

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ

LEONARDO BOLDRINI TEDESCO

**TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 APLICADOS À SOLDAGEM E OS DESAFIOS
DE SUA IMPLEMENTAÇÃO**

PATO BRANCO

2022

LEONARDO BOLDRINI TEDESCO

**TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 APLICADOS À SOLDAGEM E OS DESAFIOS
DE SUA IMPLEMENTAÇÃO**

**Industry 4.0 technologies applied to welding and the challenges of their
implementation**

Trabalho de conclusão de curso de graduação
apresentada como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).
Orientador: Paulo Cezar Adamczuk.

PATO BRANCO

2022



[4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

Esta licença permite compartilhamento, remixe, adaptação e criação a partir do trabalho, mesmo para fins comerciais, desde que sejam atribuídos créditos ao(s) autor(es). Conteúdos elaborados por terceiros, citados e referenciados nesta obra não são cobertos pela licença.

LEONARDO BOLDRINI TEDESCO

**TECNOLOGIAS DA INDÚSTRIA 4.0 APLICADOS À SOLDAGEM E OS DESAFIOS
DE SUA IMPLEMENTAÇÃO**

Trabalho de Conclusão de Curso de Graduação
apresentado como requisito para obtenção do título de
Bacharel em Engenharia Mecânica da Universidade
Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR).

Data de aprovação: 22/junho/2022

Paulo Cezar Adamczuk
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Fabio De Freitas Lima
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

Gilson Adamczuk Oliveira
Doutorado
Universidade Tecnológica Federal do Paraná

PATO BRANCO

2022

RESUMO

A indústria 4.0 está crescendo e fazendo com que as empresas adotem métodos mais competitivos para se manter no mercado. A aplicação das inovações tecnológicas na soldagem vem crescendo e sendo estudada como estratégia de desenvolvimento empresarial, aumentando a produtividade e qualidade do produto soldado. Há uma necessidade de a indústria reduzir defeitos em componentes fabricadas por processos de soldagem, reduzindo assim possíveis custos por retrabalho, bem como garantindo a rastreabilidade do componente soldado. Neste contexto, é importante desenvolver uma tecnologia de controle de processos, que integre a soldagem no âmbito da indústria 4.0. Assim, esta pesquisa discute o potencial do uso de tecnologias da indústria 4.0 na soldagem, com foco no mercado brasileiro, discutindo potenciais fornecedores das novas tecnologias de monitoramento de dados. Discute-se também os desafios e oportunidades, bem como um passo a passo inicial de implementação das novas tecnologias na indústria.

Palavras-chave: Indústria 4.0; Soldagem; Soldagem inteligente; Tecnologias da soldagem; Monitoramento de dados na soldagem; Robótica na soldagem.

ABSTRACT

Industry 4.0 is growing and making companies adopt more competitive methods to stay in the market. The application of technological innovations in welding has been growing and being studied as a business development strategy, increasing the productivity and quality of the welded product. There is a need for the industry to reduce defects in components manufactured by welding processes, thus reducing possible costs for rework, as well as ensuring traceability of the welded component. In this context, it is important to develop a process control technology that integrates welding within the scope of Industry 4.0. Thus, this research discusses the potential of using Industry 4.0 technologies in welding, focusing on the Brazilian market, discussing potential suppliers of new data monitoring technologies. Challenges and opportunities are also discussed, as well as an initial step-by-step implementation of new technologies in the industry.

Keywords: Industry 4.0; Welding; Welding 4.0; Welding technology; Welding data monitoring; Robotics in welding.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Indústria 4.0 na soldagem	14
Figura 2 - Revoluções industriais	18
Figura 3 - Pilares da indústria 4.0	19
Figura 4 - Barreiras internas na adoção da indústria 4.0.....	24
Figura 5 - Barreiras externas na adoção da indústria 4.0	25
Figura 6 - Soldagem MIG/MAG	27
Figura 7 - Principais defeitos do processo MIG/MAG e suas causas	28
Figura 8 - Uso de robôs na indústria por setores.....	32
Figura 9 - Crescimento do uso de robôs na indústria por continentes.....	33
Figura 10 - Soldagem 4.0	34
Figura 11 - Visualização dos parâmetros de soldagem	38
Figura 12 - Metodologia de pesquisa	41
Figura 13 - Intelitocha	49
Figura 14 - Maleta de monitoramento de dados	50
Figura 15 - Características do <i>software</i> IMC	51
Figura 16 - <i>Insight Core</i>	52
Figura 17 - Gráfico dos parâmetros no <i>software WeldCube</i>	53
Figura 18 - Painel do <i>software WeldCube</i>	54
Figura 19 - Painel <i>Weldcloud</i>	55

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise e impactos das tecnologias da indústria 4.0 na soldagem .	43
Quadro 2 - Profissionais beneficiados com a indústria 4.0.....	45
Quadro 3 - Fornecedores nacionais de equipamentos para a soldagem 4.0.....	48
Quadro 4 - Representantes nacionais de equipamentos para a soldagem 4.0..	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABDI	Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial	-
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>	-
AWS	<i>American Welding Society</i>	-
CNI	Confederação Nacional da Indústria	-
GMAW	<i>Gas Metal Arc Welding</i>	-
IFR	<i>International Federation of Robotics</i>	-
IoT	<i>Internet of Things</i>	-
MAG	<i>Metal Active Gas</i>	-
MIG	<i>Metal Inert Gas</i>	-
TIG	<i>Tungsten Inert Gas</i>	-

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
1.1 Objetivos	15
1.1.1 Objetivo Principal	15
1.1.2 Objetivos Específicos	15
1.2 Justificativa	16
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	17
2.1 Indústria 4.0	17
2.1.1 Pilares da indústria 4.0	19
<u>2.1.1.1 <i>Big data</i> e <i>data analytics</i></u>	<u>19</u>
<u>2.1.1.2 Robôs autônomos</u>	<u>20</u>
<u>2.1.1.3 Simulação</u>	<u>20</u>
<u>2.1.1.4 Integração horizontal e vertical dos sistemas</u>	<u>21</u>
<u>2.1.1.5 Internet das Coisas (IoT)</u>	<u>21</u>
<u>2.1.1.6 Nuvem</u>	<u>22</u>
<u>2.1.1.7 Manufatura aditiva</u>	<u>22</u>
<u>2.1.1.8 Realidade aumentada</u>	<u>22</u>
<u>2.1.1.9 Cibersegurança</u>	<u>23</u>
2.1.2 Desafios da indústria 4.0	23
2.2 Soldagem	25
2.2.1 Processos de soldagem	26
<u>2.2.1.1 Soldagem MIG/MAG</u>	<u>26</u>
2.3 Parâmetros de solda	29
2.3.1 Corrente	29
2.3.2 Tensão	29

2.3.3 Velocidade de soldagem	29
2.3.4 Extensão livre do eletrodo	30
2.4 Robótica na soldagem	30
2.5 Soldagem 4.0	33
2.5.1 Impacto dos custos na soldagem 4.0	39
3 MATERIAIS E MÉTODOS	40
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	42
4.1 Fornecedores e representantes de máquinas de solda inteligentes	47
4.1.1 Sumig	48
4.1.2 IMC – Engenharia de Soldagem	50
4.1.3 Aventa	51
4.1.4 Fronius	52
4.1.5 ESAB Brasil	54
4.2 Implementação da soldagem 4.0	55
5 CONCLUSÃO	58
REFERÊNCIAS	60
ANEXO A - relatório de um procedimento de soldagem mig/mag	65

1 INTRODUÇÃO

A modernização das empresas no mundo acirrou ainda mais a busca por eficiência e qualidade, e com a quarta revolução industrial, empresas utilizam de tecnologias que possibilitam ter maior controle de suas atividades, aumentando seu foco no processo produtivo. A implantação de melhorias tem como finalidade o aumento da produtividade, portanto, há um grande interesse de indústrias que fabricam componentes estruturais por controlar os parâmetros de soldagem, com o objetivo de reduzir os defeitos na solda, diminuindo assim custos com retrabalhos.

A soldagem e suas diversas técnicas estão presentes em boa parte dos processos de fabricação, com uma maior aplicabilidade na indústria automotiva, na indústria petroleira e na confecção de estruturas metálicas. Destes profissionais, demandam-se não somente as habilidades de soldagem, mas também o conhecimento técnico sobre os processos, para que possam realizar a escolha correta dos consumíveis e a aplicação correta das tecnologias para soldagem.

Neste contexto, é importante integrar os processos de soldagem no âmbito da indústria 4.0, com fábricas inteligentes capazes de ter uma autonomia para agendar manutenções, prever falhas e controlar alguns parâmetros estabelecidos, como a corrente fornecida e a tensão elétrica, assim como o tempo de solda. Junto dessas informações, é garantida uma rastreabilidade das peças produzidas, com os dados armazenados é possível rastrear um defeito na raiz do problema, ou mesmo apontar a qualidade técnica do componente.

Com o controle dos parâmetros, será possível reduzir grande parte da incidência de erros humanos na solda, visto que há uma falta de trabalhadores especializados na área de soldagem, assim, muitos soldadores por falta de conhecimento utilizam uma regulagem incorreta para uma dada condição de soldagem. De acordo com a *American Society of Mechanical Engineers* (ASME) (apud. ABICOR BINZEL, 2019), as origens destes defeitos estão divididas da seguinte forma:

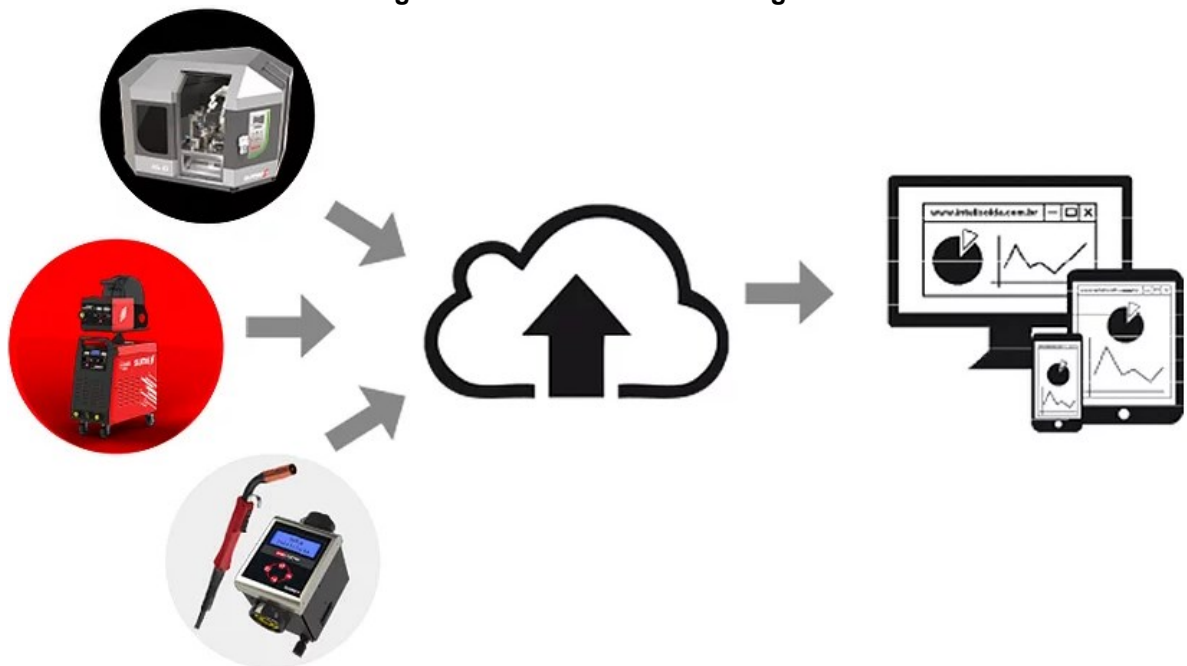
- 41% por condições de processo desfavoráveis,
- 32% por erros do operador,
- 12% devido ao uso de técnica imprópria,
- 10% pela seleção incorreta dos consumíveis, e

- 5% por chanfros de soldagem mal trabalhados.

O resultado disso produz peças defeituosas que irão gerar muitos custos no futuro para a empresa, como retrabalhos, garantias e indenizações.

Apesar de o conceito tecnológico fazer parecer que apenas células robotizadas são monitoráveis, já existe no mercado opções de máquinas de solda manuais que podem ser conectadas a indústria 4.0, detectando quando o operador não está operando de forma correta, dentro dos parâmetros estabelecidos. Assim, todos os dados obtidos são armazenados na nuvem para serem posteriormente analisados para identificar falhas ou melhorias, bem como gerar relatórios técnicos com todas as informações em questão de minutos, processos que antes seriam manuais e levariam horas para serem executados. A Figura 1 ilustra o processo, partindo de células robotizadas ou manuais, ligadas através da rede e da nuvem, com computadores e dispositivos portáteis.

Figura 1 - Indústria 4.0 na soldagem



Fonte: Adaptado de SUMIG (2020).

Ainda que existam equipamentos manuais de solda, optar pela automação do processo produtivo pode ser uma vantagem em alguns aspectos, pois uma operação de soldagem pode ser exaustiva para o operador que está executando o trabalho, envolvendo manter-se horas em posições desconfortáveis e ambientes não muito favoráveis, geralmente quentes e com muito barulho. Com isso, células

robotizadas estariam trazendo maior conforto para o soldador durante a execução de suas funções. Apesar disso, braços robóticos são mais caros e muitas vezes não alcançam lugares onde o braço humano chega, tornando-se muito limitado.

Geralmente estas novas tecnologias demoram a chegar de forma competitiva na indústria Brasileira, pois, em um primeiro momento, não são vistas como vantagem competitiva por aqui. Porém, empresas que investem em automatizar todo o processo, além de melhorar a capacidade produtiva, reduzem erros que prejudicam a qualidade do componente soldado, reduzindo assim os custos para a empresa, não somente valorizando a imagem da marca no mercado, mas em alguns casos até salvando vidas, como exemplo uma solda sem defeitos, realizada na estrutura de um veículo (SUMIG, 2017).

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo Principal

O principal objetivo deste trabalho é realizar uma pesquisa no mercado mundial sobre as tecnologias de soldagem aplicadas na indústria 4.0, bem como, os principais desafios e soluções a sua implementação.

1.1.2 Objetivos Específicos

Para atingir o objetivo principal os seguintes objetivos específicos devem ser alcançados:

- Realizar um levantamento das empresas que desenvolvem ou apresentam soluções voltadas para atender a indústria 4.0 na soldagem;
- Identificar as tecnologias da indústria 4.0 aplicáveis na soldagem;
- Compreender como a indústria 4.0 pode ser aplicada no contexto dos processos de soldagem;
- Identificar quais são os principais parâmetros monitorados na soldagem (parâmetros de processos e manutenção) e como esses são utilizados para melhorar questões de produtividade e manutenções;

- Identificar os desafios para implementação dos recursos da indústria 4.0 na soldagem no Brasil.

1.2 Justificativa

A crescente demanda de produtos soldados, com qualidade final aceitável, demanda por equipamentos mais tecnológicos capazes de transmitir dados durante sua operação em busca de manter a sua competitividade no mercado. A adaptabilidade dessas novas ferramentas na empresa pode determinar o sucesso futuro dela em relação aos concorrentes.

Portanto, esse estudo serve como instrumento de avaliação para melhoria produtiva na área de soldagem e de nível de qualidade do componente soldado, setor que é empregado na grande maioria dos processos de produção além da sua vasta aplicação fora da indústria. De acordo com os dados da Agência Brasileira de Desenvolvimento Industrial em 2018, menos de 2% das companhias no Brasil estão inseridas dentro do conceito de indústria 4.0, sendo então bastante desconhecido ainda no território nacional. Entretanto, estima-se que em 2027 cerca de 24% das indústrias estarão atuando com as novas tecnologias (ABDI, 2018).

No contexto da engenharia, surge a necessidade de levantamentos acadêmicos quanto as inovações tecnológicas e de expansão para a área da soldagem. Assim como também auxiliar futuras pesquisas sobre o assunto, visto que há pouco material disponível no Brasil e em português.

Justifica-se também para o desenvolvimento pessoal acerca dos assuntos abordados, buscando conhecimento dos processos utilizados e já desenvolvidos, com o objetivo de auxiliar na formação da carreira como engenheiro mecânico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

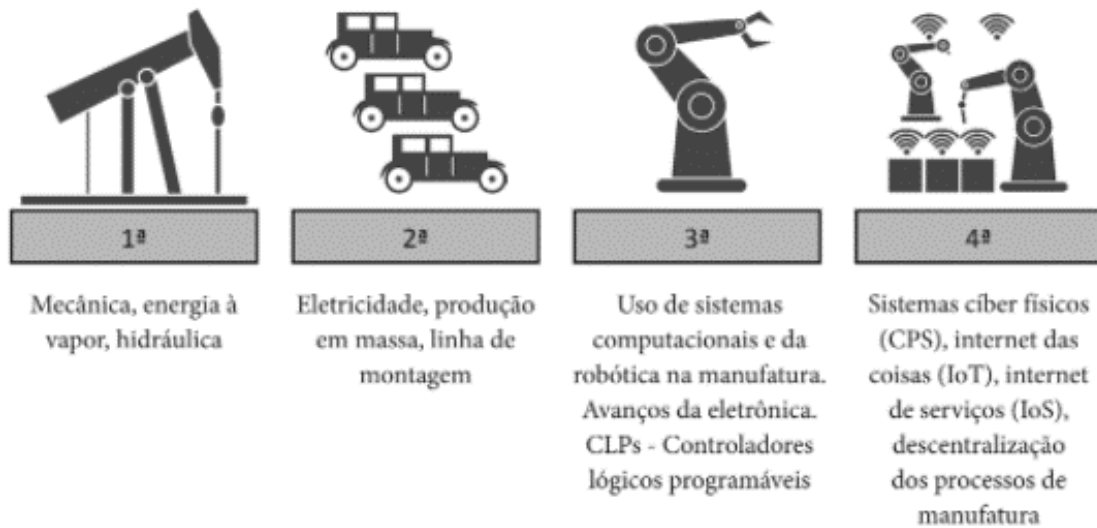
2.1 Indústria 4.0

A evolução econômica de um país é sempre essencial para o seu desenvolvimento, e nos últimos anos estamos presenciando muitas mudanças tecnológicas na indústria em todos os setores de fabricação, com o objetivo de acompanhar o crescimento da demanda por produtos.

No ano de 1784, o mundo presenciou a revolução industrial, com a invenção de máquinas a vapor e novos processos de fabricação, com início a produção mecânica. Logo após, a partir de 1870, a segunda revolução industrial incorporou a eletricidade e as linhas de montagem nas indústrias. Com o avanço da tecnologia e o surgimento de computadores e redes, em 1960 ocorreu o início da terceira revolução industrial, aumentando o uso da robótica na fabricação e aprimorando a automação na produção.

Em 2011, de acordo com Schwab (2016), o termo “indústria 4.0” surgiu na feira de Hannover na Alemanha, sendo uma estratégia de alta tecnologia de longo prazo do governo alemão para garantir a competitividade da sua indústria. Seu escopo é amplo e abrange diversas tecnologias existentes, possibilitando alcançar novos patamares de produtividade e novas estratégias de produção. O principal foco do conceito é promover a comunicação entre máquinas, utilizando redes inteligentes com capacidade de controlar a produção de forma autônoma. Na Figura 2, é exemplificado o contexto das revoluções industriais de forma mais visual.

Figura 2 - Revoluções industriais



Fonte: Sacomano et al. (2018).

Em outras palavras, a indústria 4.0 representa uma evolução natural dos sistemas industriais anteriores, desde a mecanização do trabalho até a automação da produção. No entanto, na automação ainda existia uma lacuna em que os dados não eram trocados em tempo real, levando a atrasos na tomada de decisão (SANTOS et al. 2018).

Contudo, a indústria 4.0 não é a realidade para muitos países que ainda vivem sem eletricidade, vivendo ainda a segunda revolução industrial, sendo 17% da população mundial. Além disso, metade da população mundial vive sem internet, estando ainda no período da terceira revolução (SCHWAB, 2016).

O Brasil ainda está em um processo lento de adaptação para a indústria 4.0, em que, de acordo com Teles (2017), 57% das empresas no país desconhecem as tecnologias oferecidas pela nova revolução, e 66% afirma não ter interesse de implantá-la pelos altos custos. Segundo TOTVS (2021), o atraso no desenvolvimento da indústria no país se deve ao fato do alto custo de implantação do sistema e a insegurança quanto a vulnerabilidade dos dados no sistema. Apesar disso, estima-se que em 10 anos, 15% das empresas no setor de manufatura já tenham implantado esse conceito. O setor de metalurgia é um dos setores que mais utilizam da tecnologia da indústria 4.0.

Para que os princípios da Indústria 4.0 se tornem realidade dentro de uma empresa, é preciso integrar e utilizar as tecnologias que formam seus pilares de sustentação. Estes serão discutidos no próximo tópico.

2.1.1 Pilares da indústria 4.0

A predição de falhas, autoconfiguração e adaptação a mudanças são características da indústria 4.0. De acordo com Erboz (2017), há 9 pilares tecnológicos por trás desse conceito (Figura 3): *Big data* e *data analytics*, robôs autônomos, simulação, integração horizontal e vertical dos sistemas (sistemas integrados), Internet das Coisas (IoT), a nuvem, manufatura aditiva, realidade aumentada e cibersegurança.

Figura 3 - Pilares da indústria 4.0



Fonte: ABDI (2017).

2.1.1.1 Big data e data analytics

Coelho (2016) descreve o termo *big data* como um conjunto de dados que são armazenados resultantes de sistemas ligados à rede (IoT), que produzem dados em tempo real sobre quase tudo. O autor ainda destaca que o desafio é colecionar todos os dados considerados relevantes e transformá-los em conhecimento, sendo apto apenas equipamentos de alto poder de processamento.

Os dados processados fornecem alertas para anomalias em estágios iniciais e falhas do sistema em tempo real, com uma precisão de 100% e taxas de falso alarme de menos de 6,58% (TELES, 2017).

A coleta de dados possibilita identificar um defeito crítico e tomar ações prévias antes que cause mais prejuízos ou retrabalhos, portanto é importante que os dados cheguem a quem vai agir dentro da empresa e parar a produção, ou então determinar uma revisão em todo o processo produtivo, após uma análise do conjunto de dados em um período mais longo. Além disso, é possível realizar simulações com os dados verdadeiros do projeto, prevendo erros que poderão ser cometidos e eliminando custos desnecessários (FADUL, 2021).

2.1.1.2 Robôs autônomos

De acordo com TOTVS (2021), os robôs fornecem uma gama cada vez maior de serviços e estão se tornando mais autônomos, flexíveis e cooperativos. Eles irão interagir uns com os outros e trabalhar ao lado de humanos com segurança.

Os robôs desempenham tarefas que necessitam de esforços repetitivos, rapidez, força e demais habilidades que um ser humano não tenha ou não possa desempenhar. A automação já é empregada nas indústrias há muito tempo, a diferença é que com a indústria 4.0 possui dispositivos de segurança que detectam a presença de seres humanos no local de trabalho e permite que o trabalho seja feito fora de um isolamento (TELES, 2017).

2.1.1.3 Simulação

A simulação consegue reproduzir fielmente o funcionamento de plantas e procedimentos industriais, obtendo maior controle sobre os processos, aumento da qualidade dos trabalhos e identificação e minimização de erros. A virtualização permite representar situações randômicas e acidentais, facilitando para os gestores tomarem decisões mais rápidas e corretas. Os projetos de simulação se assemelham com o *Lean Manufacturing*, portanto são definidos problemas que se pretende resolver, iniciando a modelagem 3D. Após modelada a planta industrial, ela é analisada com todas as possibilidades de resolução e assim simulada para posterior aplicação (SENAI, 2019).

Para Pereira e de Oliveira Simonetto (2018), a tomada de decisão poderá ser auxiliada pelas simulações, que utilizarão informações obtidas em tempo real. A otimização de parâmetros poderá ser feita a partir de testes de otimização, feitos com modelos virtuais.

2.1.1.4 Integração horizontal e vertical dos sistemas

Erboz (2017) destaca que este mecanismo de integração horizontal e vertical dos sistemas cria a coordenação da estrutura da indústria 4.0, coletando os dados provenientes da *Big data*, otimizando-os e enviando para a nuvem, portanto integrando todos os equipamentos através de redes inteligentes. Como os dados estão na nuvem, a integração ainda permite o compartilhamento entre plataformas de parceiros, ou seja, toda a organização estará interconectada e as empresas estarão conectadas umas às outras.

2.1.1.5 Internet das Coisas (IoT)

O termo Internet das Coisas, proveniente de *Internet of Things* (IoT), refere-se a objetos físicos e virtuais ligados a internet, utilizando de sensores, dispositivos móveis, comunicações *wireless* e armazenamentos na nuvem, criando uma rede de comunicação de dados. Estima-se que em 2020 o número de objetos ligados a internet seja de 50 bilhões, dobrando o número do ano de 2015 (COELHO, 2016).

A partir da indústria 4.0, o IoT começou a ser utilizado industrialmente ajudando a medir em tempo real a produtividade de máquinas ou alertando problemas em setores, descentralizando a tomada de decisões, com foco na manutenção preditiva.

Utilizando um exemplo para facilitar a compreensão, é como se um sensor de temperatura está instalado em um forno industrial, transmitindo a temperatura pela internet para uma central acessada remotamente por um supervisor. Os dados captados são comparados com um padrão estabelecido, em que dependendo do valor de temperatura, pode emitir alertas e até comandar atuadores para realizar a correção da temperatura, sem a intervenção humana (SACOMANO et al. 2018).

Sacomano et al. (2018) ainda destaca que o IoT pode ser aplicado em cidades inteligentes, onde os serviços urbanos são interligados por sistemas,

eliminando congestionamentos, filas, melhorando a distribuição de energia, policiamento e muito mais.

2.1.1.6 Nuvem

A computação na nuvem, de acordo com a Microsoft, é a distribuição de serviços computacionais que envolvem servidores, *softwares*, banco de dados, armazenamento e análises oferecidos pela internet. A rede utilizada pelo usuário é paga somente pelo que é utilizado, permitindo novas tecnologias de informação sem a necessidade de grandes investimentos (SENAI, 2019).

Com os dados em nuvem, é possível acessá-los de qualquer dispositivo móvel e de qualquer lugar do mundo que tenha acesso a internet, obtendo uma interconectividade dentro da empresa, facilitando o compartilhamento de dados entre os setores, tornando os processos mais ágeis e flexíveis (SENAI, 2019).

2.1.1.7 Manufatura aditiva

A manufatura aditiva, também conhecida como impressão 3D, tem a habilidade de construir objetos através da adição de camadas, uma sobre a outra, até formar o objeto. Com o projeto em *software* de modelagem 3D, o equipamento de impressão lê os dados e estabelece camadas sucessivas de líquido ou pó. Os materiais mais utilizados são plásticos, metais, resinas, concreto, entre outros. A sua aplicação é ilimitada e tem como um de seus principais benefícios a prototipagem rápida e de amostras, focada em modelos de visualização pré-produção (TELES, 2017).

2.1.1.8 Realidade aumentada

A realidade aumentada não é uma exclusividade da indústria 4.0, mas ganhou espaço na indústria e está crescendo cada vez mais. Uma de suas aplicações é o treinamento de funcionários, em que a fabricação e os processos produtivos são simulados virtualmente, combinando o ambiente virtual com o real. Sua tecnologia aprimora a interação entre o homem e a máquina, com capacidade de controlar

remotamente tarefas de manutenção e de inspeção visual fornecidas virtualmente. (ERBOZ, 2017).

No Brasil, a Embraer começou a utilizar a realidade aumentada como forma de prevenção de defeitos que seriam detectados somente com o avião no ar, em que de forma virtual, em 3D, simularam o que os trabalhadores fariam no chão de fábrica um ano antes do início da produção. O projeto teve 12 mil horas de testes antes das aeronaves decolarem e grande parte dos problemas foram resolvidos ainda na fase de preparação (TELES, 2017).

Além disso, na linha de montagem de algumas indústrias, os operários dispõem de computadores e tablets de fácil acesso com tecnologia de realidade aumentada e, quando houver dúvida, há sempre um vídeo explicativo de como realizar a operação. Com isso, o tempo de montagem já caiu 25%.

2.1.1.9 Cibersegurança

De acordo com Erboz (2017), a cibersegurança é um dos fatores mais importantes na indústria 4.0, pois pode sofrer de invasões e crimes cibernéticos, comprometendo todo modelo do conceito, assim necessitando de um sistema de defesa para a rede, além de treinar os funcionários para situações quando ocorram os ataques e também para evitá-los.

Sistemas sofisticados de gerenciamento de identidade e acesso à máquina serão usados para fornecer comunicações seguras e confiáveis, portanto devem ser criados procedimentos que garantam a segurança dos dados (SANTOS et al. 2018).

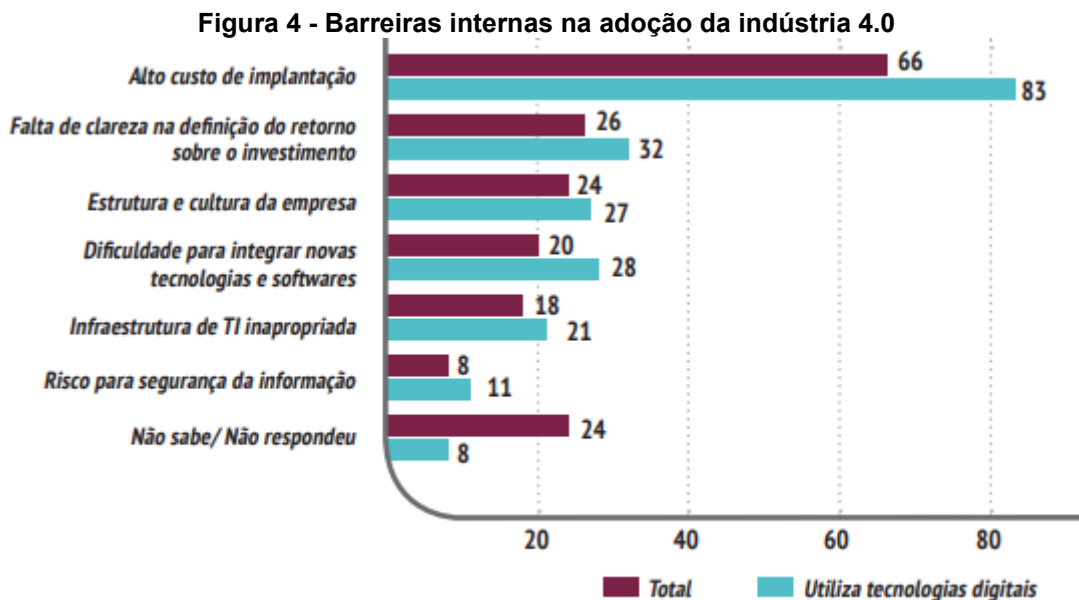
2.1.2 Desafios da indústria 4.0

Um grande desafio da aplicação do conceito, conforme Farkas (2018), é a ameaça de ataques cibernéticos, pois como os dispositivos estão conectados entre si através do IoT, podem se tornar vulneráveis caso não haja uma segurança no sistema, levando a vazamento de dados ou até mesmo uma suspensão na produção.

Conforme descreve Schwab (2016), as pessoas são as que mais vão sentir as alterações da indústria, mudando nossa interação com os equipamentos e nossas habilidades, assim como na carreira será necessária uma capacitação para dominar a tecnologia. TOTVS (2021) defende que a indústria 4.0 ainda vai precisar de muita

mão de obra, pois muitos processos ainda necessitam da intervenção humana para funcionar. Apesar disso, muitas posições podem ter requisitos mínimos de qualificação do trabalhador em relação a tecnologia, ou seja, algumas posições vão deixar de existir para que outras tomem lugar.

Em uma pesquisa realizada no Brasil pela Confederação Nacional da Indústria (CNI), em 2016 (Figura 4), mostra que em 66% das empresas o custo de implantação é a principal barreira interna para a adoção de tecnologias digitais. Se comparada a empresas que já utilizam ao menos uma tecnologia digital, esse número sobe mais ainda, para 83%. Aliado ao alto custo, a falta de clareza na definição do retorno sobre o investimento mostra números elevados, fazendo com que empresas desistam da implementação do conceito.



Fonte: Confederação Nacional da Indústria (CNI), (2016).

Se tratando de barreiras externas na adoção da indústria 4.0 (Figura 5), a falta de trabalhador qualificado é a principal barreira apenas para as empresas dos setores de baixa e média-baixa tecnologia, com 30% das respostas. Já para as grandes empresas, a insuficiente infraestrutura de telecomunicações do país aparece em primeiro lugar. Para empresas de média-alta tecnologia, a maior dificuldade é identificar tecnologias e parceiros para implementação, além da falta de uma linha de financiamento apropriada (CNI, 2016).

Figura 5 - Barreiras externas na adoção da indústria 4.0



Nota: A soma dos percentuais supera 100% devido a possibilidade de múltiplas respostas.

Fonte: Confederação Nacional da Indústria (CNI), (2016).

2.2 Soldagem

O processo de soldagem se resume na união de dois materiais metálicos, podendo ser realizado de diversas maneiras, unindo dois ou mais componentes para que funcionem como um único elemento. É um dos processos de fabricação que mais envolve ciência, e pode ser realizada em qualquer ambiente, com diversos tipos de métodos, cada um com sua aplicação adequada. A soldagem é importante para a economia, pois mais de 50% do Produto Nacional Bruto (PNB) dos EUA está relacionado à soldagem de uma forma ou outra, e quase tudo que utilizamos no dia a dia teve um processo de soldagem (AVENTA, 2020).

É muito utilizada na indústria geral, fabricando e recuperando peças, equipamentos e estruturas metálicas. Sua aplicação atende desde pequenos componentes eletrônicos até grandes estruturas. Uma solda de qualidade garante que não tenha problemas futuros, garantindo a integridade e consistência da peça. A qualidade da solda deve assegurar-se em alguns elementos, como a qualidade do material, definição do processo, habilidade do soldador e eficiência do equipamento.

De acordo com AVENTA (2020), o soldador deve seguir alguns critérios para evitar os erros mais comuns durante a solda, entre eles estão:

- Segurança: Capacete, luvas, óculos de proteção e alicates de soldagem são equipamentos essenciais antes de se iniciar uma solda, além de evitar realizar o processo perto de materiais inflamáveis.

- Consumíveis: Uma boa seleção do consumível garante a qualidade da solda e deve ser selecionado de acordo com os parâmetros definidos pelo fabricante.
- Limpeza: A peça deve ser limpa no local da solda antes de iniciar o processo, pois a sujeira contamina a poça de fusão e assim diminui a qualidade final da solda.
- Conforto: O operador deve se sentir confortável na realização da solda, pois o calor gerado pelo processo e os movimentos repetitivos são bastante incômodos.

2.2.1 Processos de soldagem

Há vários tipos de processos de soldagem, e cada um conta com sua aplicação para determinada situação. Os mais utilizados usam o arco elétrico para a realização da soldagem, portanto os mais conhecidos são:

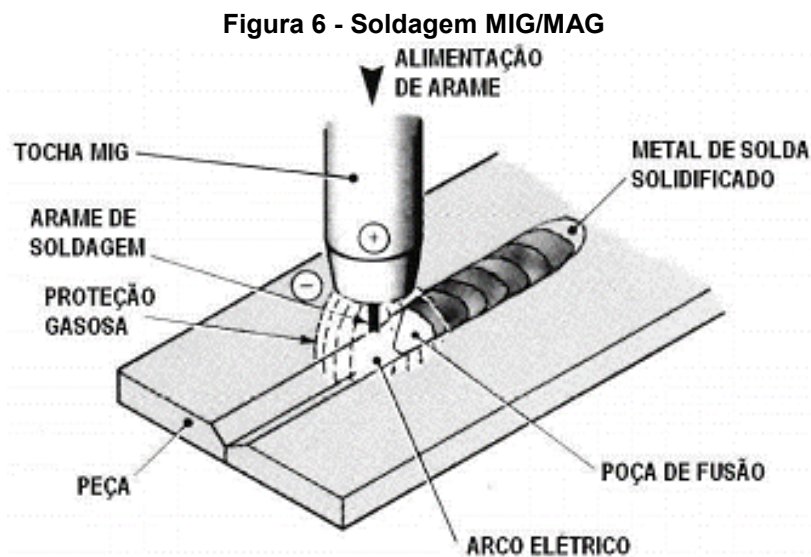
- Soldagem MIG/MAG;
- Soldagem com eletrodo revestido;
- Soldagem a arco submerso;
- Soldagem TIG.

A seguir, será abordado um dos métodos mais utilizados na indústria e fora dela, com ampla aplicação e baixo custo. Além disso, os equipamentos citados posteriormente no trabalho executam este método de soldagem, por ser um método facilmente automatizado e controlado no contexto da indústria 4.0.

2.2.1.1 Soldagem MIG/MAG

Também conhecido como GMAW (*Gas Metal Arc Welding*), o arco elétrico é estabelecido entre a peça e um eletrodo na forma de arame, assim o arco funde continuamente o arame. O metal de solda e a poça de fusão são protegidos da atmosfera pelo fluxo de um gás ou uma mistura de gases, sendo que se este gás é inerte o processo é chamado de MIG (*Metal Inert Gas*), e se o gás for ativo, se chama MAG (*Metal Active Gas*) (ESAB, 2005). A Figura 6 demonstra o funcionamento deste processo junto com a tocha de soldagem.

É um processo que apresenta uma evolução contínua, tornando ele aplicável à soldagem de todos os metais comercialmente importantes como os aços, o alumínio, aços inoxidáveis, cobre e vários outros. O equipamento básico para a soldagem GMAW é simples e de grande praticidade, por isso tornando ele um dos mais conhecidos. Consiste de fonte de energia, tocha de soldagem, fonte de gás e alimentador de arame (MODENESI, MARQUES, 2000).



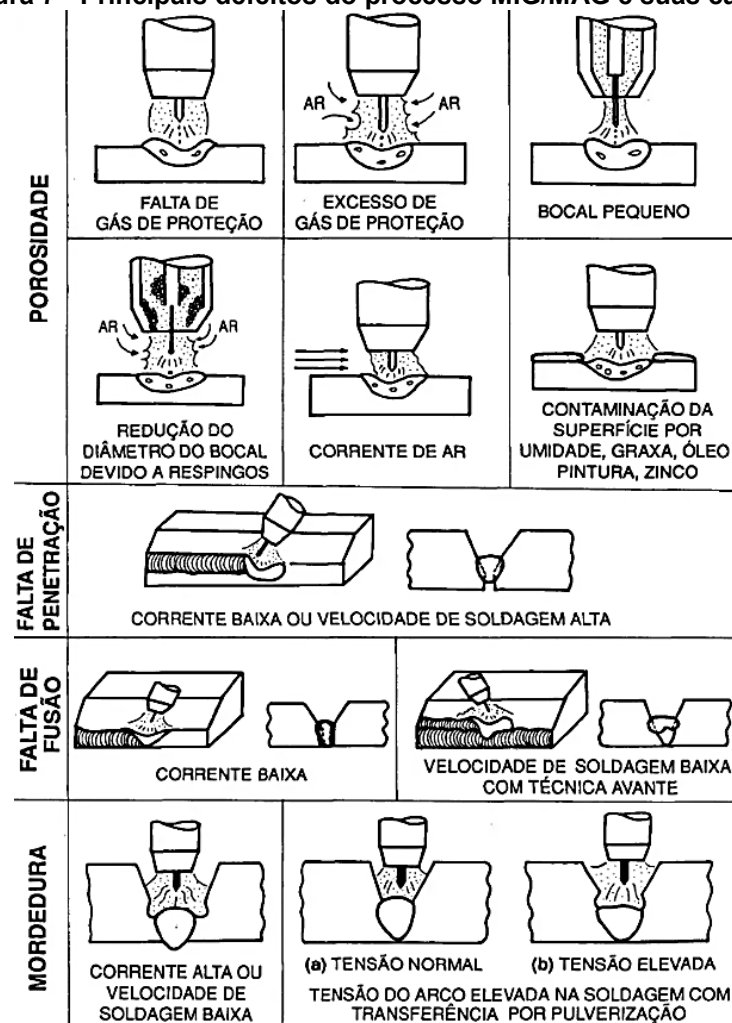
Fonte: ESAB (2005).

Ainda de acordo com Modenesi e Marques (2000), pode ser operado de forma semiautomática, mecanizado ou automatizado, sendo o processo de soldagem mais utilizado com robôs industriais, devido sua alta produtividade em virtude de trabalhar com arame contínuo e alta densidade de corrente gerando elevada taxa de deposição, sendo essas suas principais vantagens. Além disso, ela exige pouca limpeza após a soldagem e menos habilidade do operador se comparada a outros processos.

Após a seleção do arame e do gás para o procedimento de soldagem, as condições de operação devem ser determinadas conforme quatro importantes parâmetros, a tensão de soldagem, a corrente de soldagem, a extensão do eletrodo após o bico de contato e a velocidade de soldagem. Esses valores afetarão diretamente as características da solda, pois como esses fatores podem ser variados em amplas faixas, são considerados os ajustes primários em qualquer atividade de soldagem. É de interesse de todos que seus valores sejam registrados para qualquer tipo diferente de solda, para assim permitir reprodutibilidade (ESAB, 2005).

A aplicação do processo depende do gás de proteção, sendo que o modo MAG utiliza um gás ativo e é destinado a soldagem de materiais ferrosos, e o modo MIG utiliza um gás inerte e se relaciona bem com materiais não ferrosos. Alguns defeitos comuns podem ocorrer no processo, geralmente ocasionados por procedimentos impróprios na configuração o equipamento ou no ato da soldagem. Defeitos normalmente encontrados incluem falta de penetração, falta de fusão, mordedura, porosidade e trincas longitudinais (ESAB, 2005). A Figura 7 aborda alguns desses defeitos correlacionados com sua origem.

Figura 7 - Principais defeitos do processo MIG/MAG e suas causas



Fonte: Adaptado de WAINER, BRANDI, DE MELLO (1992).

2.3 Parâmetros de solda

Os parâmetros de solda afetam diretamente a qualidade da solda, portanto devem ser analisados com cautela. Cada forma de soldar tem parâmetros diferentes, pois envolvem processos diferentes, mas em geral, existe quatro importantes fatores que se aplicam a quase todos os métodos. São eles: a corrente, tensão, velocidade de soldagem e a extensão livre do eletrodo.

2.3.1 Corrente

A corrente elétrica, cuja unidade é ampere, é o fluxo ordenado de cargas elétricas, que se movem através de um condutor. Já a corrente de soldagem, é a corrente elétrica proveniente da fonte de alimentação e é geralmente lida no medidor da fonte, mas também é frequentemente utilizado um amperímetro para a medição. No processo MIG/MAG, por exemplo, a corrente está relacionada a velocidade de alimentação do arame, conforme a velocidade varia, a corrente varia na mesma direção. Portanto, o aumento de corrente implica no aumento de alimentação do arame, aumentando a penetração e a taxa de fusão. Em contrapartida, uma corrente de soldagem baixa pode provocar grande formação de gotas e salpicos (ESAB, 2019).

2.3.2 Tensão

A tensão do arco elétrico, a qual é medida em volts, é relacionada com o comprimento do arco, sendo definida em especificações do material em tabelas e manuais. Com uma tensão alta, o comprimento do arco aumenta assim produzindo um cordão mais largo e irregular. Por outro lado, uma tensão baixa pode deixar o cordão muito fino, não ocorrendo a penetração do material. Com o aumento da corrente, é necessário que a tensão aumente junto para fornecer a energia necessária (MILLER, 2020).

2.3.3 Velocidade de soldagem

A velocidade de soldagem é a taxa linear que o arco se move ao longo da peça, determinando a geometria do cordão. É possível afirmar então que conforme a

corrente aumenta, a velocidade deve aumentar também, assim como se a corrente diminuir, a velocidade deve diminuir, caso deseje-se manter a energia de soldagem. Em velocidades altas, o cordão pode apresentar pouca penetração na peça, ocorrendo o efeito de mordedura. Já em velocidades mais baixas, o cordão será irregular e com muita escória (ESAB, 2019).

2.3.4 Extensão livre do eletrodo

Extensão livre do eletrodo, conhecido também como *stick-out*, é a distância entre o final do bico de contato da tocha até onde o eletrodo funde em um arco elétrico. Essa distância impacta na corrente de soldagem necessária para fundir o arame a uma velocidade de alimentação, portanto assim é importante controlar o afastamento. Um distanciamento maior provoca em excesso de metal de solda sendo depositado com baixo calor do arco, causando um cordão ruim e com pouca penetração, além do arco se tornar instável. Uma extensão pequena deve causar porosidade e oxidação na poça de fusão (ESAB, 2019).

2.4 Robótica na soldagem

A robótica na soldagem existe a partir da década de 1960, no início da terceira revolução industrial, e desde a sua introdução na indústria, os processos de soldagem cresceram e se tornaram as aplicações mais comuns de robôs industriais em todo o mundo. Além de reduzir o tempo de processamento, aumentar a produtividade e permitir soldas de maior qualidade, entre outros benefícios da soldagem robótica incluem a redução da exposição de humanos ao ambiente insalubre de soldagem (BENAKIS et al. 2019).

Os robôs já estão amplamente estabelecidos e aceitos nas fábricas modernas, realizando tarefas perigosas e não ergonômicas, como soldagem, corte de metal e montagem de peças grandes. Muitos robôs trabalham ao lado de funcionários na manufatura, em que o trabalhador necessita monitorar a máquina e realizar outras tarefas como por exemplo o acabamento do produto. De acordo com *The Boston Consulting Group*, é esperado melhorias de produtividade de 30% nos próximos 10 anos, impulsionadas principalmente pela adoção de robôs à medida que eles se

tornem mais acessíveis, mais adaptáveis e de programação mais simples (*INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS*, 2018).

A robótica na soldagem automatiza o processo, aumentando a precisão, a segurança e reduz o tempo necessário para concluir cada projeto, se comparado com a solda manual. Vários setores aproveitam esse processo automatizado para obter resultados mais rápidos, tornando uma alternativa para a falta de soldadores com experiência, que, de acordo com a AWS (*American Welding Society*), em 2022, haverá uma escassez de 450 mil trabalhadores no setor de solda manual. Por isso, robôs podem compensar uma parte deste número, com uma grande variedade de máquinas disponíveis e de processos de soldagem, incluindo MIG/MAG, TIG, laser, plasma, entre outros. Portanto, é importante que soldadores busquem a certificação para operar braços robóticos, pois muitos robôs necessitam de um operador, tanto para alimentar os consumíveis e verificá-los se estão em bom estado, como para inspecionar se a solda está sendo feita corretamente e intervir em caso de erro (SUMMIT, 2019).

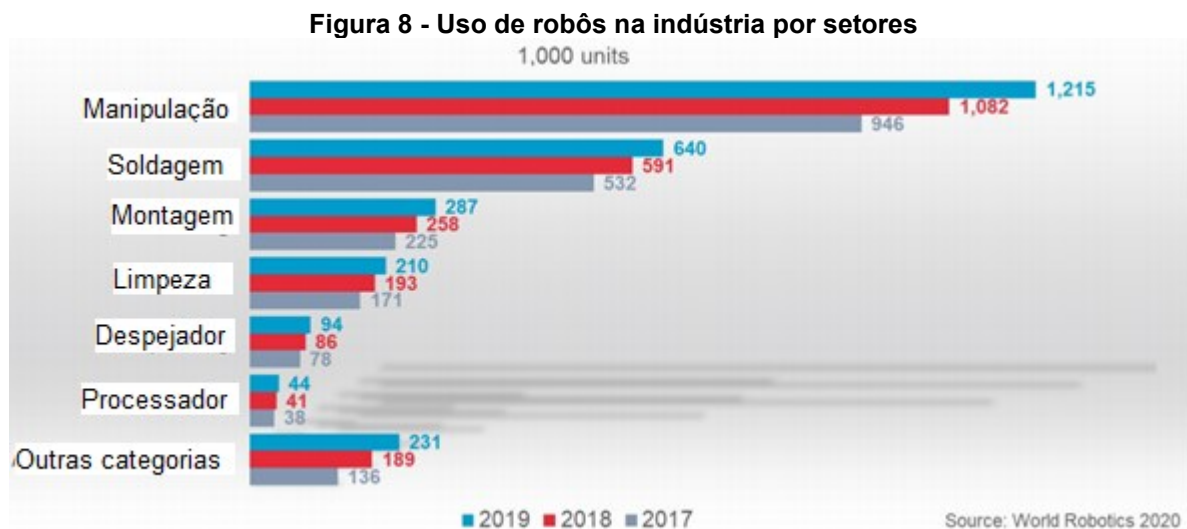
De acordo com a ESAB (2020), 70% dos custos de uma solda GMAW de aço carbono estão relacionados com a mão de obra, muitas vezes ligado ao tempo total de solda, em que o operador está em ambientes insalubres não conseguindo trabalhar da forma mais otimizada, diferentemente de um robô que pode operar em um turno de 24 horas sem a necessidade de pausas, permitindo a finalização de projetos de forma mais veloz.

É importante ressaltar outros benefícios da robótica na soldagem, como a segurança que ela fornece, protegendo o operador do arco da soldagem, da temperatura e da luz, mantendo um local mais seguro e mais produtivo. Lesões e equipamentos danificados também impactam no custo de uma empresa, portanto estes recursos de segurança ajudam na economia do orçamento. Além disso, outro fator que impacta na redução de gastos é o fato da diminuição de peças descartadas devido a erros, em que o robô obtém maior grau de precisão durante a solda (SUMMIT, 2019).

Ainda de acordo com Summit (2019), a robótica apresenta algumas desvantagens que podem superar as vantagens em determinados casos. Pessoas podem reagir a situações inesperadas de uma forma que robôs não conseguem, assim quando é necessário fazer uma alteração, o operador deve interromper o processo e reprogramá-lo, levando muito mais tempo para projetos complexos, e em

casos de projetos menores, o tempo de reprogramação pode ultrapassar o tempo total que uma intervenção manual levaria. Também, os custos iniciais para a compra dos equipamentos robóticos são de alto valor, o que impacta na maioria das empresas que não possuem condições financeiras suficientes, além da necessidade do treinamento para os seus funcionários conseguirem operar, programar e realizar a manutenção correta na máquina. Há também casos onde os robôs não podem aplicar a solda, como em produtos de geometria complexa limitando seu alcance e movimento.

Nos dias atuais, a soldagem robótica é responsável por apenas uma pequena parte dos projetos de soldagem na indústria, mas mesmo assim possui um número grande se comparado a outros processos, conforme mostra a Figura 8, que demonstra o uso mundial de robôs na indústria nos últimos anos, com soldagem aparecendo em segundo lugar e com números crescentes nos últimos anos.

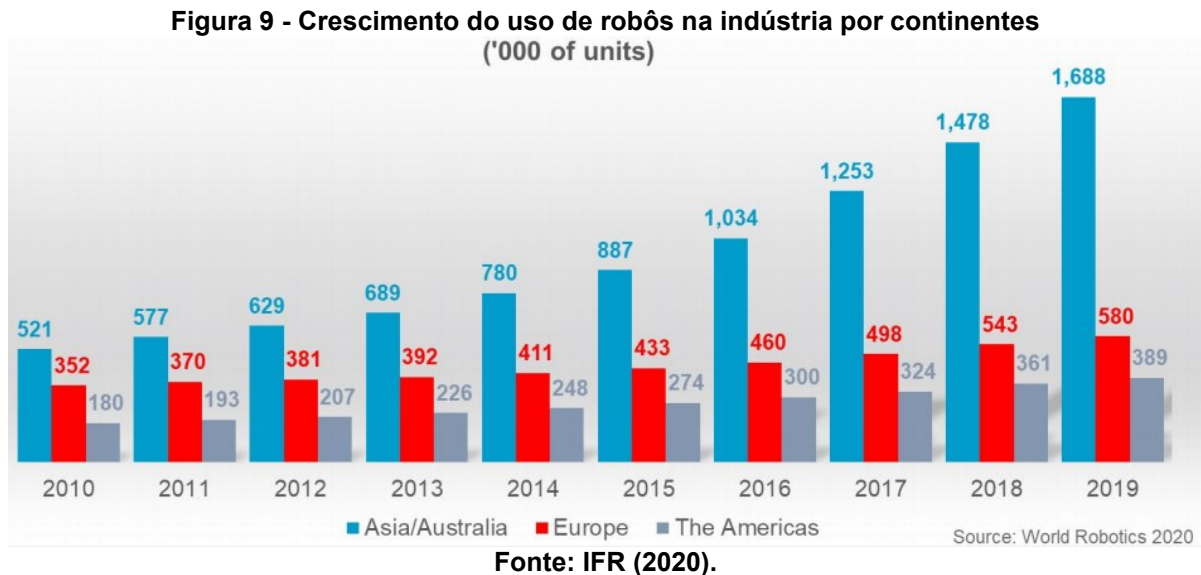


Fonte: Traduzido de IFR (2020).

A indústria que mais utiliza a robótica é o setor automotivo, a qual sempre é pioneira no uso de novas tecnologias que melhoram a produtividade. Devido ao crescimento nesses setores, entre 2018 e 2023, há uma expectativa no crescimento do uso robótico na soldagem, com uma taxa de aumento de 8,91% ao ano (SUMMIT, 2019).

No Brasil, a utilização da robótica na soldagem ainda é pequena, enquanto que muitas indústrias aqui ainda estão em transição da segunda revolução industrial para a terceira. Em países desenvolvidos, o número de robôs só vem aumentando

com o passar dos anos, e a tendência de crescimento é grande. A Figura 9 ilustra bem esse crescimento, bem como a baixa utilização nas américas, em que boa parte dos números pertencem às indústrias dos Estados Unidos.



No caso da indústria 4.0, especificamente no segmento da soldagem, o operador consegue acompanhar todo o processo de solda, verificando falhas e necessidades do equipamento sem demandar estar no mesmo lugar do robô, acompanhando através de um dispositivo móvel, com dados que ficam armazenados em nuvem. Através destes dados, outras máquinas podem estar diretamente ligadas as condições da peça soldada e realizar novos ajustes (SUMIG, 2017).

2.5 Soldagem 4.0

A soldagem 4.0 é uma transição contínua para um mundo de manufatura ainda mais inteligente e automatizado, utilizando a tecnologia como meio de desenvolvimento. Assim, podemos nos comunicar com mais eficiência, coletar dados e ter rastreabilidade avançada do produto, contando com interações entre humanos, computadores e robôs.

De acordo com Flowers (2021), as iniciativas da indústria 4.0 continuam revolucionando a soldagem, com sistemas inteligentes, automatizados e autônomos, alimentados por sensores que coletam informações buscando realizar a análise de dados por meio de *softwares*. A medida que os sistemas de soldagem ficam mais

inteligentes, mais dados serão analisados, criando uma base para comparação entre a condição de solda atual com processos de resultados bons já realizados, garantindo assim uma faixa de limite de controle e permitindo uma ação corretiva em tempo real.

Além disso, o monitoramento do processo de soldagem fornece rastreabilidade, que muda a forma como registramos, rastreamos e armazenamos todas as informações do processo de soldagem para cada peça fabricada. Todos os resultados da fabricação de componentes devem ser fáceis de estudar e ler no futuro, sendo valioso para a responsabilidade de longo prazo, especialmente para produtos relacionados à segurança (FLOWERS, 2021). A rastreabilidade é um fator muito importante para assegurar que as normas de qualidade estão sendo atendidas, gerando maior confiança para os clientes sabendo que o produto passou por controles rigorosos na fabricação, e possibilitando saber o ciclo de vida do produto, sabendo exatamente quando o item foi soldado e se as condições de solda estavam corretas, seguindo as especificações da peça, proporcionando a empresa identificar falhas de produtos que já estão no mercado, realizando assim as operações chamadas de *recall*, como na indústria automobilística (SANTOS; PISCIOTTA, 2021).

A integração entre a máquina de solda e os dispositivos móveis é feita de forma rápida e fácil, necessitando apenas de conexão com a internet via *wifi* ou cabo de rede. Os dados são gerados e transmitidos para a nuvem, onde são processados e organizados através de *softwares* que geralmente são fornecidos pela própria fabricante da máquina de solda, dando acesso à métricas de soldagem como a tensão, taxas de deposição, tempo de solda, entre outros. Os relatórios ficam disponíveis para exibição em qualquer navegador conectado à internet (SONAR et al. 2021). Este processo é ilustrado na Figura 10.

Figura 10 - Soldagem 4.0



Fonte: Adaptado de Miller (2021).

Para fornecer um diagnóstico de qualidade, um sistema de monitoramento de solda precisa ser preparado para rastrear muitos parâmetros de soldagem, como corrente, tensão, vazão de gás e velocidade de alimentação do arame, e fazer várias medições a cada segundo. Usando de algoritmos patenteados para analisar os dados de soldagem em tempo real, com isso conseguindo detectar quando surge um problema. Por exemplo, se uma empresa está mais preocupada com a porosidade, o sistema de monitoramento de solda pode ser configurado para se concentrar nos parâmetros de soldagem que têm maior probabilidade de afetar se uma solda é porosa. Mantendo o controle das variáveis que possam afetar a porosidade durante o processo de soldagem, o sistema pode emitir um alerta se uma solda suspeita não atender às expectativas de qualidade (DAVIS; KIESE, 2020).

Métodos diretos e indiretos de monitoramento estão disponíveis, sendo o direto através do uso de sensores ópticos, a laser, raio X, entre outros usados para garantir a qualidade da solda, seguindo o cordão de solda identificando seus defeitos e sua geometria. Modelos analíticos e empíricos apropriados permitem formar uma estimativa altamente precisa dos parâmetros do processo a partir dessas entradas. Entretanto, essas tecnologias de verificação são relativamente caras e podem ser suscetíveis a erros devido a condições ambientais instáveis ou interferência de equipamentos. No entanto, muitos métodos indiretos de monitoramento podem ser usados, obtendo facilmente parâmetros físicos como a corrente, tensão, potência, força, torque, vibração, entre outros, métodos que foram desenvolvidos para superar os problemas do monitoramento direto. Apesar de necessitarem mais poder de processamento computacional e obterem menor precisão, são mais econômicos e mais adequados ao uso industrial (WANG et al. 2020).

Os fatores monitorados pela soldagem 4.0 variam de um equipamento para outro, ou de quantos sensores estão conectados na máquina, mas os principais itens monitorados em um processo a arco elétrico são: (ESAB BRASIL, 2019)

- Duração da solda (horário de início e parada);
- Tempo total de abertura do arco;
- Identificação da máquina;
- Consumo do material depositado;
- Corrente e tensão;

Esses parâmetros podem ser facilmente acompanhados em tempo real, e emitem alertas se algo de errado está acontecendo. Ainda, há alguns fatores que podem ser monitorados através de um leitor de códigos que o operador da máquina de solda irá utilizar, passando manualmente o scanner em *QR codes*, assim sendo possível registrar, por exemplo, os seguintes parâmetros:

- Identificação do operador;
- Identificação do consumível de solda;
- Identificação do gás;
- Identificação da peça;

Com esses dados, um relatório técnico é gerado contendo todos os parâmetros, em questão de segundos. Uma empresa que incorporou a indústria 4.0 nos seus procedimentos de soldagem é a Braskem, gigante petroquímica com sede em São Paulo, a qual informou que em vez de levar um ou dois dias para formar o relatório técnico para seus clientes, hoje leva cerca de dez minutos para juntar o registro de 600 soldas em um único arquivo. Além disso, possibilitou a empresa identificar quais soldas exigirão reforço extra e melhorou o calendário de reparos (ESAB, 2021).

Conforme descreve Wang et al. (2020), a inteligência da máquina pode ser aplicada a estimativa de qualidade da solda, identificando características ou defeitos, categorizando a solda como boa ou ruim, e se alguma ação deve ser tomada pelo operador, como por exemplo realizar um retrabalho, uma retificação ou nenhuma ação, caso o defeito não impacte no desempenho da peça. Decisões podem ser tomadas para ação corretiva imediata, através da interpretação dos dados. A estratégia mais simples para reconhecer uma mudança no sistema é utilizar parâmetros limite, pré-definidos, porém esta estratégia é limitada e inflexível. Portanto, a forma mais usual de tomada de decisão é o reconhecimento de padrões, extraindo as características de dados obtidos e que é conhecida sua qualidade através de testes de qualidade da solda em laboratório. Assim, quanto maior a quantidade de dados obtida, com o passar do tempo, é possível criar um padrão. A expectativa é que esses padrões permitam a produção de boas soldas sem a necessidade de soldadores experientes, pois apenas é necessário se manter dentro dos parâmetros pré-estabelecidos.

Ennbrunner, Bruckner e Posch (2018) defendem que antes da implementação da tecnologia, é necessário revisar alguns pontos que a fábrica deve possuir, como por exemplo:

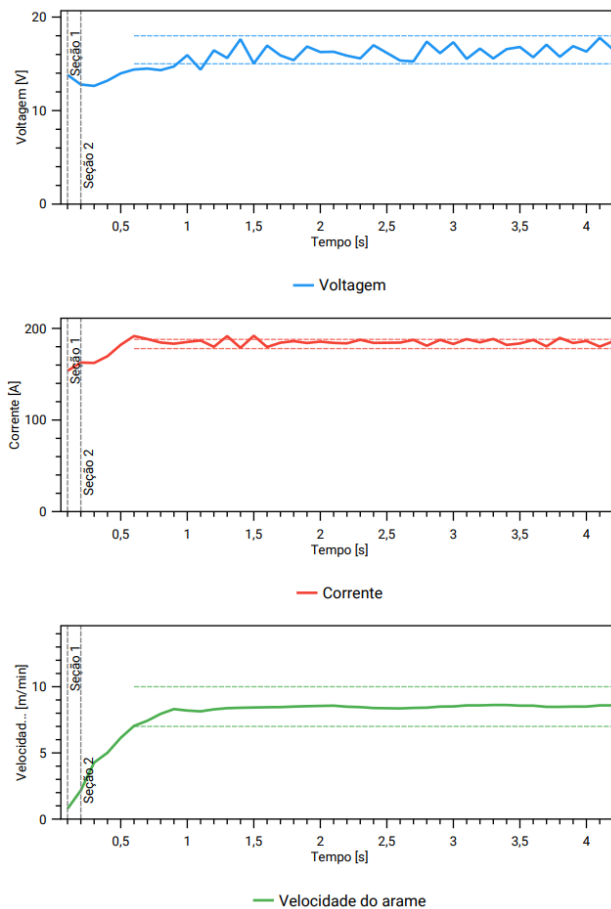
- O conhecimento de soldagem tem de ser digitalizado e preparado de modo que o computador consiga tomar decisões corretas assim como um especialista de soldagem;
- O equipamento de soldagem deve ser equipado com tecnologia de comunicação e sensores customizados para que toda informação possa ser digitalizada e acessada em tempo real pelo sistema;
- A necessidade de uma internet capaz de suprir as demandas de transferência de grande quantidade de dados, bem como armazenamento na nuvem capaz de manter esses dados.

Os autores ainda destacam que o maior desafio da indústria 4.0 na soldagem é digitalizar e quantificar todo o conhecimento existente de um soldador experiente, de forma que o computador consiga interpretar todas as situações existentes durante a solda.

A corrida acelerada do setor para buscar a transformação digital muitas vezes pula etapas importantes no processo de implantação e resulta em retrabalho e perdas, em vez de otimização da produção e ganhos de competitividade. Durante essa jornada, deve ficar claro que a implementação da indústria 4.0 é um processo longo. As empresas precisam dominar todas as fases de um projeto de transformação digital desde o início, esta é uma jornada que requer uma jornada sistêmica, e então, por esses motivos, devem começar com etapas estruturadas e planejadas na situação real da empresa. Para aprimorar o processo de soldagem, fornecedores de equipamentos de solda passaram a oferecer as tecnologias da indústria 4.0 no processo de soldagem com equipamentos modernos capazes de monitorar diversos parâmetros (FADUL, 2021).

A Figura 11 mostra um exemplo de como os parâmetros são visualizados e armazenados, sendo possível alternar entre gráficos e tabelas. Na figura estão demonstrados a tensão, corrente e velocidade do arame, pelo tempo em segundos, com as linhas pontilhadas determinando o limite estabelecido. A figura foi retirada de um relatório de soldagem disponibilizado pelo website da Fronius, o qual está anexado a este trabalho (Anexo A).

Figura 11 - Visualização dos parâmetros de soldagem



Fonte: Adaptado de Fronius (2022).

Com os dados coletados do sistema de monitoramento inteligente de soldagem, o supervisor e o engenheiro de solda serão capazes de determinar a causa raiz dos problemas de um defeito específico. Permite a eles determinar qual parâmetro está fora do especificado e começar os testes por ele, como por exemplo, o gás que é usado (DAVIS; KIESE, 2020).

Baseado em dados obtidos pelo equipamento, a empresa irá conseguir estabelecer procedimentos padrões e aplicar para todas máquinas de solda, além de monitorar com que frequência os soldadores, seja ele humano ou robótico, estão parados devido a excesso de respingos ou pouca penetração, assim sendo possível avaliar que procedimentos devem ser tomados. Além disso, facilita para a empresa identificar quais operadores estão mais produtivos e os que estão necessitando de mais treinamento, medindo os verdadeiros custos de uma solda e descobrindo possibilidades de redução dela (SONAR et al. 2021).

2.5.1 Impacto dos custos na soldagem 4.0

Em uma operação de soldagem funcionando corretamente, os custos são normalmente divididos entre a mão de obra, materiais consumíveis, matéria prima, gás de proteção, energia elétrica, entre outros.

Os sistemas de gerenciamento de informações de soldagem podem ajudar a identificar problemas de qualidade no início do processo, reduzindo assim os custos de manutenção posteriores. Soldas perdidas ou defeituosas podem ter um impacto negativo, levando a possíveis perdas de receita associada a falhas. Se as empresas detectarem os problemas cedo, podem conseguir ajudar a gerenciar os custos e manter a alta produtividade. Um sistema avançado de gerenciamento de informações ajuda a evitar perda de produtividade e falhas na qualidade do produto, e os benefícios e economias a longo prazo fazem sentido para os negócios quando as empresas consideram os custos iniciais em contrapartida com as soldas perdidas (MILLER, 2015).

Ainda de acordo com a Miller (2015), para transformar os dados obtidos em valores financeiros, as empresas podem comparar os períodos de tempo, mostrando em porcentagens as horas de solda, metros de arame usado ou gás de proteção utilizado, por exemplo. Com base nos valores de entrada que o usuário insere, o cálculo é feito a partir dos dados obtidos, incluindo mão de obra e materiais. Assim, permite a administração da empresa analisar as mudanças de produtividade, bem como quantificar um valor para a solda.

Camilo (2020) destaca que desde a implementação do sistema de monitoramento inteligente, uma empresa na Finlândia aumentou sua produção em 25 por cento, enquanto que o tempo necessitado para documentar a solda e realizar manutenção preventiva foram menores, gerando uma redução de custos onze mil dólares para a empresa.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Um trabalho de pesquisa se baseia em um problema, que deve embasar-se ao tema que gerou a pesquisa, confrontando os dados, informações coletadas e o conhecimento teórico que se tem a respeito do objetivo da pesquisa. Só assim é possível preparar o desenvolvimento para encontrar as respostas para o problema inicial. Futuramente, esta pesquisa poderá ser incorporada a trabalhos anteriores, continuando o que já havia sido elaborado por pesquisadores que mencionaram o assunto anteriormente (LUDKE; ANDRÉ, 1986).

O trabalho de pesquisa foi dividido em três etapas, sendo a primeira a respeito da construção do referencial teórico, com uma extensa pesquisa sobre os sistemas de soldagem inteligentes existentes, onde está sendo desenvolvido através de pesquisas de artigos científicos relacionados a indústria 4.0 na soldagem, por meio de buscas no Google Acadêmico, *Science Direct*, periódicos CAPES e Scielo, bem como *websites* e *webinars* de empresas fornecedoras de equipamentos de soldagem, promovendo o aprofundamento teórico sobre o tema e coletando os dados necessários para a segunda etapa do trabalho, onde foram analisados por meio da leitura e discussão entre os diferentes autores encontrados, sendo essa a segunda etapa do trabalho. Além disso, os conteúdos encontrados foram selecionados para que o leitor possa reunir o conhecimento necessário afim de colocar em prática os equipamentos aqui apresentados.

A análise documental representa uma das ferramentas na aquisição de dados para estudos de caráter qualitativo. Este modo tem como objetivo adquirir dados provenientes de informações em documentos, dentre eles quaisquer materiais como fontes de informação, como por exemplo leis e regulamentos, jornais, planilhas, revistas, livros, questionários, autobiografias e etc. com foco no objetivo do estudo do autor. Este modo justifica a busca de conteúdo em websites de empresas, as quais fornecem muito material didático e explicativo, com informações sobre seus produtos e artigos escritos por profissionais qualificados que vivenciam o dia a dia no chão de fábrica (LUDKE; ANDRÉ, 1986).

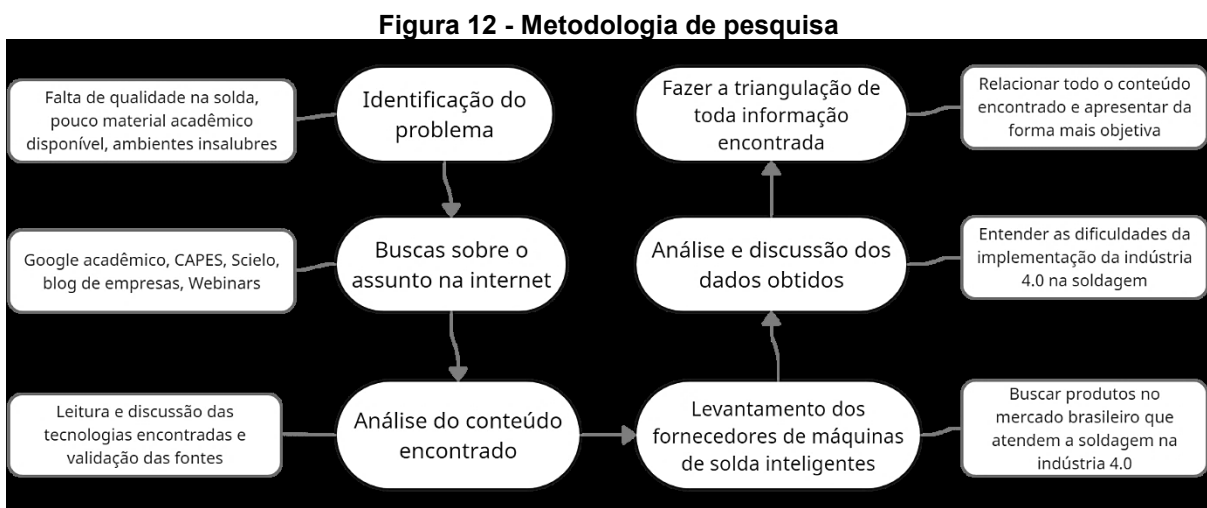
Os autores Ludke e André (1986) ainda afirmam que a análise documental apresenta muitas vantagens para a coleta de dados, visto que é uma fonte rica e estável que persiste ao longo do tempo, sendo consultado diversas vezes como base para outros estudos. Também, são fonte de evidências que fundamentam afirmações

e alegações do pesquisador com um custo baixo, sendo necessário apenas tempo e atenção do investigador para a aquisição dos dados necessários ao seu estudo.

Após à aquisição do conhecimento e dos dados necessários, foi iniciada a terceira etapa do trabalho, que consiste na busca e elaboração de um mapeamento com alguns dos fornecedores e representantes nacionais que oferecem soluções inteligentes no ramo da soldagem.

A análise dos dados está presente em diversos estágios da pesquisa, porém quando a fase de coleta dos dados está concluída é quando o pesquisador tem uma ideia mais clara das possíveis direções teóricas do estudo. Nesse momento, é necessário a releitura do material obtido e associá-lo ao referencial teórico já estudado. Para a análise, discussão e interpretação dos dados, é importante realizar a classificação e triangulação dos dados obtidos. A triangulação dos dados permite a validação da pesquisa qualitativa. Seguindo a mesma analogia, múltiplas leituras são tomadas para aumentar a precisão das respostas obtidas, sendo que a triangulação na análise envolve a comparação dos dados obtidos por meio de diferentes fontes (LUDKE; ANDRÉ, 1986).

A sequência de métodos para este trabalho fica mais compreensível na Figura 12, onde apresenta-se o passo a passo de como a pesquisa foi realizada do início até sua conclusão.



Fonte: Autoria própria

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Antes de iniciar a análise dos dados e discussão dos resultados, é necessário recuperar o objetivo geral do estudo proposto: discutir e analisar possíveis fornecedores da tecnologia da indústria 4.0 no ramo da soldagem. Com base nesse objetivo e no referencial teórico, nessa seção fez-se uma discussão sobre os pontos considerados mais importantes e principais dessa pesquisa, afim de que se possa compreender os principais aspectos da indústria 4.0 que influenciam na qualidade da solda. É importante ressaltar que este trabalho expõe um significado qualitativo e não apresenta as empresas com representatividade estatística.

Vale destacar que não se encontra uma definição direta de “indústria 4.0 na soldagem” da literatura, sendo expressada de diversas maneiras nas pesquisas realizadas, encontrando resultados através de termos como “tecnologias na soldagem”, *‘welding technologies’*, “soldagem 4.0”, *‘welding 4.0’*, ..., um conteúdo que ainda está em desenvolvimento no meio acadêmico, mas que conta com um número considerável de resultados através das páginas dos fornecedores de equipamentos. O referencial encontrado foi filtrado de modo que as informações não se repitam, e que seja de fácil visualização para o leitor deste trabalho.

Antes de tudo, tratando das inovações tecnológicas da indústria 4.0, percebe-se que algumas delas tem aplicação e atuação comprovadas no âmbito da soldagem. Há um grande interesse de empresas visto que a rastreabilidade tem se tornado algo obrigatório dentro de um processo produtivo.

Quanto à soldagem, observa-se ao longo do trabalho dois pontos que se destacam: a busca pelo aumento de qualidade e a redução de custo de um componente soldado. A qualidade de um produto afeta diretamente o custo, causando retrabalhos e problemas que vão além da soldagem. É necessário encontrar um balanço entre os dois fatores para que a competitividade seja mantida.

Por isso, nessa primeira análise serão relacionados, as tecnologias da indústria 4.0 com os principais objetivos empresariais, que são a qualidade e o custo, principalmente na soldagem, levando como base o referencial apresentado anteriormente neste trabalho. Portanto, o Quadro 1 apresenta a análise e os impactos das tecnologias da indústria 4.0 na qualidade e no custo de um componente soldado.

Quadro 1 - Análise e impactos das tecnologias da indústria 4.0 na soldagem

Tecnologias da indústria 4.0	Qualidade	Custo	Fontes
Internet das coisas	Pode aumentar, pois tem o potencial de monitorar os parâmetros da soldagem.	Pode reduzir, pois o uso do sensoriamento identifica todos os custos do processo, facilitando o cálculo do custo de uma solda.	(DAVIS; KIESE, 2020), (MILLER, 2015)
<i>Big data</i>	Pode aumentar, visto que muitas análises utilizam do grande armazenamento de dados para efeito comparativo entre as soldas.	Pode reduzir devido à redução do número de falhas na solda.	(FLOWERS, 2021), (WANG et al. 2020)
Simulação	Pode aumentar ou preservar a qualidade, já que com ela é possível realizar o treinamento dos operadores para reduzir o número de falhas na solda.	Pode reduzir ou manter, devido à redução do número de falhas na solda.	(PEREIRA; DE OLIVEIRA SIMONETTO, 2018)
Integração horizontal e vertical dos sistemas	Não se observam impactos em virtude desta inovação servir como apoio para aquisição, manobras e manipulações de dados virtuais, não interferindo diretamente em modificações de qualidade e custo nos processos de soldagem. Ela garante com que todos os sistemas estejam conectados e sincronizados, sendo capaz de os dados serem acessados de qualquer dispositivo com internet.		(ERBOZ, 2017)
Nuvem	Pode aumentar. Dados em nuvem permitem maior controle do processo como um todo, sendo possível a movimentação de profissionais habilitados de forma mais rápida para estudos de não conformidades.	Pode reduzir. Elimina a utilização de relatórios impressos, gerando facilmente os relatórios detalhados da solda realizada para o cliente, além de aumentar a velocidade de movimentações de dados e tomadas de decisões, reduzindo assim os custos.	(SONAR et al. 2021), (WANG et al. 2020)
Manufatura aditiva	Não se observam impactos devido a não possuir uma aplicação de momento para a soldagem. Como visto no referencial, a manufatura aditiva tem foco na prototipagem rápida e de amostras em 3D.		(TELES, 2017)

Realidade aumentada	Pode aumentar, já que quando um profissional tem dúvidas sobre o processo, ele terá acesso a um tablet com vídeos explicando o procedimento. Além disso, o rastreio por meio do escaneamento de QR Codes garante a sequência correta de soldagem, garantindo a qualidade.	Pode reduzir, com o rastreamento do processo por meio do escaneamento de QR Codes, diminuindo as falhas por erro de procedimento na solda.	(ERBOZ, 2017)
Robôs autônomos	Pode aumentar, uma vez que robôs desempenham tarefas que necessitam de esforço repetitivos e em ambientes insalubres. Portanto, com o robô inibiria o erro humano por condições adversas.	Pode reduzir ou manter, visto que a qualidade aumentaria, portanto, diminuindo o retrabalho em componentes, o que gera custos para a empresa.	(TELES, 2017)
Cibersegurança	Não se observam impactos em virtude desta inovação servir como apoio para aquisição, manobras e manipulações de dados virtuais, não interferindo diretamente em modificações de qualidade e custo nos processos de soldagem. Ao se trabalhar com coleta e armazenamento de dados instantâneos, em grande volume, disponíveis em nuvem para o acesso de muitos usuários, é necessário que tenha um método eficiente de segurança para estes dados.		(SANTOS et al. 2018)

Fonte: Autoria própria.

Também é interessante fazer uma análise das tecnologias da indústria 4.0 na soldagem sob a óptica da engenharia mecânica. Considerando as tecnologias citadas acima, pode-se verificar a maior afinidade da engenharia mecânica com a internet das coisas, por exemplo, devido à sua ampla aplicação na obtenção de dados de automação por meio de sensoriamento de dispositivos. Um dos maiores assuntos de estudo da engenharia mecânica é a área térmica e os estados de transferência de calor, áreas que afetam diretamente o ramo da soldagem, o que reforça ainda mais a afirmação de que o sensoriamento de dados é um ponto completamente relevante neste caso.

Além disso, o armazenamento da grande quantidade de dados das soldas realizadas se torna muito vantajoso no longo prazo, sendo uma ferramenta de comparativo potente, e ainda útil para simulações e treinamentos de novos funcionários, englobando as tecnologias de *Big data* e de simulações.

Em uma célula de soldagem, devem estar equipados os consumíveis e parâmetros corretos, dependendo da tarefa atribuída pelo planejamento de produção, com os parâmetros definidos pelo engenheiro ou técnico de soldagem. Após isso, o

soldador é o responsável por configurar a máquina e utilizar ela dentro do configurado, recebendo alertas em caso de divergência dos parâmetros. Com as informações de quanto tempo uma máquina está operando e quanto está parada, o analista de manutenção da empresa pode definir as manutenções preventivas com base nesses dados, otimizando o tempo de parada para manutenção. Já quanto a qualidade dos componentes soldados, o armazenamento dos dados garante a rastreabilidade da solda, visto que muitos clientes solicitam o rastreamento total do componente, desde sua matéria prima até o produto final, principalmente na área automobilística. E com a grande quantidade de dados armazenados, auxiliará no comparativo para soldas futuras, definindo a qualidade a partir dos parâmetros já conhecidos e aprovados previamente com ensaios mecânicos, facilitando para o profissional responsável pela qualidade do produto.

Dito isso, quem irá se beneficiar diretamente com as tecnologias da indústria 4.0 na soldagem são profissionais diretamente relacionados ao processo mecânico e a qualidade do produto. No quadro 2 é feito o relacionamento entre o profissional de trabalho e como ele será afetado.

Quadro 2 - Profissionais beneficiados com a indústria 4.0

Profissional	Objetivo	Resultado	Fonte
Soldador	Facilidade de operação	O parâmetro correto; Alertas em caso de desvio.	(WANG et al. 2020)
Engenheiro mecânico ou de soldagem	Desenvolvimento de processos e parâmetros	Gestão dos parâmetros pré-definidos da solda; Biblioteca de dados.	(ESAB BRASIL, 2019)
Analista de manutenção	Monitoramento do tempo de funcionamento da máquina	Alerta de erros, estatísticas de manutenção e diagnóstico remoto; Manutenção preventiva.	(DAVIS; KIESE, 2020), (WANG et al. 2020)
Analista de qualidade	Gestão da qualidade da solda	Rastreabilidade das soldas e monitoramento dos parâmetros.	(DAVIS; KIESE, 2020), (FLOWERS, 2021)
Analista de produção	Gerenciamento da produtividade	Relatórios de produtividade; Consumo dos consumíveis.	(ESAB, 2021)

Fonte: Autoria própria

Os equipamentos de gerenciamento de dados de soldagem podem ajudar as empresas a lidar com pontos que causam muitos problemas, fornecendo benefícios como treinamento eficaz, aumento de produtividade, custos reduzidos, aplicação da

sequência de soldagem correta e prevenção de soldas perdidas. Porém, antes de investir, é importante fazer algumas perguntas básicas para garantir os melhores resultados.

Portanto, através da busca literária, foi possível definir que os benefícios englobam principalmente:

- Aumento de produtividade;
- Melhora da qualidade da solda;
- Gerenciamento dos custos da solda;
- Controle da sequência de solda adequada (através de leitores de código de barras ou *QR Code*);
- Rastreabilidade dos componentes soldados;
- Geração de relatórios de solda;
- Treinamento de operadores menos qualificados.

O aumento da produtividade provém principalmente da eliminação do fator de falha na solda causada pelo uso dos parâmetros incorretos ou do uso errado dos consumíveis. Como citado no referencial, a maior parte das falhas na solda provém do erro humano. Portanto, eliminar os fatores que tendem a esses defeitos aumentará a produtividade e garante a maior eficiência dos operadores.

A melhoria da qualidade da solda parte do controle dos parâmetros e da armazenagem de dados, utilizando uma base de dados de soldas bem-sucedidas, fazendo a comparação entre os parâmetros. Com o monitoramento de toda solda feita, a equipe de qualidade sabe se aquele componente precisa de retrabalho, ou um segmento da solda apenas, evitando problemas no futuro (DAVIS; KIESE, 2020).

O gerenciamento dos custos da solda fica pautaável pois é possível saber exatamente a quantidade de consumíveis utilizados no processo, fazendo o cálculo com base nisso e no tempo total da solda, o qual também fica registrado. Assim, o custo da solda é feito com números exatos e não com uma estimativa, sem prejuízos por uma estimativa errada (MILLER, 2015).

Quanto ao controle da sequência de solda adequada, ela precisa que um leitor de código de barras ou QR Code seja acoplado na máquina e que o sistema seja compatível com essa função. Resumindo, todo consumível, toda ferramenta, material e equipamentos utilizados no processo ficam salvos no sistema, sendo a solda aprovada apenas após a utilização de todos os recursos e na ordem correta. Essa

sequência é normalmente definida pelo engenheiro/técnico de solda, e garante total rastreabilidade do componente soldado, comprovando o uso de todas as ferramentas (ESAB BRASIL, 2020).

A rastreabilidade de um componente soldado é de extrema importância para as fábricas atuais, onde cada vez mais se pede a rastreabilidade de um item, principalmente na indústria automobilística. Com os dados armazenados na nuvem, toda solda pode ser rastreada a qualquer momento e, dessa forma, garantir que aquele componente seguiu os procedimentos corretos, bem como, quando foi feita e por quem. Isso garante que em caso da ocorrência de falha em um item, a empresa consiga comprovar a procedência de todo o processo. Isso garante com que a empresa consiga manter a competitividade (FLOWERS, 2021).

Assim como na rastreabilidade, a geração de relatórios tornou-se um item essencial para que a empresa evolua junto com as indústrias, onde é exigido o relatório contendo os dados do procedimento, junto com os parâmetros utilizados. Antes dos sistemas de gerenciamento de dados, esse processo era feito de forma manual, levando muito tempo para preenchê-lo, sem contar o risco de um erro de preenchimento dos dados (ESAB, 2021).

Como já foi citado no referencial, estima-se que em 2024 irá ter um déficit de muitos soldadores, portanto, surge a necessidade do treinamento de operadores que estão iniciando na profissão, facilitando para que profissionais ingressem no ramo sem a empresa ter muitos prejuízos no treinamento. A simulação junto com o Big Data pode contribuir com esse processo, configurando soldas virtuais com dados utilizados na vida real, assim o operador consegue obter experiência e ficando preparado para o que pode acontecer na solda. Com um sistema avançado de gerenciamento de informações de soldagem, os novos operadores podem treinar de forma rápida e econômica, sem que os profissionais mais experientes precisem parar o seu trabalho para dar o suporte necessário (PEREIRA; DE OLIVEIRA SIMONETTO, 2018).

4.1 Fornecedores e representantes de máquinas de solda inteligentes

A maioria dos fabricantes oferecem a tecnologia completa, contando com o sistema de monitoramento e documentação dos dados, conectividade via *Wi-Fi* e *Bluetooth*, armazenamento na nuvem, análise dos dados, controle em tempo real e análise de funcionamento da máquina.

O objetivo de apresentar empresas de tecnologias de soldagem na indústria 4.0 não é compará-las entre si, e sim exibir o que cada uma oferece em termos de tecnologia para a indústria 4.0. Portanto, os valores financeiros não serão mostrados para evitar tal comparação. Cabe ao leitor avaliar o que se encaixa melhor em sua aplicação.

A partir das buscas realizadas, serão apresentadas apenas uma amostra das empresas, sendo apenas duas empresas que são nacionais (Quadro 3) e as outras apenas representantes no país (Quadro 4). Os produtos apresentados a seguir também são apenas uma amostragem e não representam a totalidade dos produtos oferecidos por cada fornecedor.

Quadro 3 - Fornecedores nacionais de equipamentos para a soldagem 4.0

Fornecedor	Especialidades	Fonte
Sumig	Fornece equipamentos de solda manual e robotizada, bem como o <i>software</i> para análise dos dados.	(SUMIG, 2017)
IMC – Engenharia de Soldagem	Fornece um sistema portátil de monitoramento dos dados de soldagem.	(IMC, 2022)

Fonte: Autoria própria

Quadro 4 - Representantes nacionais de equipamentos para a soldagem 4.0

Fornecedor	Especialidades	Fonte
Aventa (Miller)	Oferece equipamentos de solda manual junto com seu <i>software</i> de análise de dados.	(AVENTA, 2017)
Fronius	Fornece equipamentos de solda manual e robotizada, bem como o <i>software</i> para análise dos dados.	(FRONIUS, 2022)
ESAB Brasil	Oferece o <i>software</i> de análise de dados.	(ESAB BRASIL, 2022)

Fonte: Autoria própria

4.1.1 Sumig

Fundada em 1980, a Sumig é líder em soldagem manual e robotizada na América Latina. Para a indústria 4.0, conta com máquinas de solda manuais e

robotizadas prontas para o gerenciamento completo do setor de soldagem e o acompanhamento, em tempo real, de todo o processo e de cada solda realizada.

O portal Intelisolda fornecido pela empresa cruza todos os dados afim de obter relatórios técnicos e gráficos, além de monitorar em tempo real de qualquer dispositivo conectado à internet.

A INTELLIMIG 500 é a primeira máquina de solda inteligente sinérgica fabricada inteiramente no Brasil e com tecnologia nacional, feita para o processo MIG/MAG. Conecta-se ao portal Intelisolda, permitindo assim um gerenciamento completo da soldagem, sendo possível rastrear cada peça soldada e controlar o processo através dos parâmetros máximos e mínimos definidos.

Outro produto bem interessante da empresa é o Intelitocha (Figura 13), que resumindo é um adaptador que vai acoplado entre a tocha e a máquina, e tem como funções do dispositivo a identificação de vários usuários, monitora a tensão e a corrente do equipamento, além de interagir com o soldador em tempo real, alertando-o, caso ele utilize parâmetros fora da variabilidade do processo. Nesse caso, um dispositivo bloqueia a máquina se forem atingidos valores considerados críticos. Outros benefícios incluem treinar soldadores e calibrar valores de referência no painel de energia. É uma ferramenta que transforma quase toda máquina de solda em um dispositivo inteligente.

Figura 13 - Intelitocha



Fonte: SUMIG (2022).

Além disso, a empresa oferece células robotizadas, utilizando robô e fonte do mesmo fabricante para comunicação e sincronismo perfeitos de soldagem, e que

também possuem conectividade com o portal de análise de dados, monitorando os parâmetros e falhas no processo com alerta ao usuário sobre manutenção preventiva.

4.1.2 IMC – Engenharia de Soldagem

A empresa brasileira fornece o produto portátil de monitoramento de processos de soldagem, que é uma ferramenta poderosa para análise de processos de soldagem, adequadas para ensino e pesquisa, bem como para a indústria. Com ele, é possível rastrear processos de soldagem, capturar dados de produtividade, analisar transferência de metal, simplificar inspeções de solda e muito mais. O diferencial desse equipamento é que conta com o opcional de sensores termopares para controle da temperatura voltado a soldagem. A Figura 14 traz a imagem deste monitoramento portátil, como se fosse uma maleta, portanto sendo facilmente transportada.

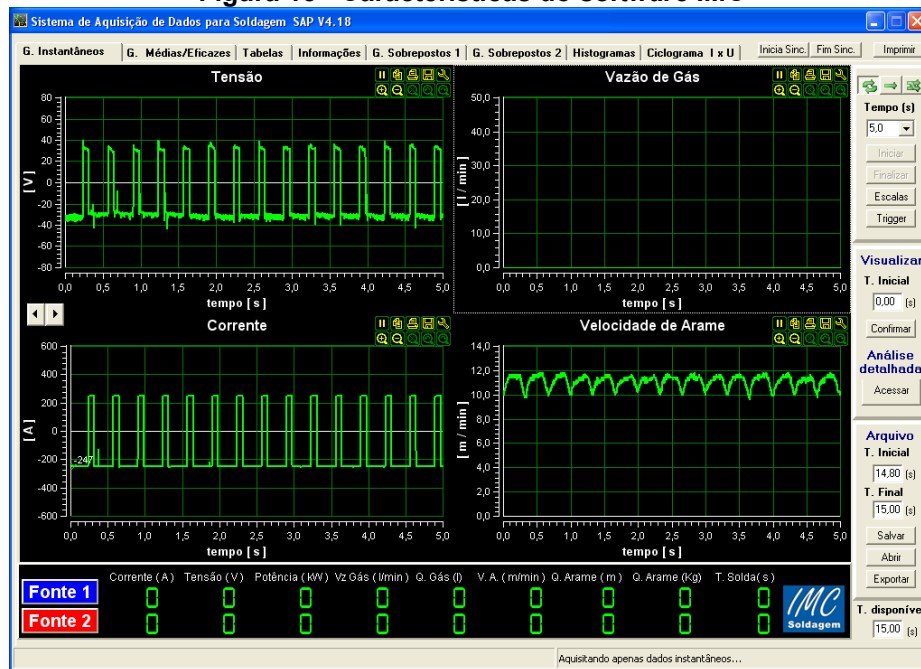
Figura 14 - Maleta de monitoramento de dados



Fonte: IMC (2022).

Tudo isso é exibido utilizando de recursos gráficos na tela do computador acoplado ao sistema portátil, conforme mostra a Figura 15.

Figura 15 - Características do software IMC

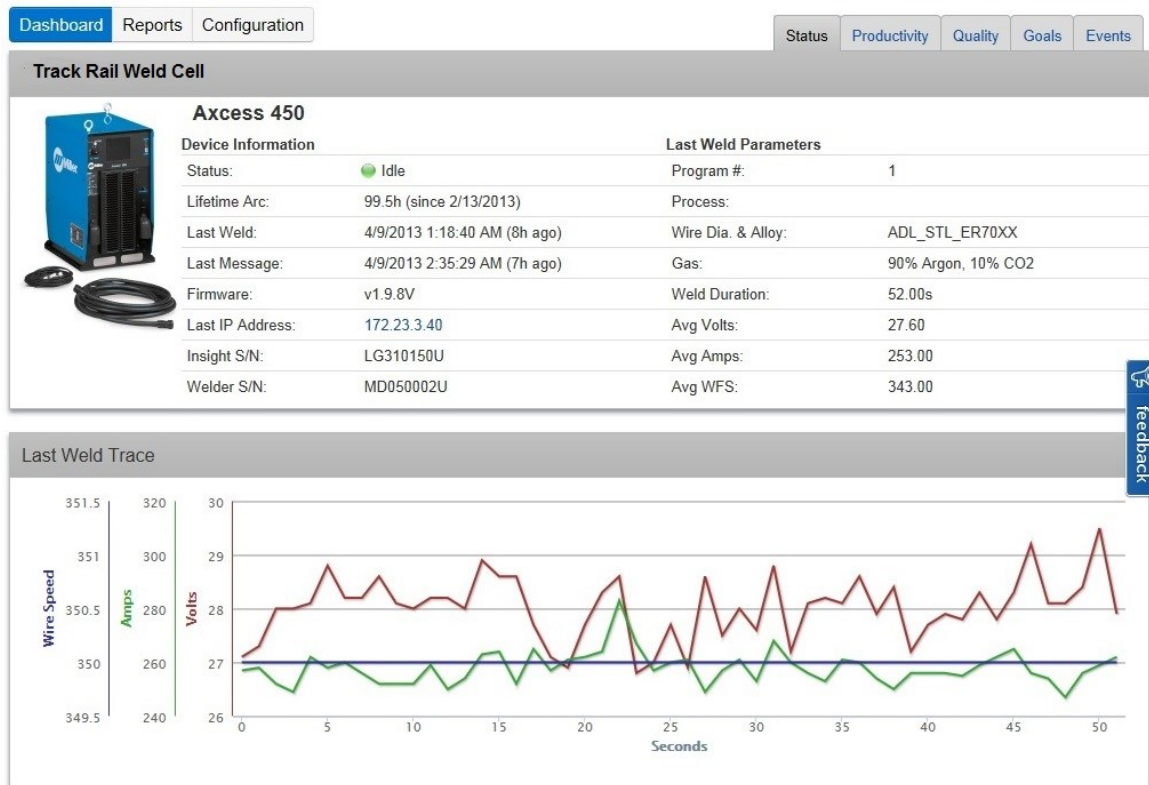


Fonte: IMC (2022).

4.1.3 Aventa

A Aventa no Brasil é representante da marca Miller, a qual é extremamente conceituada internacionalmente, que disponibiliza equipamentos de solda manual para o mercado brasileiro, bem como seu *software* de análise de dados. O *Insight Core* conta com uma interface de fácil utilização, integrando máquinas de solda, computadores e até mesmo celulares, com uma conexão via internet Wi-Fi e ethernet, transmitindo automaticamente os dados gerados para a nuvem, onde são processados e armazenados. Daí parte a geração de relatórios técnicos de uma solda realizada.

Na Figura 16 é exibido como é a visualização dos dados pelo *software* Insight Core.

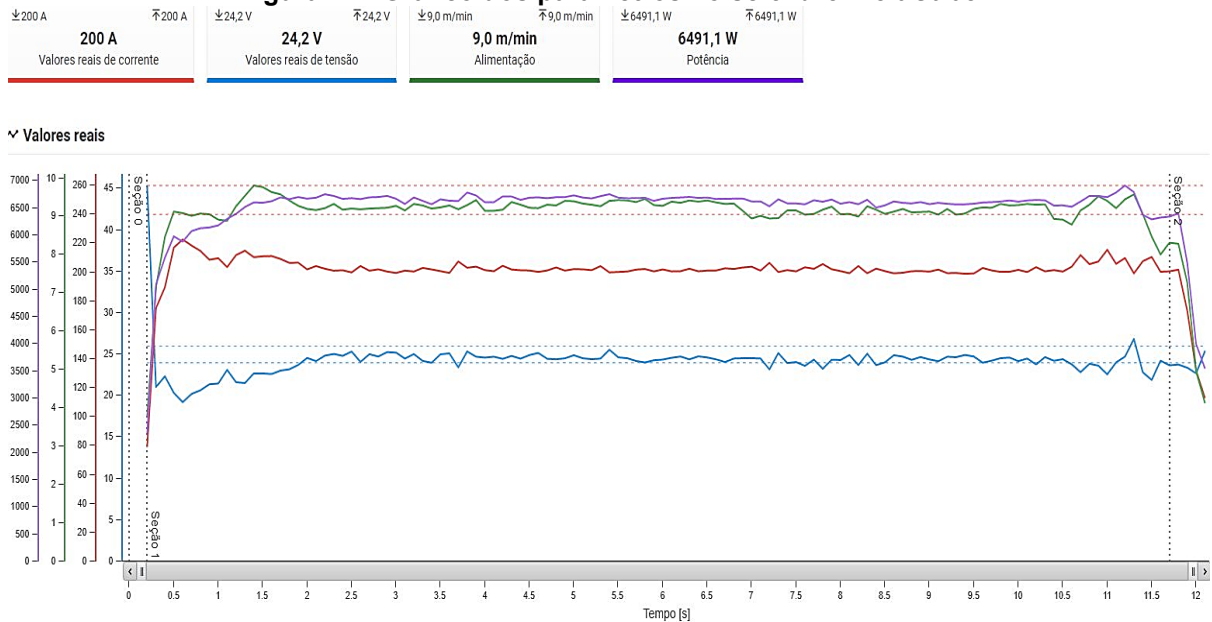
Figura 16 - *Insight Core*

Fonte: MILLER (2021).

4.1.4 Fronius

Oferece uma linha grande de produtos na área de soldagem, fabricando equipamentos inteligentes de solda manual e robotizada, bem como automatizada. Fornece para o Brasil através de representantes oficiais espalhados pelo país. A Fronius oferece inúmeras soluções de *software* na área de gerenciamento de dados que facilitam aos usuários o manuseio da grande quantidade de informações, sendo que cada versão de *software* muda a quantidade de opcionais com o qual está equipado o programa. Generalizando, com o *WeldCube*, é possível gerar toda documentação necessária após a solda, e é claro conta com a análise de dados em tempo real, assim como ilustra a Figura 17. Os dados obtidos em forma de gráficos facilitam para o analista de qualidade analisar as medidas, bem como para o operador que em tempo real recebe alertas em caso de desvio dos parâmetros.

Figura 17 - Gráfico dos parâmetros no software WeldCube



Fonte: FRONIUS (2022).

Ainda, tem um painel de monitoramento totalmente personalizável, para que cada cliente deixe as informações que são úteis para sua empresa, reunindo todos os equipamentos de soldagem em uma só tela. No exemplo da Figura 18, o painel foi configurado para que apareça o uso de quatro máquinas de solda manuais, mostrando um diagrama de quanto tempo elas permaneceram ativas, além de mostrar um comparativo entre elas nos gráficos, facilitando na hora de analisar se alguma máquina está com algum problema, ou mesmo um operador.

Figura 18 - Painel do software *WeldCube*

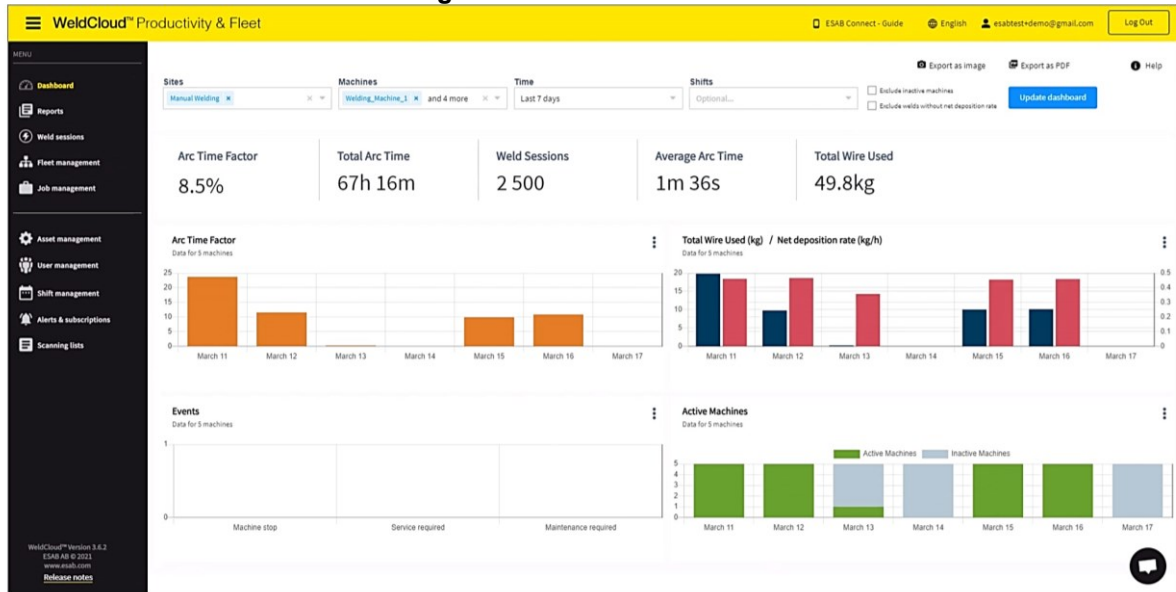


Fonte: FRONIUS (2022).

4.1.5 ESAB Brasil

A ESAB é líder mundial na produção de equipamentos e consumíveis para soldagem e corte. Apesar disso, não foi possível encontrar um equipamento de soldagem inteligente fornecido pela empresa com entrega no Brasil, entregando apenas os equipamentos sem a nova tecnologia, portanto necessitando de um adaptador junto a máquina para transformá-la em uma máquina inteligente. Com isso, será apresentado apenas seu *software* de gerenciamento de dados, conhecido como *Weldcloud*. Conta com as mesmas funcionalidades das outras empresas, então sempre que um soldador efetua um cordão, é incluído um conjunto de dados na soldagem. Esses dados têm o poder de informar futuras decisões, melhorar a produtividade e fornecer a informação necessária para compreender como é feita a soldagem. O *software* pode ser usado na solda MIG ou TIG manual, robótica e automatizada, podendo ser conectado com equipamentos novos e antigos da ESAB, ou ainda de outros fornecedores. Na Figura 19 está apresentado o painel do *software* *Weldcloud*.

Figura 19 - Painel Weldcloud



Fonte: ESAB Brasil (2022).

4.2 Implementação da soldagem 4.0

Para a melhor experiência do usuário ao implantar essas tecnologias, é importante gerenciar as expectativas, pois somente o monitoramento dos dados não irá resolver todos os problemas do processo de soldagem, e sim auxiliar os envolvidos no procedimento a garantir a qualidade da solda.

Portanto, antes de realizar a implantação, é necessário ficar atento a alguns pontos que podem ser cruciais antes do investimento inicial. A análise a seguir foi realizada com base no referencial teórico obtido, criando as conexões necessárias entre a implementação e os estudos apresentados.

O primeiro passo antes da implementação é se atentar se a solução que a empresa interessada nas tecnologias busca, deve ser compatível com os equipamentos de solda atuais da empresa, pois nem todas as soluções de gerenciamento de informações são compatíveis com algumas marcas, principalmente equipamentos de solda mais antigos. É interessante buscar um sistema universal que seja adaptável com várias marcas, ou ainda padronizar os equipamentos para obter total suporte do fabricante. Uma alternativa também é selecionar um equipamento que esteja com a produtividade e qualidade mais abaixo das demais, e montar o sistema

de monitoramento ajustado para essa máquina, usando como projeto piloto, e após isso definir a estratégia do que vai ser mais viável.

Se a empresa usa um ou vários processos de soldagem, irá determinar qual tipo de solução de gerenciamento de dados adquirir, visto que algumas soluções monitoram apenas um único processo de soldagem. Todos os sistemas monitoram o processo MIG, mas nem todos monitoram TIG, por exemplo. Exemplificando, se na sua empresa é utilizado os dois processos, seria interessante buscar um sistema que é adaptável para os dois tipos de soldagem. O mesmo vale para a forma com que a solda é realizada, se é de forma manual, automatizada ou robótica, pois nem todas soluções possuem a comunicação necessária com um robô (WANG et al. 2020).

Da mesma forma, ao determinar as necessidades de monitoramento, é importante considerar as indústrias e setores que a empresa atende e quais são as exigências regulamentadoras aos quais eles atendem, visto que a geração de relatórios técnicos com os parâmetros de soldagem pode vim ser um requisito. Além disso, a rastreabilidade e verificação da qualidade da solda é um desafio crescente para muitas empresas, garantindo o histórico da solda em caso de reclamação por não conformidade (FLOWERS, 2021).

Outro passo importante a ser seguido, antes da aquisição, é conhecer qual a necessidade da empresa em relação a diversidade de parâmetros a serem monitorados. Se a empresa necessita de apenas um monitoramento básico de produtividade e qualidade, bem como controle dos custos da solda, pode ser mais viável financeiramente a aquisição de um sistema de gerenciamento de nível mais básico. Por outro lado, se a empresa necessitar correlacionar a produtividade do operador com peças específicas, calcular os tempos de ciclo e entender a causa do tempo de inatividade, poderá ser interessante investir em uma solução mais avançada. Também é válido se houver falta de experiência no chão de fábrica, se é necessário fornecer instruções específicas de trabalho aos operadores, ou se precisar de algo como um treinador virtual para garantir que os novos operadores atendam à consistência da produção (WANG et al. 2020).

Vale evidenciar que algumas soluções inteligentes de soldagem guardam os seus dados em nuvem, enquanto outras utilizam o computador como forma de armazenamento. Deve-se entender os riscos de segurança da rede e garantir uma boa segurança cibernética. Com o sistema operando conectado à rede, ele enviará notificações de forma automática aos responsáveis por mensagem de texto ou e-mail

toda vez que os parâmetros da solda estiverem fora do especificado, permitindo ações corretivas antes da entrega do produto. Além disso, é interessante ter um computador que possa ser conectado aos equipamentos de solda em caso de falha no sistema da rede (WANG et al. 2020).

As soluções de soldagem rastreiam toda sua operação, como por exemplo as taxas de deposição e o tempo de inatividade do equipamento causados por diversos motivos, como atrasos causados por defeitos ou ajustes na etapa pós soldagem. Ao examinar esses dados, é possível reconhecer onde está ocasionando esses atrasos e defeitos, identificando rapidamente as vantagens de produtividade, qualidade e custo dos materiais utilizados na sua aplicação. Como por exemplo, em caso da utilização de um tipo de arame de alimentação, que está gerando respingos durante o processo de soldagem. Nesse caso, pode ser vantajoso a troca desse arame por outro, mesmo que o custo seja mais caro em comparação com o antigo, mas que irá gerar menor limpeza dos respingos causados, aumentando a produtividade do operador. Portanto, cabe analisar uma aplicação direcionada para os problemas ocorrentes da sua empresa (DAVIS; KIESE, 2020).

Por fim, mas não menos importante, é necessário que a empresa adote um profissional responsável pela implementação que acredite na solução e esteja disposta a treinar os envolvidos no processo de soldagem com a nova tecnologia. Além disso, cabe a ele avaliar o investimento do projeto piloto e como estão sendo os resultados gerados pelo sistema implantado, mostrando com números a diferença de qualidade e custo que está sendo gerada com o passar do tempo, convencendo a adotar a tecnologia para outras máquinas. A inspiração dessa pessoa tem de ser forte no começo, pois ela precisa gerar o interesse e aceitação da nova tecnologia no chão de fábrica, treinando os operadores sobre seus benefícios (FADUL, 2021).

Vale ressaltar que a compra deve ser feita com o pensamento no futuro também, para que o sistema possa crescer junto com a empresa e junto com as necessidades dela.

Os equipamentos de gerenciamento de informações de soldagem na indústria 4.0 são um grande investimento, mas que podem agregar melhorias para as empresas, garantindo sua competitividade no mercado interno e externo.

5 CONCLUSÃO

Na soldagem, os fatores da qualidade e do custo são muito importantes para definir o crescimento de uma empresa. Portanto, o objetivo deste estudo estava em avaliar o potencial do uso de tecnologias da indústria 4.0 no âmbito da soldagem, identificando as tecnologias da indústria 4.0 aplicáveis a soldagem e os desafios da implementação dela, bem como realizar um levantamento das empresas que desenvolvem ou apresentam soluções voltadas para atender a indústria 4.0 na soldagem, com foco em fornecedores do mercado brasileiro.

Através da revisão teórica da literatura, o objetivo específico de identificação das tecnologias da indústria 4.0 aplicáveis a soldagem foi alcançado. Após isso, foi realizada a relação entre as tecnologias e os seus impactos na indústria, levando em consideração as métricas de custo e qualidade, assim compreendendo como a indústria 4.0 pode ser aplicada no contexto dos processos de soldagem. Mediante a revisão da literatura, foi assimilado quais eram os principais parâmetros monitorados e como eles afetam a qualidade do produto. Ao final do trabalho, foi apresentado e discutido possíveis fornecedores das tecnologias da indústria 4.0 aplicáveis para a soldagem, trazendo empresas de fabricação nacional e internacional, que disponibilizam as tecnologias no mercado brasileiro.

A implantação do sistema de gerenciamento de dados no processo de soldagem pode variar muito de sua aplicação, portanto é necessário definir quais são os objetivos almejados antes da aquisição de qualquer produto.

Vale ressaltar, também, que as análises geradas contribuem para o desenvolvimento do processo de soldagem, se adequando a realidade do mercado internacional. Melhorias na qualidade e na rastreabilidade do componente soldado são os principais benefícios na implantação do monitoramento de dados. Embora o monitoramento de processos de hoje não seja um método de medição de qualidade, é uma ferramenta valiosa de indicação de quão estável o próprio processo está sendo executado.

No âmbito da engenharia mecânica, busca-se incentivar o desenvolvimento de novos equipamentos de monitoramento de dados para a soldagem, visto que ainda há pouco fornecimento das novas tecnologias no mercado brasileiro.

Para pesquisas futuras, existe uma grande possibilidade do estudo de impacto da implantação destas tecnologias em uma empresa de soldagem, realizando

a comparação da qualidade da solda com e sem o monitoramento de dados. Também, é possível projetar um equipamento capaz de monitorar os dados da solda, efetuando a fabricação e configuração do equipamento.

REFERÊNCIAS

ABDI. **Indústria 4.0 é tema de debate na Universidade de Brasília**. [S. l.], 8 ago. 2018. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/postagem/industria-4-0-e-tema-de-debate-na-universidade-de-brasilia>. Acesso em: 12 ago. 2021.

ABDI. **Indústria 4.0 pode economizar R\$ 73 bilhões ao ano para o Brasil**. [S. l.], 20 dez. 2017. Disponível em: <https://www.abdi.com.br/postagem/industria-4-0-pode-economizar-r-73-bilhoes-ao-ano-para-o-brasil>. Acesso em: 12 ago. 2021.

ABICOR BINZEL. **7 defeitos mais comuns na soldagem, causas e soluções**. [S. l.], 30 set. 2019. Disponível em: <https://blog.binzel-abicor.com/pt/7-defeitos-mais-comuns-na-soldagem-causas-e-solucoes>. Acesso em: 23 ago. 2021.

AVENTA. **O que é soldagem?** [S. l.], 31 ago. 2020. Disponível em: <https://aventa.com.br/novidades/o-que-e-soldagem>. Acesso em: 27 jul. 2021.

AVENTA. **Soldagem na Indústria 4.0**. [S. l.], 26 jul. 2017. Disponível em: <https://aventa.com.br/soldagem-industria-4>. Acesso em: 20 jan. 2022.

BENAKIS, Michalis et al. Welding process monitoring applications and industry 4.0. In: **2019 IEEE 15th International Conference on Automation Science and Engineering (CASE)**. IEEE, 2019. p. 1755-1760.

CAMILO, Jim. **Welding in the Age of Industry 4.0**. [S. l.], 15 maio 2020. Disponível em: <https://www.assemblymag.com/articles/95693-welding-in-the-age-of-industry-40>. Acesso em: 20 maio 2022.

COELHO, P. M. N. **Rumo a Indústria 4.0**. 2016. 62 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Gestão Industrial, Faculdade de Ciências e Tecnologia Universidade de Coimbra, Coimbra, 2016. Disponível em: <http://hdl.handle.net/10316/36992>. Acesso em: 22 jul. 2021.

CONFEDERAÇÃO NACIONAL DA INDÚSTRIA (CNI). **Indústria 4.0: novo desafio para a indústria brasileira**. [S. l.], 2 abr. 2016. Disponível em: https://static.portaldaindustria.com.br/media/filer_public/e0/aa/e0aabd52-53ee-4fd8-82ba-9a0ffd192db8/sondespecial_industria40_abril2016.pdf. Acesso em: 23 ago. 2021.

DAVIS, Dan; KIESE, Michael. **What Industry 4.0 means to the welding department**. [S. l.], 4 nov. 2020. Disponível em: <https://www.thefabricator.com/thefabricator/article/arcwelding/what-industry-40-means-to-the-welding->

department#:~:text=The%20promise%20of%20Industry%204.0,in%20reality%20they%20fall%20short. Acesso em: 22 maio 2022.

ENNSBRUNNER, Helmut; BRUCKNER, Jürgen; POSCH, Gerhard. **INDUSTRY 4.0 IN WELDING**. Fronius International, [S. l.], p. 4-5, 8 jun. 2018. Disponível em: https://blog.perfectwelding.fronius.com/wp-content/uploads/2018/05/White_Paper_Industry-4_0_EN_low.pdf. Acesso em: 14 maio 2022.

ERBOZ, Gizem. How to define industry 4.0: main pillars of industry 4.0. **Managerial trends in the development of enterprises in globalization era**, p. 761-767, 2017.

ESAB. **Apostila de soldagem MIG/MAG**. [S. l.], 25 jan. 2005. Disponível em: https://www.esab.com.br/br/pt/education/apostilas/upload/1901104rev1_apostilasoldagemmigmag_nova.pdf. Acesso em: 14 ago. 2021.

ESAB. **Petchem Giant Uses WeldCloud Notes To Generate Weld Data Book in Minutes**. [S. l.], 20 abr. 2021. Disponível em: <https://assets.esab.com/assetbank-esab/assetfile/46544>. Acesso em: 17 fev. 2022.

ESAB. **Welding Parameters and Techniques**. [S. l.], 2019. Disponível em: https://www.esabna.com/euweb/mig_handbook/592mig7_1.htm. Acesso em: 28 jul. 2021.

ESAB BRASIL. **Webinar: Robotização dos processos e integração de Soldagem**. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=LiLymMY4xww>. Acesso em: 14 ago. 2021.

ESAB BRASIL. **WELD CLOUD**. 2022. Disponível em: (<https://www.esab.com.br/br/pt/weldcloud/index.cfm>). Acessado em: 22/05/2022.

FADUL, Carlos Alberto. **Big Data: aumento de produtividade com uso de dados confiáveis na indústria 4.0**. [S. l.], 1 abr. 2021. Disponível em: <https://avozdaindustria.com.br/colunistas/big-data-aumento-de-produtividade-com-uso-de-dados-confiaveis-na-industria-40>. Acesso em: 25 fev. 2022.

FADUL, Carlos Alberto. **Transformação digital com maior competitividade ao negócio**. [S. l.], 16 fev. 2021. Disponível em: <https://avozdaindustria.com.br/colunistas/transformacao-digital-com-maior-competitividade-ao-negocio>. Acesso em: 15 maio 2022.

FARKAS, A. Impact of Industry 4.0 on robotic welding. In: **IOP Conference Series: Materials Science and Engineering**. IOP Publishing, 2018. p. 012034.

FLOWERS, Jay. **Weld Process Monitoring for Industry 4.0**. [S. l.], 20 set. 2021. Disponível em: <https://blog.binzel-abicor.com/weld-process-monitoring-industry-4.0>. Acesso em: 1 nov. 2021.

FRONIUS. **WELDCUBE BASIC**. 2022. Disponível em: (https://www.fronius.com/pt-br/brasil/tecnologia-de-soldagem/solucoes-inovadoras/weldcube#anc_basic). Acessado em: 22/05/2022.

GIL, Antonio Carlos et al. **Como elaborar projetos de pesquisa**. São Paulo: Atlas, 2002.

IMC. **SAP V4TI**. 2022. Disponível em: <https://www.imc-soldagem.com.br/pt-br/equipamentos/sistemas-de-monitoramento/sap-v4ti>. Acessado em: 22/05/2022.

INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS (IFR) PRESS CONFERENCE, 2020, Frankfurt. **World Robotics 2020** [...]. [S. l.: s. n.], 2020. Disponível em: https://ifr.org/downloads/press2018/Presentation_WR_2020.pdf. Acesso em: 16 ago. 2021.

INTERNATIONAL FEDERATION OF ROBOTICS (IFR). **The Impact of Robots on Productivity, Employment and Jobs**. [S. l.], 2018. Disponível em: https://ifr.org/downloads/hidden/IFR_The_Impact_of_Robots_on_Employment_Positioning_Paper_updated_V02.pdf?utm_source=CleverReach&utm_medium=email&utm_campaign=Paper+Download&utm_content=Mailing_12323895. Acesso em: 16 ago. 2021.

LUDKE, Menga; ANDRÉ, Marli. **Pesquisa em educação: abordagens qualitativas**. Em Aberto, v. 5, n. 31, 1986.

MARCONI, Marina de Andrade; LAKATOS, Eva Maria. Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisa; amostragens e técnicas de pesquisa; elaboração, análise e interpretação de dados. In: **Técnicas de pesquisa: planejamento e execução de pesquisa; amostragens e técnicas de pesquisa; elaboração, análise e interpretação de dados**. 2012. p. 277-277.

MODENESI, Paulo J.; MARQUES, Paulo Villani. **Introdução aos processos de soldagem**. Belo Horizonte, 2000.

MILLER. **Insight Core™ Delivers Visibility to Improve Welding Productivity**. [S. l.], 2021. Disponível em: <https://www.millerwelds.com/products/insight/insight-core>. Acesso em: 1 nov. 2021.

MILLER. **MIG Welding: Setting the Correct Parameters**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/miggmaw-101-setting-the-correct-parameters>. Acesso em: 28 jul. 2021.

MILLER. **Understanding the True Cost of Weld Defects**. [S. l.], 17 dez. 2015. Disponível em: <https://www.millerwelds.com/resources/article-library/the-real-cost-of-missed-or-defective-welds>. Acesso em: 25 fev. 2022.

PEREIRA, Adriano; DE OLIVEIRA SIMONETTO, Eugênio. Indústria 4.0: conceitos e perspectivas para o Brasil. **Revista da Universidade Vale do Rio Verde**, v. 16, n. 1, 2018.

SACOMANO, J. B. et al. **Indústria 4.0**. 2018.

SANTOS, B. S. *et al.* Indústria 4.0: desafios e oportunidades. **Revista Produção e Desenvolvimento**, Huambo, v. 4, n. 1, p. 111-124, 2018.

SANTOS, Wagner; PISCIOTTA, Alex. **FACULDADE SENAI DE TECNOLOGIA MECATRÔNICA APLICAÇÕES DO LASER NA INDÚSTRIA 4.0: PROCESSOS DE CORTE, SOLDA, MEDIÇÃO E RASTREABILIDADE POR MEIO DE GRAVAÇÃO DIRETA DE PEÇAS**. 2021.

SCHWAB, K. **A Quarta Revolução Industrial**. 1. ed. Tradução: Daniel Moreira Miranda. São Paulo: Edipro, 2016. Título original: *The Fourth Industrial Revolution*. ISBN 978-85-7283-978-5.

SENAI. **O PAPEL DA COMPUTAÇÃO NA NUVEM NA INDÚSTRIA 4.0**. [S. l.], 29 mar. 2019. Disponível em: <https://www.sesirs.org.br/industria-inteligente/o-papel-da-computacao-na-nuvem-na-industria-40>. Acesso em: 24 jul. 2021.

SENAI. **TUDO SOBRE SIMULAÇÃO DIGITAL, UM DOS PRINCIPAIS PILARES DA INDÚSTRIA 4.0**. [S. l.], 29 mar. 2019. Disponível em: <https://www.senairs.org.br/industria-inteligente/tudo-sobre-simulacao-digital-um-dos-principais-pilares-da-industria-40>. Acesso em: 23 jul. 2021.

SONAR, Tushar et al. **Indian railways on fast track with welding industry 4.0: Application of internet of things and artificial intelligence**. *Manufacturing Technology Today*, Vol 20. 2021.

SUMIG. **Gerenciamento de soldagem para indústria 4.0**. [S. l.], 2020. Disponível em: <https://www.intellimig.com/inicio>. Acesso em: 23 ago. 2021.

SUMIG. **INDÚSTRIA 4.0 e suas aplicações na área da soldagem robotizada.** [S. l.], 19 jul. 2017. Disponível em: <https://www.sumig.com/pt/blog/post/industria-40-e-suas-aplicacoes-na-area-da-soldagem-robotizada>. Acesso em: 31 jul. 2021.

SUMIG. **Tocha MIG/MAG Inteligente Intelitocha.** 2022. Disponível em: <https://www.sumig.com/pt/produto/detalhe/tocha-mig-mag-inteligente-intelitocha>. Acessado em: 22/05/2022.

SUMMIT STEEL & MANUFACTURING INC. **ROBOTIC WELDING PROCESSES.** [S. l.], 21 ago. 2019. Disponível em: <https://www.summitsteelinc.com/resources/blog/robotic-welding-processes/>. Acesso em: 14 ago. 2021.

TELES, J. **Indústria 4.0 - Tudo que você precisa saber sobre a Quarta Revolução Industrial.** [S. l.]: ENGETELES, 2017. Disponível em: <https://engeteles.com.br/industria-4-0/>. Acesso em: 22 ago. 2021.

TOTVS. **Indústria 4.0: o que é, impactos, benefícios e tecnologias.** [S. l.]: TOTVS, 2021. Disponível em: <https://www.totvs.com/blog/gestao-industrial/industria-4-0-saiba-o-real-significado/>. Acesso em: 22 jul. 2021.

WAINER, Emílio; BRANDI, Sérgio Duarte; DE MELLO, Fabio Decourt Homem. **Soldagem: processos e metalurgia.** Editora Blucher, 1992.

WANG, Baicun et al. Intelligent welding system technologies: State-of-the-art review and perspectives. **Journal of Manufacturing Systems**, v. 56, p. 373-391, 2020.

ANEXO A - RELATÓRIO DE UM PROCEDIMENTO DE SOLDAGEM MIG/MAG

Número da etapa de processamento: 72 Ok

Costura

Status de soldagem	Ok
Detalhes da soldagem	Detalhes
Data da soldagem	11/02/2022 19:47:37
Duração	4,2 s
Violações do limite	Nenhuma
Consumo de arame (comprimento)	0,548 m

Máquina

Nome	TPS5000CMT
Número de série da máquina	25451504
Modelo	TPS5000CMT
Local da máquina	/Fronius/Fronius International (Austria)/Plant Sattledt/Mechanical Production/Robot Cell
Endereço de IP	10.8.64.229

Seções

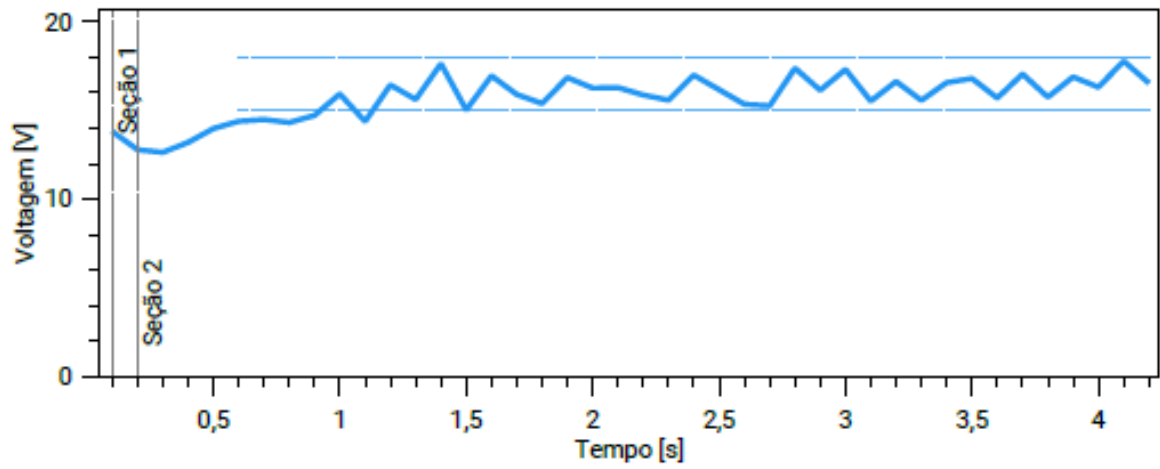
Seção 1

Valores da seção		Monitoramento de limite	
Modo de soldagem	mig cmt	Valor nominal da corrente de soldagem	178 A (10 A / 0 A)
Duração	0,1 s	Valor nominal da voltagem	16,0 V (2,0 V / -1,0 V)
Nome do trabalho	V Seite ...	Valor nominal da velocidade de alimentação do arame	8,0 m/min (2,0 m/min / -1,0 m/min)
Número do trabalho	68	Duração máx. do desvio da corrente	0,5 s
Consumo de gás de arco voltaico	0 l	Duração máx. do desvio da voltagem	0,5 s
Consumo de arame (comprimento)	0,001 m	Duração máx. do desvio da velocidade do aramé	0,5 s
Número da referência da curva característica de soldagem	1053	Reação	Alerta
Velocidade do arame	7,2 m/min		
Correção do comprimento do arco voltaico	-3 %		
Correção do pulso	0,3 %		
Voltagem indicativa da soldagem	12,97 V		
Corrente indicativa de soldagem	173,4 A		
Ignição sem respingos	Desligado		
SynchroPuls	Desligado		

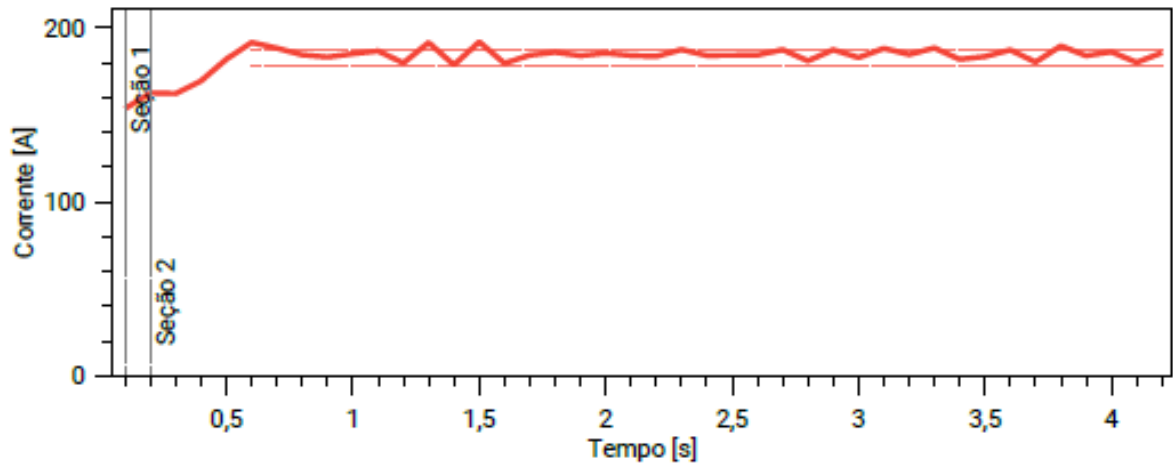
Seção 2

Valores da seção		Monitoramento de limite	
Modo de soldagem	mig cmt	Valor nominal da corrente de soldagem	178 A (10 A / 0 A)
Duração	4,1 s	Valor nominal da voltagem	16,0 V (2,0 V / -1,0 V)
Nome do trabalho	V Seite ...	Valor nominal da velocidade de alimentação do arame	8,0 m/min (2,0 m/min / -1,0 m/min)
Número do trabalho	68	Duração máx. do desvio da corrente	0,5 s
Consumo de gás de arco voltaico	0,8 l	Duração máx. do desvio da voltagem	0,5 s
Consumo de arame (comprimento)	0,546 m	Duração máx. do desvio da velocidade do aramé	0,5 s
Número da referência da curva característica de soldagem	1053	Reação	Alerta
Velocidade do arame	8 m/min		
Correção do comprimento do arco voltaico	-3 %		
Correção do pulso	0,3 %		
Voltagem indicativa da soldagem	14,38 V		
Corrente indicativa de soldagem	184,8 A		
Ignição sem respingos	Desligado		
SynchroPuls	Desligado		

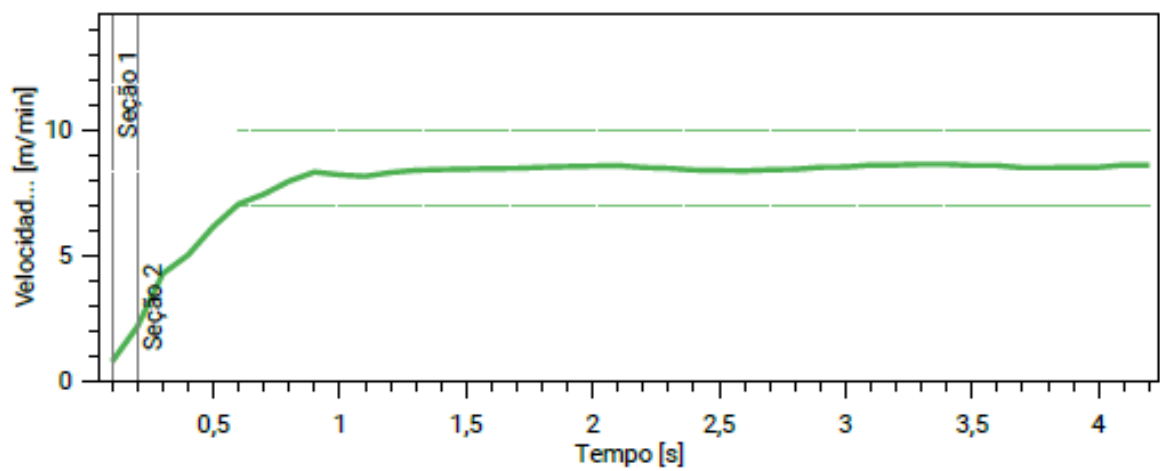
Valores reais



— Voltagem



— Corrente



— Velocidade do arame

Máquina: 25451504

Número do trabalho: 68 Válido desde: 25/04/2017 13:58:58

Comum	
Nome	V Seite
Material	ST37
Gás	M21 Ar+18%CO2
Arame	G3Si1
Diâmetro do arame	0,1
Característica	1053
Processo	
Processo	CMT
Slope do trabalho	Desligado
Parâmetro do processo	
I	185 A
Velocidade do arame	8 m/min
U	14,4 V
Correção do comprimento do arco voltaico	-3 %
Correção dinâmica/pulso	0,3
Configurações preliminares do processo	
Fluxo prévio do gás	0,1 s
Fluxo posterior do gás	0,1 s
Avanço vagaroso	30 m/min
Velocidade de inserção	7 m/min
Correção da queima	0,00 s
Frequência SyncroPuls	Desligado
Curso do avanço de arame	0 m/min
Correção superior do comprimento do arco voltaico	0 %
Gás	13 l/min
Fator do gás	Automático
Modo	
Modo	Especial de 2 ciclos
Configurações preliminares do modo	
Corrente inicial	90 %
UpSlope	0,4 s
Corrente final	50 %
Duração da corrente inicial (t-s)	0,2 s
Duração da corrente final (t-e)	Desligado
Tempo do ponto	1,0 s
Slope 2	0,4 s
Correção do trabalho	
Comprimento do arco voltaico da correção do trabalho	0 %
Correção inferior da potência do trabalho	0 %
Correção superior da potência do trabalho	0 %
Monitoramento de limite	
Valor nominal da corrente	178 A
Limite inferior da corrente	0 A
Limite superior da corrente	10 A
Duração máx. do desvio da corrente	0,5 s
Valor nominal da voltagem	16,0 V
Limite inferior da voltagem	-1,0 V
Limite superior da voltagem	2,0 V
Duração máx. do desvio da voltagem	0,5 s
Reação	Alerta
Limite inferior da velocidade do arame	-1 m/min
Limite superior da velocidade do arame	2 m/min
Duração máx. do desvio da velocidade do arame	0,5 s
Documentação	
Documentação	Ligado
Todas as costuras n-th	1
A cada n segundos	0,1 s

Fonte: FRONIUS (2022).