

PROJETO PARA MELHORIA NA IDENTIFICAÇÃO DA INTEGRIDADE DE PEÇAS EM DISPOSITIVO DE SOLDAGEM

¹Eliézer Camargo Borba, Panambi – RS, Brasil.
e-mail: eliezer2020012165@aluno.iffar.edu.br.

²Ivan Paulo Canal, Panambi – RS, Brasil.

¹Discente do curso Superior de Tecnologia em Automação Industrial

²Docente do Instituto Federal Farroupilha - Campus Panambi

Resumo – Este artigo apresenta um estudo voltado à modernização do processo de identificação de componentes em dispositivos de soldagem, com foco na substituição e adequação de sensores para garantir maior confiabilidade, produtividade e qualidade no setor industrial. A pesquisa foi conduzida através de levantamento bibliográfico, análise técnica e estudo de caso em uma indústria automotiva que enfrenta falhas recorrentes no processo de identificação de peças. São abordados os diferentes tipos de sensores: indutivos, capacitivos, ópticos, ultrassônicos, fotoelétricos e laser e suas aplicações no contexto da Indústria 4.0, destacando seus princípios de funcionamento e relevância para sistemas de automação. Como resultado da implementação da solução proposta, observou-se redução significativa no número de chamados de manutenção após a substituição dos sensores e atualização dos componentes no segundo semestre de 2025, mesmo com o sistema ainda em fase de testes. Além disso, os indicadores de qualidade evidenciaram queda expressiva no índice de sucateamento durante o ano de 2025, associada à diminuição de peças rejeitadas. Esses resultados reforçam que a substituição de sensores indutivos por sensores a laser contribui diretamente para maior estabilidade do processo, redução de paradas não programadas, aumento da disponibilidade do equipamento e melhoria da rastreabilidade, alinhando o sistema às práticas e requisitos da Indústria 4.0.

Palavras-Chave – Automação, Indústria, Produtividade, Sensor.

PROJECT TO IMPROVE THE IDENTIFICATION OF PART INTEGRITY IN A WELDING DEVICE

Abstract – This article presents a study aimed at modernizing the component identification process in welding fixtures, focusing on the replacement and adaptation of sensors to ensure greater reliability, productivity, and quality in the industrial sector. The research was carried out through a literature review, technical analysis, and a case study in an automotive industry facing recurring failures in the part identification process. Different types of sensors are addressed: inductive, capacitive, optical, ultrasonic, photoelectric, and laser and their applications within

the context of Industry 4.0 are discussed, highlighting their operating principles and relevance to automation systems. As a result of the implementation of the proposed solution, a significant reduction in the number of maintenance calls was observed after the replacement of sensors and the updating of components in the second half of 2025, even while the system was still in the testing phase. In addition, quality indicators showed a marked decrease in the scrap rate during 2025, associated with a reduction in rejected parts. These results reinforce that replacing inductive sensors with laser sensors directly contributes to greater process stability, fewer unplanned stoppages, increased equipment availability, and improved traceability, aligning the system with Industry 4.0 practices and requirements.

Keywords – Automation, Industry, Productivity, Sensor.

I. INTRODUÇÃO

A identificação eficiente de peças é fundamental para a confiabilidade e a produtividade nos processos industriais de soldagem [1]. Com o avanço tecnológico, os sensores passaram a desempenhar um papel estratégico na automação, controle de qualidade e rastreabilidade dos produtos fabricados [2][3]. No entanto, algumas empresas enfrentam dificuldades na assertividade do uso adequado desses dispositivos, o que pode comprometer a qualidade do processo e gerar falhas, retrabalho, desperdícios e até mesmo reclamações de clientes [5][6].

O estudo a seguir justifica-se pela necessidade de mitigar falhas recorrentes no processo de identificação de componentes, causadas principalmente por sensores danificados, posicionados inadequadamente ou dimensionados de maneira equivocada. Esses problemas impactam diretamente na produtividade e na confiabilidade do sistema industrial, pois um sensor danificado pode fornecer um sinal falso de presença física de um componente [1][4].

Esses fatores evidenciam a necessidade de modernização dos sistemas, com foco em tecnologias mais precisas e adaptadas às exigências da Indústria 4.0 [2][7]. A partir desse contexto, tem-se como problemática

de estudo a substituição de sensores no contexto de melhoria do processo de identificação de componentes.

Diante desse cenário, este artigo propõe um estudo sobre a substituição de sensores em um dispositivo no processo de soldagem de peças automotivas, visando à melhoria da identificação dos componentes, destacando sua importância na redução de falhas e perdas do processo.

O objetivo geral deste trabalho é atualizar tecnologicamente o processo de identificação de componentes em dispositivos de soldagem, elevando a confiabilidade e a eficiência produtiva. Como objetivos específicos podemos destacar: realizar uma investigação sobre a importância dos sensores na atualidade, com foco na sua descrição e utilização na Indústria 4.0; apresentar as diferentes tecnologias de sensores, suas características e princípios de funcionamento; destacar o impacto do uso de sensores na otimização dos processos industriais para a maior eficiência na produtividade e competitividade das organizações na atualidade; estudar o processo do dispositivo de soldagem e identificar os problemas existentes; realizar o dimensionamento do sensor mais adequado para a melhoria de eficiência do processo de identificação de componentes.

II. METODOLOGIA

Este estudo adota uma abordagem qualitativa e descritiva, voltada à compreensão detalhada do processo de soldagem para identificar oportunidades de melhoria no sistema por meio de análise e substituição de componentes. A escolha dessa abordagem se justifica pela necessidade de compreender em profundidade o funcionamento do processo e as causas das falhas observadas, mais do que quantificar dados ou medir variáveis isoladas [20]. O projeto foi realizado em três etapas: pesquisa bibliográfica, análise técnica e estudo de caso aplicado.

Na primeira etapa, realizou-se uma revisão bibliográfica contemplando artigos científicos, manuais técnicos de fabricantes e trabalhos acadêmicos correlatos, com o intuito de fundamentar teoricamente o estudo sobre dispositivos de soldagem, sensores industriais e metodologias de automação de processos. Essa revisão subsidiou a compreensão dos princípios de funcionamento e das limitações dos sensores empregados atualmente no sistema analisado [3][4][5].

Na segunda etapa, procedeu-se à análise técnica do processo de soldagem em parceria com os setores de manutenção e automação da organização estudada. Essa análise envolveu a observação direta do funcionamento do sistema, a identificação de falhas recorrentes e o

levantamento dos fatores que comprometem a eficiência na detecção de componentes durante o processo produtivo.

Por fim, na terceira etapa, foi realizado o dimensionamento do sensor mais adequado às condições observadas, considerando parâmetros técnicos, compatibilidade com o sistema existente e potencial de melhoria de desempenho. Essa avaliação buscou propor uma solução que contribua para a redução de falhas de detecção, diminuição de intervenções de manutenção e aumento da disponibilidade e confiabilidade do equipamento [1][8][14]

Como resultados esperados, prevê-se a redução de peças descartadas por ausência de componentes, aumento da produtividade da máquina, melhoria da confiabilidade do sistema de monitoramento e consequentemente, incremento da eficiência e rentabilidade do processo produtivo.

III. PROCESSOS DE SOLDAGEM E AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL

A. Caracterização do Processo de Soldagem

A soldagem é um processo de fabricação amplamente utilizado na indústria metalúrgica e automotiva, que consiste na união de dois ou mais materiais, geralmente metais, por meio da fusão localizada das superfícies a serem unidas, com ou sem o uso de material de adição. Esse processo pode ser classificado em diversas modalidades, tais como soldagem por arco elétrico, soldagem a ponto, MIG/MAG, TIG, soldagem por resistência e por feixe de elétrons, entre outras [8][9].

A sigla MIG/MAG corresponde a *Metal Inert Gas* e *Metal Active Gas*. No processo MIG, utiliza-se um gás inerte para proteger a poça de fusão, enquanto no processo MAG a proteção é feita por gases ativos, como dióxido de carbono ou misturas contendo oxigênio [9]. Já a sigla TIG significa *Tungsten Inert Gas*, conhecido em português como “Gás Inerte de Tungstênio” [8].

No contexto industrial, especialmente em linhas de montagem automatizadas, como as do setor automotivo, o controle rigoroso dos processos de soldagem é essencial para garantir a integridade estrutural dos componentes e a repetitividade do processo. Dispositivos como sensores de presença e posicionamento são empregados para assegurar que os componentes estejam corretamente posicionados antes da aplicação do cordão de solda, evitando defeitos como componentes deslocados, falta de componente, sinal incorreto por parte do sensor de presença [1][4].

Dessa forma, o presente estudo fundamenta-se na análise de uma célula de solda composta por duas mesas, cada uma com dispositivos, projetada afim de assegurar a

correta fixação e integridade dos componentes durante o processo de soldagem. Os sensores realizam a detecção da presença dos componentes e confirmam seu posicionamento adequado, antes da soldagem.

Na primeira etapa, dez peças são montadas nos dois dispositivos, após o fechamento dos atuadores pneumáticos a presença de todos os componentes é verificada por sensores indutivos, que enviam os sinais para os módulos de extensão, com as informações de todos os sensores, com sinal alto se tiverem detectando a presença ou baixo se não estiverem detectando.

Se todos os sensores estiverem detectando as presenças dos componentes, a soldagem é iniciada. Na figura 1 IHM (interface homem máquina), onde o operador consegue fazer a verificação visual da leitura de todos os sensores.

Caso um ou mais sensores não detectem a presença de um dos componentes, o processo fica bloqueado até que o sensor detecte a presença para iniciar o ciclo de soldagem, após finalizar a soldagem os dois conjuntos são posicionados na rampa de resfriamento, onde aguardam a próxima etapa.

Após o resfriamento, os conjuntos são montados no dispositivo do segundo estágio, onde mais dezesseis componentes são adicionados e novamente após o fechamento dos atuadores pneumáticos os componentes são inspecionados por sensores indutivos, antes da segunda etapa de soldagem.

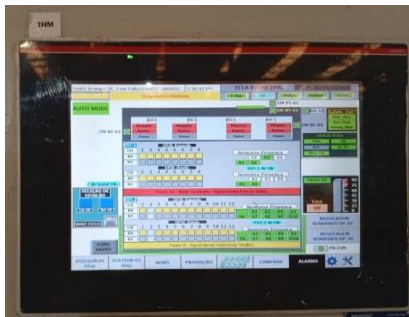


Figura 1: monitor IHM, célula de soldagem.

Para cada componente montado no conjunto, tem um sensor específico, nos dois estágios do processo de soldagem, são utilizados 28 sensores indutivos, todos estão montados nos dispositivos de soldagem. A figura 2 apresenta uma visão do processo produtivo em análise.



Figura 2. Imagem da célula de desenvolvimento do trabalho

A Figura 3 mostra o produto final fabricado na célula de soldagem estudada. Esse conjunto é o resultado das duas etapas do processo, onde as peças são posicionadas, verificadas pelos sensores e posteriormente soldadas. Após a montagem completa, a peça segue para as próximas fases da produção, já com todas as ligações estruturais concluídas, ajudando a visualizar melhor o objetivo do processo, destacando a importância de cada etapa de verificação para que o resultado final atenda aos requisitos de qualidade e funcionamento.

Entretanto, são recorrentes as falhas de detecção, devido a sensores mal posicionados, com alcance insuficiente ou sujeitos a enviar sinal inadequado, pois quando está com a face sensora danificada, pode enviar um sinal falso de presença de componente. Isso compromete o ritmo da produção, exige intervenções manuais e pode levar a defeitos na peça final.



Figura 3: Peça final que é produzida na célula de soldagem em estudo.

Portanto, o correto funcionamento na detecção dos sensores é essencial para o sucesso do processo de soldagem, pois influencia diretamente na qualidade, segurança e produtividade das operações.

B. Sensores

Os sensores são dispositivos fundamentais para o monitoramento de variáveis em sistemas automatizados. Permitem o controle em tempo real, a detecção de falhas e a elevação da eficiência produtiva [3][2][17].

Um sensor é definido como “um dispositivo que detecta mudanças em grandezas físicas ou químicas e as converte em sinais elétricos” [10]. Além disso, tais dispositivos são considerados imprescindíveis em tecnologias modernas, sendo falhas nesses componentes extremamente danosas aos processos [2][3].

O princípio de funcionamento dos sensores varia conforme o tipo de grandeza monitorada e a tecnologia empregada. Em geral, envolve três etapas: a detecção da variável física, a conversão da grandeza em um sinal elétrico analógico ou digital e o envio do sinal para processamento no CLP ou atuação. Por exemplo, sensores indutivos detectam objetos metálicos, sensores ópticos utilizam a interrupção ou reflexão da luz para identificar a presença de objetos.

A seleção do sensor adequado para cada aplicação depende de critérios como faixa de medição, sensibilidade, precisão, tempo de resposta, ambiente de aplicação e custo-benefício. Portanto, os sensores desempenham papel estratégico na eficiência dos sistemas de automação e no avanço da Indústria [2][7].

C. Classificação de sensores industriais

Entre os principais tipos de sensores, destacam-se, por característica de princípio de funcionamento:

- **Sensores indutivos** – caracterizados pela sua capacidade de detecção de objetos metálicos. São robustos e podem ser utilizados em ambientes com condições adversas, como dentro de líquidos, em meio a poeira densa e outras situações [3][17]. Seu princípio de funcionamento baseia-se na geração de um campo eletromagnético variável, produzido por um oscilador em conjunto com uma bobina localizada na extremidade do dispositivo. Quando um objeto metálico adentra esse campo, são induzidas correntes parasitas em sua superfície. A presença dessas correntes no metal resulta em uma redução da energia do campo eletromagnético e, conseqüentemente, na diminuição da amplitude do sinal emitido pelo oscilador. Ao atingir um valor mínimo, essa variação é detectada pelo circuito de disparo, que altera o estado da tensão de saída do sensor. O dispositivo, então, fornece uma resposta lógica — em nível alto ou baixo — que pode ser utilizada para acionar funções de controle dentro do processo automatizado. A distância de detecção desse tipo de sensor é de 2 a 4 mm.
- **Sensores capacitivos** – esse tipo de sensor se destaca por sua característica de detectar a presença ou ausência de massa em objetos, que podem ser tanto metálicos como não metálicos, além de medir pequenos deslocamentos — da ordem de milímetros [3][17].

- **Sensores ópticos** – são dispositivos de alta precisão na leitura. Conforme Bolton, “sensores ópticos são dispositivos que detectam a presença ou ausência de objetos, bem como mudanças em superfícies ou distâncias, utilizando a luz como meio de detecção” [10]. Eles são frequentemente usados nas indústrias ou em dispositivos eletrônicos de consumo.

- **Sensores ultrassônicos** – utilizados para medição de distância ou presença, esses sensores utilizam ondas sonoras de alta frequência (ultrassom) para medir a distância entre o sensor e um objeto. Funcionam com base no princípio do tempo de voo, onde o sensor emite um pulso ultrassônico e mede o tempo para o eco retornar após refletir no objeto. Sua aplicação é consistente para detecção de presença, medição de distância ou monitoramento de níveis, independentemente da cor, transparência ou características ópticas do objeto. O princípio de funcionamento baseia-se na emissão de ondas sonoras em frequência ultrassônica (acima de 20 kHz), que se propagam no ar e são refletidas ao atingir um objeto. O tempo decorrido entre a emissão e o recebimento do eco permite calcular a distância até o alvo com elevada precisão [3][17].

- **Sensor Fotoelétrico** - são sensores muito rápidos, sem peças móveis que possam quebrar ou desgastar, e utilizam um feixe de luz (visível ou infravermelho) para detectar presença, ausência ou distância de um objeto. Seu princípio de funcionamento baseia-se na emissão de luz por um transmissor e na recepção ou interrupção desse sinal por um receptor. A operação baseia-se na interrupção ou reflexão do feixe luminoso, que ao ser obstruído por um objeto, aciona uma resposta lógica no circuito de controle [3][17].

Diante do exposto, observa-se cada tipo de sensor — indutivo, capacitivo, óptico, ultrassônico e fotoelétrico — apresenta características específicas que os tornam mais apropriados para determinadas condições operacionais e objetivos de controle, por isso a seleção deve ser feita de forma criteriosa. Quando bem aplicados, esses dispositivos contribuem significativamente para o aumento da eficiência, precisão e confiabilidade dos processos industriais sendo um aliado da automação e da Indústria 4.0 na indústria.

A Figura 4 traz exemplos dos principais tipos de sensores industriais utilizados na automação de processos. É possível observar diferentes modelos, como os sensores indutivos, capacitivos, ópticos, ultrassônicos e fotoelétricos, cada um com características próprias que os tornam mais adequados a determinadas aplicações, contribuindo para uma escolha mais eficiente conforme as necessidades específicas da sua aplicação.



Figura. 4. Tipos de sensores industriais e seus princípios de funcionamento.

Fonte: Adaptado de [3].

D. Sensores e a indústria 4.0

A Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, introduz uma nova era na organização dos sistemas produtivos, caracterizada pela digitalização, pela interconectividade e pelo uso de tecnologias avançadas. Nesse cenário, os sensores são um dos protagonistas na transformação digital dos processos industriais, permitindo a coleta contínua e a análise de dados em tempo real, essenciais para a tomada de decisões mais precisas e eficientes.

Esses dispositivos tecnológicos são responsáveis por captar variáveis físicas como temperatura, pressão, vibração, posição e proximidade, convertendo-as em sinais digitais que podem ser processados por sistemas inteligentes. O uso de sensores torna-se, assim, imprescindível, pois promove melhorias significativas na confiabilidade, na produtividade e na eficiência operacional das linhas de produção [2][7].

Além disso, a Indústria 4.0 viabiliza a customização em massa, permitindo que as empresas atendam com agilidade e eficácia às demandas específicas dos consumidores. A análise de grandes volumes de dados (*big data*), aliada aos sensores, fornece informações valiosas sobre as preferências dos clientes e sobre o comportamento do mercado. Com base nesses dados, torna-se possível realizar ajustes dinâmicos nas operações produtivas, otimizando recursos e agregando valor aos produtos e serviços [7].

Outro benefício promovido pela Indústria 4.0 é a implementação da manutenção preditiva, prática baseada na análise contínua de dados operacionais gerados pelos sensores, permitindo a identificação precoce de falhas e desgastes em equipamentos. Como consequência, há uma significativa redução do tempo de inatividade não

programada, otimização do desempenho dos ativos e prolongamento da sua vida útil — fatores decisivos para a competitividade e sustentabilidade dos processos industriais [2][7].

Historicamente, os avanços tecnológicos sempre desempenharam um papel determinante na evolução da indústria, promovendo ambientes de trabalho mais dinâmicos, eficientes e qualificados. A Indústria 4.0, nesse sentido, representa uma nova fronteira na integração entre tecnologia e produção, alterando profundamente os modelos de gestão e operação das fábricas modernas. De acordo com Lee, Bagheri e Kao [7], o fundamento essencial da Indústria 4.0 reside na conexão entre máquinas, sistemas e ativos, permitindo a criação de redes produtivas inteligentes e autônomas [2][7]. Essas redes são capazes de operar com mínima intervenção humana, adaptando-se em tempo real às mudanças na demanda e às condições de operação.

Em síntese, os sensores, aliados às tecnologias digitais, representam não apenas ferramentas operacionais, mas pilares estruturais de uma nova lógica produtiva, baseada na conectividade, na inteligência distribuída e na capacidade preditiva. A sua aplicação eficaz constitui um diferencial estratégico para organizações que buscam inovação, eficiência e vantagem competitiva na era da transformação digital.

E. Sensores na identificação de peças em dispositivos de soldagem em geral.

A aplicação de sensores na identificação de peças em processos de soldagem é fundamental para garantir a qualidade e a integridade dos produtos fabricados. Sensores de alta precisão, como os indutivos e a laser, são essenciais para a detecção rápida e confiável de componentes, reduzindo significativamente erros e retrabalhos. Sensores a laser operam por meio de princípios ópticos, emitindo um feixe de luz sobre a superfície da peça e analisando o padrão refletido ou posição para determinar sua presença e ou geometria. Essa detecção sem contato físico possibilita inspeções rápidas e confiáveis, mesmo em ambientes adversos, caracterizados por altas temperaturas, fumaça e partículas, condições comuns no processo de soldagem [13]. Sensores de luz estruturada a laser são amplamente aplicados em estações robotizadas, fornecendo dados tridimensionais que possibilitam o ajuste automático da trajetória do robô de solda, compensando desvios de posicionamento, deformações ou pequenas variações dimensionais entre peças. Além disso, sensores de triangulação laser permitem a leitura precisa da posição antes do início da soldagem, assegurando o correto posicionamento e presença dos componentes

[14][15][16].

Além disso, sensores a laser evitam a soldagem em peças mal encaixadas, invertidas ou ausentes, situações que além de gerar refugo, podem causar danos aos equipamentos. Esses sensores possibilitam não apenas a verificação da presença da peça, mas também a inspeção da conformidade geométrica, permitindo a tomada de decisão em tempo real e assegurando maior qualidade e rastreabilidade ao processo [14][15].

Os sensores indutivos, por sua vez, são amplamente consolidados na automação industrial para a identificação de peças metálicas em dispositivos de soldagem. Seu funcionamento baseia-se na geração de um campo eletromagnético por meio de um oscilador interno, que sofre alteração quando um objeto metálico entra no campo, possibilitando sua detecção sem contato físico. Estes sensores podem ser integrados a sistemas de intertravamento, bloqueando automaticamente o ciclo da máquina caso a peça esteja ausente ou mal posicionada. A aplicação de sensores indutivos em dispositivos de soldagem resulta em maior confiabilidade do processo, contribuindo para a eliminação de erros operacionais e redução de retrabalho [3][4].

No processo analisado, é utilizado o sensor indutivo de proximidade modelo TRC12-2DP3, fabricado pela empresa R.E. Control Store, possui corpo cilíndrico de 12 mm de diâmetro e distância de detecção de 2 mm. Esse sensor opera com tensão de alimentação de 10 a 30 VDC, possui saída do tipo PNP, com estados normalmente aberto (NA) e normalmente fechado (NF), e estrutura metálica com grau de proteção IP67, o que o torna adequado para aplicações em ambientes industriais severos.

Apesar de suas especificações robustas, foram identificadas falhas recorrentes no funcionamento do sensor TRC12-2DP3 durante os ciclos da célula de soldagem estudada. Os sensores têm apresentado desempenho inconsistente, como a ativação do LED mesmo na ausência de peças, comprometendo o desempenho do processo e afetando negativamente a produtividade e a qualidade [22].

Segue a figura 5, o sensor indutivo utilizado no processo:



Figura. 5. Sensor indutivo, modelo: TRC12-2DP3

O quadro 1 apresenta os dados técnicos do sensor utilizados neste estudo, obtidos a partir do catálogo técnico da Re Control Store [22]. Essas informações são essenciais para caracterizar o desempenho do dispositivo e analisar sua adequação aos processos de soldagem automatizados, auxiliando na escolha do equipamento mais adequado às necessidades da máquina de produção estudada.

O sensor indutivo TRC12-2DP3 é um dispositivo eletrônico projetado para detectar a aproximação de objetos metálicos e alterar seu estado, características disponíveis no Quadro I. Essa alteração é detectada pelo circuito de disparo, que altera o estado de saída do sensor, sinalizando a presença do objeto [22].

Cabos utilizados atualmente para fazer a ligação dos sensores com os módulos de extensão código sku;8065108. O comprimento dos cabos varia de 1 até 10 metros, dependendo da posição do sensor em relação aos módulos.

Quadro I - sensor indutivo TRC12-2DP3
Re control store [22]:

| | |
|-----------------------|------------------------|
| Modelo | TRC12-2DP3 |
| Material do corpo | Metálico |
| Diâmetro | 12mm |
| Comprimento do corpo | 61,5mm |
| Ligação | Cabo 2m - 4 fios |
| Tipo de ligação | PNP |
| Estado de saída | NA + NF |
| Material detectado | Apenas metais ferrosos |
| Tensão de alimentação | 10 a 30 VDC |
| Distância de detecção | 2mm ± 10% |
| Corrente de saída | 200mA |
| Corrente de consumo | 5mA |

O módulo de extensão utilizado no sistema automatizado, ele conduz os sinais dos sensores ao CLP. Todos os sensores estão conectados aos módulos de extensão de código EX600-DXPD-X12. No dispositivo do primeiro estágio de solda são utilizados seis módulos,

enquanto no dispositivo do segundo estágio são oito módulos. À medida que os sensores detectam a presença dos componentes e enviam sinais, os módulos de extensão encaminham essas informações ao Controlador Lógico Programável (CLP), responsável pela lógica de programação e pelo processamento das informações da máquina. O protocolo de comunicação adotado no processo é o PROFINET [18][23], é um protocolo de comunicação industrial baseado em Ethernet Industrial para automação de fábricas. Ele permite a troca de dados em tempo real entre controladores lógicos programáveis (CLPs) e dispositivos como sensores e atuadores, usando a infraestrutura Ethernet para alta velocidade de deslocamento de dados.



Figura. 6. Cabo com conector M12 em ambas extremidades.

A figura 7 ilustra o módulo de extensão EX600-DXPD-X12, componente responsável pela conexão e comunicação entre os sensores e o CLP no sistema automatizado.

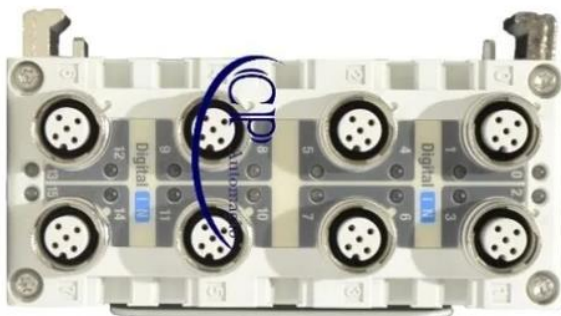


Figura 7: módulo de extensão utilizado atualmente, código EX600-DXPD-X12.

Seguem listadas as especificações técnicas do módulo de expansão, conforme descritas no manual do fabricante [18][23].

Quadro II - Módulo de expansão e características

| | |
|-------------------|--|
| Tipo | Módulo de expansão com 16 entradas digitais, compatível com diversas válvulas SMC. |
| Entradas digitais | 16 entradas, PNP |
| Conexões | 8 conectores M12 |
| Compatibilidade | Séries de válvulas SV1000/2000/3000, VQC1000/2000/4000, S0700 e SY |
| Opções | Entradas e saídas digitais, unidade de entrada analógica |

| | |
|-------------------------|-----------------------------|
| Grau de proteção | IP67 (conjunto manifold) |
| Temperatura de Operação | -10 a 50°C |
| Umidade de Operação | 35-85%RH (sem condensação). |
| Normas | CE, UL (CSA) |
| Peso | 290g |

Os sensores aplicados à identificação de peças em dispositivos de soldagem são fundamentais para garantir a qualidade e a eficiência do processo. No entanto, falhas recorrentes no sensor TRC12-2DP3 evidenciam a importância da escolha adequada de outro modelo de sensor para o processo.

F. Problemáticas observadas na identificação de componentes no processo de soldagem.

O estudo utilizou uma abordagem qualitativa, buscando compreender a realidade a partir da visão dos profissionais e da análise do processo observado na área industrial. Segundo Minayo (2014) [20], esse tipo de metodologia é utilizado a fim de interpretar situações complexas.

A pesquisa foi conduzida por meio de observações diretas dos processos produtivos na área de soldagem, bem como de reuniões técnicas na empresa e troca de informações com fornecedores de componentes eletrônicos das máquinas. Esses procedimentos possibilitaram o levantamento e a análise de falhas recorrentes relacionadas à identificação de componentes durante a produção.

A aplicação da abordagem qualitativa permitiu reconhecer os efeitos dessas falhas e compreender os fatores que as originam.

Entre os principais problemas identificados, destacam-se:

- Choque mecânico no sensor, resultando em avarias que geram estados falsos de saída de dados, liberando para soldagem com falta de componentes;
- Descarte de peças por defeitos gerados durante o processo de identificação;
- Danificação dos módulos de expansão que processam os sinais enviados por sensores;
- Danificação nos cabos de conexão dos sensores aos módulos de expansão;
- Alto volume de intervenções de manutenção para substituir componentes danificados;
- Tempo excessivo de máquina parada para localizar e resolver problemas e as falhas do sistema.

A utilização da metodologia qualitativa foi fundamental para identificar essas problemáticas, permitindo a construção de um diagnóstico alinhado à realidade operacional, com isso foi possível compreender

os principais fatores que comprometem a eficiência e a confiabilidade dos sistemas de detecção no processo de soldagem.

IV. DESENVOLVIMENTO

A análise do dispositivo de soldagem evidenciou falhas recorrentes de detecção de componentes, ocasionadas principalmente pelo uso de sensores indutivos com alcance limitado, suscetíveis a desgaste mecânico e envio de sinais errados. Para mitigar esses problemas e alinhar o processo à Indústria 4.0, propõe-se a substituição dos sensores indutivos TRC12-2DP3 por sensores a laser de distância, código LR-TB5000, com características técnicas superiores e maior robustez na detecção [14][15][20].

Durante o uso do sensor indutivo utilizado percebeu-se falhas recorrentes de detecção devido a desgaste da face sensora, alcance limitado (2 mm) e interferências mecânicas. Avaliando os demais modelos de sensores, percebe-se que os sensores capacitivos e ópticos não são adequados para o processo de soldagem devido às limitações relacionadas a ambientes com poeira e fumaça. Já os sensores ultrassônicos podem sofrer interferência devido aos ruídos e vibrações gerados no processo de solda, o que pode ocasionar leituras erradas. Por esse motivo, para aumentar a confiabilidade do processo, recomenda-se a substituição total dos sensores indutivos por sensores a laser modelo LR-TB5000, que oferecem:

- Detecção sem contato físico, eliminando desgaste mecânico;
- Maior alcance de medição (até 5000mm), permitindo maior flexibilidade na posição das peças;
- Precisão elevada na identificação de componentes, inclusive de peças metálicas e não metálicas;
- Capacidade de medir com alta precisão a posição de cada componente, possibilitando inspeção tridimensional das peças antes da soldagem [8][9][10].

O estudo propõe substituir os componentes mencionados por modelos mais adequados para o processo, o sensor indutivo por sensor laser, módulos de extensão e cabos de conexão entre eles.

O sensor a laser ilustrado na figura 8 será implementado em substituição aos sensores indutivos atualmente utilizados no processo de identificação de componentes na célula de solda em estudo. Desenvolvido e fabricado pela Keyence Brasil. Sua tecnologia de detecção a laser permite reconhecer tanto componentes metálicos quanto não metálicos com elevada repetibilidade e rápida resposta, características essenciais

para o controle automatizado de processos de soldagem e para o aumento da eficiência e rastreabilidade do sistema.



Figura. 8 Sensor a laser da Keyence utilizado para identificação de componentes na célula de solda [20][21]

Durante a alteração realizada na célula de solda, foi instalado o sensor a laser modelo LR-TB5000, da Keyence Brasil, responsável pela identificação precisa dos componentes no processo. Esse equipamento possui faixa de detecção ajustável entre 60 e 5000 mm, operando com tensão de alimentação de 20 a 30 VCC e consumo inferior a 50 mA. Além disso, o dispositivo oferece saídas PNP e NPN, podendo ser configurado conforme a necessidade da aplicação.

O sensor utiliza o protocolo I/O-Link, o que permite a transmissão digital das medições de distância diretamente ao módulo de extensão, garantindo comunicação estável e rápida com o sistema de controle da célula.

A figura 9, apresenta a ilustração do sensor instalado na célula, juntamente com o esquema de suas saídas de sinal, conforme o catálogo técnico disponibilizado pela Keyence.

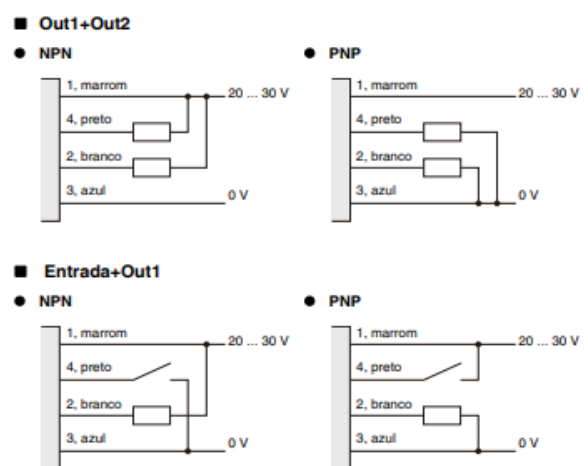


Fig. 9 Esquema de ligação elétrica e saídas de sinal NPN e PNP do sensor a laser Keyence LR-TB5000 [20].

Modo de detecção do sensor, pode operar em 3 tipos de modo de operação; modo DATUN (FGS), modo janela e modo de distância (BGS). No caso do projeto em questão foi utilizado a função de leitura de distância, a saída é normalmente aberta NA quando não está fazendo leitura e normalmente fechado NF quando está fazendo a

leitura.

A Figura 10 ilustra o princípio de funcionamento do modo de distância do sensor, conforme informações do catálogo técnico da Keyence. É possível observar a variação do estado das saídas (N.A. e N.F.) em função da distância configurada e da histerese de operação.

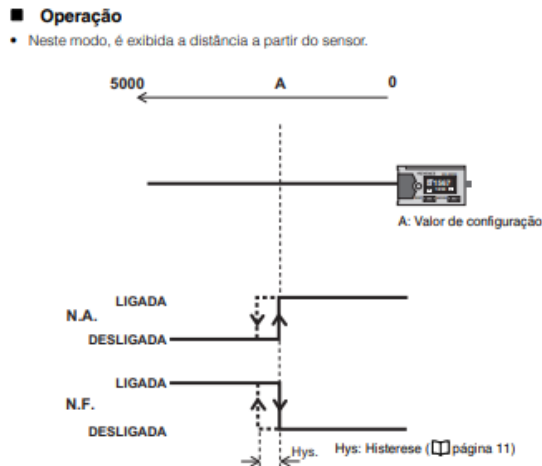


Figura. 10 Diagrama de operação do modo de distância (BGS) do sensor a laser Keyence LR-TB5000, indicando o comportamento das saídas N.A. e N.F. conforme a variação de distância e histerese [20].

Na parte superior do sensor estão localizados três botões de controle, utilizados para realizar as configurações de operação e ajustes de parâmetros conforme a aplicação. Essa interface permite ao operador definir o modo de detecção, a distância de leitura e outras funções de calibração de forma prática e precisa.

Na Figura 11, é possível observar o display do sensor Keyence LR-TB5000 já configurado, no qual são apresentados os valores de leitura da distância, as faixas de atuação e os limites superior e inferior programados para a detecção. Essa interface visual auxilia o operador no ajuste fino da posição dos componentes e na verificação imediata das condições de leitura.

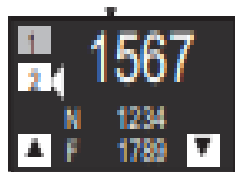


Figura. 11 Display do sensor a laser Keyence LR-TB5000 com indicação da distância de leitura e limites de operação configurados [18].

Ao fazer a leitura dos componentes durante a operação, no display do sensor tem três valores, o valor superior de 1567 é o valor que o sensor está medindo atualmente, da posição do sensor até o componente. No valor de N 1234 é o valor mínimo que está programado para o sensor enviar sinal alto, detectando a presença.

No F1789 é o valor máximo que está programado

para o sensor enviar sinal alto, se o valor atual lido estiver fora da faixa configurada no valor mínimo ou máximo, o sensor não envia sinal alto e a operação da máquina é bloqueada, até o sinal ir para auto ou NF.

Módulo de extensão código ART-NO56766, que envia os sinais dos sensores para o CLP (controlador lógico programável), que foi integrado ao sistema para substituir o modelo antigo, opera em I/O link, recebe os sinais dos sensores e envia para o CLP via rede, tensão de alimentação 24V, consumo máximo 100mA, no projeto em questão foi utilizado o protocolo de comunicação PROFINET.

A Figura 12 apresenta o módulo de extensão, empregado no sistema para realizar a interface entre os sensores e o CLP, permitindo a comunicação digital dos sinais via rede industrial.

O módulo de extensão ART-NO56766, da Murr Elektronik, faz parte da linha Cube67+ e é compatível com diferentes protocolos de comunicação industrial, podendo operar em redes Cube67+, EtherNet/IP, PROFIBUS e PROFINET, onde o sistema é configurado para comunicação via PROFINET, permitindo o envio e recebimento de dados entre os sensores e o CLP de forma rápida e estável [16][21].



Figura. 12 – Módulo de extensão Murr Elektronik ART-NO56766 utilizado na célula de solda para comunicação via I/O-Link e PROFINET [19].

Entre suas principais características técnicas, destacam-se:

- DIO12 IOL4 (E) – 8 conectores M12;
- IO-Link Master V1.1.2;
- Entradas e saídas digitais configuráveis;
- Compatibilidade com os módulos: 56521 (PROFIBUS), 56526 (PROFINET) e 56535 (EtherNet/IP).

Após a modificação da célula, os módulos de extensão foram instalados dentro do painel elétrico, proporcionando maior proteção contra impactos, poeira e vibrações, o que contribui para o aumento da confiabilidade e da vida útil do sistema.

A Figura 13 apresenta o módulo de extensão Murr Elektronik ART-NO56766 instalado no painel elétrico do sistema, evidenciando o arranjo e a proteção adotada após a alteração.



Figura. 13 – Módulo de extensão Murr Elektronik ART-NO56766 instalado no painel elétrico [19].

Os cabos utilizados para interligar os sensores aos módulos de extensão são do modelo código 8021000, esses cabos possuem conectores tipo M12 macho em uma extremidade e M12 fêmea na outra, permitindo uma conexão segura e padronizada entre os dispositivos do sistema.

O comprimento padrão adotado no projeto é de 10 metros, o que garante flexibilidade na montagem e na organização interna dos chicotes elétricos dentro da célula. Esses cabos substituíram os modelos originais, proporcionando melhor vedação e resistência mecânica nas conexões. Cada unidade apresenta valor aproximado de R\$ 216,70, conforme cotação junto ao fabricante.

A Figura 14 ilustra o modelo de cabo Murr Elektronik código 8021000 utilizado para a ligação entre os sensores Keyence e os módulos de extensão ART-NO56766, evidenciando o tipo de conector e o padrão de montagem adotado no sistema.



Figura. 14 – Cabo Murr Elektronik código 8021000, com conectores M12 macho e fêmea, utilizado na ligação entre sensores e módulos de extensão [19].

A substituição dos sensores indutivos por sensores a laser, juntamente com a atualização dos módulos de extensão e cabos de conexão entre os componentes, promove maior confiabilidade e precisão na identificação de componentes. Essa melhoria contribui para a redução de falhas, diminuição das paradas da máquina, aumento da eficiência produtiva, redução da quantidade de peças descartadas por falhas no processo de identificação de componentes.

Para a instalação dos novos sensores de presença, foi desenvolvido um suporte em formato de “goleira”, especialmente projetado para garantir estabilidade durante o funcionamento do sistema. Esse suporte foi instalado de forma independente da estrutura principal da célula de solda, evitando que a vibração gerada pelo giro da mesa rotativa causasse leituras incorretas de distância.

Os sensores e cabos de conexão foram posicionados acima da mesa do robô, assegurando proteção contra danos mecânicos e térmicos provenientes do processo de soldagem. Foi evidenciada disposição adotada para garantir a estabilidade e segurança do sistema. A figura 15 apresenta o suporte em formato de goleira com os sensores instalados.



Figura 15- Máquina com os sensores instalados no suporte.

V. RESULTADOS

A. Resultados obtidos

Além dos ganhos quantitativos, a solução proporcionou maior robustez e confiabilidade do processo, permitindo inspeções precisas, reduzindo retrabalho e aumentando a produtividade, além de agregar valor tecnológico ao processo. A aplicação de sensores adequados auxilia na manutenção preditiva por meio da coleta contínua de dados, que possibilita o monitoramento do estado real dos equipamentos e promove melhorias nos indicadores de qualidade e redução de custos [2][7].

B. Análise dos Resultados

A substituição dos sensores indutivos por sensores a laser proporciona benefícios significativos:

- A. Maior precisão e confiabilidade: redução drástica de falhas de detecção;
- B. Redução de retrabalho e descarte de peças: diminuição de custos e aumento da eficiência produtiva;
- C. Coleta de dados contínua para análise, rastreabilidade e manutenção preditiva;
- D. Melhoria da produtividade: aumento de produção sem alterar o ciclo de soldagem do processo;
- E. Segurança operacional: eliminação de bloqueios indevidos nas barreiras da máquina e menor intervenção manual.
- F. Disponibilidade: máquina com menor número de

intervenções para manutenção, maior tempo para produzir.

Portanto o sensor a laser é a solução mais adequada para atender às demandas do dispositivo de soldagem estudado, alinhando-se à modernização do processo, à eficiência produtiva e aos princípios da Indústria 4.0 [7][14][15][16][20].

Apresenta-se o histórico de chamados de manutenção dos últimos três anos na figura 16. Observa-se que, após a substituição dos sensores e atualização dos componentes realizada no início do segundo semestre de 2025 houve uma redução significativa no número de ocorrências, mesmo o sistema ainda estando em fase de testes.

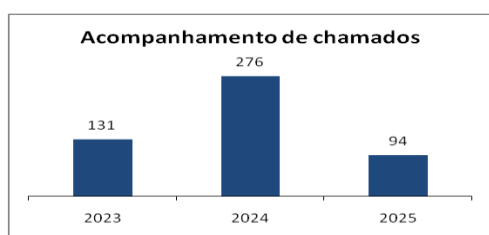


Figura 16- Chamados de manutenção.

Da mesma forma, os indicadores de qualidade demonstraram redução expressiva no índice de sucateamento após a implementação dos novos sensores, representando uma economia superior a R\$ 300 mil durante o ano de 2025, em função da diminuição de peças rejeitadas, conforme a Figura 17.

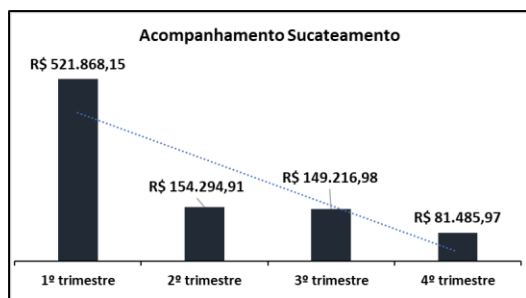


Figura 17- Chamados de manutenção.

Os resultados apresentados permitem afirmar que a substituição dos sensores indutivos por sensores a laser não apenas corrigiu falhas pontuais, mas promoveu ganhos sistêmicos no processo de soldagem. A redução expressiva no número de chamados de manutenção, acompanhada pela queda significativa do índice de sucateamento, evidencia que a solução adotada repercute diretamente na confiabilidade do processo produtivo e no aproveitamento dos recursos disponíveis. Além disso, a adoção de sensores a laser reduziu o tempo de parada das máquinas e aumentou a previsibilidade do processo, aspectos que se refletem na melhoria do planejamento da

produção e na diminuição de custos indiretos.

Esses avanços reforçam a relevância de alinhar a escolha de componentes tecnológicos às condições reais do ambiente fabril. A substituição dos sensores não é apenas viável, mas estratégico, pois amplia a competitividade da empresa ao reduzir desperdícios, aumentar a eficiência e integrar práticas condizentes com os princípios da Indústria 4.0, que sensores inteligentes e conectados são capazes de fornecer dados em tempo real para otimizar e automatizar os processos produtivos.

C. Custos do projeto

A modernização do sistema de identificação de componentes na célula de soldagem exigiu investimentos específicos tanto em materiais quanto em mão de obra. Os custos estão diretamente relacionados à substituição dos sensores indutivos, à instalação dos novos sensores a laser e à atualização dos módulos e cabos utilizados no dispositivo. Além da aquisição dos equipamentos, também foram consideradas as horas de trabalho necessárias para montagem, ajustes, testes e validação do novo sistema.

O quadro III apresenta o levantamento dos itens empregados no projeto, contendo modelo, quantidade e valor de cada material, bem como o custo correspondente à mão de obra envolvida. Esse detalhamento permite visualizar o investimento total necessário para a implementação da solução e possibilita a análise de custo associado às melhorias realizadas no processo de soldagem.

Quadro III – Resumo dos custos.

| Categoria | Item | Modelo | Quantidade | Valor (R\$) |
|-------------------------------|------------------------------|-----------|------------|------------------|
| Materiais | Módulo de extensão | MES6526 | 1 | 1.593,24 |
| | Módulo de extensão | MES6566 | 7 | 9.148,93 |
| | Sensor laser | LR-TB5000 | 28 | 47.222,28 |
| | Cabos dos sensores | 8021000 | 28 | 5.298,72 |
| | Goleira suporte dos sensores | — | 1 | 5.600,00 |
| Subtotal – Materiais | | | | 68.863,17 |
| Mão de obra | Horas de trabalho da equipe | — | — | 12.500,00 |
| Custo geral do projeto | | | | 81.363,17 |

A análise dos custos apresentados mostra que o investimento realizado está alinhado à complexidade da melhoria proposta. A substituição dos sensores e a atualização dos módulos e cabos representaram um gasto necessário para corrigir as falhas observadas e tornar o processo mais confiável. Com esses valores consolidados, é possível compreender de forma clara o montante aplicado no projeto e relacioná-lo aos benefícios esperados.

VI. CONCLUSÃO

Considerando os resultados obtidos, este estudo evidenciou a importância da correta seleção de sensores industriais como fator determinante para a confiabilidade

e a eficiência em processos de soldagem. As falhas recorrentes observadas, relacionadas ao uso de sensores indutivos com limitações de alcance e elevada suscetibilidade a danos mecânicos e falhas, mostraram-se responsáveis por perdas produtivas, retrabalhos e elevado número de intervenções de manutenção, máquina parada sem produzir e problemas de qualidade.

A substituição dos sensores indutivos por sensores a laser demonstrou ser uma solução tecnologicamente adequada e economicamente viável. Entre os benefícios alcançados destacam-se: maior precisão na detecção, redução expressiva de paradas não programadas, diminuição do índice de sucateamento coma economia superior a R\$300 mil reais no período analisado, também foi possível observar o aumento da disponibilidade da máquina e conseqüentemente, da produtividade da máquina de soldagem que obteve um aumento significativo na quantidade de peças produzidas mensalmente.

Outro ponto relevante é que a adoção de sensores a laser representa não apenas uma melhoria localizada, mas também um passo em direção à modernização do processo, ao permitir integração com sistemas de monitoramento contínuo e coleta de dados em tempo real. Esses aspectos fortalecem a capacidade da empresa de realizar análises preditivas e de consolidar práticas de manutenção preventivas e não corretivas.

Dessa forma, conclui-se que a correta seleção tecnológica de sensores deve ser entendida como uma decisão estratégica e não meramente por valor agregado dos componentes, pois afeta diretamente os indicadores de qualidade, custo, produtividade e disponibilidade de máquina. A experiência relatada neste estudo reforça que o investimento em soluções mais robustas, como os sensores a laser, contribui para a construção de sistemas produtivos mais eficientes, sustentáveis e competitivos no cenário industrial contemporâneo [1][8][9].

AGRADECIMENTOS

Quero agradecer a minha família e aos professores pelo apoio até aqui, ao professor e orientador Ivan pelos direcionamentos e paciência.

REFERÊNCIAS

- [1] KAH, P.; SHRESTHA, M.; HILTUNEN, E.; MARTIKAINEN, J. Robotic arc welding sensors and programming in industrial applications. *International Journal of Mechanical and Materials Engineering*, v. 10, n. 1, p. 1–16, 2015.
- [2] ALBERTO, J. V. R. Sensores e sua importância:

descrição e uso na Indústria 4.0. 2023. Trabalho de conclusão de curso – Universidade Estadual Paulista (UNESP), 2023.

[3] THOMAZINI, D.; ALBUQUERQUE, P. U. B. *Sensores industriais: fundamentos e aplicações*. São Paulo: Érica, 2009.

[4] ALFARO, S. A. et al. Sensors for quality control in welding. *Soldagem & Inspeção*, 2012.

[5] VASILEV, M. et al. Sensor-enabled multi-robot system for automated welding and in-process ultrasonic NDE. *Sensors*, v. 21, n. 15, p. 5077, 2021.

[6] SATHICK, J.; KHAN, A. A. A smart manufacturing paradigm for robotic welding process optimization through machine learning. *Scientific Reports*, v. 15, art. 42946, 2025.

[7] LEE, J.; BAGHERI, B.; KAO, H.-A. A cyber-physical systems architecture for Industry 4.0-based manufacturing systems. *Manufacturing Letters*, v. 3, p. 18–23, 2015.

[8] MARQUES, P. V.; MODENESI, P. J.; BRACARENSE, A. Q. *Soldagem: fundamentos e tecnologia*. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2009.

[9] SCOTTI, A.; PONOMAREV, V. *Soldagem MIG/MAG: melhor entendimento, melhor desempenho*. São Paulo: Artliber, 2008.

[10] BOLTON, W. *Mechatronics: electronic control systems in mechanical and electrical engineering*. 6th ed. Harlow: Pearson, 2015.

[11] GIZA, F. J.; KOLLING, E. M.; FAVARIM, F. Análise da funcionalidade de sensores de distância, operando em superfície formada por grãos de soja e milho em movimento. *Contribuciones a las Ciencias Sociales*, v. 17, n. 1, p. 6310–6325, 2024.

[12] NAJI, O. A. A. M. et al. Advances in visual sensor based on laser structured light. *International Journal of Advanced Trends in Computer Science and Engineering*, 2020.

[13] WANG, J.; LI, L.; XU, P. Visual sensing and depth perception for welding robots. *Sensors*, 2023.

[14] VIVIANI, A. B. Integração de um sensor a laser a um manipulador cartesiano de soldagem para o seguimento automático de juntas. 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2015.

[15] SEIDEL, Á. R. *Instrumentação aplicada*. 3. ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2011.

[16] SIEMENS AG. *SIMATIC PROFINET: system description*. A5E00298292-06. [S.l.]: Siemens, 2012.

- [17] MURR ELEKTRONIK GmbH. *Cube67+ DIO12 IOL4 V1.1 E 8xM12 – IO-Link master module (Art.-No. 56766): datasheet*. Oppenweiler, 2018.
- [18] KEYENCE CORPORATION. *LR-TB5000 Series – all-purpose laser sensor: manual técnico*. Osaka, 2015.
- [19] KEYENCE CORPORATION. *LR-T Series – CMOS multi-purpose laser sensor*. Osaka, 2015.
- [20] MINAYO, M. C. S. *O desafio do conhecimento: pesquisa qualitativa em saúde*. 14. ed. São Paulo: Hucitec, 2014.
- [21] PROFIBUS & PROFINET INTERNATIONAL. *PROFINET system description: technology and application*. Karlsruhe, 2014.
- [22] R. E. CONTROL STORE. *Sensor indutivo faceado M12 TRC12-2DP3 NA+NF PNP – catálogo técnico*. São Paulo, 2025.
- [23] ZANCAN, M. D. *Controladores programáveis*. 3. ed. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria; Colégio Técnico Industrial de Santa Maria, 2011.