

**UNIVERSIDADE ESTADUAL DO RIO GRANDE DO SUL
UNIDADE UNIVERSITÁRIA PORTO ALEGRE
CURSO DE ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO**

MAILSON THIAGO CARVALHO BORGES

**MONITORAMENTO DE FALHAS NO PROCESSO DE SOLDAGEM UTILIZANDO
SISTEMA SUPERVISÓRIO**

**PORTO ALEGRE
2023**

Catálogo de Publicação na Fonte

B732m Borges, Mailson Thiago Carvalho.
Monitoramento de falhas no processo de soldagem utilizando sistema supervisório / Mailson Thiago Carvalho Borges. – Porto Alegre, 2023.

46 f.

Orientador: Prof. Dr. André Borin Soares.

Monografia (Graduação) – Universidade Estadual do Rio Grande do Sul, Curso de Engenharia de Controle e Automação, Porto Alegre, 2023.

1. Sistemas de supervisão. 2. Parâmetros de soldagem. 3. Monitoramento de soldagem. 4. Soldagem por resistência. 5. Elipse E3. I. Soares, André Borin. II. Título.

Ficha catalográfica elaborada por Laís Nunes da Silva CRB10/2176

MAILSON THIAGO CARVALHO BORGES

**MONITORAMENTO DE FALHAS NO PROCESSO DE SOLDAGEM
UTILIZANDO SISTEMA SUPERVISÓRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) a apresentado como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro de Controle e Automação, na Universidade Estadual do Rio Grande do Sul.

Orientador: Prof. Dr. André Borin Soares.

PORTO ALEGRE

2023

MAILSON THIAGO CARVALHO BORGES

**MONITORAMENTO DE FALHAS NO PROCESSO DE SOLDAGEM UTILIZANDO
SISTEMA SUPERVISÓRIO.**

Monografia apresentada como requisito parcial
para obtenção do título de Engenheiro de Controle
e Automação na Universidade Estadual do Rio
Grande do Sul.

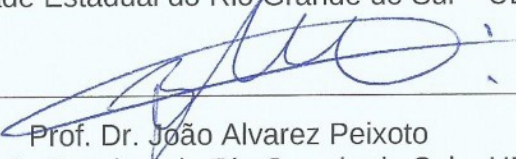
Orientador: Prof. Dr. André Borin Soares.

Aprovado em: 04 / 07 / 2023

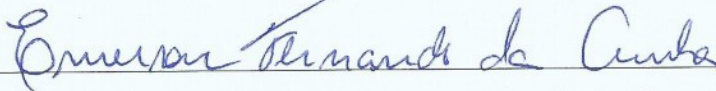
BANCA EXAMINADORA



Orientador: Prof. Dr. André Borin Soares
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS



Prof. Dr. João Alvarez Peixoto
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS



Prof. Msc. Emerson Fernandes da Cunha
Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS

PORTO ALEGRE

2023

Dedico este trabalho a Deus que me proporcionou o dom de aprender, para que eu possa replicar todo conhecimento aprendido.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha família que tanto me apoiou neste desejo de ser engenheiro.

Agradeço à empresa TDK Electronics do Brasil Ltda, que me incentivou e liberou horários para que eu pudesse comparecer as disciplinas e atingir esta conquista.

Agradeço aos colegas de curso, que tanto contribuíram para solução de dúvidas e que juntos possamos fazer um mundo melhor.

RESUMO

A automatização dos processos foca em reduzir a intervenção das pessoas nos equipamentos, parcial ou totalmente. Na indústria automotiva este conceito influenciou o desenvolvimento de máquinas de solda de diversos tipos. Para automatização de um equipamento de soldagem é necessário a utilização de diversas ferramentas pneumáticas e sensoriamento de controle. O controle automático do processo de soldagem apresenta muitas vantagens na resistência a tração, dureza e tamanho da zona afetada pelo calor gerado. Conforme o sistema de manufatura, ocorrem variações nas taxas de produção. Além disso, há fabricas com diversos equipamentos em que os parâmetros do processo são configurados de forma manual e a ocorrência de falhas na introdução dos parâmetros nos equipamentos é alta. Assim, um dos desafios no monitoramento da soldagem é garantir uma resposta em tempo real do equipamento a determinada anormalidade detectada. Na indústria, a supervisão de equipamentos é realizada utilizando o Elipse E3, que é uma plataforma SCADA. Neste trabalho, como fundamentação para elaboração de um método de aplicação, foi realizado o levantamento dos parâmetros utilizados para monitoramento de um processo de soldagem. Foi implementada uma prova de conceito, a qual foi supervisionada para obtenção de dados para análise funcional das variáveis. Como resultados, são mostradas as principais variáveis e equipamentos de soldagem e a utilização de sistema de supervisão para monitoramento destas variáveis, aplicada a prova de conceito. Também é apresentada a aplicação a equipamentos de soldagem

Palavras-chaves: Sistemas de supervisão. Parâmetros de soldagem. Monitoramento de soldagem. Soldagem por resistência. Elipse E3.

ABSTRACT

The automation of processes aims to reduce the intervention of people in the equipment, partially or totally. In the automotive industry the idea of automation influenced the development of welding machines of various types. In order to automate a welding equipment, it is necessary to use several pneumatic tools and control sensing. Automatic control of the welding process has many advantages in tensile strength, hardness, and size of the generated heat-affected zone. Variations in production rates occur according to manufacturing systems. There are factories with several equipment where the process parameters are manually configured and the occurrence of failures in the introduction of parameters in the equipment is high. One of the obstacles in monitoring welding is ensuring a real-time response from the equipment to a certain abnormality detected. For supervision of equipment in industry, the Ellipse E3 is used, which is a SCADA platform. As a basis for the elaboration of an application method, a survey was made of the parameters used for monitoring a welding process, where the proof of concept was carried out and supervised to obtain data for the functional analysis of the variables. As a result, this work shows the main variables and welding equipment and the application of a supervisory system to monitor these variables applied to a proof of concept. The application in welding equipment is also presented.

Keywords: Supervisory systems. Welding parameters. Welding monitoring. Resistance welding. Ellipse E3.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1 - Processo de soldagem com aplicação de um supervisorio.....	13
Figura 2 - Imagem da soldagem por resistência elétrica	15
Figura 3 - Imagem de tipos de soldagem por resistência elétrica	16
Figura 4 - Imagem de solda com porosidade	17
Figura 5 – Imagem da tela do supervisorio Elipse E3	24
Figura 6 – Imagem das características da solda de uma peça metálica	26
Figura 7 – Metodologia implementada	29
Figura 8 – Imagem da tela do supervisorio	29
Figura 9 - Dispositivo montado para simulação.....	32
Figura 10 – Imagem da programação do módulo lógico	33
Figura 11 – Imagem 1 do bloco OB1 do CLP.....	34
Figura 12 – Imagem da configuração MODBUS cliente	35
Figura 13 - Imagem da programação principal do CLP	35
Figura 14 – Imagem do programa do CLP de passagem de dados lidos.....	36
Figura 15 – Imagem da programação do CLP da sinalização da corrente fora do range	37
Figura 16 – Imagem da programação do CLP da sinalização de atualização dos valores.....	38
Figura 17 - Imagem da tela de programação do usuário.....	38
Figura 18 - Imagem da tela de interação do processo com o usuário.....	39
Figura 19 - Imagem da tela de valores armazenados no banco de dados e os valores da última leitura de dados válida	39
Figura 20 - Imagem da configuração do gráfico do histórico.....	40
Figura 21 - Parâmetros a serem monitorados e faixas estipuladas.....	42
Figura 22 - Equipamento de solda Isotron IHF-3.....	43

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Recursos materiais utilizados no projeto	45
---	----

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Análise de modos de falhas e seus efeitos do processo	34
--	----

LISTA DE ABREVIATURAS

MIG	<i>Metal Inert Gas</i>
MAG	<i>Metal Active Gas</i>
CLP	Controlador Lógico Programável
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
SCADA	<i>Supervisory Control and Data Acquisition</i>
NR	Norma regulamentar
IHM	Interface Humano Máquina
5W2H	<i>What, Why, Where, When, Who, How and How much</i>
FMEA	Análise de modos de falhas e seus efeitos

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
1.1	PROBLEMÁTICA	12
1.1	HIPÓTESE	12
1.2	OBJETIVOS	12
1.3	RESULTADOS ESPERADOS	13
2	REFERENCIAIS TEÓRICOS	14
2.1	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	14
2.1.1	Soldagem por resistência elétrica	15
2.1.2	Controlador Lógico Programável (CLP)	18
2.1.3	Sistemas de supervisão	18
2.1.4	Comunicação via Modbus	20
2.1.5	Linguagem de programação <i>Ladder</i>	22
2.1.6	Linguagem de programação utilizada em sistema de supervisão SCADA	22
2.2	PESQUISAS RELACIONADAS	23
2.2.1	Sistema supervisório aplicado a automação industrial	23
2.2.2	Automação de dispositivos de solda	24
2.2.3	Análise comparativa entre soldagem MIG/MAG manual e robotizada	25
3	METODOLOGIA	27
3.1	TIPO DE PESQUISA	27
3.2	UNIVERSO DE ABRANGÊNCIA DA PESQUISA	27
3.3	MÉTODO APLICADO	27
4	RESULTADOS	30
4.1	FMEA DO PROCESSO DE SOLDAGEM	30
4.2	IMPLEMENTAÇÃO DA PROVA DE CONCEITO	32
4.3	CUSTO DA IMPLEMENTAÇÃO	40
5	ANÁLISE	42
5.1	COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS ESPERADOS E RESULTADOS OBTIDOS	42
5.2	VALIDAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO	43
5.3	ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE COM EQUIPAMENTOS COMERCIAIS DE SOLDA	43
6	CONCLUSÃO	44
	REFERÊNCIAS	45

1 INTRODUÇÃO

A automação está em todos os meios em que convivemos. No âmbito industrial está sempre em constante evolução. A automatização dos processos foca em reduzir a intervenção do homem com os equipamentos, parcialmente ou totalmente. Tem-se como objetivo a racionalização dos recursos, reduzindo desperdícios, executando movimentações repetidas, aplicando receitas pré-estabelecidas, obtendo melhorias contínuas e sempre buscando a melhor forma de atuação. De acordo com Prudente (2013), quando um equipamento é capaz de cumprir uma ou mais tarefas sem intervenção humana por meio de sinais do mesmo sistema a ser controlado, ele é automatizado. Com a aplicação de sistemas automatizados, verificou-se a necessidade de monitorar as etapas de produção, assim justificando o surgimento dos sistemas de supervisão para melhorar a performance dos processos.

Na indústria automotiva, na produção de eletrodomésticos e em metalúrgicas, a ideia de automatização influenciou o desenvolvimento de máquinas de solda de diversos tipos, tais como MIG/MAG ou a solda ponto por resistência elétrica. De acordo com Marques, Modenesi e Bracarense (2009), na indústria, a criação de dispositivos pode ser incorporada nos mais diversos setores, como em trabalhos mecânicos, pneumáticos, sensoriamento de controle, entre outros.

Os equipamentos de solda por resistência elétrica, na aplicação industrial podem ser aplicados de diversas formas de automação.

As variações de sistemas de manufatura podem ser de alta taxa de produção, produção contínua em grandes lotes com pouca tecnologia, sistemas de média produção, produção intermitente em médios lotes, muita tecnologia com automação programável e há os sistemas de baixa taxa de produção com muitas trocas de programação e longos tempos de ajustagem de equipamentos e com tecnologia na aplicação.

Quando há conjuntos de diversas estações de soldagem, a aplicação de um sistema supervisor para o processo de soldagem torna-se adequada para simplificar a supervisão das variáveis, sendo elas digitais ou analógicas.

1.1 PROBLEMÁTICA

A aplicação do processo de soldagem por resistência elétrica nos sistemas automatizados ocorre de diversas formas. A manufatura conta com diversos tipos de equipamentos e apresenta diversos tipos de arranjos organizacionais. Portanto, onde há mais de um equipamento a ser programada uma receita de operação de forma manual, existe a possibilidade de uma seleção incorreta de parâmetros. Não existem alarmes para identificar falhas, não há aquisição de dados para monitoramento, não há possibilidade de um histórico de anormalidade do processo e não há um plano de reação imediato a falha.

1.1 HIPÓTESE

Para a maioria dos processos de soldagem, os parâmetros monitorados e comparados com valores de referência são magnitudes elétricas, como tensão, corrente elétrica, temperatura, velocidade de soldagem, distância entre a tocha e a peça, emissões acústicas e luminosas, a força aplicada nos eletrodos e outros parâmetros geométricos, que caracterizam o processo de soldagem. Outro fenômeno que ocorre durante a soldagem pode ser monitorado para melhor controlar a qualidade da solda, como distorções do material causadas por ciclos térmicos em processos de alta densidade de energia. O ajuste dos parâmetros monitorados é realizado pelos sistemas de controle incorporados no equipamento.

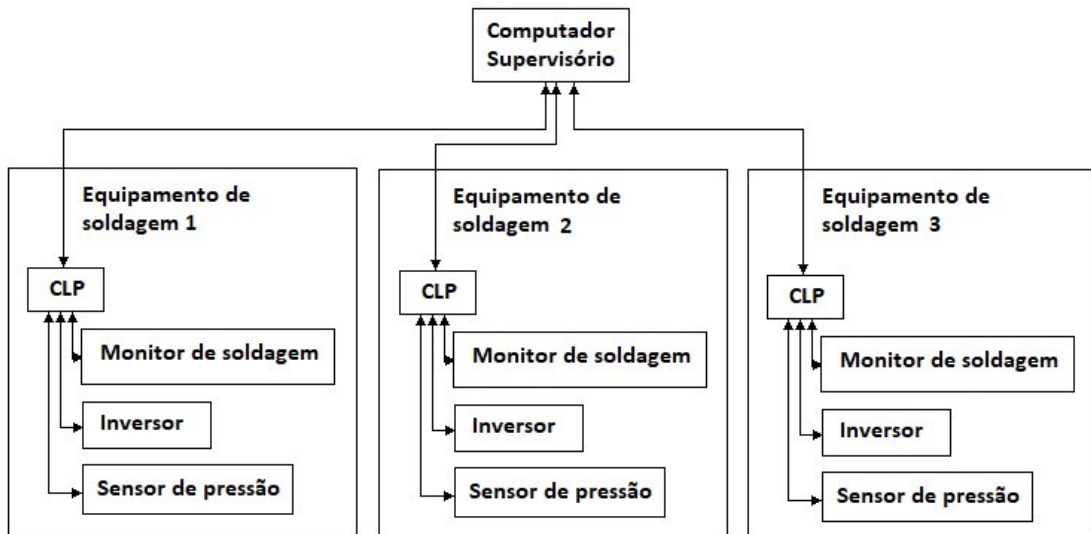
A principal dificuldade no monitoramento da soldagem é garantir uma resposta em tempo real do equipamento a um determinado desvio em relação aos parâmetros ótimos de soldagem.

Nos parágrafos seguintes, após a descrição dos principais tipos de sensores para monitorar os processos de soldagem industrial mais utilizados, encontra-se sistematicamente a informação existente sobre os sistemas de monitoramento e controle aplicados à tecnologia de soldagem. A Figura 1 mostra o processo de soldagem com aplicação de um supervisor.

1.2 OBJETIVOS

O objetivo geral é monitorar a operação de solda por resistência elétrica, na

Figura 1 - Processo de soldagem com aplicação de um supervisório



Fonte: Autor (2023).

forma de supervisão, através de telas para interação, parametrização, aquisição de dados e alarmes de anormalidades.

Os objetivos específicos são:

- a. Verificar quais os parâmetros são relevantes para controle do processo;
- b. Verificar a viabilidade de desenvolvimento, prototipagem ou simulação e equipamentos utilizados;
- c. Comunicar o sistema supervisório ao processo de soldagem/simulação do processo de soldagem.

1.3 RESULTADOS ESPERADOS

Como resultados esperados para este trabalho pretende-se monitorar o processo de soldagem através das variáveis e a sua viabilidade de desenvolvimento, prototipagem ou simulação, e delimitar quais parâmetros são relevantes para monitoramento do processo. Para isto é preciso programar o *software* para aplicação do monitoramento.

2 REFERENCIAIS TEÓRICOS

A fim de compreender como programar e monitorar um sistema de solda por resistência elétrica, o referencial teórico deve primeiro dar as bases para isso. Serão apresentados os conceitos do processo de soldagem e suas características. Também serão apresentadas as tecnologias e componentes necessários.

Além disso, o referencial ajuda na qualificação do estudo, na interpretação dos dados e na discussão dos resultados, por comparação com os resultados obtidos em outros trabalhos.

2.1 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

O processo de soldagem por resistência elétrica consiste em unir dois materiais metálicos, aplicando calor através de corrente elétrica e tensão elétrica no ponto a ser processado, conforme Marques (2009). O processo de soldagem por resistência é diferente dos outros processos porque não utiliza material de adição, nem de uso de gases de proteção, conforme RWMA (1989).

É um processo muito ágil, flexível e de fácil aplicação na automação. É utilizado na soldagem por resistência por ponto, para a soldagem de materiais sobrepostos. A soldagem por resistência por injeção é utilizada para união de componentes em chapas e peças, e a soldagem por resistência por costura é destinada a aplicação de soldagem em tanques de combustíveis.

A soldagem por resistência elétrica foi utilizada pela primeira vez em 1877, por Elihu Thompson para conectar fios de cobre, que ele já havia amarrado juntos. Rapidamente, ele viu o potencial de usar este método para soldar vários outros materiais.

Desde a introdução da primeira chapa soldada para veículos em 1933, houve crescimento do uso da soldagem por resistência. Como resultado, este método tornou-se padrão na indústria automobilística com a média de 4.500 soldas, usadas na carroceria de cada veículo.

Devido a seu baixo custo, qualidade, aquecimento localizado e pouca distorção das chapas, a soldagem por pontos é o procedimento de soldagem mais frequentemente utilizado para a montagem das carrocerias, conforme Branco (2019).

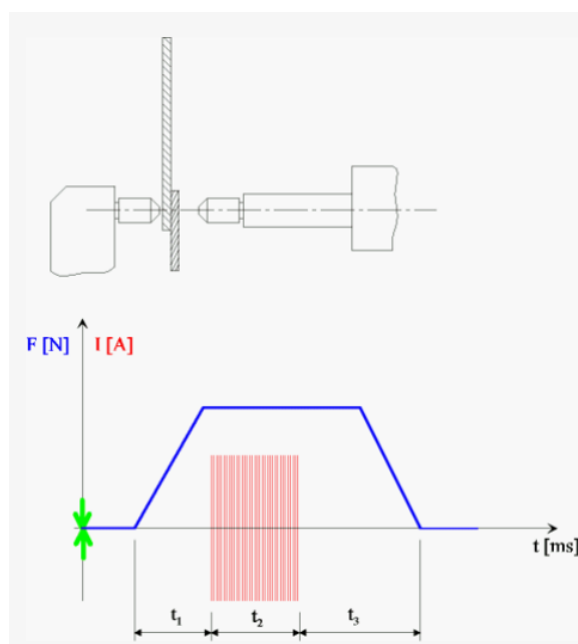
Com avanços tecnológicos, a evolução industrial está cada dia mais presente nas empresas, e os processos de soldagem não ficam de fora, com a aplicação de robôs, equipamentos em esteiras e máquinas com aplicação específica. A automação permitiu um salto no volume de produção, diminuiu as falhas, reduziu os riscos de falhas na execução de procedimentos e melhorou o controle de desperdícios. O levantamento de dados e o armazenamento dos parâmetros lidos durante o processo é fundamental para a tomada de decisão.

2.1.1 Soldagem por resistência elétrica

A soldagem por resistência é um processo que utiliza passagem de corrente elétrica, com tempo definido de aplicação, para a união pontual dos materiais que sofrem a aplicação de calor conforme é mostrado na Figura 2. Há o contato de eletrodos pressionando os locais a serem fundidos, onde há aplicação de corrente elétrica, conforme Fonseca (1999).

Devido ao curto caminho percorrido, a corrente elétrica no material base, baixo tempo de soldagem e as altas correntes, estes fatores geram o calor no local que resulta na fusão das peças, de acordo com Marques (2009).

Figura 2 - Imagem da soldagem por resistência elétrica



Fonte: Autor (2023).

A lei de *Joule* é a equação que representa os principais termos utilizados na soldagem.

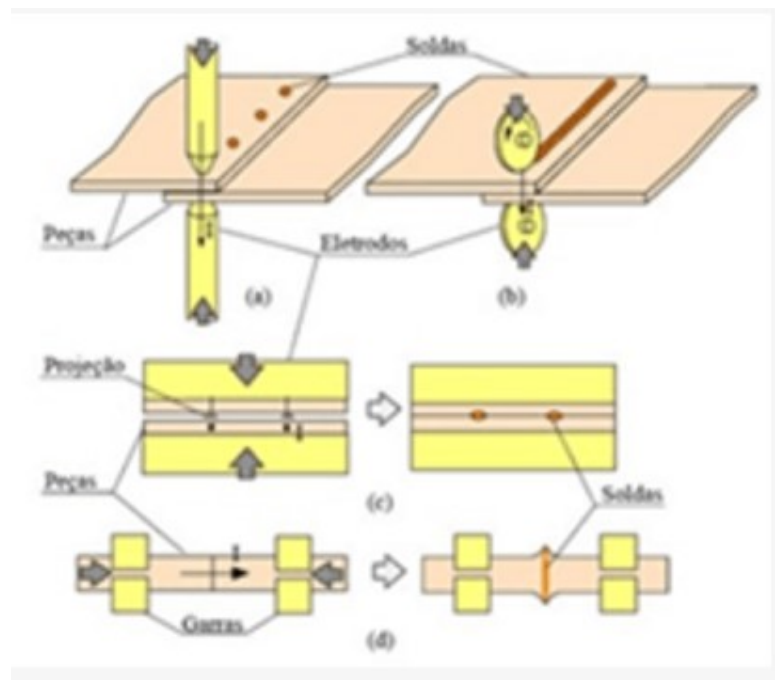
$$Q = I^2 \times R \times t \quad (1)$$

O parâmetro *Q* corresponde ao calor gerado em *Joule*, *I* corresponde a corrente elétrica em *Ampères*, *R* que corresponde a resistência do condutor em *Ohm* e *t* que corresponde ao tempo em segundos.

A execução eficiente do processo é determinada por variáveis dos parâmetros de soldagem e propriedades dos materiais a serem unidos. Na soldagem há três variáveis principais: a corrente de soldagem, a força aplicada dos eletrodos e o tempo de soldagem (AURES, 2006).

Existem quatro tipos principais de soldagem por resistência elétrica, sendo elas, soldagem por ponto, soldagem por projeção, soldagem por costura e soldagem de

Figura 3 - Imagem de tipos de soldagem por resistência elétrica



Fonte: Marques (2009).

topo por resistência (BRANCO, 2019). A Figura 3 mostra a imagem de tipos de soldagem por resistência elétrica.

Durante esse processo, podem ocorrer diferentes modos de falhas potenciais e suas respectivas causas.

A falha de solda a frio pode ocorrer quando a pressão de soldagem não é suficiente para garantir uma união adequada entre as peças. Isso pode ser resultado de ajustes inadequados na pressão de soldagem ou de um alinhamento inadequado das peças.

A falha de penetração insuficiente é ocasionada devido a corrente elétrica ou a pressão insuficiente, as quais podem promover a fusão incompleta das peças. Essa situação pode ser causada por configurações incorretas dos parâmetros de soldagem, como corrente, tempo e pressão (WAINER, 1992).

A falha de queima ocorre quando a corrente elétrica é excessivamente alta ou o tempo de soldagem é muito longo, resultando em superaquecimento excessivo das peças. Isso pode levar a deformações excessivas, danos térmicos ou até mesmo à queima completa das peças.

A porosidade é uma falha na qual gases aprisionados nos materiais ou na interface de soldagem formam poros na região soldada. Isso pode ser causado pela presença de contaminantes, como óleo, tinta ou oxidação na superfície das peças, que liberam gases durante o processo de aquecimento (MARQUES, 2009). A Figura 4 mostra a imagem de uma falha de solda com porosidade.

Figura 4 - Imagem de solda com porosidade



Fonte: Autor (2023).

Falha de falta de fusão ocorre quando não há uma fusão completa entre as peças a serem soldadas. Isso pode ser resultado de configurações inadequadas dos parâmetros de soldagem, como corrente, tempo ou pressão, ou da presença de contaminantes nas superfícies das peças (BRANCO, 2019).

2.1.2 Controlador Lógico Programável (CLP)

Os controladores lógicos programáveis estão muito presentes na indústria. Os CLPs são sistemas que possibilitam programar a execução de tarefas, utilizando logicas, condicionais, recebendo e tratando dados a partir de configurações preestabelecidas. De acordo com Petruzzella (2014), o CLP é uma forma de computador construído para utilização da indústria que tem a função de realizar funções de controle. Outra definição, de acordo com a entidade IEC (*International Electrotechnical Commission*), é:

Sistema eletrônico operando digitalmente, projetado para uso em ambiente industrial, que usa uma memória programável para a armazenagem interna de instruções orientadas para o usuário para implementar funções específicas, tais como lógica, sequencial, temporização, contagem e aritmética, para controlar através de entradas e saídas digitais e analógicas, vários tipos de máquinas ou processos. O controlador programável e seus periféricos associados são projetados para serem facilmente integráveis em um sistema de controle industrial e facilmente usados em todas as suas funções previstas. (FRANCHI; CAMARGO, 2009, p.23)

Os controladores lógicos programáveis têm entradas e saídas que podem ser digitais ou analógicas, com a função de realizar tarefas. Realizam aquisição de dados em tempo real e são amplamente utilizados em equipamento na indústria.

Foram desenvolvidos para diversas formas de aplicação, para aplicações simples e para aplicações que exigem um maior nível de complexidade. Atendem a diversos tipos de ambientes, a ambientes delicados até ambientes agressivos.

2.1.3 Sistemas de supervisão

Para tomadas de ações mais rápidas e eficientes, a demanda gerou a necessidade de desenvolvimento de sistemas de supervisão com tomadas de decisões e controle de processo de forma imediata.

Um *framework* SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) pode ser utilizado para monitorar e controlar processos industriais em tempo real.

De acordo com Yadav e Paul (2020), sistemas SCADA são uma combinação de componentes de *hardware* e programas de *software*. Os componentes de *hardware* incluem unidades terminais remotas (RTUs), unidades terminais mestras (MTUs), atuadores e sensores. Já o *software* é composto pela interface humano-máquina (HMI), um banco de dados central (*Historian*) e outros *softwares* do usuário, que permitem a comunicação entre o *hardware* e o *software*.

O ambiente físico é conectado aos atuadores e sensores, que, por sua vez, estão ligados às RTUs. As RTUs coletam informações e dados dos sensores e encaminham essas informações para a unidade terminal mestra (MTU). A MTU é responsável pelo controle das RTUs e pelo processamento das informações coletadas pelos sensores. A interface humano-máquina (HMI) fornece uma interface gráfica para o operador controlar e monitorar o processo de controle. Já o *Historian* é usado para armazenar os dados coletados pelo sistema para análise posterior.

Silva e Oliveira (2016), criaram um sistema para monitorar as variáveis de processo, como, por exemplo, a corrente elétrica e a velocidade de alimentação de arame, e emitir alarmes quando as condições de operação estiverem fora dos parâmetros predefinidos. O sistema também foi capaz de registrar dados do processo, permitindo que os engenheiros da empresa analisassem o desempenho do processo e identificassem oportunidades de melhoria. Os sistemas de supervisão possibilitam a coleta e o rastreamento dos processos da planta fabril.

Conforme Salvador (2005), os sistemas de automação utilizam tecnologias de computação e comunicação para a obtenção de dados de forma automática. Com a utilização de interface humano-máquina e conteúdo de mídia pode-se gerar gráficos e relatórios para ações a serem tomadas.

Segundo Jurizato e Pereira (2002), a função do projetista é desenvolver as telas gráficas, de acordo com o processo controlado e da configuração dos comandos. Segundo Silva e Salvador (2005) o sistema supervisorio baseia se em identificação de etiquetas, as quais são variáveis, podendo executar funções computacionais e representar dados de entrada e saída.

O tipo de comunicação utilizado por um sistema de supervisão pode variar de acordo com a aplicação, com as características da rede e com os dispositivos que estão sendo monitorados. No entanto, em geral, os sistemas de supervisão utilizam protocolos de comunicação industrial para se comunicar com os dispositivos de campo, como sensores, atuadores e controladores.

Entre os protocolos de comunicação mais comuns utilizados pelos sistemas de supervisão estão Modbus, OPC (*Open Platform Communications*), Profibus, Profinet, DeviceNet, Ethernet/IP e TCP/IP.

Segundo Santos (2015), cada protocolo tem suas próprias características e é mais adequado para certos tipos de aplicações e dispositivos. Por exemplo, o protocolo Modbus é comumente usado para comunicação com controladores lógicos programáveis (PLCs), enquanto o OPC é amplamente utilizado para comunicação entre sistemas de supervisão e bancos de dados.

É importante ressaltar que muitos sistemas de supervisão oferecem suporte a vários protocolos de comunicação, permitindo que sejam integrados a diferentes dispositivos e redes industriais.

2.1.4 Comunicação via Modbus

O Modbus é um protocolo de comunicação utilizado em sistemas de automação industrial para troca de informações entre dispositivos. Ele foi desenvolvido pela Modicon em 1979 e desde então se tornou um padrão de comunicação aberto e amplamente utilizado na indústria.

Segundo Rinaldi (2008), a comunicação Modbus é baseada em mensagens, que consistem em um conjunto de bits que contêm informações sobre a origem, o destino, a função a ser executada e os dados a serem transmitidos. Existem três tipos de mensagens Modbus:

- a. Mensagens de leitura: são utilizadas para solicitar dados de um dispositivo escravo. Elas contêm o endereço do escravo, o tipo de mensagem (leitura), o endereço do registro a ser lido e o número de registros a serem lidos;
- b. Mensagens de escrita: são utilizadas para enviar dados para um dispositivo escravo. Elas contêm o endereço do escravo, o tipo de mensagem (escrita), o endereço do registro a ser escrito e o valor a ser escrito;
- c. Mensagens de diagnóstico: são utilizadas para diagnosticar problemas de comunicação. Elas contêm informações sobre o status da comunicação, como erros de paridade, tempo limite e erros de *checksum*.

O Modbus pode operar em diferentes tipos de rede, como RS-232, RS-485 e TCP/IP. A comunicação RS-485 é a mais comum em sistemas de automação industrial, pois permite a conexão de vários dispositivos escravos a uma única porta

serial do mestre, reduzindo o número de cabos necessários.

Além disso, o Modbus utiliza uma arquitetura cliente-servidor (MODBUS ORGANIZATION INC., 2020), onde o dispositivo mestre controla a comunicação com os dispositivos escravos. Cada dispositivo escravo possui um endereço único que é utilizado pelo mestre para se comunicar com ele.

Em resumo, a comunicação Modbus é uma forma de trocar informações entre dispositivos em sistemas de automação industrial utilizando um protocolo de comunicação padronizado e aberto.

De acordo com Lawrence (2013), TCP/IP é um conjunto de protocolos de rede que permitem a comunicação entre dispositivos em uma rede de computadores. Ele é o protocolo de rede mais comum, utilizado na internet e em redes corporativas. A comunicação TCP/IP é baseada em pacotes, que são unidades de dados que são transmitidas entre dispositivos na rede.

O TCP (*Transmission Control Protocol*) é um dos principais protocolos da pilha TCP/IP. Ele é responsável por estabelecer uma conexão confiável entre dois dispositivos na rede e garantir que os dados sejam entregues sem erros. O TCP divide os dados em pacotes menores e os reorganiza na ordem correta quando chegam ao destino. Ele também utiliza um mecanismo de controle de congestionamento para garantir que a rede não fique sobrecarregada.

O IP (*Internet Protocol*) é outro protocolo importante da pilha TCP/IP. Ele é responsável por endereçar e encaminhar os pacotes na rede. Cada dispositivo na rede tem um endereço IP único que é usado para rotear os pacotes para o destino correto. O IP também fragmenta os pacotes em pedaços menores, se necessário, para que possam ser transmitidos pela rede.

Além disso, a comunicação TCP/IP utiliza uma arquitetura cliente-servidor, onde um dispositivo atua como servidor e fornece serviços para outros dispositivos. Quando um cliente deseja se comunicar com um servidor, ele estabelece uma conexão TCP com o servidor, troca os dados necessários e, em seguida, fecha a conexão quando a comunicação é concluída.

Em resumo, a comunicação TCP/IP é uma forma de trocar dados entre dispositivos em uma rede de computadores, usando um conjunto de protocolos padronizados e confiáveis, como o TCP e o IP. Ele permite que dispositivos em redes diferentes possam se comunicar de forma eficiente e segura.

2.1.5 Linguagem de programação *Ladder*

De acordo com Herring (2015), a linguagem de programação *Ladder* (ou diagrama de escada, em português) é amplamente utilizada em automação industrial para controlar dispositivos elétricos e eletrônicos. A linguagem *Ladder* é baseada em diagramas que se assemelham a diagramas de relés elétricos, tornando-a fácil de entender e utilizar para profissionais de engenharia elétrica e mecânica.

Os programas *Ladder* são compostos de elementos básicos, como bobinas, contatos, temporizadores e contadores. Esses elementos podem ser combinados em diferentes configurações, para criar circuitos lógicos que controlam os dispositivos na planta industrial.

Os contatos são os elementos básicos da programação *Ladder* e podem ser normalmente abertos (NA) ou normalmente fechados (NF). Quando um contato NA é acionado (ou fechado), ele permite que a corrente elétrica flua através dele, e quando um contato NF é acionado (ou aberto), ele interrompe a corrente elétrica. As bobinas são utilizadas para acionar os dispositivos, como motores ou válvulas, e são ativadas quando todos os contatos associados a ela estão fechados.

Os temporizadores e contadores são elementos adicionais que podem ser usados para controlar o tempo ou contagem de eventos. Por exemplo, um temporizador pode ser usado para ligar uma bomba por um determinado período, enquanto um contador pode ser usado para monitorar a quantidade de peças produzidas em uma linha de montagem.

Segundo Tubbs (2012), a programação *Ladder* é realizada em um *software* de programação específico, onde os elementos são arrastados e soltos na tela para criar o diagrama de escada. O *software* de programação *Ladder* inclui recursos de simulação que permitem ao programador testar o programa antes de implementá-lo no controlador de automação industrial.

Em resumo, a programação em *Ladder* é uma linguagem visual que utiliza símbolos gráficos para representar os circuitos elétricos. Ela é fácil de entender e usar por profissionais de engenharia elétrica e mecânica e é amplamente utilizada em aplicações de automação industrial.

2.1.6 Linguagem de programação utilizada em sistema de supervisão SCADA

Os sistemas SCADA (*Supervisory Control and Data Acquisition*) podem ser programados utilizando diversas linguagens, dependendo do *software* específico utilizado.

De acordo com Lamberts e Silva (2016), o diagrama de bloco de funções é a linguagem de programação gráfica usada. O texto estruturado é a linguagem de programação textual que permite a escrita de programas semelhante a linguagens de programação convencionais, como C. Já o gráfico de função sequencial é linguagem de programação gráfica que é usada para descrever o comportamento sequencial de um sistema.

As linguagens de programação utilizadas em sistemas SCADA variam de acordo com o *software* específico utilizado, bem como as preferências dos desenvolvedores e engenheiros envolvidos no projeto.

2.2 PESQUISAS RELACIONADAS

Neste tópico serão abordadas as pesquisas relacionadas a este trabalho. São resumidos o trabalho de conclusão referente a Sistemas supervisório aplicado a automação industrial do curso de engenharia elétrica, o trabalho de conclusão Automação de dispositivos de solda e o trabalho de conclusão sobre análise comparativa entre soldagem MIG/MAG manual e robotizada.

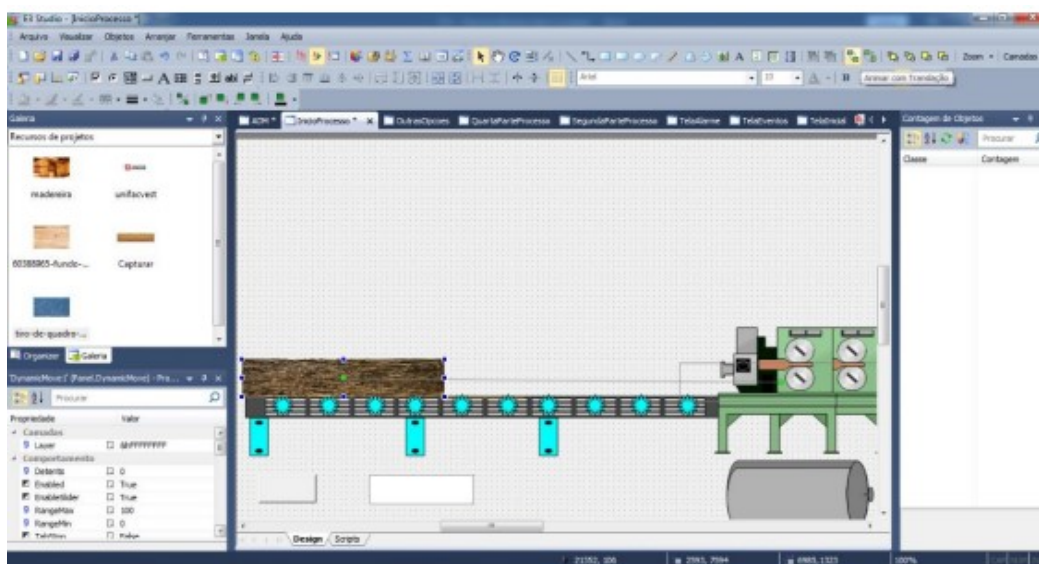
2.2.1 Sistema supervisório aplicado a automação industrial

O trabalho de conclusão de Hack (2019) aborda um sistema supervisório aplicado à automação industrial. O tutorial foi utilizado para ilustrar e explicar como construir um sistema supervisório para a administração de um processo industrial automatizado, com o objetivo final de alcançar altos níveis de precisão de controle. A incorporação de objetos de tela aumentou a interação do operador com a interface do sistema, fornecendo pistas visuais análogas ao processo subjacente. O termo “evento” se refere a qualquer coisa criada com a intenção de realizar uma determinada ação. A diversidade inerente às etiquetas inicia eventos internos, enquanto o uso de periféricos gera eventos externos. O *software* Elipse E3, uma plataforma SCADA, foi utilizado para construir o sistema de monitoramento (desenvolvido pela Elipse Software).

O objetivo deste trabalho foi mostrar os benefícios do controle preciso da produção e promover a criação de painéis que fazem uso de etiquetas, alertas e eventos. Também teve como objetivo mostrar como criar um sistema para manter um olho nas fábricas automatizadas. Os autores esperam que seu trabalho sirva como exemplo das capacidades do software Elipse E3, fornecendo uma caminhada detalhada da construção de um sistema de supervisão.

Esta referência se mostra de grande relevância para este trabalho, porque através de um sistema supervisor é possível reunir variáveis de processo, regulá-las e monitorá-las. Também é possível verificar o processo em tempo real, permitindo potencialmente a mudança de procedimento se alguma variável se desviar da faixa estabelecida do sistema de produção. Os resultados do estudo com esta base em tela podem ser aplicados ao planejamento e à implementação de qualquer tipo de processo industrial, uma vez que eles retratam todo o desenvolvimento de um sistema de supervisão. Na Figura 5 é mostrada a imagem da tela do sistema de supervisão com o Elipse E3.

Figura 5 – Imagem da tela do supervisor Elipse E3



Fonte: Hack (2019).

2.2.2 Automação de dispositivos de solda

O trabalho de conclusão de Silva (2018) aborda a automação de dispositivos

de solda. Silva demonstra a criação de um aparelho de soldagem para a automação robótica dos serviços de soldagem. Todo processo de automação de máquinas e equipamentos industriais seguiu os critérios de normas nacionais de segurança, para garantir os vários benefícios fornecidos no trabalho, incluindo a segurança física do operador e, em certos casos, o próprio local de trabalho.

O objetivo principal deste trabalho foi explicar o projeto de uma ferramenta de soldagem, para um processo automatizado de soldagem, para um cliente de seus clientes. O projeto visou fornecer a NR-12 em sua forma abreviada, dar uma breve visão geral da automação industrial e suas contribuições, descrever o processo de soldagem MIG e as precauções que devem ser tomadas para garantir sua execução segura, e oferecer a NR-12 em sua forma abreviada. O foco deste estudo é incentivar os especialistas em soldagem a usar métodos automatizados. A invenção de ferramentas pode ser utilizada em muitas áreas diferentes da indústria, tais como mão-de-obra mecânica, pneumática e sensoriamento de controle.

A relevância deste autor para o referido trabalho está em sua abordagem sobre a automação de dispositivos de solda para otimização.

2.2.3 Análise comparativa entre soldagem MIG/MAG manual e robotizada

O trabalho de conclusão de Schio (2013) aborda a análise comparativa entre soldagem MIG/MAG manual e robotizada, e expõe que a soldagem desempenha um papel fundamental no comércio com um método versátil e de baixo custo de união permanente de materiais. Há muitos indícios de que este processo faz parte de nosso ecossistema há pelo menos cinco mil anos. As últimas décadas de seu progresso têm sido meticulosamente documentadas. Um dos principais benefícios da soldagem é que ela permite a criação de uma união na qual os materiais retêm suas qualidades mecânicas e químicas.

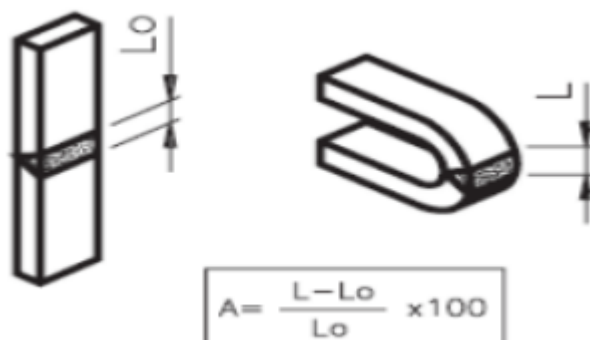
O objetivo deste estudo é comparar a qualidade estética e a resistência dos materiais da soldagem robotizada com a soldagem humana MIG/MAG, a fim de destacar os benefícios e desvantagens da utilização de um robô nas operações de soldagem, testes de tração, dureza e o tamanho da zona afetada pelo calor, que são apenas algumas das questões que serão abordadas como resultado.

As descobertas experimentais, juntamente com o desvio padrão para cada teste, mostraram que a soldagem robótica é mais consistente e confiável do que a

soldagem manual. Ao comparar a soldagem robotizada com a manual, a variação padrão na carga máxima é superior a mil Newtons, o que é um resultado significativo e proporciona maior confiabilidade para produtos que requerem muita criticidade. A partir das descobertas e dos desvios padrão para cada teste, ficou claro que a soldagem robotizada é mais consistente e confiável do que a soldagem manual. A carga diferencial máxima admissível é superior a mil Newtons. A solda robotizada tem um desvio padrão muito menor em comparação com as soldas feitas manualmente. Quando comparado com a solda manual, o robô proporciona maior confiabilidade para componentes altamente essenciais.

A relevância neste trabalho está na aceção da melhor metodologia de soldagem. Na Figura 6 pode ser vista a imagem das características da solda de uma peça metálica.

Figura 6 – Imagem das características da solda de uma peça metálica



Fonte: Schio (2013).

3 METODOLOGIA

Neste trabalho foram estudados os parâmetros necessários para controlar o processo de soldagem por resistência elétrica.

A metodologia aplicada neste estudo foi pesquisar em referenciais teóricos e empresas, os supervisórios mais aplicados, mais robustos e de maior confiabilidade na aplicação da ferramenta.

3.1 TIPO DE PESQUISA

A pesquisa neste trabalho foi de caráter qualitativo pois o intuito do trabalho é de compreender os efeitos dos parâmetros elétricos no processo de soldagem. É uma pesquisa aplicada ao monitoramento dos parâmetros elétricos de forma a permitir um plano de reação na ocorrência de falhas. Também é de caráter descritivo, pois descreverá os efeitos dos parâmetros no processo de soldagem e mostrará todo o seu desenvolvimento e resultados perante o experimento realizado, através de coleta de dados, análise e interpretação.

3.2 UNIVERSO DE ABRAGÊNCIA DA PESQUISA

O universo de pesquisa utilizado para estruturar o trabalho é o ambiente de prototipagem, onde não haverá muitos fatores que comprometam o funcionamento do dispositivo.

3.3 MÉTODO APLICADO

Neste trabalho, utilizou-se as especificações levantadas e um sistema de supervisão, para atingir os objetivos específicos. Buscou-se trabalhos que apresentam o funcionamento de um processo de soldagem e a influência dos parâmetros elétricos, como tensão, corrente elétrica e resistência elétrica. Estudou-se as especificações técnicas dos CLPs que tem entradas e saídas analógicas e digitais, bem como qual comunicação é a mais utilizada para aplicação do supervisório e verificou se a necessidade de uma fonte. Isto levou a uma metodologia em 4 fases.

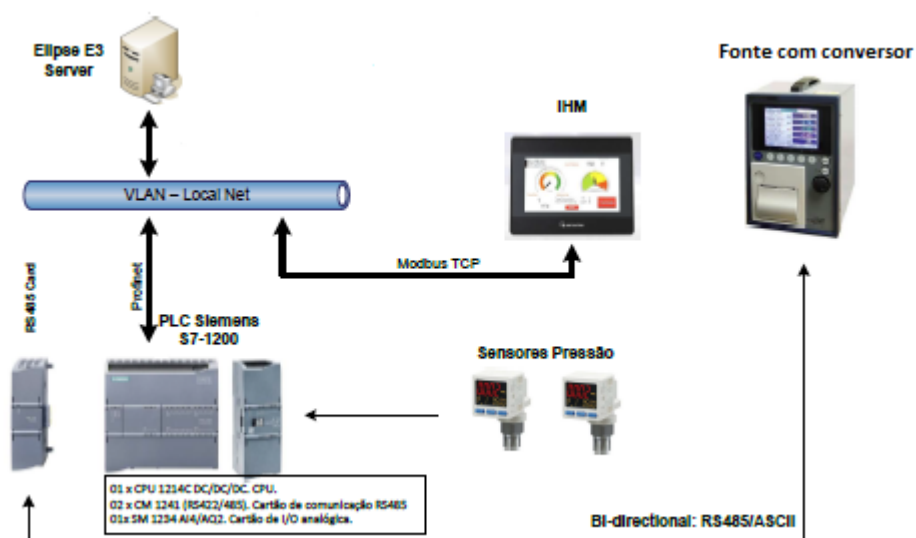
Na fase 1, será realizada uma análise de modos de falhas e seus efeitos do processo para definição das variáveis necessárias para monitoramento. Foram levantados os requisitos necessários para o processo, requisitos para atender a corrente elétrica necessária, e também a tensão, resistência elétrica, potência elétrica, pressão e tempo para realização de uma união, conforme a especificação. Para cada requisito foram verificados os modos e causas potenciais de falha e justificada a necessidade do monitoramento para cada parâmetro.

Na fase 2, será realizada a implementação dos sinais a serem monitorados. O módulo lógico LOGO da Siemens foi programado para simular as variáveis tensão, corrente, pressão, tempo, potência e resistência, gerando valores compatíveis com os valores esperados. O módulo irá simular a função do inversor de soldagem. Através da comunicação Modbus são enviadas as variáveis do processo para que o CLP Siemens S7 – 1200 controle o processo.

Na fase 3, será a implementação da supervisão do processo, em que será utilizado o supervisório Elipse E3 para supervisionar o processo de soldagem. O projeto conta com a utilização de CLP para coleta dos parâmetros durante o processo de solda ponto, enviando o sistema de supervisão. Serão utilizados os parâmetros elétricos, e serão determinados os limites para monitorar a funcionalidade do protótipo. Para realizar a validação dos limites monitorados, foram programadas rotinas de teste para simular valores que extrapolam os limites configurados do supervisório. Estas rotinas são disparadas por botões de teste de falha de corrente, teste de falha de tensão, teste de falha de resistência, teste de falha de tempo, teste de falha de pressão e teste de falha de potência. Na Figura 7 é mostrada a metodologia implementada.

Na fase 4, em que se realiza a programação de uma receita com os limites inferior e superior, conforme o CLP compara a corrente consumida, tensão, tempo de ciclo, pressão 1 e 2 dos eletrodos, resistência e potência. Para cada variável haverá o monitoramento informado e a partir da correlação dos valores medidos com os limites, o *status* do equipamento aparecerá na tela de supervisão. Na Figura 8 é mostrada uma imagem da tela do supervisório.

Figura 7 – Metodologia implementada



Fonte: Autor (2023).

Figura 8 – Imagem da tela do supervisor

Status	Máquina Parada
Célula	2
Máquina	SM09
Ordem	
Ficha	0
Lote	0
Produto	
Dimensão / Desenho	
Modo Solda	Corrente
Pressão 1	0
Limites	Mín: 0,00 Máx: 0,00
Pressão 2	0
Limites	Mín: 0,00 Máx: 0,00
Corrente	0
Limites	Mín: 0,00 Máx: 0,00
Tensão	0
Limites	Mín: 0,00 Máx: 0,00
Resistência	0
Limites	Mín: 0,00 Máx: 0,00
Potência	0
Limites	Mín: 0,00 Máx: 0,00
Tempo Ciclo	0
Limites	Mín: 0,00 Máx: 0,00

Fonte: Autor (2023).

4 RESULTADOS

Neste capítulo serão relatados os resultados do projeto, de modo que será primeiramente apresentada a análise dos requisitos do processo de soldagem, posteriormente a montagem do protótipo e seus respectivos resultados, e por fim será mostrada a validação para cada parâmetro.

4.1 FMEA DO PROCESSO DE SOLDAGEM

Para cada requisito foram verificados os modos e causas potenciais de falha e seguidamente foi justificada a necessidade do monitoramento para cada parâmetro. O Quadro 1 mostra a análise de modos de falhas e seus efeitos do processo.

Quadro 1 - Análise de modos de falhas e seus efeitos do processo

Requisitos	Modos e causas potenciais de falha	Monitoramentos para detecção
Resistencia elétrica do circuito durante a soldagem.	<ul style="list-style-type: none"> a. Resistividade do material não conforme especificado; b. Area de contato irregular; c. Area de contato contaminada; d. Pressão irregular; e. Configuração incorreta dos parâmetros; f. Geometria irregular da peça. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Corrente elétrica; b. Tensão; c. Resistencia durante o processo.
Tensão aplicada durante a soldagem.	<ul style="list-style-type: none"> a. Resistividade do material não conforme especificado; b. Area de contato irregular; c. Area de contato contaminada; d. Configuração incorreta dos parâmetros; e. Seleção de fonte de tensão incorreta. f. Geometria irregular da peça g. Resistencia de contato 	<ul style="list-style-type: none"> a. Tensão de entrada; b. Tensão de saída; c. Queda de tensão; d. Variação de tensão; e. Resistencia de contato.

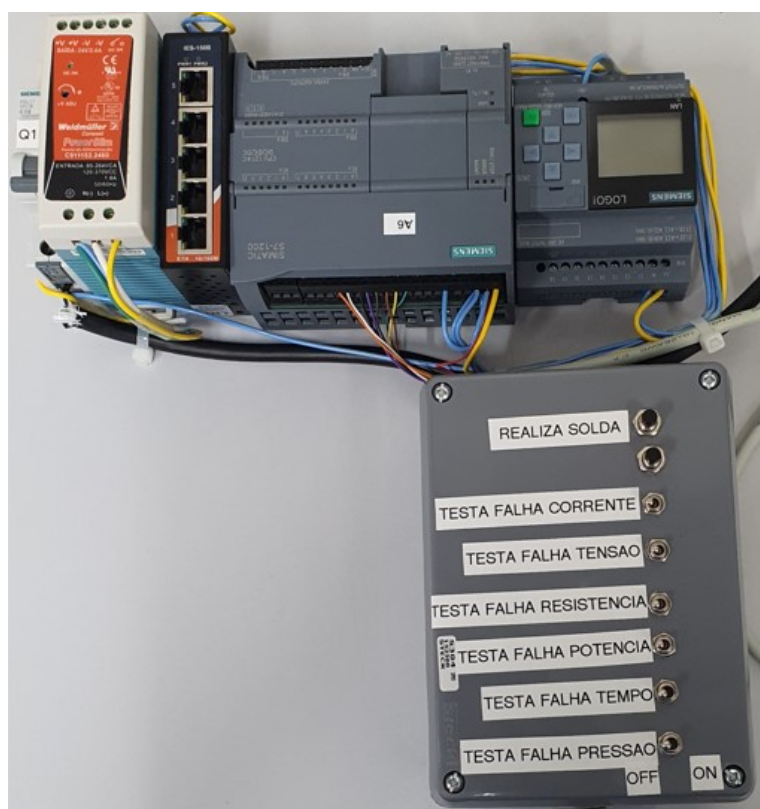
Corrente elétrica aplicada durante a soldagem	<ul style="list-style-type: none"> a. Resistividade do material não conforme especificado; b. Area de contato irregular; c. Area de contato contaminada; d. Pressão irregular; e. Configuração incorreta dos parâmetros. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Corrente de entrada; b. Corrente de saída; c. Variação de corrente; d. Tempo de aplicação de corrente.
Potência consumida durante a soldagem.	<ul style="list-style-type: none"> a. Configuração incorreta dos parâmetros; b. Resistividade do material não conforme especificado; c. Aquecimento irregular; d. Tempo de aplicação de corrente incorreto. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Corrente de saída; b. Resistencia de contato; c. Tensão de saída; d. Tempo de aplicação; e. Potência de saída.
Pressão dos eletrodos sobre os materiais durante a soldagem.	<ul style="list-style-type: none"> a. Resistividade do material não conforme especificado; b. Area de contato irregular; c. Area de contato contaminada; d. Pressão irregular; e. Configuração incorreta dos parâmetros; f. Geometria irregular da peça; g. Alimentação com material incorreto. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Corrente de saída; b. Resistencia de contato; c. Pressão dos eletrodos.
Tempo de aplicação de corrente elétrica.	<ul style="list-style-type: none"> a. Resistividade do material não conforme especificado; b. Espessura da peça incorreta; c. Area de contato irregular; d. Alimentação de eletrodo incorreto; e. Alimentação com material incorreto. 	<ul style="list-style-type: none"> a. Corrente de saída; b. Tempo de aplicação de corrente.

Fonte: Autor (2023).

4.2 IMPLEMENTAÇÃO DA PROVA DE CONCEITO

Para a montagem e simulação do processo, foi realizada interligação do módulo lógico Siemens Logo! V8 e do CLP Siemens S7 1200 CPU1214, através de rede ethernet. Para permitir acesso a todos os dispositivos, foi utilizada a rede ethernet e um *switch* Weidmüller, com 5 portas disponíveis. Para alimentação foi utilizada uma fonte de corrente contínua Weidmüller. A Figura 9 mostra o dispositivo montado para simulação.

Figura 9 - Dispositivo montado para simulação



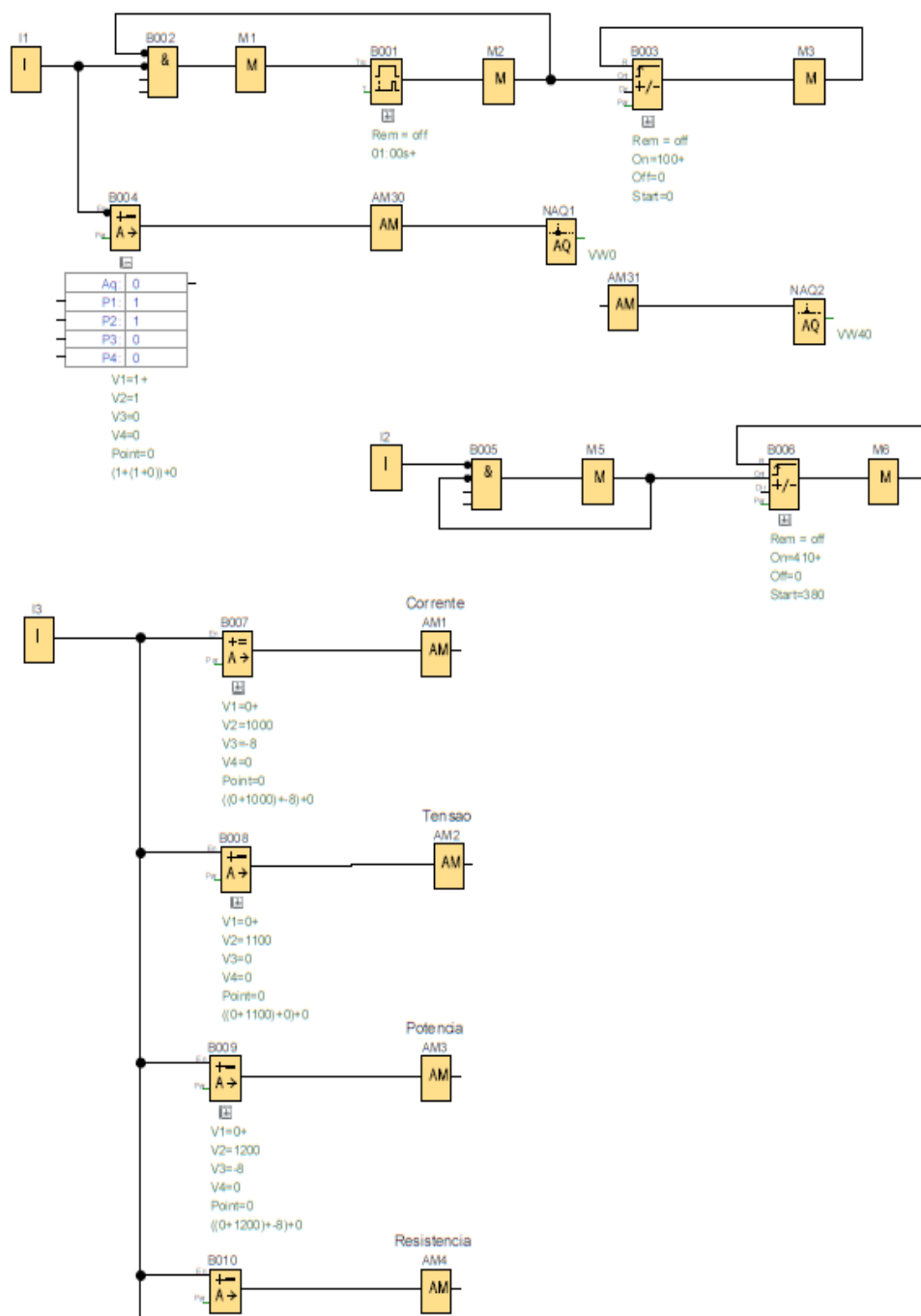
Fonte: Autor (2023).

A Figura 10 mostra um diagrama da programação do módulo lógico. Para cada parâmetro elétrico foi configurado um valor, simulando os valores gerados por um inversor de soldagem.

Foi programado no módulo lógico a geração de valores para os parâmetros de corrente, tensão, potência, resistência, tempo, pressão 1 e pressão 2, simulando o inversor de soldagem, durante a aplicação do processo.

O programa elaborado para o CLP Siemens S7-1200 consiste dos seguintes módulos:

Figura 10 – Imagem da programação do módulo lógico



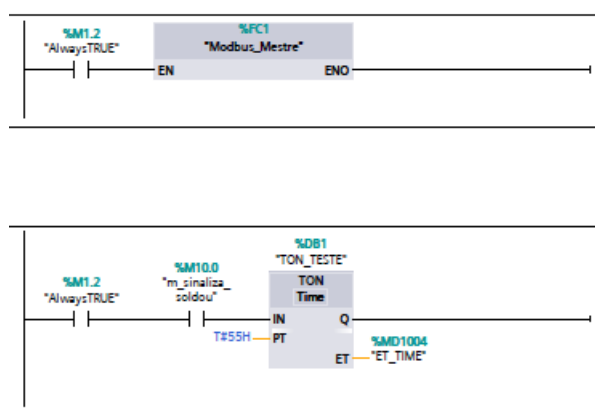
Fonte: Autor (2023).

- OB1 – *Main* – Rotina principal do sistema de controle;
- FC1 – Modbus – Rotina de controle da comunicação Modbus;
- FC10 – Dados – Rotina de controle do sistema de aquisição de dados;

- d. DB20 – Dados programados;
- e. DB22 – Dados lidos;
- f. DB24 – Comandos recebidos/enviados.

O bloco OB1 (*Organization Block 1*) é chamado de *Main*, sendo responsável pela chamada cíclica das outras funcionalidades do programa desenvolvido, sendo mostrado na Figura 11.

Figura 11 – Imagem 1 do bloco OB1 do CLP



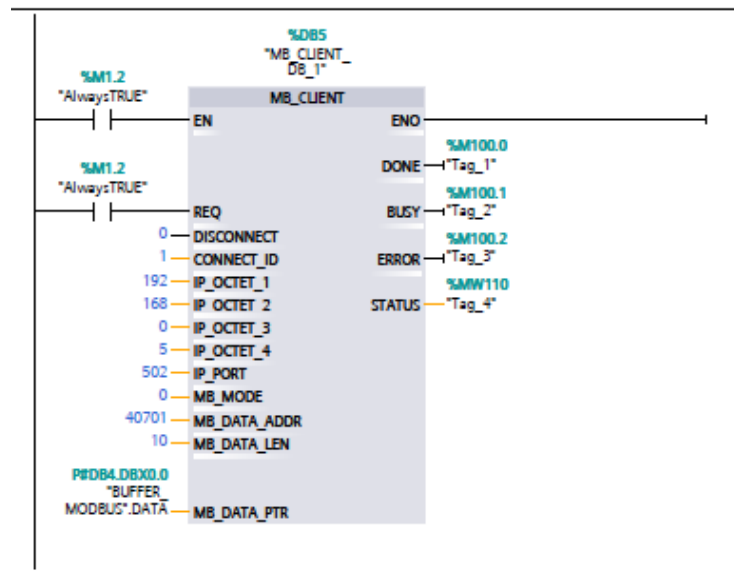
Fonte: Autor (2023).

Para realizar a validação do monitoramento, foram inseridos na programação, parâmetros que extrapolam os limites configurados no sistema de supervisão, que ao serem acionados, o sistema deve identificar. Foram inseridos botões para validar a tensão elétrica aplicada, corrente elétrica aplicada, potência consumida, resistência elétrica, tempo de aplicação de corrente elétrica e pressão dos eletrodos durante a soldagem.

O bloco FC1 (*Function Block 1*) é chamado de Modbus, sendo responsável pela chamada cíclica da rotina de comunicação Modbus. Neste bloco de função serão lidos os dados existentes no módulo LOGO, que simula o equipamento de solda. A Figura 12 apresenta a configuração Modbus cliente deste bloco.

O bloco FC10 (*Function Block 10*) é chamado de Dados, sendo responsável pela chamada cíclica da rotina de coleta dos dados, verificação da qualidade da solda e passagem dos dados para o supervisor. Neste bloco de função serão lidos os dados existentes no módulo LOGO, que simula o equipamento de solda.

Figura 12 – Imagem da configuração MODBUS cliente

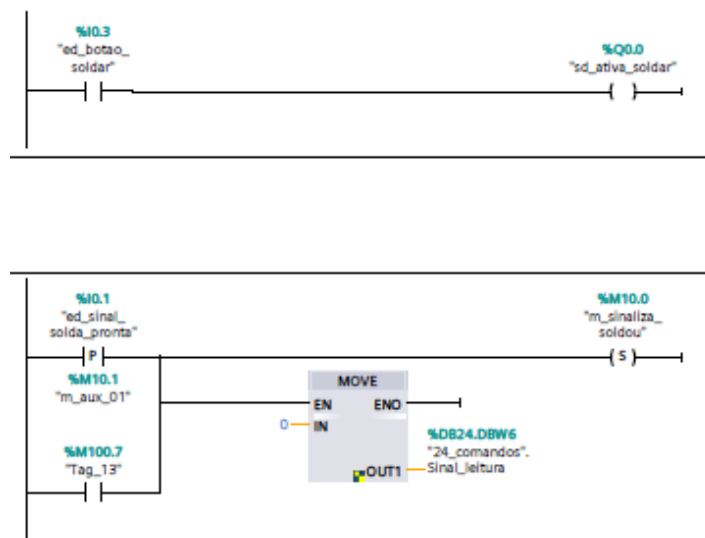


Fonte: Autor (2023).

No CLP temos a entrada I0.0 que recebe um sinal de início do processo de soldagem. A saída Q0.0 será ligada, ativando o equipamento de solda.

O equipamento de solda devolve um sinal de solda pronta, que ativa a entrada digital I0.1. O CLP memoriza que a solda foi executada e limpa a memória, que sinaliza que o supervisor registrou os dados da última leitura. A Figura 13 mostra a imagem da programação principal do CLP.

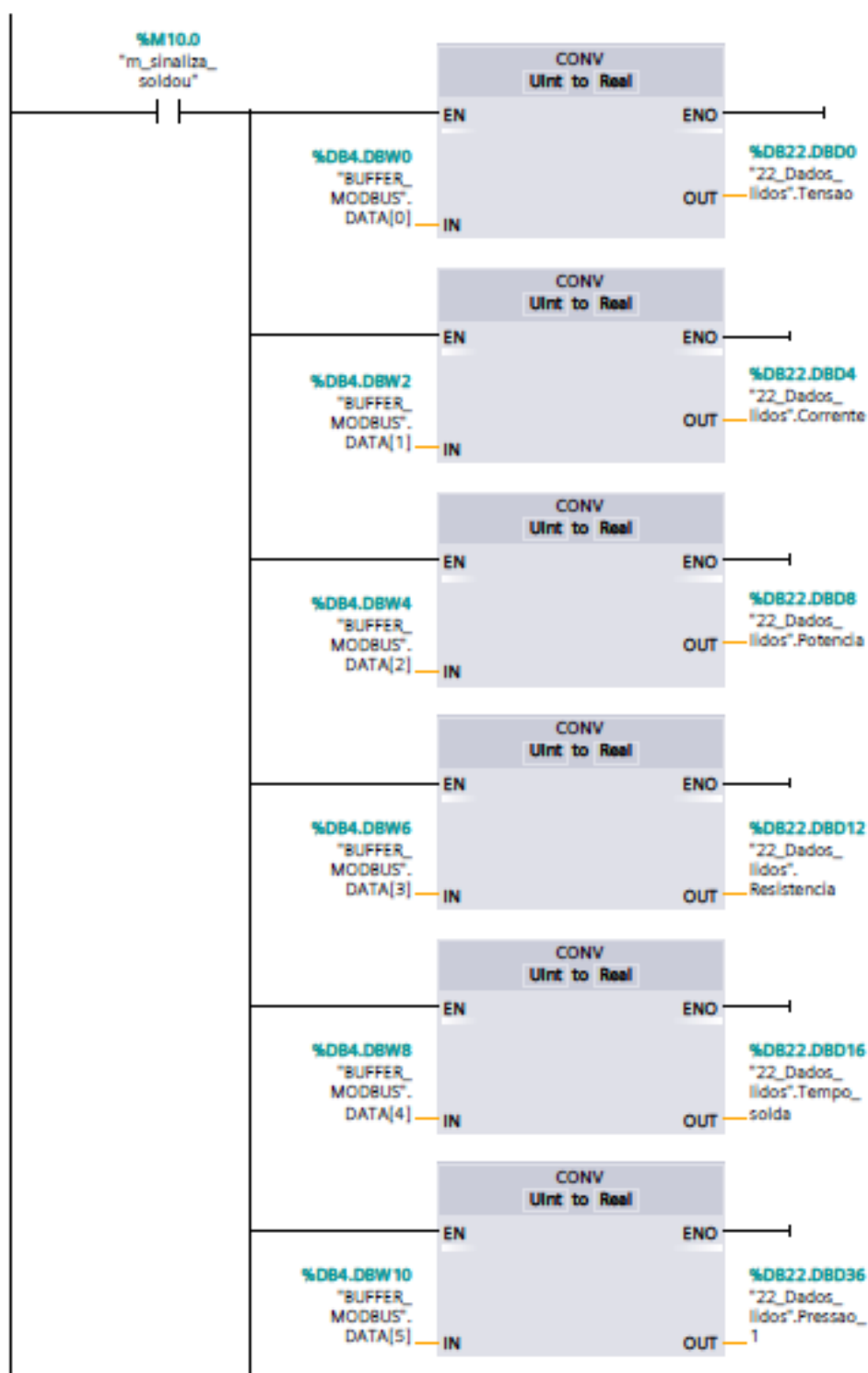
Figura 13 - Imagem da programação principal do CLP



Fonte: Autor (2023).

Então é feita a passagem dos dados lidos através do protocolo Modbus para um *data block*, este será utilizado para transferir os dados para o supervisor. A Figura 14 mostra a programação do CLP de passagem dos dados lidos.

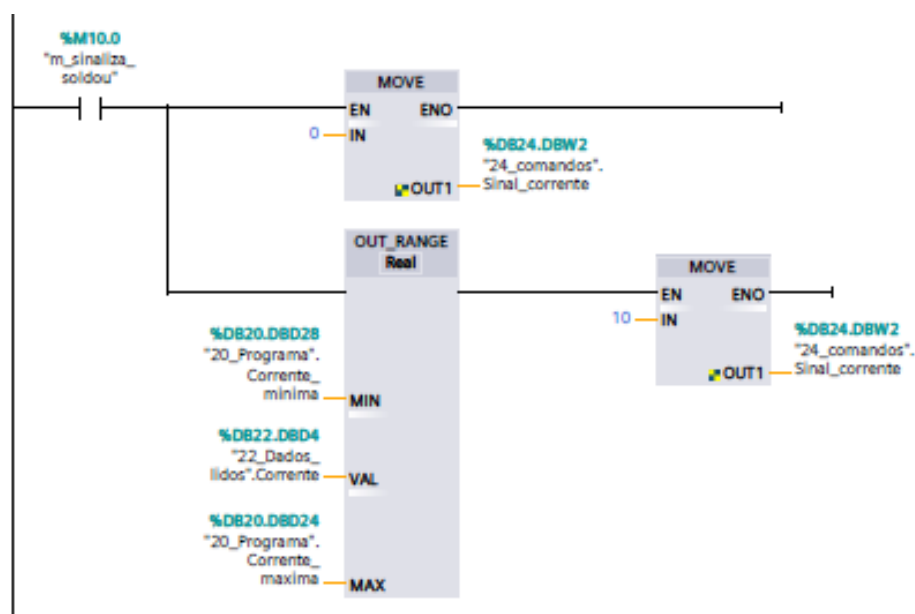
Figura 14 – Imagem do programa do CLP de passagem de dados lidos



Fonte: Autor (2023).

Após a atualização do *data block* é verificado se os valores dos parâmetros circulantes excederam os limites programados pelo supervisor. Caso afirmativo é gerada uma sinalização. Esta sinalização será adquirida pelo sistema supervisor e ficará disponível no banco de dados SQL. A Figura 15 mostra a programação do CLP da sinalização da corrente elétrica fora do limite configurado no sistema de supervisão.

Figura 15 – Imagem da programação do CLP da sinalização da corrente fora do range



Fonte: Autor (2023).

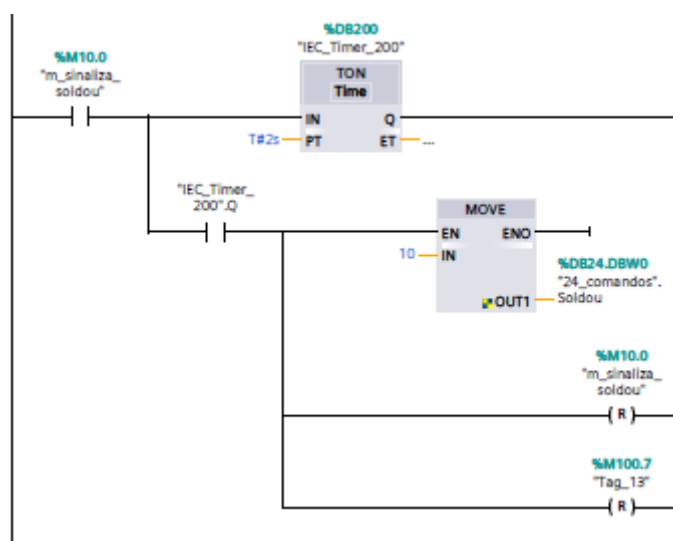
Após a verificação dos limites é carregado em um *tag* o valor 10, indicando para o supervisor que os dados existentes no *data block* são válidos.

Com isto o supervisor irá carregar os dados atuais, gerando uma gravação no banco de dados, onde tem-se os resultados das soldas realizadas. Na Figura 16 é mostrada a imagem de programação do CLP da sinalização de atualização dos valores.

Os dados de tensão, corrente, potência, resistência, tempo de solda, pressão 1, pressão 2, limite inferior e superior para cada parâmetros são programados no supervisor.

O *software* supervisor desenvolvido em Eclipse E3 tem três telas. A primeira tela permite a programação dos valores nominais e limites utilizados pelo equipamento de solda. Na Figura 17 é mostrada a imagem da tela de programação do usuário.

Figura 16 – Imagem da programação do CLP da sinalização de atualização dos valores



Fonte: Autor (2023).

Esta programação é passada para um *data block* no CLP Siemens S7-1200, que programa o equipamento de solda (módulo lógico).

A segunda tela do supervisor apresenta um gráfico de tendência, uma

Figura 17 - Imagem da tela de programação do usuário

Aplicação E3 Viewer - Título do Quadro

Programar Operação Dados Finalizar 2/6/23 11:2

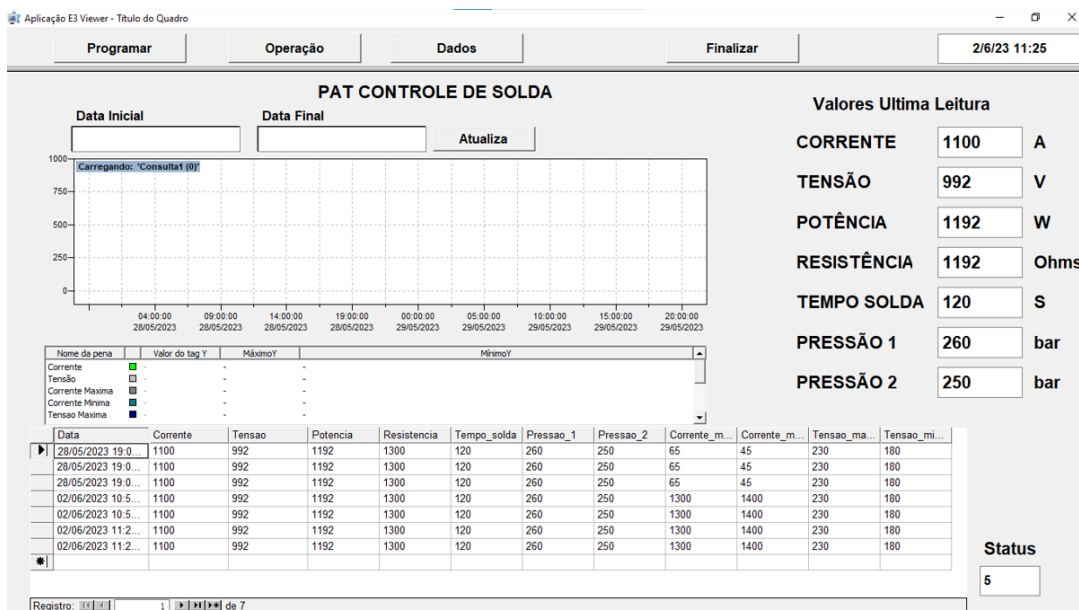
PROGRAMAÇÃO DO EQUIPAMENTO DE SOLDA

	Nominal	Máxima	Minima
CORRENTE	<input type="text" value="1200"/> A	<input type="text" value="1300"/> A	<input type="text" value="1400"/> A
TENSÃO	<input type="text" value="200"/> V	<input type="text" value="230"/> V	<input type="text" value="180"/> V
POTÊNCIA	<input type="text" value="24000"/> W	<input type="text" value="24500"/> W	<input type="text" value="23000"/> W
RESISTÊNCIA	<input type="text" value="100"/> Ohms	<input type="text" value="150"/> Ohms	<input type="text" value="130"/> Ohms
TEMPO SOLDA	<input type="text" value="100"/> mS	<input type="text" value="120"/> mS	<input type="text" value="80"/> mS
PRESSÃO 1	<input type="text" value="2"/> bar	<input type="text" value="5"/> bar	<input type="text" value="1"/> bar
PRESSÃO 2	<input type="text" value="2,5"/> bar		

Fonte: Autor (2023).

listagem dos valores armazenados no banco de dados e os valores da última leitura de dados válida, conforme mostrado na Figura 18.

Figura 18 - Imagem da tela de interação do processo com o usuário

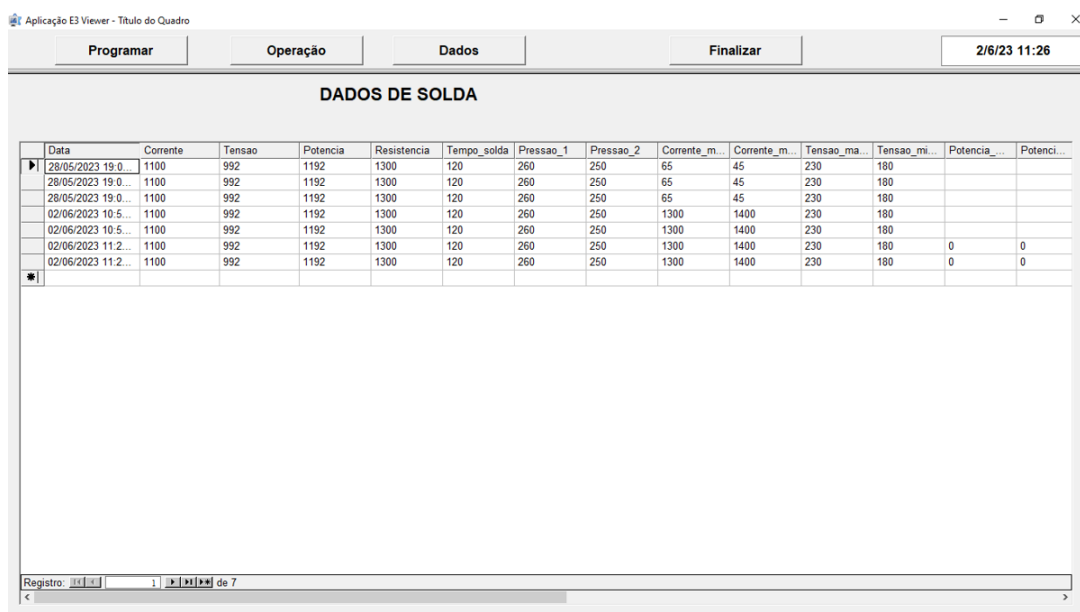


Fonte: Autor (2023).

A tela de dados de solda permite a visualização dos dados contidos no banco de dados com apresentação de um maior número de linhas do banco de dados, conforme mostrado na Figura 19.

O supervisor E3 utiliza um *driver* de comunicação, para se conectar ao CLP Siemens S7 1200 para ler os valores existentes nos *data blocks* existentes no CLP.

Figura 19 - Imagem da tela de valores armazenados no banco de dados e os valores da última leitura de dados válida



Este *driver* utiliza o protocolo TCP/IP para acessar os valores existentes na memória do CLP e trazê-los para o ambiente do supervisório.

Na atualização da leitura do *tag*, nomeada soldou, (DB24) está vinculado um *script*, que verifica se o valor do *tag* foi alterado. Quando o CLP é ligado este *tag* tem o valor 5, quando é concluída uma solda este *tag* é carregado com o valor 10.

O *script* verifica se o valor do *tag* é 10, então os dados são atualizados dos valores do equipamento de solda e serão gravados em um histórico (banco de dados SQL), ficando disponíveis para acesso e geração de gráficos. A Figura 20 mostra a configuração do gráfico.

Figura 20 - Imagem da configuração do gráfico do histórico

Propriedades de 'E3Chart1' (E3Chart)

Item	Posição	Geral	Eixos	Penas	Legenda	Consultas	Font	Associações
Nome da Pena	Estilo	Visível?	Link do Eixo Vertical	Link do Eixo Horizontal	Usar ...	Consulta		
Corrente		<input checked="" type="checkbox"/>	não usado	não usado		Consulta 1		
Tensão		<input checked="" type="checkbox"/>	não usado	não usado		Consulta 1		
Corrente Max		<input checked="" type="checkbox"/>	não usado	não usado		Consulta 1		
Corrente Minir		<input checked="" type="checkbox"/>	não usado	não usado		Consulta 1		
Tensao Maxim		<input checked="" type="checkbox"/>	não usado	não usado		Consulta 1		
Tensão Minim		<input checked="" type="checkbox"/>	não usado	não usado		Consulta 1		
Potencia		<input checked="" type="checkbox"/>	não usado	não usado		Consulta 1		
Resistencia		<input checked="" type="checkbox"/>	não usado	não usado		Consulta 1		
Tempo Solda		<input checked="" type="checkbox"/>	não usado	não usado		Consulta 1		
Pressão 1		<input checked="" type="checkbox"/>	não usado	não usado		Consulta 1		
Pressão 2		<input checked="" type="checkbox"/>	não usado	não usado		Consulta 1		

Fonte: Autor (2023).

4.3 CUSTO DA IMPLEMENTAÇÃO

Em termos de custos, para realização do estudo foram utilizados os recursos presentes na Tabela 1. Os valores são referentes ao mês de junho de 2023.

Tabela 1 - Recursos materiais utilizados no projeto

Recurso	Custo [R\$]	Disposição
Computador	3.800,00	1
Internet	-	-
Luz	-	-
Fonte	650,00	1
Cabos	55,00	5 metros
Software Elipse E3	-	1
Impresso	-	-
CLP S7 1200 Siemens	2.800,00	1
Modo Logico Siemens	1.250,00	1
Total:	8.555,00	

Fonte: Autor (2023).

5 ANÁLISE

Nesta seção serão abordadas as diferenças e semelhanças entre os resultados esperados e resultados obtidos, além de uma análise do funcionamento do protótipo, e uma análise da rotina de validação do sistema de monitoramento.

5.1 COMPARAÇÃO ENTRE RESULTADOS ESPERADOS E RESULTADOS OBTIDOS

Como resultados esperados para este trabalho, pretendeu-se monitorar o processo de soldagem através das variáveis elencadas e a sua viabilidade de desenvolvimento, prototipagem ou simulação. Também se buscou delimitar quais parâmetros são relevantes para monitoramento do processo e programar o *software* para aplicação do monitoramento. A análise dos modos de falha e suas causas permitiu delimitar os parâmetros, bem como faixas de valores a serem monitorados, conforme mostrado na Figura 21.

Figura 21 - Parâmetros a serem monitorados e faixas estipuladas

	Nominal	Máxima	Minima
CORRENTE	1200 A	1300 A	1400 A
TENSÃO	200 V	230 V	180 V
POTÊNCIA	24000 W	24500 W	23000 W
RESISTÊNCIA	100 Ohms	150 Ohms	130 Ohms
TEMPO SOLDA	100 mS	120 mS	80 mS
PRESSÃO 1	2 bar	5 bar	1 bar
PRESSÃO 2	2,5 bar		

Fonte: Autor (2023).

Da mesma forma, a meta de monitoramento foi atingida, com a montagem de um protótipo, o qual comunica-se com um sistema de supervisão para monitoramento e registro destes parâmetros durante o processo de soldagem. Foi possível identificar a variação existente entre os parâmetros, a cada soldagem.

5.2 VALIDAÇÃO DO SISTEMA PROPOSTO

Para validação do projeto proposto, foram programados junto ao CLP valores que extrapolaram os limites configurados no sistema de supervisão. Para cada parâmetro monitorado foi criado um botão com um valor gerando a anormalidade no processo.

Ao realizar o acionamento dos botões de teste de tensão de solda, teste de corrente de solda e teste de tempo de solda, estes valores foram identificados no histórico como parâmetros fora do especificado e no gráfico a indicação da anormalidade do processo.

5.3 ANÁLISE DA COMPATIBILIDADE COM EQUIPAMENTOS COMERCIAIS DE SOLDA

O sistema de supervisão desenvolvido está preparado para ser utilizado em equipamentos de soldagem disponíveis no mercado Miyachi ISA1000 e Isotron IHF-3, como mostrado na Figura 22.

Figura 22 - Equipamento de solda Isotron IHF-3.



Fonte: Autor (2023).

6 CONCLUSÃO

Neste trabalho foi realizada a prova de conceito de supervisão de equipamentos de soldagem por resistência elétrica, a partir do entendimento de como o processo funciona, observando que muitas empresas não monitoram as informações do seu processo produtivo comprometendo a estabilidade do processo, levando a ocorrência de problemas ou falhas.

Como solução a esta problemática, foram estudados os equipamentos de soldagem por resistência elétrica. Os tempos do processo e ajuste da corrente afetam a qualidade da solda. As condições ideais de fusão dos materiais devem ter a resistência nos eletrodos menor que no ponto de fusão dos materiais, pois comprometerá a fusão dos materiais.

O supervisório registra, organiza e disponibiliza as informações para os responsáveis em tempo real, além de adicionar conhecimento sobre o sistema, auxiliando na detecção de melhorias que podem ser implementadas no processo, buscando o aumento na eficiência e a diminuição de custos.

Com o projeto proposto, foi possível compreender o processo automatizado de soldagem por resistência elétrica e que os parâmetros são essenciais para controle do processo para obter uma eficiência adequada e a produção de qualidade. A aplicação de um supervisório mostrou ser uma ferramenta necessária para centralização do controle dos processos.

Para realização deste trabalho foram utilizados conhecimentos de diversas áreas do curso de graduação de engenharia de controle e automação, tendo como principais áreas: confiabilidade, controladores lógicos programáveis, redes industriais de comunicação, sistemas de supervisão e gerenciamento e gestão de projetos.

REFERÊNCIAS

AURES, J. H. V. **Estudo da formação, geometria e resistência do ponto na soldagem por resistência: uma abordagem estatística**. Brasília: UNB, 2006. Disponível em: https://brcris.ibict.br/vivo/display/publ_ddca0e47-ce50-472d-9e93-c75624d0892b Acesso em: 26 jun. 2023.

BRANCO, H. **Soldagem por Resistência**: Máquinas, Processos e Aplicações. Brasil: Editora MEPE, 2019. ISBN - 978-6580712021.

FRANCHI, C. M.; CAMARGO, V. L. A. DE. **Controladores Lógicos Programáveis – Sistemas Discretos**. 2. Ed. São Paulo: Érica, 2009. ISBN - 978-8536501994.

HACK, V. M. **Sistema supervisorio aplicado à automação industrial**. Santa Catarina: UNIFACVEST, 2019. Disponível em: <https://www.unifacvest.edu.br/assets/uploads/files/arquivos/09775-hack,-v.-m.-sistema-supervisorio-aplicado-a-automacao-industrial.-tcc,-2019.pdf>. Acesso em: 29 ago. 2022.

HERRING, B. R. **Ladder Logic Programming Fundamentals**. California; CreateSpace Independent Publishing Platform, 2015. ISBN: 978-1515248195

LAMBERTS, R.; SILVA, L. E. B. **Supervisorio e Controle de Processos Industriais**. São Paulo; Érica, 2016. ISBN: 9788536509517.

LAWRENCE, S. R. St. **Modbus RTU & TCP/IP: With the NET485 Modbus Gateway**. Canada; Chipkin Automation Systems, 2013. ISBN-13: 978-1938581173.

MARQUES, P. V., MODENESI, P. J., BRACARENSE, A.Q. **Soldagem: fundamentos e tecnologia**. 3 ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. ISBN - 978-8570417480.

MODBUS ORGANIZATION INC. **Modbus Organization Replaces Master-Slave with Client-Server**. 2020.

Disponível em: <https://modbus.org/docs/Client-ServerPR-07-2020-final.docx.pdf>. Acesso em: 08 jul. 2023.

PETRUZZELLA, F.D. **Controladores Lógicos Programáveis**. 4 ed. São Paulo, 2014. ISBN – 9780073510880.

PRUDENTE, F. **Automação industrial pneumática**. Grupo Gen – LTC, 2013. ISBN – 9788521621195.

RINALDI, J. S. **Modbus: The Everyman's Guide to Modbus**. Pewaukee; Real Time Automation, 2008. ISBN: 978-0977934407.

ROSÁRIO, J. **Princípios da Mecatrônica**. São Paulo; Pearson, 2005. 356p. ISBN - 9788576050100.

RWMA. **Resistance Welding Manual**. 4. ed. E.U.A., 1989. 443 p. Disponível em: <https://pubs.aws.org/p/323/rwma-resistance-welding-manual-revised-4th-ed>. Acesso em: 30 ago. 2022.

SANTOS, D. C. dos; SILVA, J. E. da; FERREIRA, F. M. de O. **Redes de Comunicação em Automação Industrial**. São Paulo: Novatec, 2015. ISBN: 978-8575224509

SCHIO, F. **Análise comparativa entre soldagem MIG/MAG manual e robotizada**. Rio Grande do Sul: UNIJUI, 2013. Disponível em: <https://bibliodigital.unijui.edu.br:8443/xmlui/handle/123456789/1871>. Acesso em: 30 ago. 2022.

SILVA, A. do N. **Automação de Dispositivos de Solda**. São Paulo: FUMEP, 2018. Disponível em: <http://brasil.fumep.edu.br/~phlbiblio/20001913.pdf>. Acesso em: 31 ago. 2022.

SILVA, J. A. da; SILVA, R. F. da; OLIVEIRA, L. P. de. Sistema de supervisão para processo de soldagem. **Revista Brasileira de Soldagem**, São Paulo, v. 33, n. 1, p. 31-41, 2016. Disponível em: https://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1983-47642016000100031. Acesso em: 02 abr. 2023.

TUBBS, S. P. **Ladder Logic for Practical Applications**. California; Steven Engineering, Inc, 2012. ISBN: 978-0983779864

YADAV, G.; PAUL, K. **Architecture and Security of SCADA Systems**: A review: International Journal of Critical Infrastructure Protection, volume 34, 2021. 100433. ISSN 1874-5482. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1874548221000251>. Acesso em 03 abr. 2023.

WAINER, E.; BRANDI, S. D.; DE MELLO, F. D. H. **Soldagem: Processos e Metalurgia**. São Paulo; Blucher, 1992. ISBN: 8521202385