



## A EVOLUÇÃO DA TRANSMISSÃO DE DADOS DENTRO DE UMA INDÚSTRIA: DO 4-20 mA AO ETHERNET

**Aniceto Vilela Franco Bisneto<sup>1</sup>, Murilo Moraes de Oliveira<sup>2</sup>, Daniela Freitas Borges<sup>3</sup>, Viviane Araújo Arantes<sup>1</sup>, Cleonice Barbosa Pereira<sup>2</sup>, Gabriela Costa de Oliveira<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Discente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil  
(anicetobisneto@gmail.com)

<sup>2</sup>Bacharel em Engenharia Elétrica. Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil

<sup>3</sup>Docente da Universidade do Estado de Minas Gerais - UEMG, Ituiutaba, Brasil

**Resumo:** Este estudo tem como objetivo geral, evidenciar a evolução da comunicação industrial, conectando sistemas analógicos tradicionais (4 a 20mA) a redes digitais modernas (Ethernet). Têm-se como problema: será que é aconselhável evoluir a transmissão de dados 4-20 mA para Ethernet em determinadas empresas? O estudo foi realizado através de uma revisão da literatura através de artigos técnicos, manuais industriais e normas relacionadas às tecnologias de transmissão de dados.

**Palavras-chave:** Evolução; Indústria; 4-20mA; Ethernet.

### INTRODUÇÃO

A evolução tecnológica na indústria tem transformado profundamente os sistemas de comunicação e controle, exigindo soluções cada vez mais eficientes e integradas. Nesse contexto, a transmissão de dados desempenha um papel central, conectando dispositivos e sistemas que sustentam os processos produtivos. Historicamente, o padrão analógico de 4-20 mA foi amplamente utilizado devido à sua simplicidade, confiabilidade e robustez para transmitir informações de sensores e atuadores. Contudo, com o avanço das tecnologias digitais e a ascensão da Indústria 4.0, surgiram demandas por maior capacidade de dados, interoperabilidade e conectividade em tempo real, características que o padrão analógico não pode atender plenamente (Pereira, 2019).

Este estudo tem como objetivo geral, evidenciar a evolução da comunicação industrial, conectando sistemas analógicos tradicionais (4 a 20mA) a redes digitais modernas (Ethernet). E como objetivos específicos, apresentar os fundamentos do padrão 4-20 mA, destacando suas vantagens e desvantagens; analisar as vantagens da Ethernet em relação ao 4-20 mA e identificar exemplos documentados na literatura sobre indústrias que implementaram a transição e os resultados obtidos. Têm-se como problema: será que é aconselhável evoluir a transmissão de dados 4-20 mA para Ethernet em determinadas empresas?

Justifica-se porque entender essa evolução ajuda a identificar desafios e benefícios associados à transição tecnológica, além de oferecer insights para empresas que buscam modernizar suas operações. Esse tema é relevante tanto para profissionais da área quanto para pesquisadores interessados em inovação tecnológica no setor industrial.

### MATERIAL E MÉTODOS

O estudo foi realizado através de uma revisão da literatura através de artigos técnicos, manuais industriais e normas relacionadas às tecnologias de transmissão de dados, com foco no 4-20 mA e Ethernet. Essa etapa permitiu identificar as características, vantagens e limitações de cada sistema. Foi realizada também uma análise comparativa entre os sistemas 4-20 mA e Ethernet, considerando aspectos como eficiência, capacidade de transmissão, custo de implementação e manutenção, escalabilidade e aplicabilidade em diferentes cenários industriais. E também foram citados casos de indústrias que realizaram a transição de sistemas analógicos para digitais. A análise incluiu os impactos na eficiência operacional, na redução de custos e no suporte à integração de tecnologias avançadas.

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

Conceitos, características e evolução do padrão 4-20 MA



O padrão 4-20 mA consolidou-se ao longo das décadas como um pilar da automação industrial. Desde sua introdução, ele substituiu tecnologias mais antigas e menos eficazes, como transmissões pneumáticas e sinais de tensão variável (Brummer, 2022).

Nos anos de 1960 a 1970 a corrente elétrica foi adotada em vez da tensão para transmissão de sinais, pois a corrente é menos suscetível a perdas ao longo de longas distâncias e menos afetada por interferências eletromagnéticas. Assim o padrão 4-20 mA foi estabelecido oferecendo várias vantagens, a linearidade que representa de forma proporcional as variáveis de processo, a faixa de operação segura, que mostra que o valor mínimo de 4 mA indica que o circuito está ativo, enquanto valores abaixo de 4 mA indicam falha, como ruptura de cabo e simplicidade por ser compatível com sistemas simples e robustos (Kamper; Muller, 2020).

Nesse período, a automação começou a demandar maior precisão e controle nos processos. O 4-20 mA, com sua confiabilidade e simplicidade, tornou-se a escolha natural para atender a essas demandas, pois sensores e instrumentos baseados no 4-20 mA foram amplamente utilizados em setores como petróleo e gás, químico, farmacêutico e energia, provando sua versatilidade (Tanenbaum; Wetherall, 2021).

“Apesar da introdução de padrões digitais como Foundation Fieldbus e Profibus, o 4-20 mA permaneceu amplamente utilizado devido à sua simplicidade e confiabilidade. Ainda hoje, o padrão 4-20 mA é amplamente utilizado em automação e controle industrial para transmitir sinais analógicos de sensores e equipamentos para sistemas de controle, como CLPs (Controladores Lógicos Programáveis) ou sistemas SCADA (Kamper; Muller, 2020, p. 36).”

Com um design robusto e de fácil diagnóstico (o "zero vivo" permite identificar falhas rapidamente), o padrão contribuiu para a redução do tempo de inatividade nas plantas industriais, e ainda tornou-se uma tecnologia universal, garantindo que sistemas de diferentes gerações e fabricantes pudessem coexistir sem necessidade de adaptações significativas (Groth; Scandier, 2021).

Uma das grandes vantagens do uso do sinal de 4-20 mA é sua padronização na indústria, o que garante compatibilidade entre uma ampla gama de dispositivos, como sensores, atuadores e controladores. Essa padronização facilita a integração de novos equipamentos em sistemas existentes, desde que sejam compatíveis com essa faixa de corrente (Kamper; Muller, 2020).

Vantagens da ethernet em relação ao padrão 4-20 MA

A Ethernet na Indústria 4.0 é um dos pilares essenciais para a comunicação e integração de sistemas em fábricas e processos industriais modernos. Na Indústria 4.0, há uma convergência entre tecnologias físicas e digitais, com a Internet das Coisas (IoT), automação, inteligência artificial e análise de dados desempenhando papéis centrais. A Ethernet, com sua robustez e capacidade de transferência de dados, torna-se crucial para esse novo cenário (Groth; Scandier, 2021).

A Ethernet oferece comunicação em tempo real, essencial para as aplicações industriais, como controle de processos, sistemas de automação e monitoramento. Protocolos como Ethernet/IP (Industrial Protocol) e Profinet permitem a comunicação rápida e eficiente entre dispositivos como sensores, atuadores, robôs, PLCs (Controladores Lógicos Programáveis) e sistemas de supervisão (Black, 2017).

A segurança cibernética é uma preocupação crescente na Indústria 4.0, e a Ethernet oferece suporte a protocolos de segurança robustos. A utilização de VPNs (Redes Privadas Virtuais), firewalls industriais e autenticação para garantir a segurança das redes Ethernet são práticas comuns para proteger a comunicação e evitar falhas no sistema (Mackay; Wright, 2023).

O Ethernet é compatível com diversos protocolos industriais, permitindo a interoperabilidade entre equipamentos de diferentes fabricantes, um requisito essencial para a Indústria 4.0, ao conectar sensores, atuadores, máquinas e sistemas de supervisão (como SCADA), criando uma rede de dispositivos IoT Industrial, permitindo assim, monitoramento em tempo real, manutenção preditiva e análise de big data (Groover, 2021).

A Ethernet facilita ainda a coleta e transmissão de grandes volumes de dados provenientes de sensores e dispositivos de monitoramento. Esses dados podem ser analisados em tempo real para otimizar os processos de produção, realizar manutenção preditiva e melhorar a eficiência operacional (Groover, 2021).

Redes industriais Ethernet (como Profinet, EtherCAT, Ethernet/IP) têm requisitos mais rigorosos que as redes Ethernet tradicionais, como alta confiabilidade, baixa latência e maior resistência a interferências. Essas redes são projetadas para suportar os ambientes industriais, proporcionando comunicação contínua e eficiente (Tanenbaum; Wetherall, 2021).

Apesar de suas vantagens, a implementação do Ethernet em ambientes industriais enfrenta desafios significativos. A necessidade de uma infraestrutura robusta é um dos principais obstáculos, já que o cabeamento e os equipamentos devem ser capazes de



suportar condições extremas, como altas temperaturas, poeira e vibração. Além disso, a compatibilidade de protocolos apresenta uma barreira adicional, visto que nem todos os equipamentos legados suportam Ethernet de alta velocidade ou os protocolos modernos exigidos pela Indústria 4.0. Mesmo diante desses desafios, a combinação de Ethernet e 5G está pavimentando o caminho para fábricas mais conectadas, inteligentes e eficientes (Spurgeon; Zimmerman, 2014).

Protocolos de comunicação utilizados em indústrias

Os protocolos de comunicação Ethernet utilizados em indústrias desempenham um papel crucial para a automação, integração de sistemas e a operação de dispositivos em ambientes industriais. Abaixo estão os principais protocolos Ethernet aplicados no setor:

- **PROFINET:** Protocolo baseado em Ethernet amplamente utilizado na automação industrial para comunicação entre controladores e dispositivos de campo. Tem como características, alta velocidade e baixa latência para controle em tempo real, suporte a redundância para maior confiabilidade e integração com sistemas legados e dispositivos PROFIBUS. Aplica-se a controle de processos, automação de máquinas e redes industriais (Groth; Scandier, 2021).
- **EtherNet/IP (EtherNet Industrial Protocol):** trata-se de um protocolo aberto que utiliza Ethernet padrão para comunicação industrial, com suporte ao padrão CIP (Common Industrial Protocol). Tem como características suporte a controle em tempo real e transmissão de dados, integração com uma ampla gama de dispositivos e flexibilidade para redes complexas. Aplica-se em linhas de produção, robótica e monitoramento de processos (Stallings, 2020)
- **Modbus TCP:** Variante do protocolo Modbus adaptada para Ethernet, permitindo comunicação simples e eficaz em redes industriais. Possui fácil implementação e integração, é baseado em arquitetura mestre-escravo, e ainda é compatível com uma ampla gama de dispositivos industriais. Suas aplicações são através de monitoramento de sensores, controle de atuadores e integração de equipamentos legados (Rosário, 2015).

Topologia Ethernet

Os padrões de cabos e conectores Ethernet são essenciais para garantir uma comunicação eficiente, segura e confiável. Em ambientes industriais, onde condições adversas são comuns, o uso de cabos de alta categoria e conectores robustos como o M12 é indispensável para atender às demandas de conectividade da Indústria 4.0. A escolha do padrão adequado depende das necessidades de velocidade, distância e condições ambientais da aplicação (Tanenbaun; Wetherall, 2021).

As topologias Ethernet desempenham um papel crucial no design de redes, influenciando desempenho, custo e confiabilidade. A escolha da topologia ideal depende das necessidades específicas da rede, como redundância, escalabilidade e simplicidade de gerenciamento. Em cenários industriais e na Indústria 4.0, topologias em malha e híbridas são frequentemente utilizadas para garantir alta disponibilidade e suporte a sistemas avançados (Tanenbaun; Wetherall, 2021).

| Topologia  | Vantagem                       | Desvantagem                        | Uso comum                                |
|------------|--------------------------------|------------------------------------|------------------------------------------|
| Estrela    | Fácil gerenciamento            | Dependência do dispositivo central | Redes locais modernas                    |
| Barramento | Simplicidade e baixo custo     | Falhas afetam toda a rede          | Redes pequenas e antigas                 |
| Anel       | Comunicação ordenada           | Interrupção com falha em um nó     | Redes industriais e automação            |
| Malha      | Alta redundância               | Complexidade e custo elevado       | Redes críticas e industriais             |
| Híbrida    | Flexibilidade e escalabilidade | Complexidade na manutenção         | Redes corporativas e industriais grandes |

Figura 1. Tipos de topologia Ethernet.

As topologias de rede Ethernet são estruturadas de maneiras diferentes, dependendo das necessidades específicas de comunicação, desempenho, custo e confiabilidade. Cada topologia apresenta características únicas, com vantagens e desvantagens que influenciam diretamente a escolha para diferentes aplicações (Natale, 2021).

Cada topologia Ethernet tem características específicas que influenciam sua aplicação. Redes locais simples se beneficiam da facilidade de gerenciamento e escalabilidade da topologia em estrela. Já ambientes industriais ou redes críticas frequentemente optam pela topologia em malha ou híbrida, que oferecem maior redundância e confiabilidade. A escolha da topologia ideal deve levar em conta o ambiente, os requisitos de desempenho e os recursos disponíveis, garantindo que a rede atenda às demandas de forma eficiente e segura (Ogata, 2022).

As indústrias e sua transição do sistema 4-20 MA para o Ethernet

A transição de sistemas baseados no padrão 4-20 mA para Ethernet tem sido adotada por diversas indústrias em busca de maior eficiência, integração e capacidade de comunicação em tempo real. Embora relatos específicos de empresas que realizaram essa migração sejam escassos na internet, é possível identificar setores que têm implementado essa mudança.

A mudança que as indústrias fazem em seu sistema de comunicação analógico 4-20 mA para o Ethernet reflete uma transformação significativa no campo da automação e controle industrial. Essa mudança é



impulsionada pela necessidade de maior eficiência, flexibilidade e conectividade em um ambiente onde a Indústria 4.0 e a Internet das Coisas Industrial (IIoT) estão moldando o futuro dos processos produtivos.

A tecnologia Ethernet tem sido cada vez mais adotada nas indústrias, oferecendo uma plataforma para comunicação digital robusta e escalável. Diferente do sistema analógico 4-20 mA, o Ethernet utiliza comunicação digital baseada em pacotes de dados, permitindo transmissão em alta velocidade e maior volume de informações.

A Ethernet superou as limitações do 4-20 mA ao possibilitar a transmissão simultânea de múltiplos parâmetros e a integração direta com sistemas de supervisão e controle em tempo real, pois promoveu a capacidade de conectar dispositivos inteligentes e sistemas de diferentes fabricantes em uma única rede promove maior interoperabilidade e escalabilidade.

As indústrias que fizeram a transição puderam adotar tecnologias de ponta, como IoT, big data e machine learning, otimizando a produção e reduzindo custos operacionais. A coleta e análise de dados em tempo real permitiu identificar tendências, prever falhas e tomar decisões baseadas em insights precisos.

Apesar dos benefícios, a transição enfrenta desafios, pois a modernização de infraestrutura requer custos significativos, sendo que equipamentos antigos precisam de gateways ou conversores para se conectarem à rede Ethernet. Essa rede pode expor os sistemas industriais a novos riscos de ataques, exigindo medidas avançadas de cibersegurança. A adoção plena exige treinamentos para que a equipe técnica opere e mantenha os novos sistemas.

A transição do 4-20 mA para Ethernet é mais do que uma mudança tecnológica; é uma transformação estratégica que posiciona as indústrias para competir em um cenário cada vez mais digital e conectado. A Ethernet oferece as bases para automação avançada, conectividade global e flexibilidade operacional, alinhando-se aos objetivos da Indústria 4.0 de produzir de forma mais eficiente, personalizada e sustentável. Para indústrias que desejam permanecer competitivas, investir nessa transição é não apenas necessário, mas inevitável.

### CONCLUSÃO

A evolução da transmissão de dados nas indústrias, do padrão analógico 4-20 mA ao Ethernet, reflete uma transformação significativa nos processos de automação e integração tecnológica. O 4-20 mA, embora robusto e amplamente utilizado durante décadas, apresentou limitações em termos de capacidade de dados e integração com sistemas modernos. A transição para o Ethernet trouxe avanços substanciais, como maior velocidade, conectividade e a possibilidade de comunicação em

tempo real, que são essenciais para atender às demandas da Indústria 4.0 e da Internet das Coisas Industrial (IIoT).

Com o Ethernet, as indústrias ganharam a capacidade de integrar equipamentos e sistemas de maneira escalável e segura, promovendo maior eficiência operacional e melhor tomada de decisões baseada em dados. A introdução de tecnologias complementares, como o 5G, tem expandido ainda mais as possibilidades, permitindo comunicação em áreas que exigem mobilidade e flexibilidade.

Entretanto, essa evolução também trouxe desafios, como a necessidade de infraestrutura robusta, compatibilidade com equipamentos legados e o investimento em treinamento e atualização tecnológica. Apesar disso, os benefícios superaram as dificuldades, pois a adoção do Ethernet possibilita a construção de redes industriais mais inteligentes, conectadas e resilientes.

Conclui-se que a transição do 4-20 mA para o Ethernet é um marco na digitalização industrial, representando não apenas um avanço tecnológico, mas também uma oportunidade de inovação e competitividade para as empresas. À medida que as indústrias continuam a integrar tecnologias digitais, a comunicação via Ethernet se consolida como a base para os sistemas avançados que definem o futuro da manufatura.

### REFERÊNCIAS

- Black, Uyless. Ethernet: The Definitive Guide to Networking for Business and IT Professionals. New York: McGraw-Hill, 2017.
- Brummer, Douglas M. 4-20 mA Loop Systems: Analog Communication Basics. Research Triangle Park: ISA, 2022.
- Groth, David; Skandier, Toby. Network+ Guide to Networks. 8ª ed. Boston: Cengage Learning, 2021.
- Kämper, Frank; Müller, Jürgen. Industrial Communication Technology Handbook. 3ª ed. Boca Raton: CRC Press, 2020.
- Mackay, Stuart; Wright, John. Practical Industrial Data Networks: Design, Installation and Troubleshooting. Oxford: Newnes, 2023.
- Natale, F. Automação Industrial. São Paulo: Érica, 2021.
- Ogata, K. Engenharia de Controle Moderno. 5ª ed. Rio de Janeiro: Pearson Prentice Hall, 2022.
- Pereira, Luiz Carlos. Automação Industrial – Fundamentos e Técnicas. São Paulo: Editora Ática, 2019.



Rosário, J. M. Princípios de Mecatrônica. São Paulo: Pearson Prentice Hall, 2015.

Spurgeon, Charles; Zimmerman, Joann. Ethernet: The Definitive Guide. 2ª ed. Sebastopol: O'Reilly Media, 2014.

Stallings, William. Data and Computer Communications. 11ª ed. Boston: Pearson, 2020.

Tanenbaum, Andrew S.; Wetherall, David J. Redes de Computadores. 5ª ed. São Paulo: Pearson, 2021.