

COMPARATIVO DE REDES DE COMUNICAÇÃO DE ROBÔS INDUSTRIAIS

Autor: Danilo José Demétrio, aluno Curso Pós-graduação em Automação Industrial e Robótica
Faculdade SENAI de Taubaté, Taubaté, São Paulo, e-mail danilodjd79@gmail.com

Co-Autor: Orlando Rosa Junior, docente do Curso de Pós-Graduação em Automação Industrial e
Robótica, e-mail: orlando.junior@sp.senai.br

Orientador: Alex Pisciotta, docente do Curso de Pós-Graduação em Automação Industrial e
Robótica, e-mail: alex.pisciotta@sp.senai.br

Resumo: Automação é recurso decisivo adotado pelas empresas para conquistar espaço no mercado mundial, reduzindo custos operacionais e perdas nos processos, aumentando a capacidade produtiva e os níveis de segurança. Adicionalmente, a coleta de dados do processo em tempo real possibilita tomadas de decisões de grandes relevâncias e se torna um diferencial para quem se utiliza das ferramentas relacionadas ao pilar *Big Data and Analytics* dentro do conceito de indústria 4.0. Para que bons resultados sejam alcançados, deve haver a intersecção entre sistemas robotizados e redes de comunicação industriais. Baseando-se em estudos da área e na importância dos protocolos de comunicação, aborda-se neste artigo um comparativo dos tipos de protocolos que estão em uso na indústria. O objetivo deste artigo é abordar vantagens e desvantagens, comentando os desafios enfrentados por equipes de engenharia e manutenção na implantação dessas redes industriais para processos robotizados, em uma célula de soldagem aplicada em uma indústria automotiva. Identifica-se que há certa complexidade na escolha do protocolo adequado para implementação de uma célula de manufatura robotizada e que se faz necessário levar em consideração as características físicas do ambiente onde será implementado o processo de robotização, e boas práticas para garantir um sistema confiável e seguro.

Palavras-chave: Robotização, Protocolos Industriais, TCP/IP, DeviceNet, Ethernet/IP

COMPARATIVE OF INDUSTRIAL ROBOT COMMUNICATION NETWORKS

Abstract: Automation is a decisive resource adopted by companies to gain space in the global market, reducing operational costs and process losses, increasing production capacity and safety levels. Additionally, collecting process data in real time enables highly relevant decision-making and becomes a differentiator for those who use tools related to the Big Data and Analytics pillar within the concept of industry 4.0. For good results to be achieved, there must be an intersection between robotic systems and industrial communication networks. Based on studies in the area and the importance of communication protocols, this article discusses a comparison of the types of protocols that are in use in the industry. The objective of this article is to address advantages and disadvantages, commenting on the challenges faced by engineering and maintenance teams in implementing these industrial networks for robotic processes, in a welding cell applied in an automotive industry. It is identified that there is a certain complexity in choosing the appropriate protocol for implementing a robotic manufacturing cell and that it is necessary to consider the physical characteristics of the environment where the robotization process will be implemented, and good practices to guarantee a reliable system it's safe.

Keywords: Robotization, Industrial Protocols, TCP/IP, DeviceNet, Ethernet/IP

1. Introdução

A indústria, assim como qualquer negócio, tem se adaptado às mudanças sociais e econômicas mundiais provenientes da quarta Revolução Industrial. A produção industrial tem alcançado grandes resultados produzindo rápido e com boa qualidade. Os autores reforçam a importância de continuar produzindo de forma cada vez mais sustentável (REIS RC, *et al* 2023). Do ponto de vista da implantação destes novos sistemas, faz-se necessário fugir das metodologias de automação rígidas, que conforme

(SEGURA P, *et al* 2021) devem se utilizar do estado da arte no que trata de sistemas robóticos com recursos de automação robustos.

Przybył A (2018) abordou a implantação de interfaces de comunicação em tempo real para sistemas mecatrônicos. Ele se utilizou de *hardware field programmable gate array* (FPGA) para oferecer um melhor desempenho que soluções comerciais. O intuito era operar na *Ethernet Physical Layer* (PHY) visando um melhor desempenho que outros mecanismos de transmissão por barramento de campo. Eles conseguiram desenvolver um protótipo que executava as funções de forma adequada e operando em *full-duplex*, o que permitia dividir os canais de transmissão e recepção dos dados. O autor demonstrou a preocupação da comunidade acadêmica por soluções que atendessem também os anseios da indústria por sistemas mais confiáveis e eficientes.

Strimovskaya A e Barykin S (2023) abordaram a problemática que envolve a *Industrial Information Integration* (III), onde diversas formas de integração entre dispositivos e ativos industriais hoje precisam também ser conectados a sistemas de informação. Eles mencionaram o problema de alocação de recursos como sendo um dos grandes desafios estratégicos para alcançar as metas pretendidas em projetos industriais. Os autores propuseram um protocolo para desenvolvimento de projetos integrados que facilitasse a tomada de decisão por parte da Engenharia de Sistemas. Um dos desafios mencionados por eles foi o fato de integrar o ambiente a plataformas de computação em nuvem, mencionadas como *Cloud Manufacturing*.

As pesquisas atuais vão além da estruturação convencional da automação. Kumar R e Agrawal N (2023) abordam os desafios na gestão de dados em plataformas *Industrial Internet of Things* (IIoT) como desafios nesta nova forma de integração de processos industriais. Além dos elementos de automação já citados, os autores colocam ferramentas como computação em nuvem como formas disruptivas de resolver os problemas já conhecidos na produção industrial. Colabianchi S, *et al* (2023) apresentam o uso de agentes conversacionais, também conhecidos como bots, que, usando uma linguagem natural, podem responder aos operadores sobre o status das máquinas, eliminando as Interfaces Homem-Máquina (IHM) e seus sistemas de ícones, barras deslizantes e botões.

2. Evolução temporal da robótica

A incorporação de robôs nos processos industriais iniciou-se no século XX, e desde então tem evoluído significativamente em termos de tecnologia e aplicação, causando grande impacto na indústria. Nas décadas de 1950 e 1960, o início da robotização nos processos industriais, foi marcado pelo desenvolvimento da Unimate, o primeiro robô industrial programável, criado por George Devol e Joseph Engelberger em 1961. O Unimate foi utilizado em linhas de produção automotiva para realizar tarefas repetitivas e perigosas, como movimentação e manuseio de peças pesadas. Em 1970 a robótica industrial começou a se expandir, com várias empresas desenvolvendo seus próprios robôs programáveis para aplicações específicas (GAO Z, *et al* 2020).

Nos anos 90 a robótica se tornou mais flexível e multifacetada, com a introdução de robôs com mais graus de liberdade, melhorias nos sistemas de controle e maior capacidade de programação para serem utilizados em uma ampla gama de setores industriais: automotivo, eletrônico, alimentício, embalagens e farmacêutico, entre outros (GAO Z, *et al* 2020).

A tecnologia de visão computacional começou a ser empregada com robôs, permitindo a detecção e a manipulação de objetos de forma mais inteligente. Após os anos 2000 a

robótica colaborativa ganhou destaque, permitindo que os robôs interajam de forma segura com os seres humanos no mesmo ambiente de trabalho surgindo os robôs autônomos, capazes de realizar processos e trabalhos em ambientes complexos e executar tarefas em diferentes locais. Juntamente com os avanços nos sensores e a inteligência artificial, o aprendizado de máquinas permitiu que os robôs se tornassem mais autônomos, adaptativos e capazes de tomar decisões em tempo real. Atualmente a inteligência artificial e a robótica continuam a se fundir, com o desenvolvimento de robôs mais inteligentes, capazes de aprender, se adaptar e interagir de forma mais natural com os seres humanos (GAO Z, *et al* 2020), (GOPINATH V, *et al* 2021).

Contudo com o advento da indústria 4.0 a robótica industrial vem se desenvolvendo e ocupando um papel primordial na dinâmica da manufatura colaborativa, como representado na figura 1 abaixo, segundo os autores (GAO Z, *et al* 2020),).



Figura 1. Evolução temporal da robótica adaptado do artigo (GAO Z, *et al* 2020).

No entanto, apesar dos muitos benefícios oferecidos pela Robótica 4.0, ela se apresenta com vários desafios aos profissionais atuantes neste setor de tecnologia exigindo conhecimentos diversos em operações, programações e manutenções destes equipamentos de grande robustez e alta tecnologia onde os profissionais tendem a reunir conhecimentos em mecânica, elétrica, eletrônica, programação, redes industriais entre outras.

3. Sistemas de comunicação industrial

Conforme os estudos de Granermann A, (2020), o artigo de Breiling B, *et al* (2017) e Gao Z, *et al* (2020) os protocolos de comunicação mais comuns usados na implementação de sistemas robotizados são:

- Interfaces de E/S (entrada/saída), para controlar os movimentos do robô e trocar dados com outros dispositivos industriais;
- *DeviceNet*, desenvolvido pela *Open DeviceNet Vendor Association* (ODVA) e baseado no padrão de comunicação CAN (*Controller Area Network*). Este sistema permite a conexão de dispositivos de campo;
- *Profibus*, protocolo usado principalmente em aplicações de automação industrial;
- *Modbus* era frequentemente empregado em sistemas de controle de supervisão e aquisição de dados (SCADA) para interconectar dispositivos em uma planta industrial;
- *Ethernet/IP* que oferece comunicação em tempo real e robustez

estrutural;

- *Profinet* que suporta comunicação em tempo real e oferece recursos avançados, como diagnóstico remoto e programação em tempo real;

- OPC UA (Comunicação de Protocolo Aberto Arquitetura Unificada), que se define por um padrão aberto e independente de plataforma para comunicação que permite a troca de informações entre dispositivos e sistemas de diferentes fabricantes;

De acordo com o artigo Gündoğan C, et al (2021), uma das opções que vem se firmando nas redes que abrange a indústria 4.0 para publicação de dados IIoT em nuvem é o MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) que permite comunicação de dados em tempo real e monitoramento de dispositivos, útil para a integração de sistemas de robótica em aplicativos de *Internet das Coisas Industrial* (IIoT).

Essa integração atual pode ser observada na figura 2 a seguir citada no artigo de (GAO Z, et al 2020).

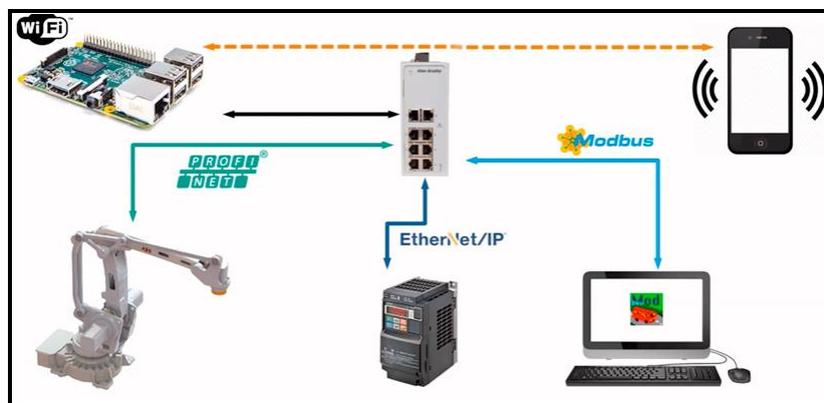


Figura 2. Integração horizontal de um sistema robótico atual (GAO Z, et al 2020).

4. Descrição dos protocolos

4.1. Interface de entrada e saída

De acordo com Laitila T, (2020) e Jeong HS, et al (2017), as redes de comunicações com a topologia ponto a ponto ou ponto-multiponto envolvem a conexão direta de cada robô a um controlador mestre. Nesse tipo de configuração, cada robô é tratado como um nó individual na rede, e o controlador mestre é responsável por enviar comandos e receber dados de cada robô individual para que possa ser identificado pelo controlador mestre. Utilizam-se cabos dedicados para conectar cada robô ao controlador mestre. Esses cabos podem ser cabos *Ethernet*, RS-232 ou qualquer outro meio de comunicação suportado por robôs e pelo controlador. Porém é importante notar que esse tipo de instalação ponto a ponto pode se tornar mais complexa e difícil de gerenciar à medida que o número de robôs aumenta.

4.2. Protocolo *EtherCAT*

O *EtherCAT* (*Ethernet for Control Automation Technology*) é um protocolo de comunicação de alta velocidade amplamente utilizado em aplicações de automação industrial. Foi desenvolvido pela *EtherCAT Technology Group* (ETG) e é conhecido por sua eficiência e é fundamental em sistemas de controle de máquinas e robôs onde a sincronização precisa é crítica. Utiliza uma topologia em anel, estrela ou linha, onde o dispositivo na rede lê os dados relevantes à medida que passam por ele. Isso elimina a necessidade de armazenar e processar grandes quantidades de dados em cada nó,

reduzindo a latência e aumentando a eficiência da rede, sendo vantajoso em sistemas que exigem alta taxa de atualização de dados, como controle de movimento de alta precisão. Também é compatível com *Ethernet* padrão, o que facilita a integração em redes de TI (Tecnologia da Informação) existentes. Inclui recursos avançados de diagnóstico que permitem a identificação rápida de problemas na rede, o que é vital em ambientes de fabricação (PRYTZ G, 2008), (CHUANG WL, *et al* 2021), (WU X, *et al* 2019) e (BOHUSLAVA J, *et al* 2017).

4.3. Protocolo *DeviceNet*

De acordo com a interpretação de Granermann A, (2020) e Gao Z, *et al* (2020) a utilização do protocolo CAN como base transmitida ao *DeviceNet* é um meio de comunicação confiável e robusto, com alta velocidade de transmissão e tolerância a ruídos. Normalmente utiliza cabos de par trançado blindado para garantir a imunidade à interferência eletromagnética onde um único cabo conecta todos os dispositivos através de um endereço único, permitindo a comunicação ponto a ponto. Os conectores são projetados para facilitar a conexão e desconexão dos dispositivos sem interromper a rede. O fornecimento de energia para os dispositivos conectados através do mesmo cabo de comunicação elimina a necessidade de cabos de alimentação separados para cada dispositivo.

4.4. Protocolo *Ethernet IP*

O *Ethernet/IP* é um protocolo de comunicação amplamente utilizado na indústria, conforme os artigos Jaloudi S, (2019), Lin e Pearson, (2018), Wu, *et al* (2019) e os estudos de conclusão de curso Baretta J, (2022) que, especialmente na robótica industrial, permite a troca de dados em tempo real entre dispositivos conectados em uma rede *Ethernet*. Este protocolo de comunicação industrial foi desenvolvido pela ODVA (*Open DeviceNet Vendor Association*) e é baseado no protocolo *Ethernet/IP*. Pode utilizar diferentes topologias de rede, incluindo a topologia em estrela, barramento e anel. Dependendo das necessidades da aplicação industrial especificada, a velocidade pode variar, dependendo do *hardware* e dos dispositivos envolvidos. As velocidades comuns são 10 Mbps, 100 Mbps e 1 Gbps, permitindo alta taxa de transferência de dados e conexões ponto a ponto que cada dispositivo na rede tem um endereço IP único para que os dados possam ser direcionados de forma eficiente para o dispositivo correto.

É compatível com o conjunto de protocolos TCP/IP, o que facilita a integração com outros sistemas de rede e a troca de dados em uma rede corporativa maior. Suporta a QoS (*Quality of Service*) e tem prioridade na rede para evitar atrasos e perdas de pacotes e recursos de segurança para proteger os dados e os dispositivos em rede, incluindo autenticação de dispositivos e criptografia de dados para evitar acessos não autorizados (GÜNDOĞAN C, *et al* 2021) e (LIN Z, *et al* 2018).

4.5. Protocolo *Profinet*

O *Profinet* é uma evolução do protocolo *Profibus*, com suporte para comunicação em tempo real e recursos avançados adicionais, como diagnóstico remoto, permitindo que os problemas na rede ou nos dispositivos conectados sejam identificados rapidamente, melhorando a eficiência da manutenção. Além de suportar programação em tempo real, permite configurações e atualizações rápidas dos dispositivos em operação sem interromper o funcionamento da rede ou dos processos industriais.

O *Profinet* é construído em cima da infraestrutura de rede *Ethernet* padrão (IEEE 802.3), permitindo uma integração mais fácil com a infraestrutura de rede existente em ambientes industriais com alta velocidade e alta taxa de transferência, suportando várias

velocidades de rede, como 100 Mbps e 1 Gbps. Oferece suporte a várias topologias de rede, incluindo barramento e anel, permitindo a flexibilidade na configuração e expansão da rede de automação industrial de acordo com pesquisas dos autores de referência (BARETTA J, 2022), (GRANERMANN A, 2020), (PEREIRA C, *et al* 2008), (SOLOWJOW, *et al* 2020).

4.6. Protocolo OPC UA

OPC UA é projetado para ser independente de plataforma e é implementado em cima de diferentes níveis de comunicação, incluindo *Ethernet*, TCP/IP e outros controles de transporte de dados. Possui algumas características-chaves que o tornam uma escolha popular para comunicação na automação industrial:

- Pode ser implementado sobre diferentes camadas de transporte de dados, como TCP/IP, HTTPS ou até o mesmo UDP para comunicação em tempo real;

- Possui recursos avançados de segurança, incluindo criptografia, autenticação de usuários e integridade de dados. Isso garante a confidencialidade e integridade das informações transmitidas na rede, protegendo contra ameaças cibernéticas (BOHUSLAVA J, *et al* 2017).

- Com modelagem de informação flexível, comunicação eficiente, compartilhamento de informações estruturadas e organizadas em formato padrão, suporta arquiteturas cliente/servidor e *peer-to-peer*. Essa flexibilidade permite a implementação de soluções personalizadas para atender às necessidades específicas de uma aplicação e compatibilidade com padrões industriais ISA-95 e *PLCopen* (LIN H, *et al* 2019) e (VALENZUELA E, *et al* 2023).

4.7. Protocolo MQTT

O MQTT (*Message Queuing Telemetry Transport*) é um protocolo de mensagens leve e eficiente projetado para facilitar a comunicação entre dispositivos em redes com largura de banda limitada e recursos computacionais restritos. Embora não seja exclusivamente um protocolo de robótica industrial, o MQTT é amplamente utilizado na indústria, especialmente em aplicações da *Internet Industrial das Coisas* (IIoT) e automação devido à sua simplicidade, escalabilidade e baixo consumo de energia, seguindo um modelo de comunicação assíncrona no qual os dispositivos enviam e recebem mensagens sem a necessidade de estabelecer uma conexão contínua (LIN H, *et al* 2018). Permite que os dispositivos se comuniquem de forma eficiente e reduzam a sobrecarga na rede. Os níveis de QoS (*Quality of Service*) variam entre 0 e 2 e utilizam um broker de mensagens como intermediário para rotear as mensagens entre os dispositivos. O corretor gerencia os pacotes apresentados e as assinaturas, garantindo que as mensagens sejam entregues aos destinatários corretos e mantenham uma conexão, permitindo uma comunicação contínua e rápida quando necessário. Suporta autenticação e criptografia, garantindo a segurança das mensagens transmitidas na rede (JALOUDI S, 2019), (HSIAO C, *et al* 2021) e (KHAN WZ, *et al* 2020).

5. Metodologia

De acordo com a proposta de revisão bibliográfica e pesquisa de revisão sistemática pode-se observar as definições de protocolos de redes e as vantagens de se implementar, porém para que se possa realizar uma escolha eficiente de qual protocolo se usar deve se levar em consideração as características do processo de manufatura que se está

automatizando e robotizando, observando o controlador escolhido e os periféricos que serão usados na implementação. O ambiente também denota uma grande atenção, pois os entornos da instalação podem influenciar nesta decisão. Alguns problemas podem ocorrer como:

- Conexões físicas instáveis, levando a falhas de comunicação por cabos soltos;
- Conectores danificados ou frouxos por processos que sofrem com vibrações intensas, impactos e dilatações relacionadas a variações de temperatura, podendo resultar em intermitências frequentes na comunicação ou perda completa de conexão e dados importantes para o processo (LIU Y, *et al* 2018).

Outro fator importante a ser considerado na questão de ambientes industriais é a tolerância das interferências eletromagnéticas devido à presença de equipamentos elétricos e máquinas de grande porte que podem causar ruídos na comunicação, afetando a qualidade dos sinais transmitidos, sobretudo em processos rastreados onde são coletadas informações importantes para sistemas de gerenciamento de processos.

A configuração da rede é de grande importância pois pode levar a problemas de comunicação como endereçamento de IP incorreto, configurações de roteamento incorretas, restrições de *firewall* que podem impedir uma comunicação eficaz entre os dispositivos e latência (ou atraso entre o envio de um pacote de dados e sua chegada ao destino), que envolvem comunicação em tempo real.

Os dispositivos e sistemas podem usar protocolos de comunicação diferentes e a falta de compatibilidade entre os protocolos usados pelos robôs e outros dispositivos pode impedir a eficácia da comunicação. É essencial garantir a interoperabilidade dos dispositivos por meio da padronização dos protocolos ou do uso de *gateways* de comunicação adequados. O *Gateway* padrão normalmente é o endereço IP do roteador que se conecta à rede interna com uma rede externa.

Para identificar a relevância de cada um dos fatores supracitados, considerou-se um processo de soldagem de peças automotivas em uma célula robotizada composta de três robôs da marca Yaskawa Motoman MH24 e controlador DX200 *Eurobots* com comunicação *Ethernet IP*, configurados para realizar pontos e cordões de soldagem do tipo MIG/MAG. Fazem parte do conjunto os controladores de soldagem (máquinas de solda) do fabricante Fronius e três servo-motores para movimentação das mesas de gabaritos. Onde os dispositivos que fixação as peças para montagem de forma correta são atuadas por um bloco de válvula pneumático e sensores magnéticos de ranhura que identificam o estado de avançado e de recuado de cada cilindro que compõem os dispositivos do gabarito.

E outros dispositivos de hardware como IHM (interface homem máquina), PLC (Controlador lógico programável) de controle e PLC (Controlador lógico programável) de segurança. Exige-se, para este processo, uma rede confiável para que todos estes periféricos possam se comunicar com eficiência e assim termos um processo confiável (EFIMOV AY, *et al* 2019).

Processos compostos por robôs que realizam tarefas onde havendo a ocorrência de falhas na rede deixando de receber os comandos os quais foram programados, causam paradas e erros no processo, para impedir as falhas de envio e recebimento de pacotes de dados incompletos ou corrompidos é recomendado a utilização de *switch Ethernet* gerenciáveis e implementação de QoS (*Quality of Service*) para priorizar o tráfego de

dados. Para evitar problemas na autenticação segura, tem-se o recurso da criptografia para proteger os dados transmitidos de ataques cibernéticos e *timeouts* para reconexão e lidar com falhas temporárias de perda de conexão. Implementar sistemas de detecção de desconexão e notificação imediata e projetar arquiteturas de rede com tolerância a falhas e redundância, garantindo uma rede confiável e robusta sensível ao tempo de envio e recebimento de pacotes de dados (BELLO L, *et al* 2019). Além dessas soluções, é importante adotar boas práticas de projeto. Isso inclui realizar testes de desempenho, treinar a equipe, ter *backups* de configurações, manter sistemas atualizados com correções de segurança e implementar políticas de segurança cibernética (PARK MH, *et al* 2018).

O sistema de célula de soldagem MIG/MAG robotizada que se considerou utiliza um *driver* Rockwell Automation, como os da família CompactLogix 1769 Allen-Bradley, adotados para os processos automatizados da planta como arquitetura física demonstrada nas figuras 3

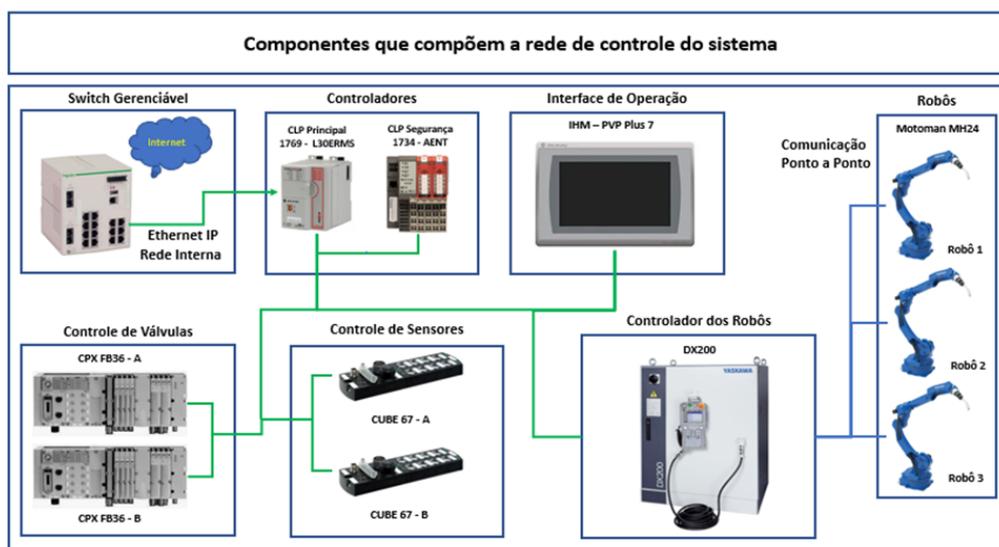


Figura 3. Componentes de rede *Ethernet IP* - Produzido pelo autor

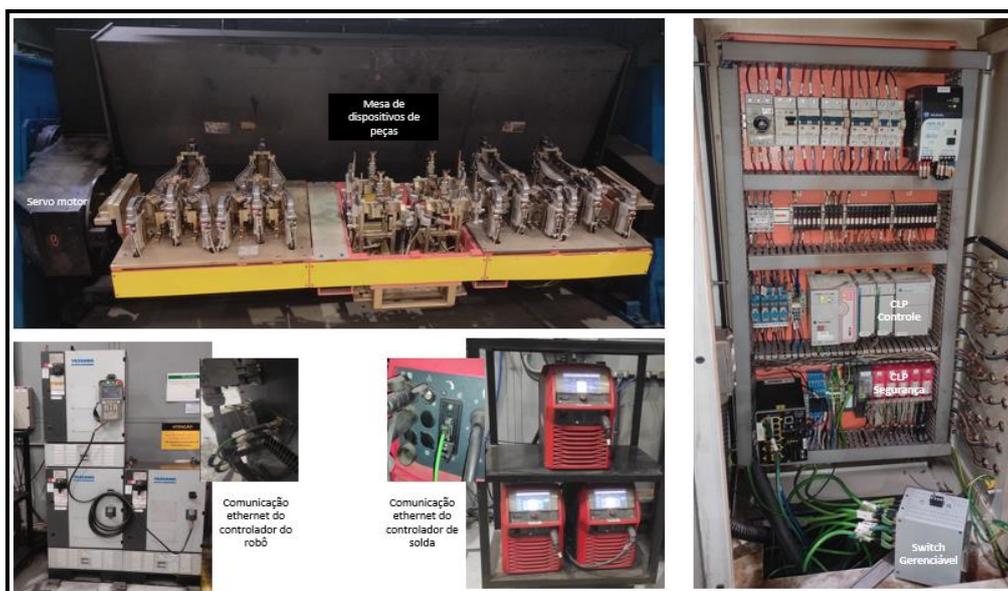


Figura 4. Componentes célula de solda – Produzido pelo autor

6. Resultados

Para implementação de processos de robotização deve-se considerar o meio físico no qual será instalado e as influências que o ambiente pode acarretar para os sistemas de comunicação diretamente ou indiretamente.

Os processos de soldagens apresentados possuem fatores físicos que podem influenciar na rede de comunicação e recursos inerentes ao processo como fontes eletromagnéticas, aquecimentos, incidência de detritos e líquidos que podem influenciar fisicamente nos componentes que compõem a rede de comunicação do sistema da célula de soldagem. Em relação às interferências eletromagnéticas, devido à alta corrente do processo de soldagem, utiliza-se cabos blindados, protegendo de interferência elétrica, outro fator que deve ser verificado e instalado de forma adequada é o circuito de aterramento elétrico e estático, pois o aterramento elétrico influenciará nos circuitos da instalação elétrica dos painéis de comandos, já o aterramento estático protegerá os dispositivos eletrônicos envolvidos no sistema de automação.

Na instalação física foram utilizados também, conectores traváveis resultando em um sistema confiável reduzindo drasticamente falhas por mau contato e curtos. Foi necessário a utilização de componentes resistentes a alta temperatura, respingos de solda produzidos pelo processo de soldagem, devido à estarem superaquecidos podem danificar conectores e cabos atingidos por essas partículas, para reduzir este impacto devem ser proporcionados proteções para sensores e para cabeamento utilizando materiais como *Celeron*, ou acondicionados em compartimentos para proteção.

Atuação de gases que são inerentes nos processos de soldagem, podem oxidar os contatos elétricos nas conexões que compõem o sistema. Ocorrem a penetração de resíduos químicos nos contatos das emendas e conexões podem ser minimizados realizando a vedação destas conexões com fitas termo retráteis ou manga protetora de silicone, as quais restringirão a passagem dos elementos químicos dos gases.

A articulação dos servo-motores que realizam a movimentação para o processo de soldagem podem provocar torções nos cabos que integram os circuitos e componentes como as interfaces de link de controle e comunicação com os sensores que compõem o circuito, para evitar essa falha podem se utilizar cabos com blindagem e cabos com alta flexibilidade apropriados para esse tipo de atividade.

No processo abordado foi utilizado um controlador do fabricante Rockwell Automation por padronização. O critério foi o custo em relação ao *software* e suas atualizações, treinamento e especialização das equipes de programadores que atuará na manutenção, monitoramento e funcionamento da automação. A arquitetura específica dependerá dos requisitos do sistema, e da capacidade dos dispositivos e das especificações de implementação utilizando de uma arquitetura centralizada. Nesta abordagem, o CLP (Controlador lógico programável) atua como o ponto central de controle, gerenciando todas as operações e coordenando a comunicação com o controlador. O CLP (Controlador lógico programável) pode realizar uma lógica de controle principal, enquanto os dispositivos periféricos executam tarefas específicas conforme comandado. Utilizando protocolos padrão *Ethernet/IP* de comunicação entre os dispositivos pode ser facilitada a comunicação entre o CLP (Controlador lógico programável) e o controlador. A comunicação entre o controlador DX200 Eurobots com comunicação *Ethernet/IP* e os três robôs da marca Yaskawa Motoman MH24 ocorrem de forma ponto a ponto, utilizando cabeamento, protocolo e *software* específico do fabricante.

Além do protocolo *Ethernet/IP* ser compatível com o controlador, possui uma alta taxa de 10/100/1000 Mbps (*megabits* por segundo) transferência de dados e controle, produção, parametrização ocorram praticamente em tempo real, podendo realizar análise e diagnósticos de forma *online* com o processo. Além disso, o protocolo é compatível com o conjunto de protocolos TCP/IP e suporta uma rede corporativa e dispositivos e *drivers* nativos, tornando a integração de sistemas mais fácil. E também é possível integrar o ambiente às novas tecnologias que estão surgindo com o advento da indústria 4.0 e integração do IIoT (*industrial internet of things*).

7. Conclusões

Com a implementação de sistemas robotizados em diversos tipos de processos na atualidade, esses sistemas podem estar suscetíveis a vários fatores influenciadores, internos e externos principalmente em decorrência do ambiente onde se está sendo implementada a robotização.

O meio físico e fatores peculiares do processo podem influenciar na rede de comunicação causando interferência e falhas afetando também os protocolos onde podem ocorrer perdas de pacotes ou atrasos na transmissão de dados valiosos em um processo de fabricação. Para reduzirmos esses problemas foram apresentadas algumas ações que devem ser aplicadas como no exemplo abordado.

O processo de fabricação pode ter requisitos específicos que podem influenciar na escolha do protocolo a ser adotado, o controlador lógico programável (PLC) mais apropriado que fará a integração de controle do processo e do controlador do sistema de segurança e dos periféricos envolvidos no sistema, o tipo de comunicação viável para o sistema, e a comunicação entre controlador e robô. Outro fator deve ser considerado é sobre os custos do projeto de automação, a viabilidade, tempo de amortização e a estratégia de negócios adotada pela empresa.

Referencias

Bello L, Steiner W. A perspective on IEEE time – sensitive networking for industrial communication and automation systems, Proceedings of the IEEE, p.1094-1120, v.107(6), 2019. Acesso em 31 de agosto 2023.

Breiling B, Dieber B, Schartner P. Secure communication for the robot operating system, Conferência anual de sistemas internacionais IEEE (SysCon), 2017. Acesso em 28 de agosto 2023.

Baretta J. Encapsulamento de protocolos Ethernet industrial utilizando a rede 5G. Universidade Federal de Santa Catarina Centro Tecnológico de Ciências Exatas, 2022. Acesso em 28 de agosto 2023.

Bohuslava J, Martin J, Igor H. TCP/IP Protocol utilisation in process of dynamic control of robotic cell according industry 4.0 concept, p. 217 - 222. SAMI IEEE 15th International Symposium on Applied Machine Intelligence and Informatics, 2017. Acesso em 30 de agosto 2023.

Colabianchi S, Tedeschi A, Constantino F. Human-technology integration with industrial conversational agents: A conceptual architecture and a taxonomy for manufacturing. Journal of Industrial Information Integration, v.35, outubro 2023. Acesso em 13 de outubro 2023.

Chuang WL, Sim MH, Sim YL. Develop real-time robot control architecture using robot operating system and EtherCat, Department of Mechanical Engineering, National Taipei University of Technology, Taipei 106344, Taiwan, Actuators, v. 141, 2021. Acesso em 03 de setembro 2023.

Efimov AY, Gorkavyy MA, Egorova VP, Solovev DB. Design of inteligente decision support system for robotized welding technological processes optimization. International Multi-Conference on Industrial

Engineering and Modern Technologies, 2019. Acesso em 31 de agosto 2023.

Gao Z, Wanyma T, Singh I, Gadhri A, Schmidt R. From industry 4.0 to robotics 4.0 – a conceptual framework for collaborative and intelligent robotic systems, p. 591-599, Elsevier Science Direct, 2020. Acesso em 28 de agosto 2023.

Gopinath V, Johansen K, Derelov M. Safe collaborative assembly on a continuously moving linewith large industrial robotics and computer – integrated manufacturing v. 67, Elsevier Science Direct, 2021. Acesso em 31 de agosto 2023.

Granermann A. Desenvolvimento de um sistema robotizado de encaixotamento de potes para uma empresa de produtos lácteos, Universidade Federal de Santa Catarina Centro de Blumenau Dep. de Engenharia de Controle e Automação e Computação, 2020. Acesso em 28 agosto 2023.

C Gündoğan, P Kietzmann, MS Lenders, H Petersen, M Frey, TC Schmidt, F Shzu-Juraschek. The impact of networking protocols on massive M2M communication in the industrial IoT. IEEE Transactions on Network and Service Management, p. 4814-4828, 2021. Acesso em 28 de agosto 2023.

Hsiao CH, Lee WP. OPIIoT: design and implementation of an open communication protocol platform for industrial internet of things, Science Direct, vol. 16, 2021. Acesso em 28 de agosto 2023.

Jaloudi S. Communication protocols of na industrial of na internet of things environment: a comparative study, Future Internet, 2019. Acesso em 30 de agosto 2023.

Jeong HS, Ji SH, Jung HS, Koo JC. Design of sw architecture for plc integrated robot. 14th International Conference on Ubiquitous Robots and Ambient Intelligence (URAI), June 28 - July 1, 2017 at Maison Glad Jeju, Jeju, Korea, p. 874-876, 2017. Acesso em 02 de setembro 2023.

Khan WZ, Rehman MH, Zangoti HM, Afzal MK, Armi N, Salah K. Industrial internet of things: recent advances, enabling technologies and open challenges. Computers and Electrical Engineering, Elsevier Science Direct, v. 81, 2020. Acesso em 30 de agosto 2023.

Kumar R, Agrawal N. Analysis of multi-dimensional Industrial IoT (IIoT) data in Edge–Fog–Cloud based architectural frameworks: A survey on current state and research challenges. Journal of Industrial Information Integration, v.35, outubro, 2023. Acesso em 08 de outubro 2023.

Laitila T. Initial configuration of industrial robot controller using offline programming tool, Tampere University, 2020. Acesso em 28 de agosto 2023.

Lin H, Hwang Y. Integration of robot and IIoT over the OPC unified architecture. Conferência Internacional de Controle Automático (CACAS), 2019. Acesso em 30 de agosto 2023.

Lin Z, Pearson S. An inside look at industrial ethernet communication protocols, Marketing Manager Texas Instruments, 2018. Acesso em 28 de agosto 2023.

Liu Y, Chen J, Liu J, Jing X. Nonlinear mechanics of flexible cables in space robotic arms subject to complex physical environment, p. 649-667, v. 94(1), 2018. Acesso em 31 de agosto 2023.

Park MH, Jin BJ, Yun TJ, Son JS, Kim CG, Kim IS. Control of the weld quality using welding parameters in a robotic welding process, Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering, p.32-40, v.87, 2018. Acesso em 31 de agosto 2023.

Pereira C, Neumann P. Industrial communication protocols. Book Springer Handbook of Automation, parte 56, p 981-999, 2009. Acesso em 30 de agosto 2023.

Prytz G. A performance analysis of ethercat and profinet irt. Conferência Internacional IEEE 2008

Tecnologias Emergentes e Automação de Fábrica, p. 408-415, 2008. Acesso em 30 de agosto 2023.

Przybyt A. Hard real-time communication solution for mechatronic systems. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, v.49, fevereiro, 2018. Acesso em 11 de outubro 2023.

Reis RC, Kokare S, Oliveira JP, Matias JCO, Godina R. Life cycle assessment of metal products: A comparison between wire arc additive manufacturing and CNC milling. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, v.6, maio, 2003 Acesso em 18 de outubro 2023.

Segura P, Lobato-Calleros O, Ramírez-Serrano A, Soria I. Human-robot collaborative systems: Structural components for current manufacturing applications. *Advances in Industrial and Manufacturing Engineering*, v.3, 2021. Acesso em 20 de agosto 2023.

Strimovskaya A, Barykin S. Uma abordagem multidimensional do problema de alocação de recursos (RAP) através do prisma da integração da informação industrial (III). *Elsevier Science Direct*, v.34 2023. Acesso 28 de novembro 2023.

Valenzuela E, Delgado A, Miranda C, Rouret M, Micciche G, Ros E, Arranz F, Dias J. The IFMIF-DONES remote handling control system: experimental setup for opc ua integration. *Elsevier Science Direct, Fusion Engineering and Design*, v. 192, 2023. Acesso em 30 de agosto 2023.

Wu X, Xie L. Performance evaluation of industrial ethernet protocols for networked control application. *Control Engineering Practice*, Elsevier, p.208-217, 2019. Acesso em 30 de agosto 2023.