.1 CRONOANÁLISE DAS ETAPAS

Nos capítulos a seguir, estão apresentados os dados obtidos com a cronoanálise no processo segmentado conforme o capítulo 3.2.3.

4.1.1 Cronoanálise da etapa 1 – Vestimenta de EPI (Equipamentos de Proteção Individuais)

A Tabela 3 apresenta os resultados obtidos na cronometragem da atividade de vestimenta de EPI nos dois processos, sendo T1, T2 e T3 os tempos aferidos na primeira, segunda e terceira execução da análise, respectivamente.

Tabela 3 – Cronoanálise da Etapa 1

Processo	ID	Tempos aferidos (min)	Tempo médio (min)
Manual	M1	T1:	4,62
		T2:	4,67
		T3:	4,55
Robótico	R1	T1:	1,45
		T2:	1,55
		T3:	1,58
			4,61
			1,53

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observa-se que o tempo despendido para vestimenta de EPI no processo de soldagem manual é cerca do triplo do tempo no processo robótico. A diferença se deve a quantidade de EPI demandados em cada processo. No Quadro 3 tem-se uma lista discriminada para cada processo.

Quadro 3 – EPI dos Processos de Soldagem

EPI	Soldagem manual	Soldagem robótica
Calçado de segurança	Sim	Sim
Protetor auricular	Sim	Sim
Óculos de proteção	Sim	Sim
Protetor UV FPS 60	Sim	Sim
Perneira de raspa	Sim	Não
Avental de raspa	Sim	Não
Capuz antichama	Sim	Não
Respirador	Sim	Não
Luva de raspa	Sim	Sim
Máscara de solda	Sim	Sim

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observa-se que os três primeiros EPI apresentados no Quadro 3 são de uso obrigatório do colaborador assim que ele entra no ambiente produtivo, portanto, seu tempo de vestimenta não foi considerado na cronoanálise.

4.1.2 Cronoanálise Da Etapa 2 – Movimentação da peça para a célula de soldagem

O Tabela 4 apresenta os resultados obtidos na cronometragem da atividade de movimentação da peça do setor de caldeiraria para a célula de soldagem nos dois processos, sendo T1, T2 e T3 os tempos aferidos na primeira, segunda e terceira execução da análise, respectivamente.

Tabela 4 – Cronoanálise da Etapa 2

Processos	ID	Tempos aferidos (min)		Tempo médio (min)
Manual	M2	T1:	13,07	14,17
		T2:	15,85	
		T3:	13,58	
Robótico	R2	T1:	14,00	13,88
		T2:	15,20	
		T3:	12,43	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observa-se que os tempos de movimentação são próximos nos dois processos pois a movimentação independe do procedimento de soldagem o qual será aplicado na peça pois leva em conta somente o trajeto deslocado entre o setor de caldeiraria e a célula de soldagem manual e robótica.

4.1.3 Cronoanálise da Etapa 3 – Leitura e Interpretação e EPS (Especificação de Procedimento de Soldagem)

O Tabela 5 a seguir apresenta os resultados obtidos na cronometragem da atividade de leitura e interpretação de EPS no processo manual, sendo T1, T2 e T3 os tempos aferidos na primeira, segunda e terceira execução da análise, respectivamente.

Tabela 5 – Cronoanálise da Etapa 3

Processo	ID	Tempos aferidos (min)		Tempo médio (min)
Manual	M3	T1:	5,20	4,60
		T2:	4,50	
		T3:	4,10	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observa-se que o procedimento de leitura e interpretação da EPS é exclusivo do processo de soldagem manual, uma vez que no processo robótico a programação disponibilizada já contempla toda a especificação do processo a ser aplicado no componente soldado.

4.1.4 Cronoanálise da Etapa 4 – Ajuste dos Parâmetros de Máquina

O Tabela 6 apresenta os resultados obtidos na cronometragem da atividade de ajuste dos parâmetros de máquina no processo manual, sendo T1, T2 e T3 os tempos aferidos na primeira, segunda e terceira execução da análise, respectivamente.

Tabela 6 – Cronoanálise da Etapa 4

Processo	ID	Tempos aferidos (min)		Tempo médio (min)
Manual	M4	T1:	4,18	4,49
		T2:	5,36	
		T3:	3,94	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observa-se que o procedimento de ajuste dos parâmetros de máquina é exclusivo do processo de soldagem manual, uma vez que no processo robótico a programação disponibilizada já contempla toda a parametrização do processo a ser aplicado no componente soldado.

4.1.5 Cronoanálise da Etapa 5 – Pré-aquecimento

O Tabela 7 apresenta os resultados obtidos na cronometragem da atividade de pré-aquecimento nos dois processos, sendo T1, T2 e T3 os tempos aferidos na primeira, segunda e terceira execução da análise, respectivamente.

Tabela 7 – Cronoanálise da Etapa 5

Processo	ID	Tempos aferidos (min)		Tempo médio (min)
Manual	M5	T1:	14,84	14,71
		T2:	15,29	
		T3:	14,01	
Robótico	R3	T1:	9,56	10,15
		T2:	10,12	
		T3:	10,76	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.1.6 Cronoanálise da Etapa 6 – Soldagem

O Tabela 8 apresenta os resultados obtidos na cronometragem da atividade de soldagem nos dois processos, sendo T1, T2 e T3 os tempos aferidos na primeira, segunda e terceira execução da análise, respectivamente.

Tabela 8 – Cronoanálise da Etapa 6

Processos	ID	Tempos aferidos (min)		Tempo médio (min)
Manual	M6	T1:	95,50	95,40
		T2:	98,30	
		T3:	92,40	
Robótico	R4	T1:	55,00	55,00
		T2:	55,00	
		T3:	55,00	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

É imprescindível ressaltar que no processo manual, durante o processo de soldagem, o soldador precisa executar tombamentos na peça para favorecer sua posição de trabalho e acesso à área na qual irá trabalhar. O tempo de tombamento foi considerado separadamente pelo autor para não comprometer a análise do tempo de soldagem, em si, do processo manual. O Tabela 9 a seguir apresenta os tempos de tombamento sendo T1, T2 e T3 os tempos aferidos na primeira, segunda e terceira execução da análise, respectivamente.

Tabela 9 – Cronoanálise do processo de tombamento, subprocesso da Etapa 6

Processo	ID	Tempos aferidos (min)	Tempo médio (min)
Manual	M6*	T1: 32,60	30,81
		T2: 28,42	
		T3: 31,40	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

4.1.7 Cronoanálise da Etapa 7 – Limpeza de escórias e respingos

O Tabela 10 a seguir apresenta os resultados obtidos na cronometragem da atividade de limpeza de escórias e respingos nos dois processos, sendo T1, T2 e T3 os tempos aferidos na primeira, segunda e terceira execução da análise, respectivamente.

Tabela 10 – Cronoanálise da etapa 7

Processos	ID	Tempos aferidos (min)	Tempo médio (min)
Manual	M7	T1: 14,20	14,83
		T2: 15,50	
		T3: 14,80	
Robótico	R5	T1: 6,50	6,83
		T2: 7,20	
		T3: 6,80	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observa-se que o tempo de limpeza de escórias no processo de soldagem robótico é menos que a metade do tempo do processo manual. Essa divergência se dá pois, no processo manual, o soldador faz a limpeza uma vez a cada cordão de solda e precisa dar acabamentos em emendas e demais imperfeições visuais da soldagem. No processo robótico, a limpeza é feita pelo soldador ao final do trabalho do robô, de uma única vez, sendo que neste processo não é necessário lidar com emendas e lixamentos.

4.1.8 Cronoanálise da Etapa 8 – Envio para o controle de qualidade

O Tabela 11 apresenta os resultados obtidos na cronometragem da atividade de envio para o controle de qualidade nos dois processos, sendo T1, T2 e T3 os tempos aferidos na primeira, segunda e terceira execução da análise, respectivamente.

Tabela 11 – Cronoanálise da etapa 8

Processos	ID	Tempos aferidos (min)		Tempo médio (min)
Manual	M8	T1:	9,40	9,83
		T2:	10,30	
		T3:	9,80	
Robótico	R6	T1:	9,30	9,77
		T2:	10,20	
		T3:	9,80	

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observa-se que os tempos de movimentação são próximos nos dois processos pois a movimentação independe do procedimento de soldagem o qual foi aplicado na peça pois leva em conta somente o trajeto deslocado entre a célula de soldagem manual e robótica o setor de controle de qualidade.

4.2 CRONOANÁLISE GERAL DOS PROCESSOS

A Tabela 12 apresenta o somatório do tempo médio aferido nas análises, em todas as etapas do processo.

Tabela 12 – Cronoanálise geral dos processos

Etapas	Tempo nos Processos (min)	
	Manual	Robótico
1	4,61	1,53
2	14,17	13,88
3	4,6	0
4	4,49	0
5	14,71	10,15
6	95,4 + 30,81	55
7	14,83	6,83
8	9,83	9,77
TOTAL	193,45	97,16

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observa-se que o tempo demandado pelo processo de soldagem robótico é equivalente a 50% do tempo utilizado no processo de soldagem manual, conferindo à operação um ganho de velocidade e redução do *lead time* do processo em cerca de 96 minutos.

4.3 COMPARAÇÃO DO CUSTO DA SOLDAGEM PARA CADA PROCESSO

Nos capítulos a seguir, estão apresentados os procedimentos e resultados do cálculo do custo de cada processo.

4.3.1 Cálculo do Fator Operacional de cada Processo

Para realizar o cálculo do Fator Operacional (FO) de cada condição é necessário primeiramente encontrar o Tempo de Arco Aberto de cada condição e é utilizada a Equação 1. Em seguida, na Equação 2 calcular o Fator Operacional dividindo o TAA por tempo total de soldagem.

$$TAA = \frac{CS}{Vs} \text{ (min)} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: TAA = Tempo de Arco Aberto;

CS = Comprimento da Solda (mm);

Vs = velocidade de Soldagem (mm/min).

$$FO = \frac{TAA}{TTS} \cdot 100 \text{ (\%)} \quad \text{Equação 2}$$

Onde: FO = Fator Operacional;

TAA = Tempo de Arco Aberto (min);

TTS = Tempo Total de Soldagem (min)

Na Tabela 13, pode-se verificar o valor de tempo de arco aberto e Fator Operacional para cada condição estudada.

Tabela 13 – Tempo de arco aberto e fator operacional dos processos robótico e manual

Processos	TAA (min)	FO (%)
Manual	25	13
Robótico	20	21

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Observando-se os resultados obtidos, nota-se que apesar da pequena diferença de tempo de arco aberto entre os processos manual e robótico, de cinco minutos, a representatividade da operação de soldagem no tempo total da operação é muito maior no processo robótico, o que evidencia o melhor aproveitamento do tempo de processamento no processo robótico, a redução de perdas no tempo com ações que não agregam valor ao produto final da soldagem, como o setup e tombamentos.

4.3.2 Custo Do Valor Da Mão De Obra De Cada Processo

Para se obter o valor da mão de obra em R\$/kg, é necessário calcular o Tempo de Solda conforme demonstrado na Equação 3.

$$TS = \frac{\frac{TAA}{FO}}{60} (h) \quad \text{Equação 3}$$

Onde: TS = Tempo de Solda (h).

TAA = Tempo de Arco Aberto (min);

FO = Fator Operacional;

Na Tabela 14, pode-se verificar o valor de tempo de solda para cada condição estudada.

Tabela 14 – Tempo de Solda dos processos robótico e manual

Processos	TS (h)
Manual	3,21
Robótico	1,59

Fonte: Elaborado pelo Autor.

O custo da mão de obra (CMO) é o calculado conforme demonstrado na Equação 4.

$$CMO = \frac{VPF \cdot TS}{TD} (R\$/KG) \quad \text{Equação 4}$$

Onde: CMO = Custo da Mão de Obra (R\$/KG);

VPF = Valor pago para o funcionário que executa a soldagem (R\$);

TS = Tempo de Solda (h);

TD = Taxa deposição (kg/h).

Na Tabela 15, pode-se verificar o valor de tempo de solda para cada condição estudada.

Tabela 15 – Custo de mão de obra dos processos manual e robótico

Processos	CMO (R\$/KG)
Manual	72,45
Robótico	12,10

Fonte: Elaborado pelo Autor.

Ao observar a Tabela 15 pode verificar que a solda robotizada apresenta uma eficiência cerca de 83% maior do que a solda manual.

5 CONCLUSÃO

Conclui-se que o tempo total de soldagem do método manual é cerca de 50% maior que o método robotizado, conferindo ao processo robótico um significativo ganho em tempo de operação.

Quando foi realizado o cálculo de fator operacional, o método manual apresentou o um valor de 13% e o método robotizado cerca de 21%. O resultado indica um maior aproveitamento do tempo de operação na soldagem robotizada.

O tempo de arco aberto do método manual foi de 25 minutos e o robotizado de 20 minutos, reforçando, novamente, o ganho de produtividade do processo robótico.

Calculado o valor da mão de obra, em R\$/kg, vê-se que para o processo manual para cada kg de soldagem é gasto R\$ 72,45 contra o valor de R\$12,10 para o método robotizado. O resultado aponta que o método robotizado se tem uma economia de 83%.

Neste trabalho, portanto, é possível comprovar que o método manual de soldagem confere ao processo um caráter de alto custo e baixa produtividade quando comparado ao processo robotizado, evidenciando, portanto, a viabilidade da utilização do processo de soldagem robótico considerando os parâmetros de velocidade e custo.

REFERÊNCIAS

AWS. American Welding Society. **Welding Processes Part 1**. Welding Handbook – 9 Edition, Vol. 2 EUA 2013.

CESAR. P. **Dominando a Solda MIG: Componentes e Dicas**. Disponível em: <<https://alusolda.com.br/dominando-a-solda-mig-componentes-e-dicas/>>. Acessado em: 01/04/2024.

DELGADO, Luiz Carlos **Estudo E Desenvolvimento Do Processo TIG Com Alimentação Automática De Arame**. Disponível em: <<https://labsolda.ufsc.br/public/teses-e-dissertacoes/dissertacoes/12-blank-56994628>>. Acessado em: 26/03/2024.

DELLAY, B. D. C. **Análise da viabilidade de um projeto de aquisição de uma célula de soldagem robotizada**. 2021; 46 f. TCC (Graduação em Engenharia de Produção) - Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2021.

ESTRATEGIA VESTIBULARES. **Ligações químicas: tipos, características e exercícios**. Disponível em: <<https://vestibulares.estrategia.com/portal/materias/quimica/ligacoes-quimicas/>>. Acessado em 28/03/2024.

FIGUEIREDO, F. J. S.; OLIVEIRA, T. R. C.; SANTOS, M. B. P. A. **Estudo de tempos em uma indústria e comércio de calçados e injetados Ltda**. In: XXXI Encontro Nacional de Engenharia de Produção - ENEGEP, 4 a 7 out. 2011, Belo Horizonte/MG. Anais... Belo Horizonte/MG, 2011.

FORTES, C.; VAZ, C. **Soldagem MIG/MAG. Apostila ESAB**. Disponível em: <<chrome-extension://efaidnbmninnkacbgglcj/https://www2.ufjf.br/profab/files/2016/09/ESAB-Apostila-MIG-MAG.pdf>> Acessado em: 01/04/2024

GLASSDOOR a. **Salários de Soldador**. Disponível em: <https://www.glassdoor.com.br/Sal%C3%A1rios/soldador-sal%C3%A1rio-SRCH_KO0,8.htm#:~:text=A%20m%C3%A9dia%20salarial%20do%20cargo,%24%20250%20e%20R%24%20908> Acesso em: 10 maio 2024.

GLASSDOOR b. **Salários de Programador de Robô de Soldagem**. Disponível em: <https://www.glassdoor.com.br/Sal%C3%A1rios/programador-de-rob%C3%B4-de-soldagem-sal%C3%A1rio-SRCH_KO0,31.htm#:~:text=O%20maior%20sal%C3%A1rio%20do%20cargo,de%20R%24%202.108%20por%20m%C3%AAs>. Acesso em: 10 maio 2024.

JIN, C.; SHIN, S.; YU, J.; RHEE, S. **Real-Time Detection of Weld Defects for Automated Welding Process Base on Deep Neural Network**. School of Mechanical Convergence Engineering, Hanyang University, Seoul. 2020. Journal of Operations Management, Columbus, v. 25, n. 4, p. 785-805, 2007. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jom.2007.01.019>. Acesso em 20 mar. 2024.

MECANICA INDUSTRIAL. **Rebitagem e Parafusagem de Estruturas**. Disponível

em :<<https://www.mecanicaindustrial.com.br/rebitagem/>> Acessado em 28/03/2024.

MEIRELLES, Manuel. **Ferramentas administrativas para identificar, observar e analisar problemas**. Organizações com foco no cliente. Série excelência empresarial, v.2. São Paulo: Arte & Ciência, 2001.

MODENESI, P. J.; MARQUES, P. V; BRACARENSE, A. Q. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3. ed. Belo Horizonte. Ed. da UFMG, 2011.

NAZARÉ, V. D. M. **Estudo da Profundidade e Diluição do Aço A36 com a Variação da Inclinação do Ângulo da Tocha no Processo MIG (GMAW)**. 2022. 46p. Trabalho de Graduação (Curso de Tecnologia em Processos Metalúrgicos). Faculdade de Tecnologia de Pindamonhangaba. Pindamonhangaba. 2022.

OHNO, T. **Toyota production system: beyond large-scale production**. Tokyo: CRC Press, 1988.

POLACINSKI et al. **Implantação dos 5Ss e proposição de um SGQ para uma indústria de erva-mate**. 2012.

PONTO DAS SOLDAS. **Soldagem Extremo** Disponível em:<<https://pontodas-soldas.blogspot.com/2014/04/soldagem-extremo.html>> Acessado em 28/03/2024.

RAZMI, J.; SHAKHS, N. M. **Developing a specific predetermined time study approach: an empirical study in a car industry**. Prod. Plan. Control Manag. Operations, v. 19, n. 5, p. 454-460, 2008.

RIBEIRO, Júlio César Bento. **Análise de Técnicas para a Soldagem TIG Automatizada**. 2012. 142 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2012.

SCOTTI, A.; PONOMAREV, V. **Soldagem MIG/MAG: Melhor entendimento, melhor desempenho**. 1. ed. São Paulo: Artliber Editora Ltda, 2008.

SERVIÇO NACIONAL DE APRENDIZAGEM INDUSTRIAL (SÃO PAULO). **Soldagem**. São Paulo: Senai-SP, 2013.

SHARMA, K. M.; LATA, S. **Effectuation of Lean Tool “5S” on Materials and Work Space Efficiency in a Copper Wire Drawing Micro-Scale Industry in India**. International Conference of Materials Processing and Characterization, v. 5, n. 1, p. 4678-4683, India, 2018. DOI <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2017.12.039>. Acesso em 20 mar. 2024.

SHINGO, S. **A revolution in manufacturing: the SMED system**. Stamford: Productivity Press, 1985.

SILVA, A. B. **PRODUTIVIDADE EM SOLDAGEM DE TUBULAÇÃO INDUSTRIAL: Análise Comparativa de Desempenho do Processo de Soldagem Mecanizado e Processo de Soldagem Manual**. 2014. 67P. Monografia apresentada ao Curso de Especialização em Engenharia de Soldagem da Universidade Federal de Minas

Gerais. Belo Horizonte 2014.

SILVA, E. et al. **Applying SMED methodology in cork stoppers production.** *Procedia Manufacturing, Columbus*, v. 17, p. 611-622, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.10.103>. Acesso em: 26 mar. 2024.

SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da produção.** 3. ed. São Paulo: Atlas, 2009.

SOLCI, A. M. **Soldagem ao arco elétrico sob proteção gasosa: processo MIG-MAG.** Apostila. White Martins Gases Industriais S/A. Bauru. 2016.

SUMIG. **Tudo que Você Precisa Saber Sobre Processo de Soldagem MIG/MAG.** Disponível em <<https://www.sumig.com/pt/blog/post/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-o-processo-de-soldagem-mig-mag>> Acessado em: 01/04/2024

TURRIONI, J. B.; MELLO, C. H. **Metodologia de pesquisa em Engenharia de Produção: estratégias, métodos e técnicas para condução de pesquisas quantitativas e qualitativas.** Itajubá: Unifei, 2012. 191 p

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; MELLO, F. D. H. D. **Soldagem: processos e metalurgia.** São Paulo: Edgard Blucher, 2015. 494 p.

WANG, Q; JIAO, W.; WANG, P.; ZHAMG, Y. M. **A tutorial on Deep Learning-Based Data Analytics in Manufacturing Through a Welding case study.** *Journal of Manufacturing Processes*, Elsevier, 2020.

YIN, R. K. **Estudo de caso: planejamento e métodos.** 5. ed. São Paulo: Bookman, 2015