Capítulo 8

Comunicação em sistemas automatizados

Sinônimo de agilidade e precisão, a automação industrial passou a ser uma necessidade na maioria das indústrias. Ela pode, por exemplo, coletar dados instantaneamente em uma linha de produção e levá-los à mesa da diretoria, possibilitando uma rápida tomada de decisão em uma negociação – a informação útil e necessária no momento certo.

Outra aplicação é o monitoramento da produção, pois não adianta receber ao final do expediente a informação de que a linha de produção está com um problema de precisão em uma das peças se já se comprometeu a qualidade dos itens produzidos. É essencial que essa informação chegue rapidamente aos responsáveis pelo setor produtivo da indústria para o reparo ser solicitado sem comprometer toda a produção.

No chão de fábrica, informações qualitativas e, muitas vezes, quantitativas do processo são transmitidas aos operadores e monitores da planta industrial instantaneamente por meio de painéis e sinaleiros. Podem ser usados, por exemplo: uma lâmpada (figura 8.1), para indicar que certa operação está ocorrendo ou não; uma sirene, para alertar os funcionários sobre a ocorrência de uma situação potencialmente perigosa; ou um *display* numérico, para mostrar níveis de produção ou informações de processo, como a temperatura com que determinado forno está operando naquele exato instante.

Figura 8.1
Lâmpadas de sinalização.

ALTERFALTER/SHUTTERSTOCK

Figura 8.2

ALTERFALTER/SHUTTERSTOCK

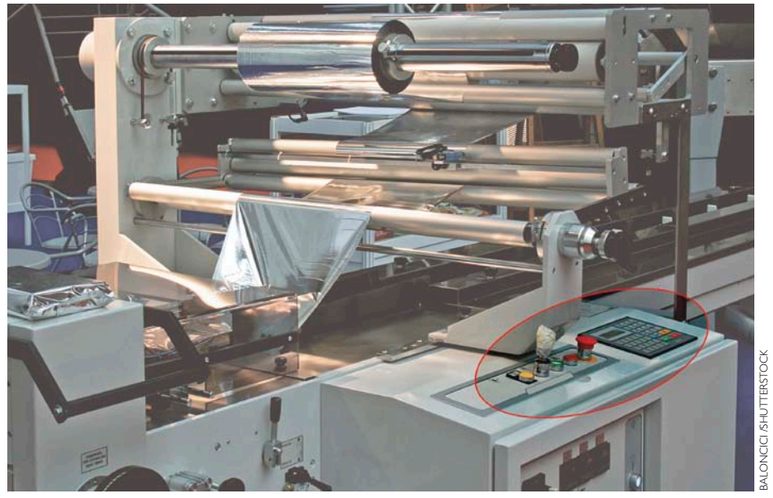
Os sinalizadores podem também avisar os operadores da necessidade de intervenções de emergência no processo: o esvaziamento de um reservatório em momento de emergência, a parada de uma máquina por medida de segurança durante um procedimento de manutenção etc. Essas atuações de emergência podem ser executadas por meio de painéis elétricos com botoeiras de comandos (figura 8.3).

Figura 8.3
Painéis elétricos com botoeiras.

DEJAN LAZAREVIC/SHUTTERSTOCK

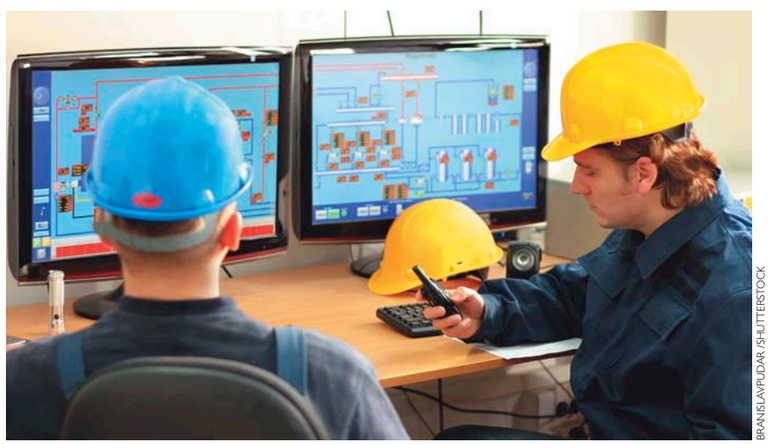
As IHMs são úteis, ainda, na sinalização e atuação de equipamentos do processo produtivo (figura 8.4).

Figura 8.4
IHM monitorando localmente um processo.


BALONCICI /SHUTTERSTOCK

Assim como a informação local é importante em certas áreas de uma empresa, a informação centralizada de processos mais complexos, como os de refinaria, siderurgia e indústrias químicas, também são de grande importância. Nesse tipo de sistema, as informações sobre o que está ocorrendo na planta são enviadas para pontos seguros e distantes do local do processo. Elas são centralizadas em salas de controle (figura 8.5) e monitoradas, 24 horas por dia, por operadores treinados, que devem saber exatamente o que fazer em situações que estejam fora do programado.

Figura 8.5
Sala de controle.


BRANISLAVPUDAR /SHUTTERSTOCK

Aos gestores do processo, não interessa saber a temperatura do forno, se a bomba necessita de manutenção ou se a prensa está com vazamento de óleo, mas sim os recursos disponíveis (energia, matéria-prima, água etc.), seu consumo, a produção, a carteira de pedidos, a quantidade de produtos estocados, entre outros. Nesse caso, os dados do chão de fábrica devem ser filtrados, organizados e, posteriormente apresentados aos gestores para que analisem as informações e possam tomar decisões.

Como vimos, as informações precisam circular entre os vários níveis do processo produtivo. Este capítulo trata das redes de comunicação empregadas em automação e suas características.

8.1 Redes de comunicação

A necessidade de exportar dados do processo local para pontos distantes, seja por questões de segurança ou de redução do custo operacional, seja simplesmente por comodidade ou simplificação no processo, levou à criação das redes industriais. Elas garantem a transmissão de informações relativas ao processo, de maneira rápida, em ambiente eletromagneticamente ruidoso, entre dois ou mais pontos.

As redes industriais surgiram com o advento da computação na indústria, pois até então, o monitoramento a grandes distâncias só podia ser feito com sistemas analógicos baseados em *loop* de corrente.

No sistema de *loop* de corrente, o transmissor é uma fonte de corrente (figura 8.6) e a amplitude da corrente é proporcional ao sinal que está sendo transmitido. A grande vantagem da transmissão em corrente é que, independentemente da queda de tensão nos condutores, a corrente é a mesma em qualquer ponto do *loop*. Assim, a corrente no receptor é a mesma que no transmissor. Se empregarmos uma fonte de tensão, o sinal recebido pelo receptor será o sinal enviado, menos a queda de tensão na resistência do fio, mais o ruído induzido pela radiação eletromagnética dos equipamentos.

De início, utilizou-se o padrão de 0 a 20 mA; posteriormente, o de 4 a 20 mA, que oferece como vantagem a possibilidade de detecção de interrupção no *loop*. Se a corrente for nula, o receptor reconhece que o cabo está interrompido.

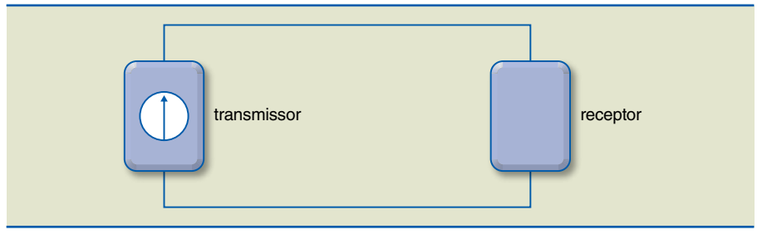


Figura 8.6
Circuito de um *loop* de corrente.

Com o passar do tempo e o avanço da tecnologia, surgiram diversos meios físicos que possibilitaram reduzir distâncias entre pontos de monitoramento,

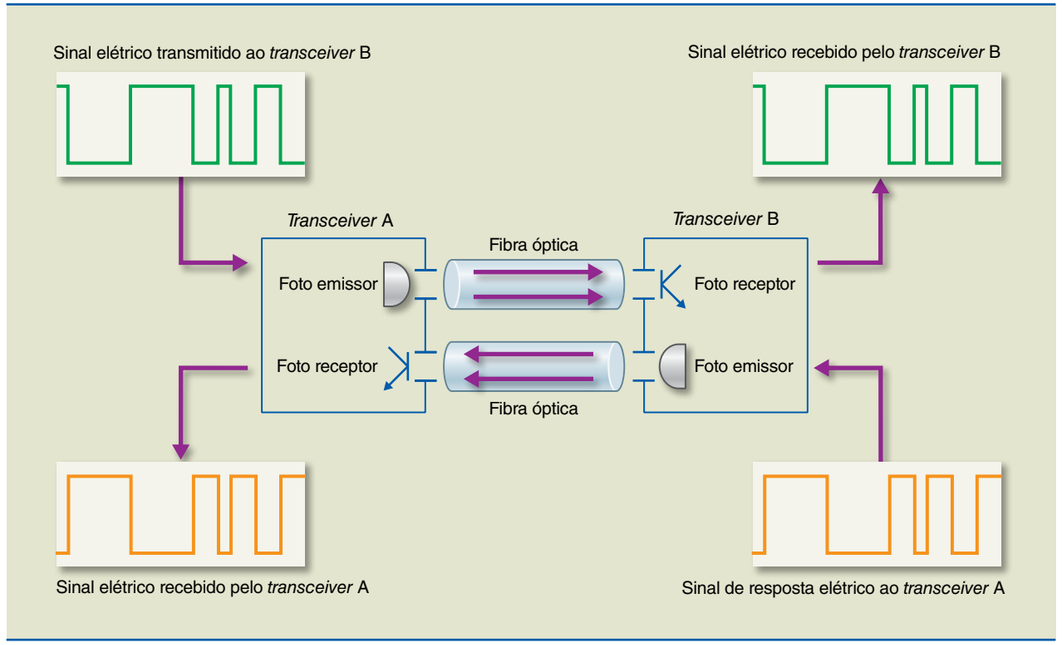
assim como a ideia de incluir vários pontos de medição em uma mesma rede de comunicação. No entanto, grande parte das comunicações feitas em ambientes industriais é baseada em comunicação serial com um ou mais pares de fios metálicos.

Além da forma como as informações são enviadas e recebidas pelo meio físico (protocolo de comunicação), as redes diferem entre si pelo próprio meio físico (e sua imunidade a campos de indução eletromagnética, ambientes corrosivos etc.). Sabemos que capas emborrachadas com núcleos isolados envoltos em filme metálico garantem rigidez mecânica ao cabo, estanqueidade e imunidade eletromagnética.

Atualmente, a quantidade de dados que podem ser enviados em um único par de fios (que, no passado, só possibilitava o envio de informações de um único transdutor) é imensa. A integridade dos dados é garantida pela utilização de protocolos de comunicação específicos.

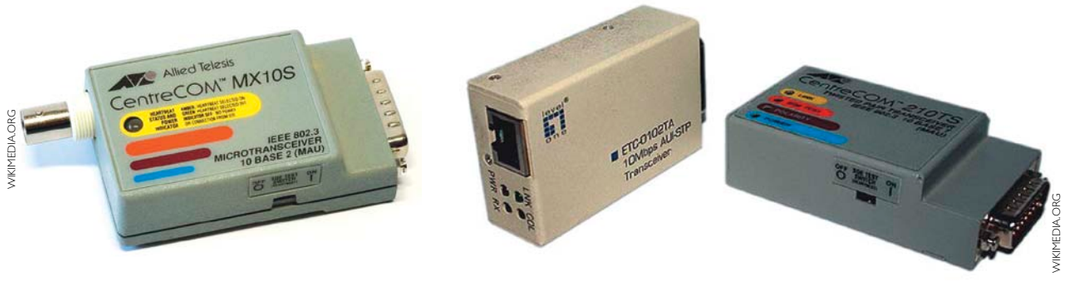
Outro meio físico utilizado em redes de comunicação industrial é a fibra óptica. Sua aplicação é de maneira serial, ou seja, uma única fibra é capaz de enviar informações, bit a bit, a um receptor no ponto de monitoramento. As vantagens do uso da fibra óptica, em comparação com o par de fios trançados, são a imunidade ao ruído eletromagnético e a maior capacidade de transmissão. A figura 8.7 ilustra um *link* bidirecional com duas fibras.

Figura 8.7
Rede de comunicação em fibra óptica.



No mercado existem equipamentos que convertem sinais elétricos em ópticos, chamados de *transceivers* ou conversores de fibra óptica. No entanto, alguns fabricantes de *hardware* para automação já possuem interfaces de comunicação com circuitos ópticos em seu *hardware* original, como mostram os exemplos da figura 8.8.

Figura 8.8
Transceivers.



WIKIMEDIA.ORG

WIKIMEDIA.ORG

Radiofrequência, ou sistema *wireless*, é o meio de comunicação que tem sido utilizado na indústria em processos de monitoramento e atuação secundária, por suas características e questões de segurança. Esse sistema depende de grande conhecimento técnico dos que trabalham na implantação da rede e será tratado na seção 8.3.

A rede de comunicação industrial normalmente é estruturada em níveis, com funções distintas, conforme a figura 8.9.

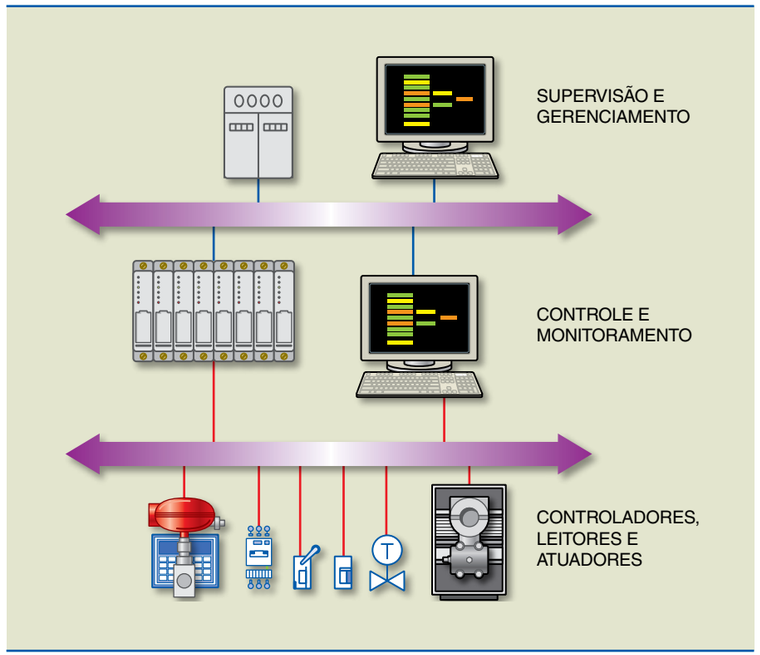


Figura 8.9
Níveis hierárquicos de uma rede de comunicação industrial.

O nível mais alto é responsável por supervisionar as operações, efetuar análises críticas quanto à produtividade e à abrangência de produtos, além de tratar de questões de otimização. As informações que chegam a esse nível permitem que gerentes e supervisores de área programem paradas ou fluxos produtivos de acordo com as diretrizes da empresa. Os computadores nas salas de controle centralizam as informações e conectam as redes industriais às redes corporativas, podendo gerar dados para faturamento, gráficos de qualidade e índices de produção, graças à possibilidade um mesmo computador ter interfaces físicas de redes industriais e redes Ethernet.

O nível intermediário possui os dispositivos responsáveis pela operação da planta. Nele estão os CLPs, os computadores industriais e as IHMs, comunicando-se entre si e com os sensores e atuadores. Parte dessa comunicação é feita pelos barramentos de campo (em inglês, *fieldbus*).

O terceiro e último nível é composto pelos sensores e atuadores ligados diretamente ao processo. Estes são os maiores responsáveis por coletar dados da produção e informar como, quando e onde determinadas ações devem ocorrer.

A comunicação entre todos os dispositivos e componentes desses três níveis é imprescindível para o objetivo final da automação: realizar operações de maneira automática e segura para os operadores envolvidos no menor tempo possível, gerando maior lucratividade para a empresa.

Considerando a interligação dos equipamentos de controle e os dispositivos de ponta, ou seja, sensores e atuadores, é possível definir duas topologias básicas de instalações.

Na primeira topologia, normalmente chamada de CLP central, cada sensor e atuador são ligados diretamente a um CLP. Nessa configuração, o CLP se mantém conectado à rede de comunicação industrial para enviar informações do processo ao nível superior, apontando dados produtivos e disponibilizando informações instantâneas nas IHMs da planta (figura 8.10). Desse modo, cada dispositivo é ligado ao CLP por um par de fios.

Em grandes instalações, isso pode representar enorme concentração de cabos e longas distâncias a serem percorridas pela fiação, tornando necessários proteções mecânicas e suportes. A manutenção corretiva pode ser um problema, dependendo da instalação que foi feita. Por ser um modelo relativamente simples de implementar para baixa densidade de pontos, é ainda muito utilizado em indústrias de pequeno e médio portes ou em plantas maiores, porém antigas.

A segunda topologia é a rede descentralizada de controle (figura 8.11), utilizada em processos mais complexos ou com necessidade de cobertura de grandes áreas e distâncias e alta densidade de pontos de monitoramento. Nesse tipo de planta, é comum encontrar barramentos de campo, que nada mais são do que redes de comunicação específicas para processos industriais. Por meio dos barramentos de campo, os CLPs podem conversar entre si e com os dispositivos que possuem entradas e saídas para atuar no processo.

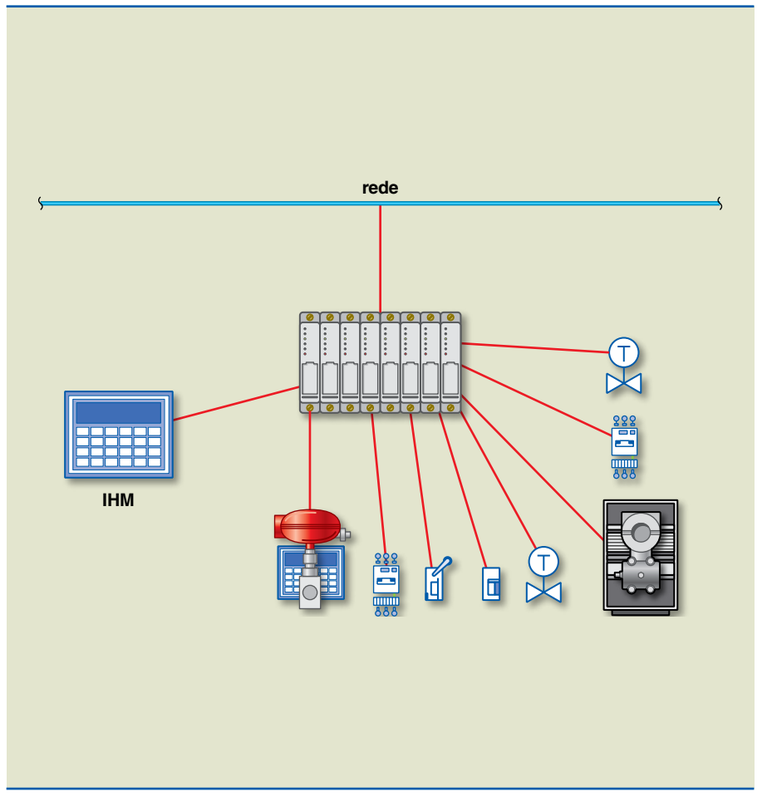


Figura 8.10
Modelo de ligação com CLP central.

Também chamados de controladores de campo, blocos de entrada e saída ou simplesmente blocos de I/O (*input/output*), esses dispositivos podem coletar dados dos sensores ligados a eles e disponibilizar a informação em "pacotes" ao CLP. Tais pacotes, uma vez recebidos e decodificados pelo CLP, permitem que este saiba o que ocorreu na planta industrial, possibilitando a análise e atuação sobre a situação, seja por atuadores diretamente ligados a ele, seja por outros blocos de saída ligados ao barramento. Cada CLP pode tornar-se responsável por uma parte do processo e enviar aos demais apenas informações de interesse comum. Essa topologia de vários CLPs interligados será abordada na seção 8.4.

A característica de aquisição descentralizada por barramentos de comunicação, que agora passamos a chamar de redes industriais, reduz significativamente a quantidade de cabos entre as localidades da planta (figura 8.11). Dessa maneira, com o emprego de tecnologia mais avançada e de maior custo, é possível simplificar a instalação, além de facilitar a manutenção e o remanejamento do processo.

Diversos são os fabricantes e as tecnologias utilizadas na comunicação no chão de fábrica. Normalmente, a tecnologia física está atrelada ao protocolo de comunicação que vai ser usado na rede industrial, assunto abordado a seguir.

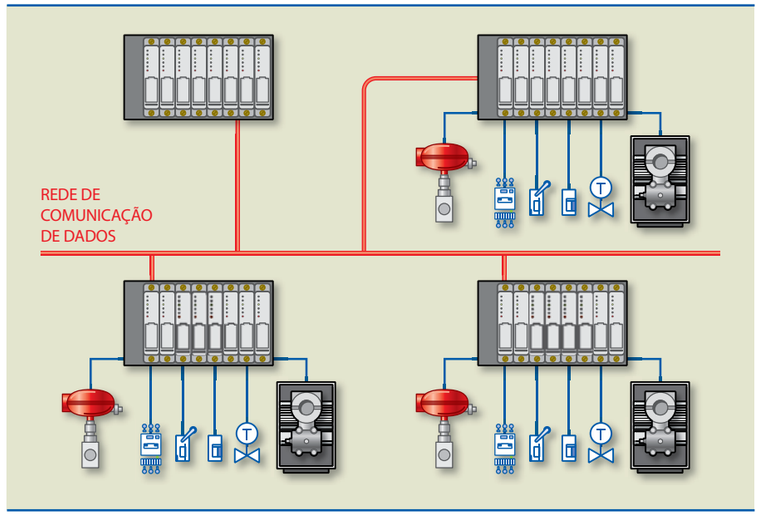


Figura 8.11
Modelo de ligação descentralizada.

8.2 Protocolos de comunicação

Diversos são os protocolos de comunicação utilizados na indústria. Pode-se dizer que um protocolo de comunicação é um idioma no qual dois ou mais equipamentos conversam. Fazendo uma analogia para melhor entendimento, uma pessoa que fala apenas em português não consegue conversar com outra que fale em russo. O mesmo ocorre com CLPs que trabalham com protocolos de comunicação diferentes.

O protocolo de comunicação é um conjunto de regras definidas em que consta o formato no qual a mensagem deve ser transmitida entre os participantes da rede. A simbologia e os caracteres usados para questionar sobre certo evento ou responder a determinada questão e a velocidade com que essa informação flui de um lado a outro, por exemplo, são detalhes que devem ser padronizados em um protocolo.

Os protocolos necessitam de um meio físico que permita a interligação desses dispositivos na velocidade e condições exigidas pelo fabricante, possibilitando a construção de uma rede de comunicação. Tais informações normalmente são transmitidas ou questionadas de forma serial, ou seja, bit a bit, por meio de sinal elétrico ou óptico. Em geral, protocolo e meio físico são ditados pelo fabricante.

No início dos anos 1980, surgiram diversas tecnologias não padronizadas de diferentes fabricantes, cada um deles definindo a sua. Na década seguinte, com o crescimento desse mercado, a padronização começou a ser considerada, pois os clientes queriam trabalhar com o melhor produto do fabricante A com o melhor produto do fabricante B, e ambos os fabricantes tinham protocolos distintos. Foi nesse período que surgiram as primeiras iniciativas de padronização.

É interessante citar os fatores de análise que costumam ser utilizados na escolha de um protocolo de comunicação industrial em novas instalações:

- Custo do *hardware*.
- Número de pontos de entrada e saída permitidos pela interface elétrica.
- Distância física máxima suportada pela interface elétrica.
- Tempo de resposta.
- Facilidade de parametrização.
- Meio físico: possui imunidade a ruído ou permite a utilização de interface óptica (para locais que não permitem sinais elétricos, como plantas à prova de explosão).

Alguns exemplos de fabricantes de equipamentos para automação industrial e os protocolos que normalmente disponibilizam em seus CLPs:

- **Rockwell** – protocolos Devicenet; Controlnet; Ethernet/IP.
- **Siemens** – protocolos AS-I; Profibus DP, PA, FMS; Profinet.
- **Schneider** – protocolos Modbus; Modbus Plus; Modbus TCP.
- **Outros fabricantes** – protocolos Interbus; CAN; SDS; DNP3; ARCnet.

Outras grandes empresas de automação industrial, como Honeywell, ABB, Emerson Electric, Invensys, Yokogawa, Mitsubishi, GE e Omron, também empregam a maioria dos protocolos de comunicação citados.

A seguir, são apresentadas as propriedades dos principais protocolos usados atualmente.

8.2.1 Protocolo Modbus

Criado em 1979 para a comunicação entre controladores da Modicon, é de simples configuração e manutenção. Por ser um protocolo aberto, desde o início teve fácil penetração no mercado e continua sendo bem-aceito, por sua simplicidade e certa robustez na troca de dados entre os dispositivos. Três versões são mais comuns: o Modbus RTU, o Modbus Plus e o Modbus TCP/IP.

O Modbus RTU (*Remote Terminal Unit*, ou Unidade Terminal Remota) traz o conceito de visualização remota de dados. Normalmente, é utilizado para a comunicação dos CLPs com os blocos de E/S e com os instrumentos eletrônicos inteligentes, como relés de proteção, controladores de processo, atuadores de válvulas, transdutores de energia e outros. O meio físico usado é o serial RS-232 ou RS-485 (padrão serial elétrico que trabalha com comunicação diferencial entre dois fios), podendo também ser empregado com conversores seriais – fibra óptica em uma velocidade de até 230 kbps (quilobits por segundo).

Muitas vezes, o RTU é utilizado em CLPs de pequeno porte, fornecendo informações do processo a *softwares* de supervisão em salas de controle, ou mesmo em IHMs locais que possuem o protocolo Modbus também nativo. Esse protocolo permite que um CLP mestre interrogue até 32 blocos de E/S, considerados dispositivos escravos.

O Modbus Plus é uma versão do protocolo RTU melhorada em alguns pontos, possibilitando que CLPs que trabalham em Modbus conversem entre si durante a execução do processo. Também pode trabalhar com blocos de E/S e outros dispositivos de ponta, como relés de proteção e diversos controladores. O meio físico é o serial RS-485 com taxas de transmissão de até 1 Mbps (megabits por segundo).

O Modbus TCP/IP é utilizado para comunicação entre sistemas de supervisão, CLPs e alguns modelos de blocos de E/S. O protocolo Modbus é encapsulado no protocolo TCP/IP e transmitido por redes Ethernet. Trata-se de uma adaptação do protocolo Modbus RTU utilizando interface Ethernet, em vez das tradicionais interfaces seriais. Com isso, os limites de distância estão diretamente relacionados ao alcance das interfaces Ethernet.

A topologia usada em redes Modbus pode ser observada na figura 8.12.

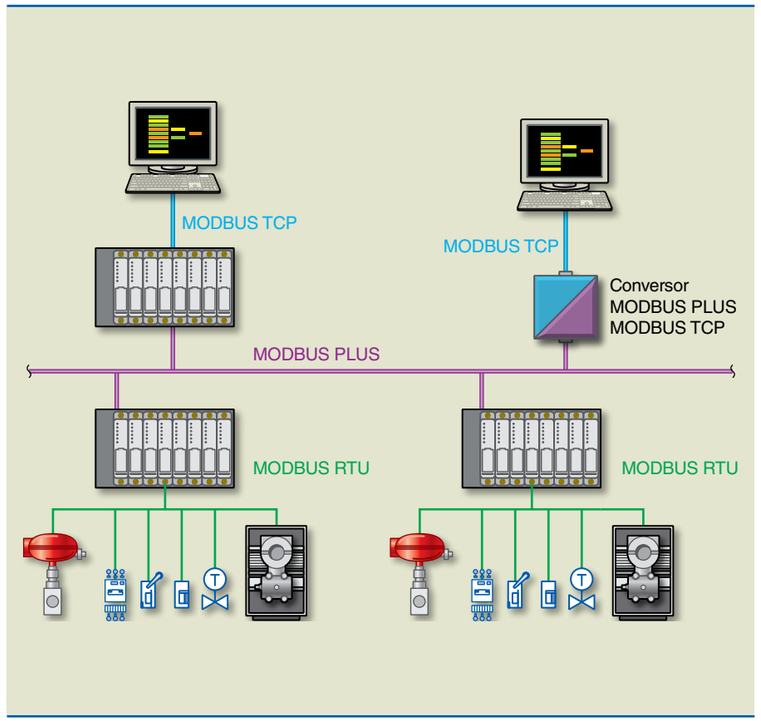


Figura 8.12
Topologia utilizada em redes Modbus.

Durante a comunicação em uma rede Modbus, o protocolo determina como o dispositivo mestre deve questionar o dispositivo escravo, ou seja, instruções para verificar se o escravo está ativo ou não, se o escravo possui valores discretos (digitais) ou analógicos e como decodificar a informação recebida. Em resumo, a programação do mestre corresponde a dizer quais blocos ele vai ler, em quais endereços e qual conteúdo deve esperar como resposta. Isso tem de ocorrer de maneira coordenada, pois os blocos ou dispositivos escravos, por sua vez, devem

estar parametrizados com os valores de endereço esperados, ser realmente dispositivos discretos ou analógicos e estar preparados para responder de acordo com a mensagem formatada pelo protocolo, conforme previamente programado no dispositivo mestre Modbus.

O dispositivo mestre dessa rede pode enviar mensagens para um escravo específico ou uma única mensagem para que todos os dispositivos da rede leiam e entendam o que foi pedido. Esse tipo de envio em massa a todos os escravos da rede normalmente contempla ações que devem ser sincronizadas no tempo. Um exemplo é a leitura de temperatura em 64 pontos analógicos distintos (8 blocos de E/S com 8 entradas de temperatura cada um). No instante em que o escravo recebe a informação de ler e armazenar temporariamente esse valor, ele o fará para posterior consulta do mestre e então consolidará toda a informação recolhida ao longo de alguns ciclos de varredura. A comunicação entre um mestre e um escravo obedece a algo semelhante ao fluxo apresentado na figura 8.13.

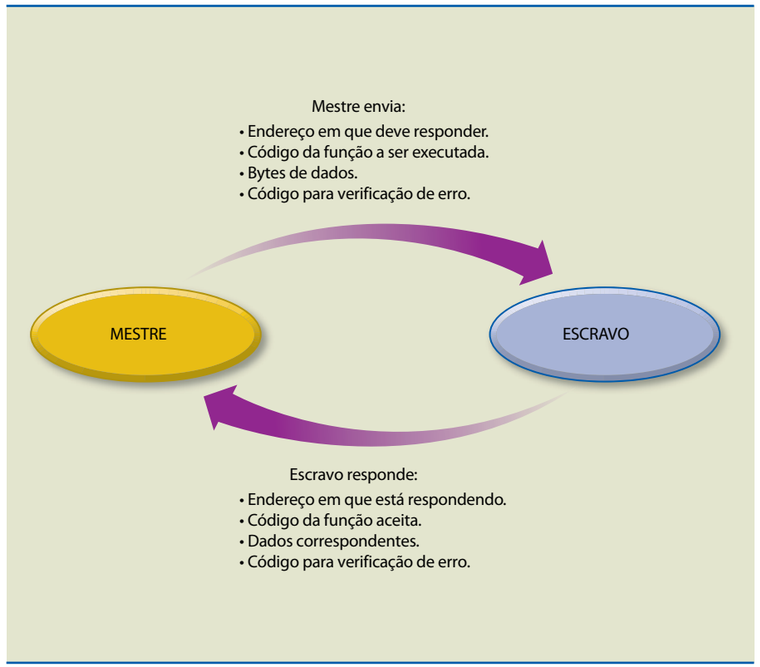


Figura 8.13
Fluxo de comunicação entre mestre e escravo no Modbus.

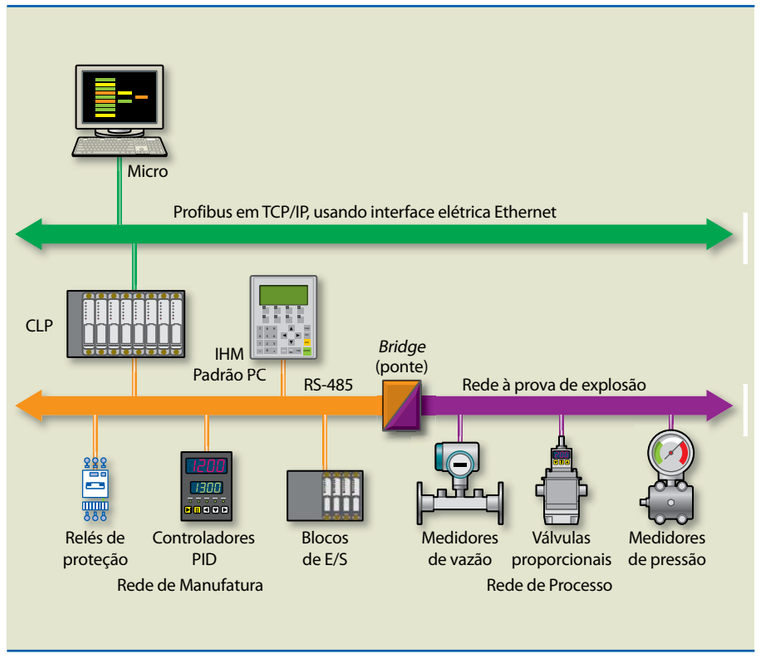
Na transmissão do mestre, os bytes de dados têm informações para o escravo, incluindo qual registrador inicial deve responder e a quantidade de registros que têm de ser lidos, ao passo que o campo de verificação de erro permite ao escravo validar os dados que recebeu do mestre. Na resposta do escravo, o código de função é repetido de volta para o mestre, juntamente com os bytes de dados que possuem a informação solicitada ao escravo. Se alguma falha na aquisição do dado ocorrer, o código da função é modificado para indicar esse erro e os bytes de dados conterão um código que descreverá o erro. A verificação de erro permite ao mestre validar os dados recebidos.

8.2.2 Protocolo Profibus

O Profibus foi desenvolvido em 1987 na Alemanha por uma associação de 21 companhias, a fim de criar um barramento de campo. Em 1995, foi fundada a Profibus International, englobando 22 entidades espalhadas pelo mundo, com o objetivo de promover esse protocolo de comunicação aberto.

O Profibus possibilita interligar não só a parte de controle da planta por meio do gerenciamento dos blocos de E/S e outros CLPs, como também dispositivos de outros controles externos ao processo, mas pertinentes à planta industrial. A figura 8.14 dá uma ideia de como e onde é utilizado o protocolo Profibus na comunicação entre dispositivos de uma planta industrial.

Figura 8.14
Interligação de dispositivos utilizando o protocolo Profibus.



O protocolo Profibus pode ser usado em níveis superiores de acesso, na parte de administração da informação de chão de fábrica, por meio do Profibus Ethernet, também conhecido como Profinet; em níveis inferiores, gerenciando ou controlando dispositivos de processo, como relés de proteção, controladores PID, blocos de E/S, válvulas, medidores e outros; e em conversores eletro-ópticos, empregando fibras ópticas como meio de transmissão e recepção de dados em áreas classificadas, ou seja, que tenham risco de explosão.

O protocolo subdivide os elementos em dispositivos de manufatura e de processo, de acordo com o tipo de dados que serão enviados e recebidos por meio das interfaces.

Fornecedores de *hardware* também disponibilizam conversores, conhecidos como *gateways* (portas de acesso), que servem de dispositivos de interligação entre os padrões a serem utilizados, por exemplo, o conversor Ethernet para RS-485 e conversores RS-485 para fibra óptica. Esses *gateways* decodificam a informação de um meio físico e a transmitem em outro, mantendo a rede sempre atualizada e os caminhos alternativos disponíveis para alguns fluxos de dados que o processo exige.

Assim como outros protocolos, o Profibus é uma família, com pequenas variações entre os diversos tipos. Destacam-se:

- **Profinet (*Profibus for Ethernet*)** – Utilizado na comunicação entre CLPs e PCs usando Ethernet-TCP/IP por meio de uma interface Ethernet.
- **Profibus FMS (*Fieldbus Message Specification*, ou Especificação de Mensagem no Barramento de Dados)** – Também empregado em comunicação entre CLPs e PCs, porém, por meio de interfaces seriais dedicadas de alta velocidade.
- **Profibus DP (*Decentralized Peripherals*, ou Periféricos Descentralizados)** – Usado na comunicação com *drivers* de motores, blocos de E/S, transdutores, analisadores, controladores, entre outros.
- **Profibus PA (*Process Automation*, ou Automação de Processos)** – Utilizado na comunicação com transmissores de pressão, nível, vazão, temperatura e válvulas de controle. Usa como meio físico as interfaces elétricas com nível de potência adequado para permitir sua instalação em áreas classificadas.
- **AS-I (*Actuator Sensor Interface*, ou Interface Sensor/Atuador)** – Empregado na comunicação com sensores e atuadores discretos (*on/off*). Utiliza um *gateway* entre o Profibus DP e o AS-I para acesso a esses atuadores.

A seguir, são apresentados detalhes das interfaces de comunicação físicas usadas no Profibus.

Padrão RS-485

- Cabo par trançado com malha.
- Taxas de 9 600 bps (distância de 1 200 metros) a 12 Mbps (distância de 100 metros).
- Topologia física em barramento com terminadores.
- Até 32 dispositivos.
- Com um repetidor, permite mais 32 dispositivos.
- Com o uso máximo de quatro repetidores, chega a 126 dispositivos em uma mesma rede.
- Conectores de interligação tipo DB9 para padrão IP20.
- Conectores circulares específicos para IP65 ou IP66.

Padrão MBP (*Manchester Coding Bus Powering*, ou Barramento de Código Manchester)

A codificação Manchester é uma das formas de garantir a integridade de um sinal transmitido em uma rede de comunicação.

- Cabo par trançado com malha.
- Transmissão síncrona com taxa de 31,25 kbps.
- Topologia física em barramento e/ou árvore.
- Segmentos com até 32 dispositivos.
- Com um repetidor, permite mais 32 dispositivos.
- Com o uso máximo de quatro repetidores, chega a 126 dispositivos em uma mesma rede.
- Intrinsecamente seguro.

Fibra óptica

É utilizada em ambientes com muito ruído elétrico, com necessidade de vencer grandes distâncias ou ainda para redundância. Entre suas características estão ser imune à interferência eletromagnética e permitir o isolamento entre duas redes distintas, ou seja, se um lado da rede interligada por fibra óptica receber uma descarga elétrica e se danificar, a rede do outro extremo da comunicação óptica não será danificada. Os conversores de fibra decodificam o sinal RS-485 em óptico.

8.2.3 Protocolo CAN

O protocolo CAN (*Controller-Area Network*, ou Rede de Controladores de Área) foi desenvolvido pela Bosch na década de 1980, para a interligação dos sistemas de controle eletrônicos dos automóveis. Originalmente usado para a troca de dados em veículos motorizados, exigindo extrema velocidade, nos anos 1990 passou a ser utilizado também na comunicação de dispositivos industriais, em barramentos internos de máquinas e equipamentos mais complexos e em dispositivos que demandavam a velocidade que a interface possibilitava, além de ter várias utilizações em IHMs.

Esse protocolo permite o acesso a múltiplos mestres, ou seja, todos os dispositivos da rede podem transmitir solicitações de consulta ou respostas a qualquer outro dispositivo. Dessa maneira, não existe um endereço específico para cada dispositivo, ou seja, o transmissor envia a mensagem para todos os nós simultaneamente.

No entanto, cada mensagem contém certo número de bits identificadores usados para definir a prioridade no acesso ao meio. Tal liberdade de tráfego pode gerar colisões e, nesse caso, as regras de prioridade devem ser definidas pelo programador. Existe um bit específico na transmissão que define o nível de prioridade que o pacote tem no tráfego. Se um pacote de informação possui prioridade 5 e outro, prioridade 2, em uma ordem crescente o pacote com prioridade 2 seria transmitido, enquanto o de prioridade 5 teria de aguardar o término dessa transmissão. Desse modo, identificadores com menor valor binário são de prioridade mais alta. A arquitetura multimestre tem efeito positivo na disponibilidade da rede, pois a falha de um controlador não leva ao colapso do barramento.

Outros protocolos que utilizam a especificação do CAN:

- Devicenet, ou Rede de Dispositivos.
- *Smart Distributed System* (SDS), ou Sistema Inteligente Distribuído.

- CAN Open.
- CAN Kingdom.
- SAE J1939.

As especificações do protocolo CAN detalham partes da camada física e da camada de enlace dos dados a serem transmitidos entre os controladores. A parte física, como conectores e cabos, é aberta aos usuários dessa tecnologia. A principal utilização do CAN em aplicações industriais é em processos cíclicos e sincronizados, ou seja, uma vez definida a plataforma CAN de comunicação, cabe aos usuários e programadores definir qual sequência e quais prioridades devem existir entre esses dispositivos.

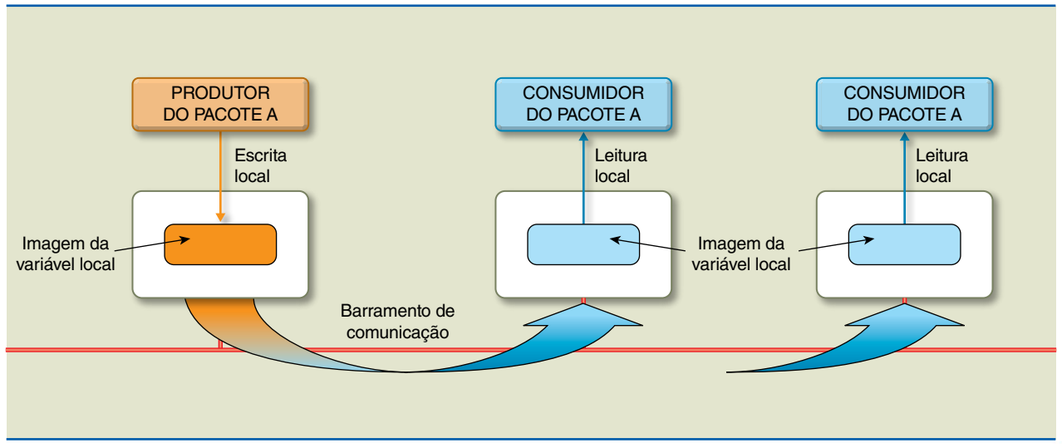
Os protocolos Devicenet, SDS, CAN Open, SAE J1939 e CAN Kingdom, mesmo baseados no CAN, possuem características bem definidas no que se refere a especificações de cabeamento e conexão dos dispositivos que compõem essa rede.

As principais características das mensagens no protocolo CAN são:

- Segmentação para transmissão de mais bytes.
- Identificador de 11 bits com 2 048 tipos diferentes de mensagens.
- Taxas de 1 Mbps até 40 metros e 50 kbps em 1 km.
- Barramento com até 64 nós.
- Uso da tecnologia do *chip* CAN.
- Identificador de dados (0 a 8 bytes).

A rede CAN trabalha no modelo produtor-consumidor, que, em resumo, trata a questão da comunicação com a seguinte ideia: se alguém precisa de uma informação, é necessário providenciá-la; de outro lado, se uma informação é disponibilizada na rede, alguém vai precisar dela. Esse raciocínio define que não existe um único mestre ou uma forma de comunicação predefinidos. A figura 8.15 mostra um caso em que um pacote de dados (produto) é enviado à rede e um ou mais dispositivos o utilizam para processar ou interagir localmente no processo (consomem o pacote).

Figura 8.15
Geração e consumo de produtos na rede CAN.



8.2.4 Protocolo Devicenet

Desenvolvido pela Allen-Bradley, empresa do grupo Rockwell Automation e lançado em 1994, o Devicenet, ou Rede de Dispositivos, oferece uma arquitetura integrada no formato produtor-consumidor, pois baseia-se no protocolo CAN. Por se tratar de um protocolo aberto, outros fabricantes também utilizam esse padrão com o intuito de compatibilizar seus produtos a essa rede muito difundida nas indústrias.

Consiste em uma arquitetura de rede que permite a leitura, a atuação e a configuração de dispositivos ligados a ela (figura 8.16). Esse protocolo é utilizado na interligação de CLPs e IHMs e na comunicação com atuadores *on/off*, inversores de frequência e chaves de partida eletrônica.

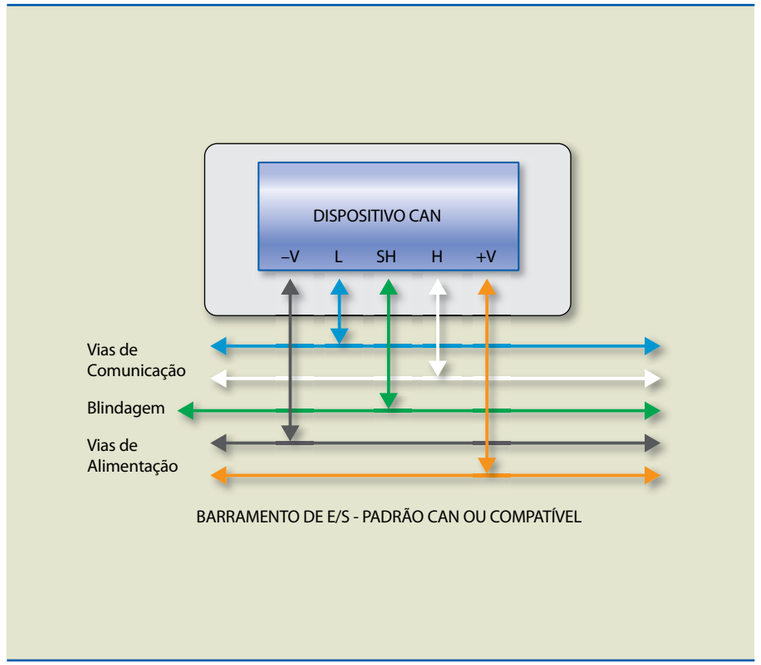


Figura 8.16
Barramento de comunicação Devicenet, compatível com CAN.

A rede Devicenet utiliza dois pares de fios em seu barramento, um deles para comunicação e o outro para alimentação dos dispositivos. Usa corrente contínua na alimentação, e os cabos possuem blindagem externa aos pares com fita de alumínio e uma segunda blindagem geral por malha trançada com fio de dreno. Existe uma padronização nas cores dos fios: o par de alimentação é vermelho (V+) e preto (V–), e o par de comunicação, branco para o sinal chamado de CAN High e azul para o CAN Low. Com diversos modelos de cabos para diferentes aplicações na indústria, os cabos são conhecidos como tronco ou grosso (diâmetro de 12,5 mm), fino (diâmetro de 7 mm) e *flat*, cada qual com aplicações específicas de utilização. Os cabos podem ser visualizados na figura 8.17.

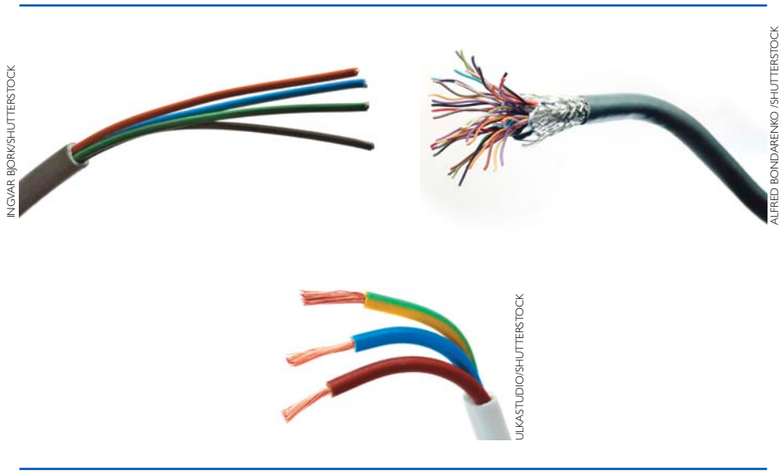


Figura 8.17
Modelos de cabos para Devicenet.

A topologia de distribuição na figura 8.18 exemplifica como os dispositivos são instalados em uma rede Devicenet na indústria.

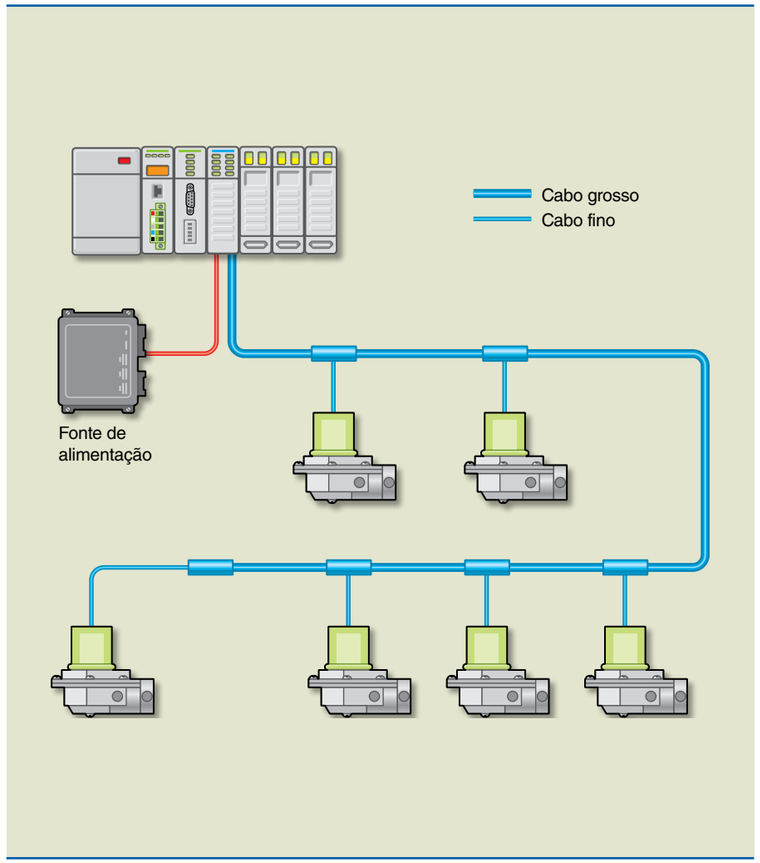


Figura 8.18
Exemplo de rede Devicenet e especificação dos cabos.

Outras características da rede Devicenet são:

- Topologia física em barramento.
- Linhas tronco e derivações com resistores de terminação de 121 Ω. Têm a função de evitar a reflexão dos sinais e devem ser ligadas entre os terminais de comunicação (par azul e branco).
- Conexão de até 64 elementos.
- Inserção e remoção de nós a quente, ou seja, sem a necessidade de desconectar a alimentação da rede.
- Taxas de transmissão de dados da ordem de 125 a 500 kbps.

Existe uma relação entre o comprimento de cabo e a velocidade de transmissão de dados que deve ser observada em novas instalações ou mesmo na manutenção e substituição de cabos. A tabela 8.1 apresenta esses dados para consulta.

Tabela 8.1
Relação tipo de cabo *versus* taxa de transmissão e velocidade de barramento

Tipo de cabo	Função do cabo	Taxa de transmissão		
		125 kbps	250 kbps	500 kbps
Cabo grosso	Tronco	500 m	250 m	100 m
Cabo fino	Tronco	–	100 m	–
Cabo *flat*	Tronco	380 m	200 m	75 m
Cabo fino	Derivação individual	–	6 m	–
Cabo fino	Soma de derivações	156 m	78 m	39 m

A configuração dos dispositivos, também chamados de nós, é baseada em folhas de dados eletrônicos (EDS, *Electronic Data Sheets*). Fornecidas pelos fabricantes dos dispositivos Devicenet, essas folhas contêm descrições eletrônicas de como o dispositivo opera e quais os dados e formatos que lhe é permitido trocar. O Devicenet também possui uma versão Ethernet, o Controlnet, que possibilita a comunicação de dados com dispositivos hierarquicamente superiores à rede de controle.

8.2.5 Protocolo Hart

O protocolo de comunicação Hart (*Highway Addressable Remote Transducer*, ou, em tradução não literal, Larga Comunicação para Transdutores Remotos Endereçáveis) é um padrão industrial para comunicação com instrumentos de processo "inteligentes". Criado pela Rosemount na década de 1980 e mantido pela Hart Communication Foundation desde 1993, esse protocolo permite comunicação digital simultânea com o sinal analógico de corrente de 4 a 20 mA, ou seja, a grandeza informada digitalmente por um sinal modulado em FSK (*frequency shift keying*, ou modulação por chaveamento de frequência) é proporcional à variação de corrente na malha, de 4 a 20 mA, utilizando o mesmo par de cabos.

É importante destacar algumas características do Hart:

- Possibilita o acesso remoto a todos os parâmetros e diagnósticos do instrumento.
- Permite o suporte a instrumentos multivariáveis, ou seja, instrumentos que trabalham com mais de uma grandeza no mesmo dispositivo.
- Disponibiliza informações do estado do dispositivo durante o monitoramento deste.
- É compatível com a fiação existente para 4-20 mA.
- Utiliza um padrão aberto de comunicação.
- Possibilita que instrumentos de campo sejam calibrados e aferidos simultaneamente (medidores de pressão, vazão, temperatura, nível, entre outros).

O padrão de comunicação 4-20 mA é largamente utilizado como forma de transmitir uma informação do processo para um elemento de controle ou registro. Apenas uma informação pode ser transmitida, ou seja, tem a característica de uma rede ponto a ponto.

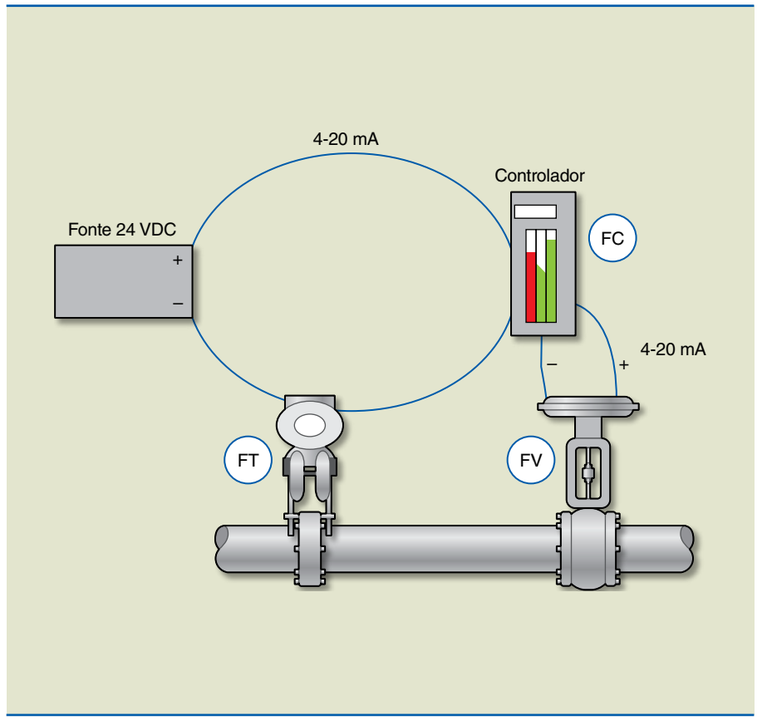


Figura 8.19
Sistema de vazão: exemplo de ligação do protocolo Hart.

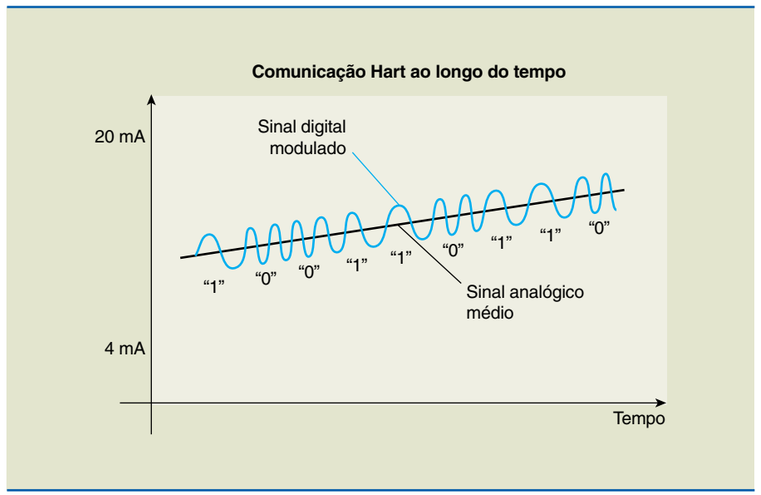
O sistema de controle de vazão da figura 8.19 exemplifica o tipo de ligação entre o dispositivo de medição e o controlador nesse protocolo. Esse sistema é composto por um transmissor multivariável de vazão (FT), um controlador e indicador de vazão (FC) e uma válvula de controle (FV); todos eles utilizam o padrão 4-20 mA para a transmissão da informação.

A vazão calculada dentro do transmissor multivariável é enviada ao controlador por um sinal de 4-20 mA. O controlador tem por função comparar o valor recebido e atuar na válvula de abertura de acordo com a vazão desejada. O controle da válvula também é feito enviando um sinal de 4-20 mA. Mesmo que o transmissor seja capaz de trabalhar com quatro grandezas físicas predefinidas pelo instalador do dispositivo, apenas uma delas pode ser transmitida pelo sinal de 4-20 mA.

Detalhando um pouco mais a comunicação feita por meio do protocolo Hart, apresenta-se a figura 8.20, na qual podemos observar como o sinal digital é incorporado ao sinal analógico. Ao sinal de corrente entre 4 e 20 mA é adicionado um sinal modulado em frequência, com amplitude máxima predefinida, em que o valor médio dessa corrente não interfere na proporcionalidade do sinal de 4-20 mA. A comunicação é feita em uma taxa de 1 200 kbps.

A modulação é feita com sinais senoidais, com amplitudes de corrente da ordem de 0,5 mA de pico. Considerando que o valor médio de uma senoide é zero, verifica-se que a modulação aplicada ao sinal de corrente não tem influência no valor real transmitido.

Figura 8.20
Modulação aplicada ao sinal de corrente no protocolo Hart.



Em aplicações práticas, o Hart é usado em comunicações mestre-escravo, ou seja, um dispositivo questiona e o outro responde ao questionamento. O protocolo também permite a utilização de mais de um mestre, porém, o segundo só assume o controle da comunicação quando percebe que o principal não está operando.

Nessa topologia, em geral, o mestre primário é o computador de supervisão e o secundário, um terminal de calibração e programação que pode ser ligado ao próprio barramento de 4 a 20 mA. Obviamente, o computador deve possuir uma interface que permita a leitura do sinal analógico da rede. A figura 8.21 apresenta uma topologia de rede multimestre conforme descrito.

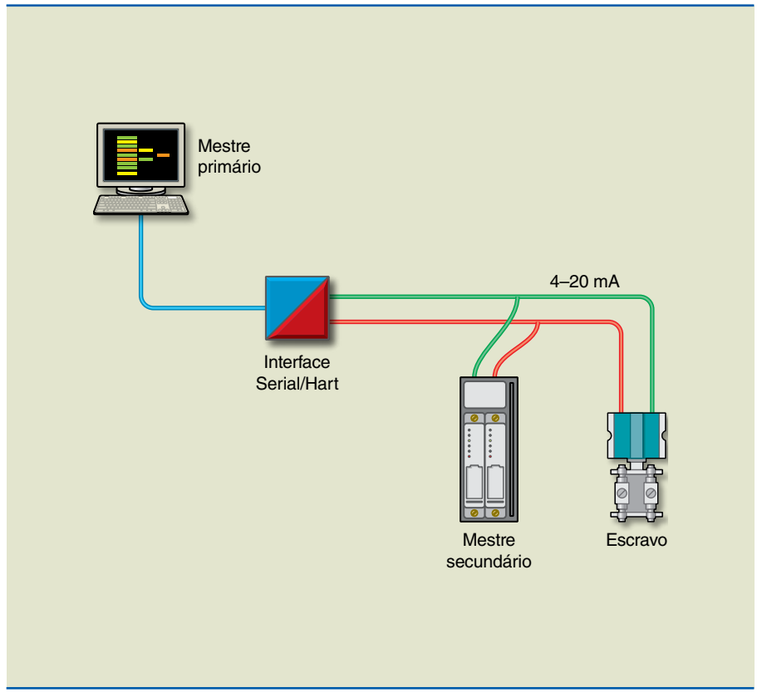


Figura 8.21
Topologia de ligação multimestre no protocolo Hart.

O dispositivo mestre possui a capacidade de provocar variações de corrente na linha, modulando o sinal; o escravo faz a parte da demodulação, transformando a corrente em tensão e aplicando essa variação proporcional no dispositivo que está controlando. Durante a resposta, esse processo se inverte: o dispositivo escravo da rede é que define o valor de corrente, que, por sua vez, é interpretado pelo mestre, que vai analisar, comparar e atuar em algum ponto do sistema quando necessário.

A comunicação em Hart é definida com os seguintes parâmetros:

- 1 bit de início e 8 bits de dados.
- 1 bit de paridade ímpar e 1 bit de parada.
- 40 bits para endereços universais (redes de maior porte) ou 8 bits para endereços curtos (redes de menor porte).
- 6 bits para o código de identificação do fabricante.
- 8 bits para o código do tipo de dispositivo.
- 24 bits para o código identificador do dispositivo.
- 4 bits para endereços de 1 a 15.

A rede Hart permite também a comunicação somente em sinais digitais (modulados em FSK). Nessa situação, a corrente utilizada é fixa em 4 mA e comporta até 15 dispositivos interligados. É possível interligar dispositivos com até 3 000 metros de distância utilizando um par de cabos, com tempo de leitura médio de 0,5 segundo por dispositivo.

As figuras 8.22 e 8.23 apresentam exemplos clássicos da utilização desse protocolo em automação de sistemas. A figura 8.22 ilustra um exemplo de mestre-escravos utilizando mais de um controle Hart atrelados a um computador que efetua a supervisão do sistema. Na figura 8.23, aparece um sistema multiplexado em que várias leituras ponto a ponto são possíveis graças ao chaveamento sincronizado dos pontos a serem monitorados.

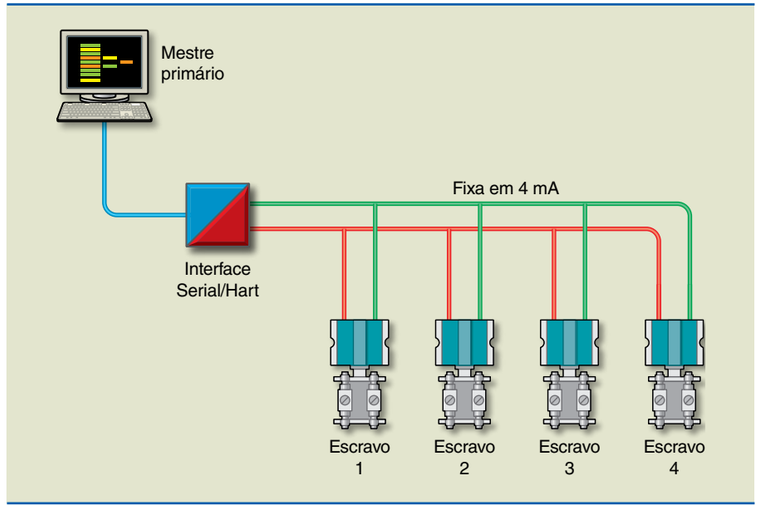


Figura 8.22
Mestre e escravos na topologia Hart.

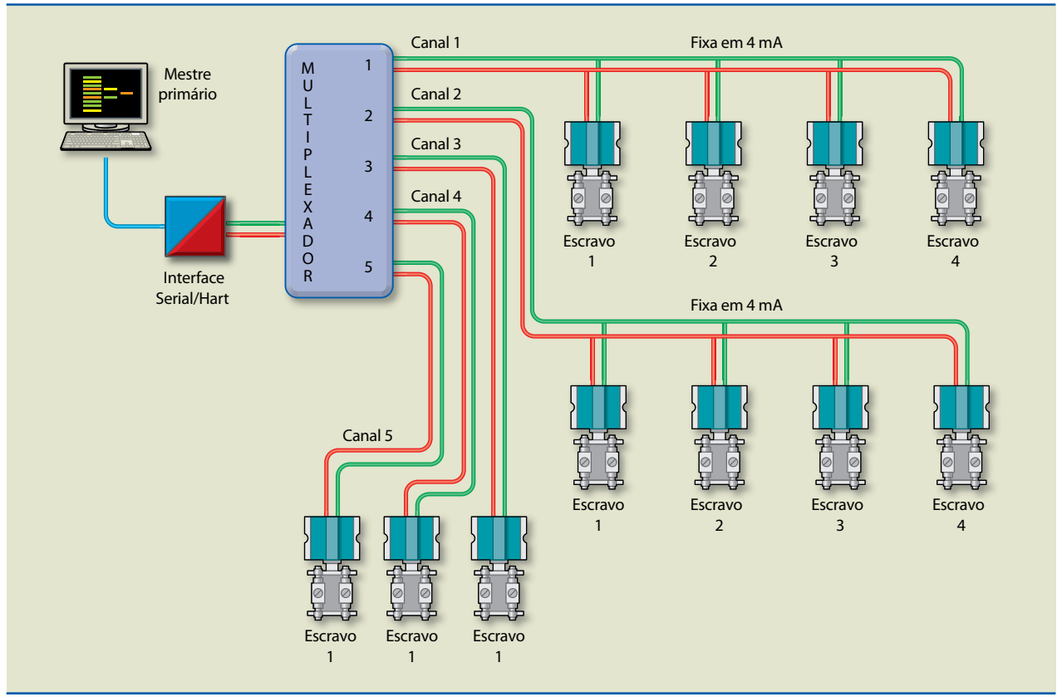


Figura 8.23
Sistema multiplexado utilizando Hart.

Por fim, vale destacar a existência de transmissores compatíveis com o protocolo Hart que têm por função também o controle de PID (proporcional, integral e derivativo). Com eles, é possível montar redes independentes, apenas com o controlador e a válvula de controle.

8.3 *Wireless* na automação

A comunicação *wireless* (sem fio) é caracterizada por um sistema de radiofrequência, comumente utilizada em 900 MHz ou 2,4 GHz, que estabelece *links* entre dois ou mais pontos. Esse sistema de rádio recebe o sinal digital de uma interface elétrica, decodifica e condiciona o sinal em ondas de rádio e o transmite a um segundo rádio. O segundo rádio capta o sinal transmitido e o codifica e condiciona a uma interface elétrica que deve estar ligada a um dispositivo destinatário. Vale ressaltar que essa comunicação é bidirecional, ou seja, o rádio que transmite o pacote de dados de perguntas também deve receber um pacote de dados de respostas, assim como o rádio que recebe o pacote de dados de perguntas tem de transmitir outro pacote de dados de respostas.

Sistemas de comunicação *wireless* trabalham com interfaces-padrão, normalmente do tipo serial ou Ethernet. Como a grande maioria dos protocolos apresentados pode trabalhar com essas interfaces, criou-se a cultura de utilização desse sistema de transmissão e recepção de dados também em áreas industriais. Para isso, esses rádios, comercialmente chamados de rádios bases ou repetidoras, têm se adequado aos padrões exigidos em ambientes industriais.

O sistema *wireless* pode ser utilizado em topologias ponto a ponto (figura 8.24), em que somente dois pontos de sinais são decodificados em sinais de rádio; ou ponto-multiponto (figura 8.25), em que vários pontos permanecem interligados, não havendo restrição de acesso entre eles.

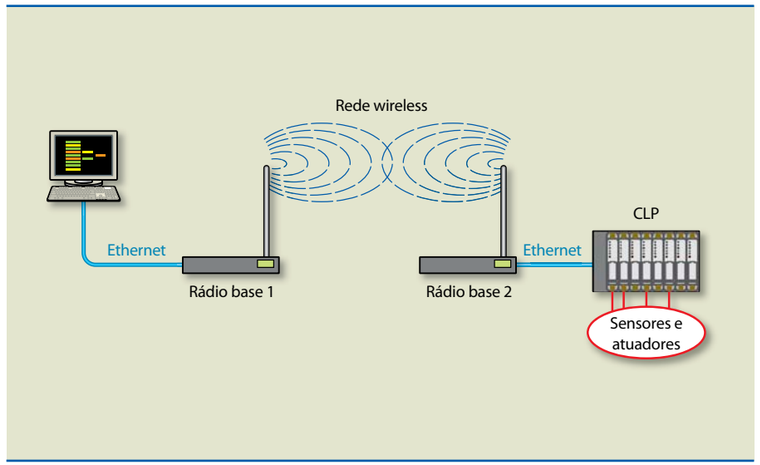


Figura 8.24
Topologia ponto a ponto em comunicações *wireless*.

Para que não haja problemas de comunicação em redes *wireless*, é importante conhecer dois aspectos básicos: tipos de antena e área de cobertura.

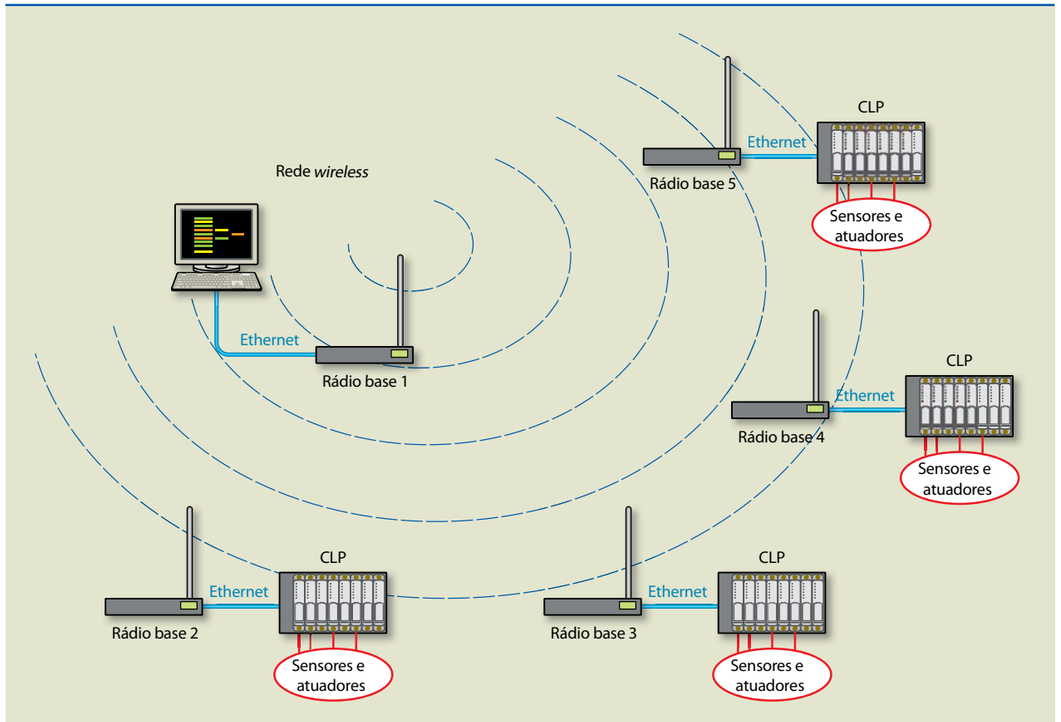


Figura 8.25
Topologia ponto-multiponto em comunicações *wireless*.

Os tipos de antena a serem utilizados estão diretamente ligados ao tipo de comunicação que deve ser estabelecido.

Basicamente, as antenas omnidirecionais (figura 8.26) possibilitam cobertura radial a partir do ponto em que estão fixas, e as direcionais (figura 8.27) possuem transmissão e recepção em determinado ângulo ao qual estão direcionadas. Ambos os modelos de antenas também são classificados pela potência de transmissão, que está relacionada com a área ou distância que se deseja cobrir com esse sinal.

WIKIMEDIA.ORG

Figura 8.26
Exemplo de antena omnidirecional.

VERYBIGALEX/SHUTTERSTOCK

Figura 8.27
Exemplo de antena direcional.

A área de cobertura desejada é um detalhe importante. Em telecomunicações, existe um estudo denominado *site survey*. Relativamente complexo, ele analisa a amplitude do sinal na área desejada em relação ao melhor ponto de transmissão do sinal. Esse estudo costuma ser realizado quando a automação demanda que o sinal esteja disponível em equipamentos móveis, como pontes rolantes, veículos com automação embarcada e computadores de mão para apontamento de produção na planta. Tal análise de cobertura é feita normalmente por *softwares* do próprio fabricante do rádio, que, ligado a um computador móvel, efetua leituras de potência e qualidade do sinal transmitido. Com essa informação mapeada na planta em estudo, é possível efetuar a análise de viabilidade econômica, bem como se existe ou não a necessidade de instalação de rádios repetidores de sinal para aumentar a área de cobertura.

As principais razões da não utilização de redes *wireless* em larga escala na automação industrial são a disponibilidade do sinal, que pode ser comprometida por fatores externos ou mesmo pela qualidade dos produtos, e a segurança dos dados. Vale ressaltar que, em relação à disponibilidade do sinal, a tecnologia dos rádios têm evoluído muito nos últimos anos e, por conta disso, a estabilidade da comunicação já é uma realidade em muitas empresas. Quanto à segurança dessas redes, com o avanço da tecnologia do rádio, tem avançado também a tecnologia de encriptação de sinal, ou seja, de criação de chaves de segurança, que, uma vez definidas entre os dispositivos, reduzem a probabilidade de invasão dessas redes.

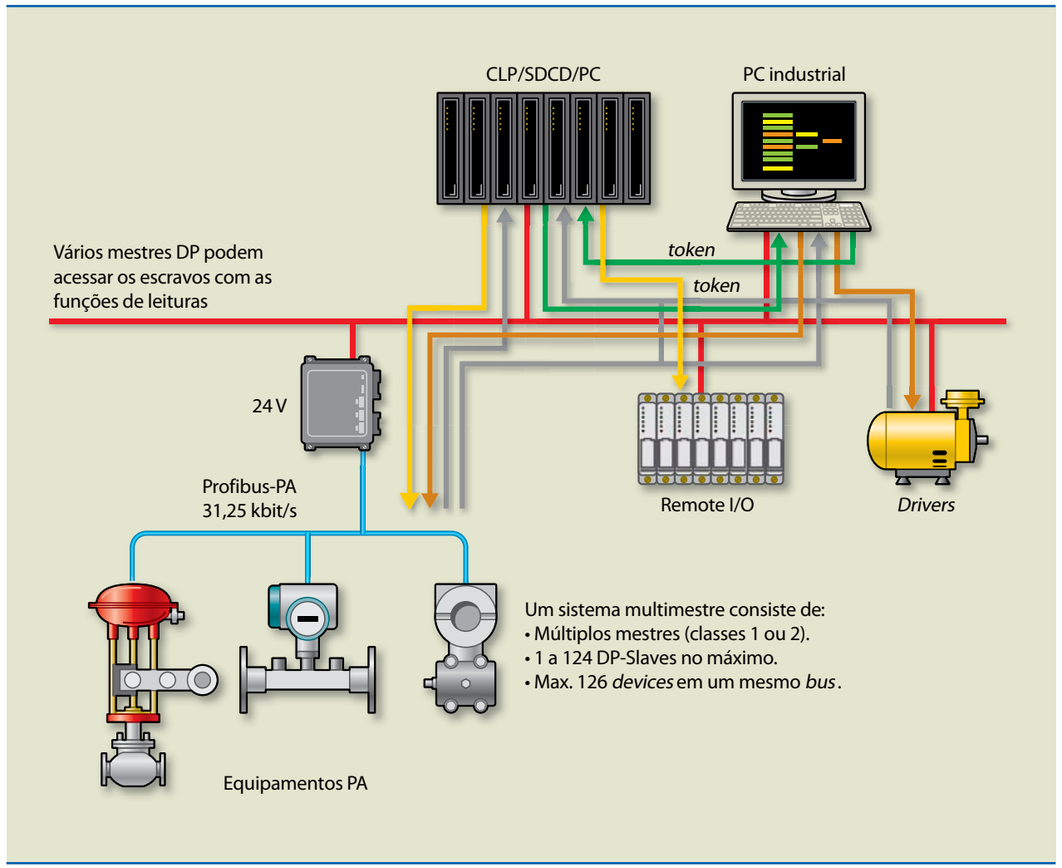
8.4 Sistemas multimestre

Muitos dos sistemas de automação necessitam de um controle mais apurado do que ocorre na planta produtiva. Processos químicos, de fundição, plantas de combustíveis e tantos outros processos industriais requerem alto índice de se-

gurança, visando não apenas a proteger a planta e os operadores, como também a minimizar perdas de matéria-prima. É comum que tais processos possuam sistemas que, em caso de falhas do controlador mestre, um controle secundário, tão poderoso quanto o primário, assuma o controle da planta produtiva.

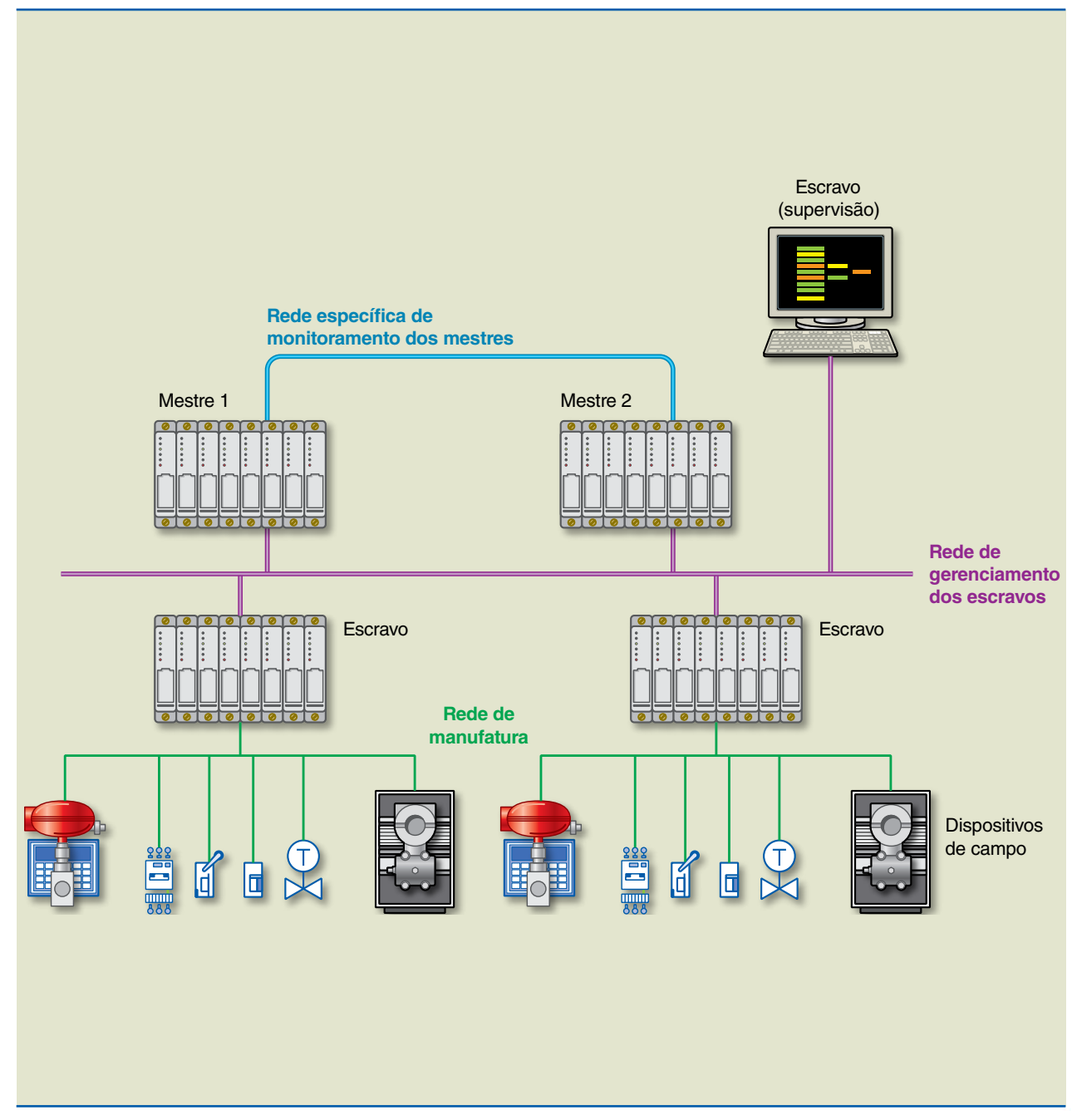
Nessa situação, além da necessidade de um *hardware* robusto, é importante que a rede de comunicação de dados possua a capacidade de "chavear" para um mestre secundário, em caso de falha do primário. Além do protocolo de comunicação, interligações de *hardware* possibilitam a rápida detecção da falha e a transferência de responsabilidade entre mestres. Um exemplo clássico sem grandes necessidades físicas é a utilização da topologia apresentada no protocolo Profibus DP. Nela, o próprio barramento de dados informa que um mestre deixou a operação, permitindo que o segundo assuma, conforme apresenta a figura 8.28. Nessa figura, é possível notar que os mestres podem ter acesso à leitura de todos os escravos (setas em cinza). Na atuação (setas em vermelho), apenas um deles pode assumir a tarefa. Usando o protocolo *Token Ring* (em verde), somente o mestre que detém o *Token* pode assumir o uso da rede. Dessa maneira, deve haver um esquema de arbitragem para que se decida quando o *Token* será passado ao outro mestre.

Figura 8.28
Topologia multimestre Profibus DP.



Outras técnicas utilizadas em protocolos se valem do monitoramento de uma variável do mestre primário por meio de uma rede de dados secundária, específica para essa finalidade. Nessa topologia, um CLP mestre secundário, por exemplo, monitora um bit ou um byte do CLP primário, que deve ser atualizado constantemente. Caso o CLP primário tenha algum problema de processamento, não poderá atualizar essa variável e, por consequência, essa falha, ao ser percebida pelo CLP secundário, fará com que ele assuma o controle até que a situação seja regularizada. Essa técnica possibilita que sistemas de menor porte executem funções similares quando o barramento de comunicação principal não permitir fazer. A figura 8.29 exemplifica o esquema de interligação entre os dispositivos.

Figura 8.29
Topologia multimestre genérica.

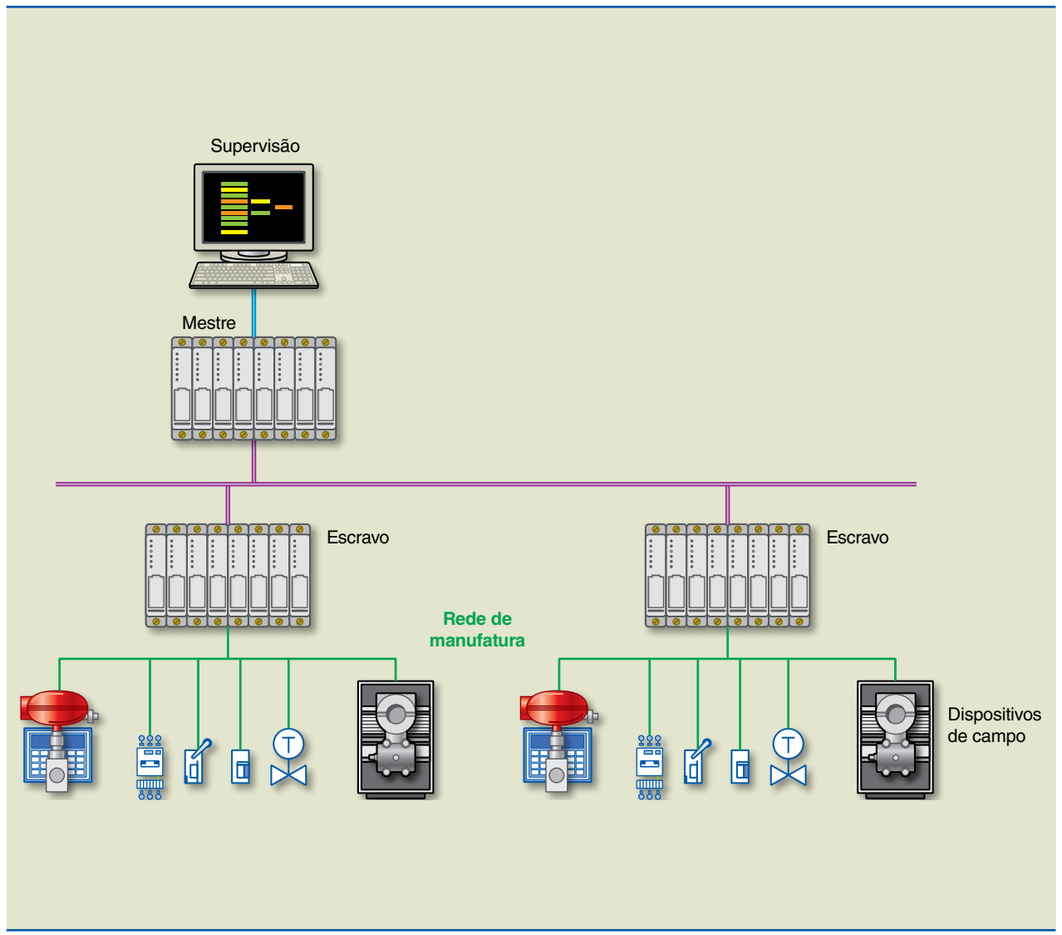


8.5 Topologias utilizadas na indústria

Nesta seção, são discutidas várias topologias de rede de comunicação utilizadas em automação industrial, com ênfase à nomenclatura empregada no chão de fábrica. Um aspecto importante a ser abordado é a continuidade do serviço no caso de falhas nas redes de comunicação, seja por quebra de cabos, seja por falhas nos transmissores da linha. As topologias são apresentadas com um breve descritivo de funcionamento. Vale ressaltar que todas elas permitem a utilização de interfaces em fibra óptica.

- **Rede em barramento** – Definida por uma linha comum de dados, permite que os dispositivos sejam ligados em paralelo ao longo dessa linha (figura 8.30). Foi uma das primeiras redes de comunicação utilizadas e tem como ponto fraco o fato de, quando rompido um dos cabos do par do barramento que a configura, todos os dispositivos a partir desse ponto ficarem comprometidos (figura 8.31).

Figura 8.30
Rede em barramento.



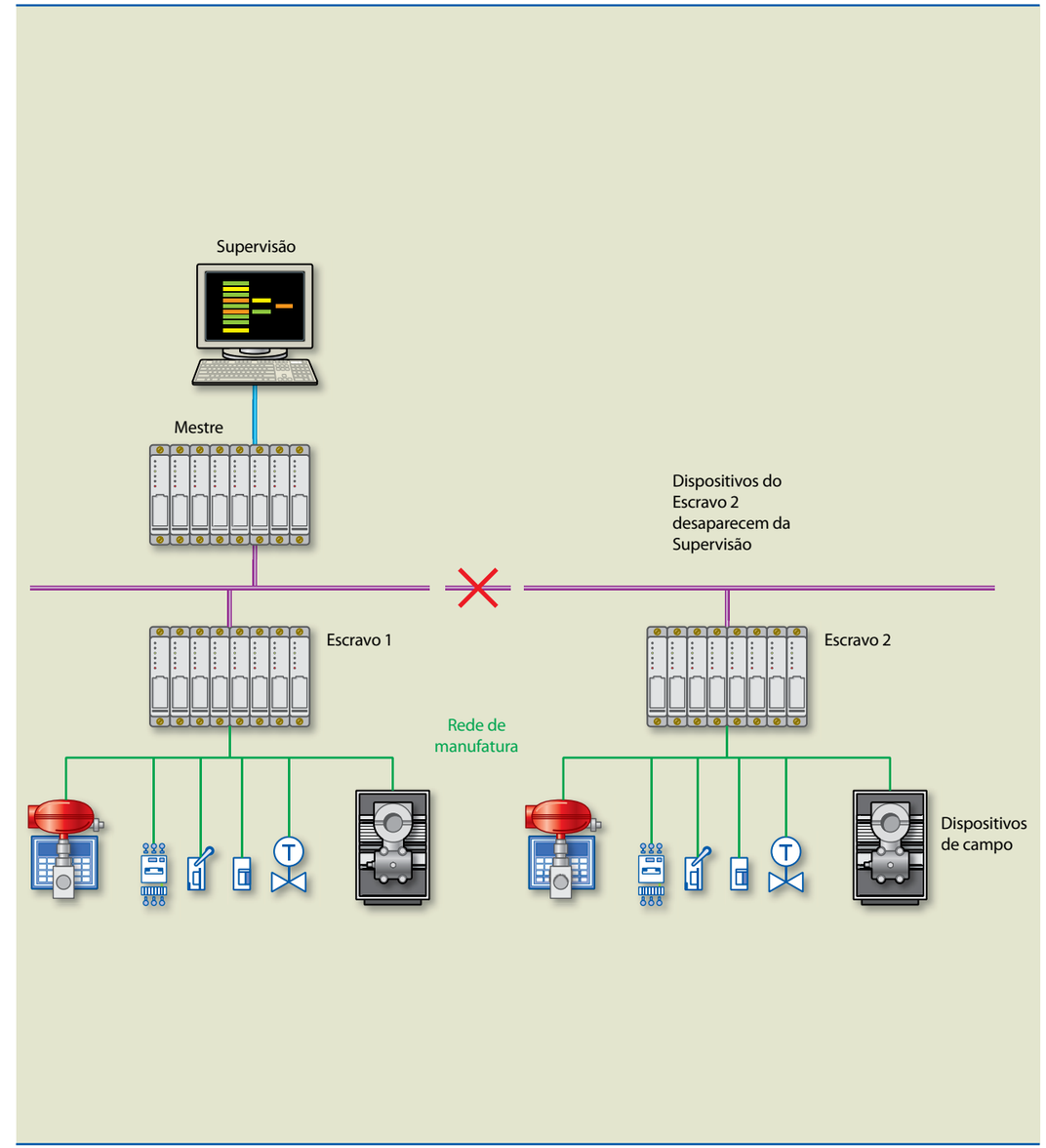


Figura 8.31
Rede em barramento com falha no cabo.

- **Rede em anel** – Definida pela interligação bidirecional entre os dispositivos que a compõem (figura 8.32). O dispositivo de distribuição deve possuir certa "inteligência", ou seja, deve detectar que o sinal que chega à sua direita é o mesmo que chega à sua esquerda e, portanto, deve desconsiderar um deles. Em caso de falha de um dos ramos da rede (figura 8.33), o dispositivo detecta que o sinal chegou somente por um dos lados e o utiliza, também informando ao *hardware* que gerencia o sistema que existe uma falha na rede de comunicação.

Figura 8.32 Rede em anel.

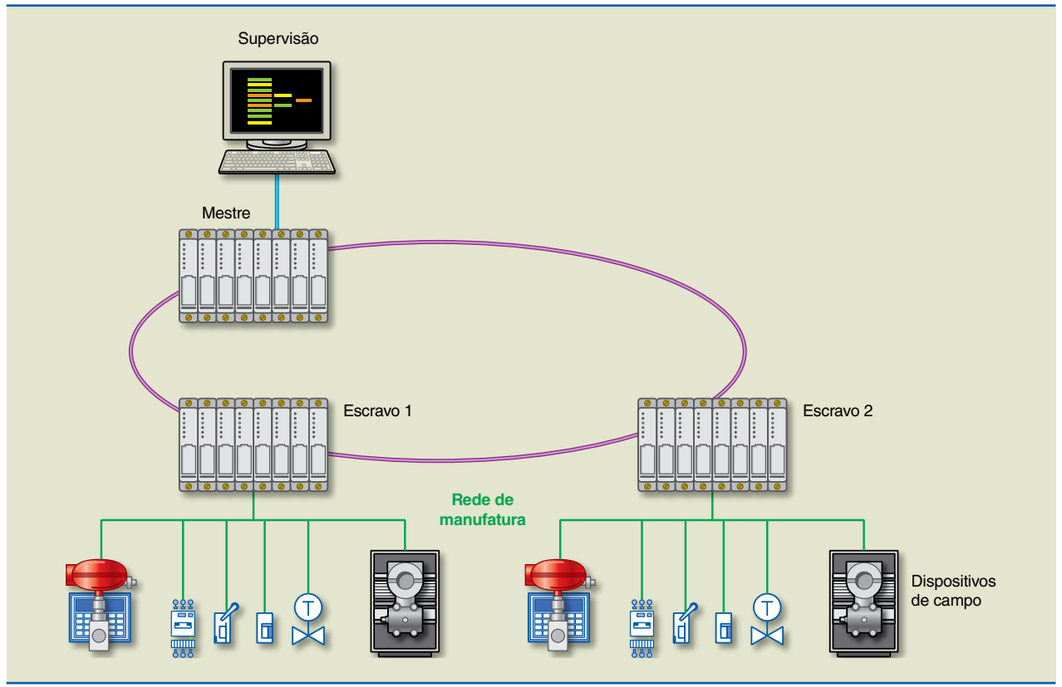
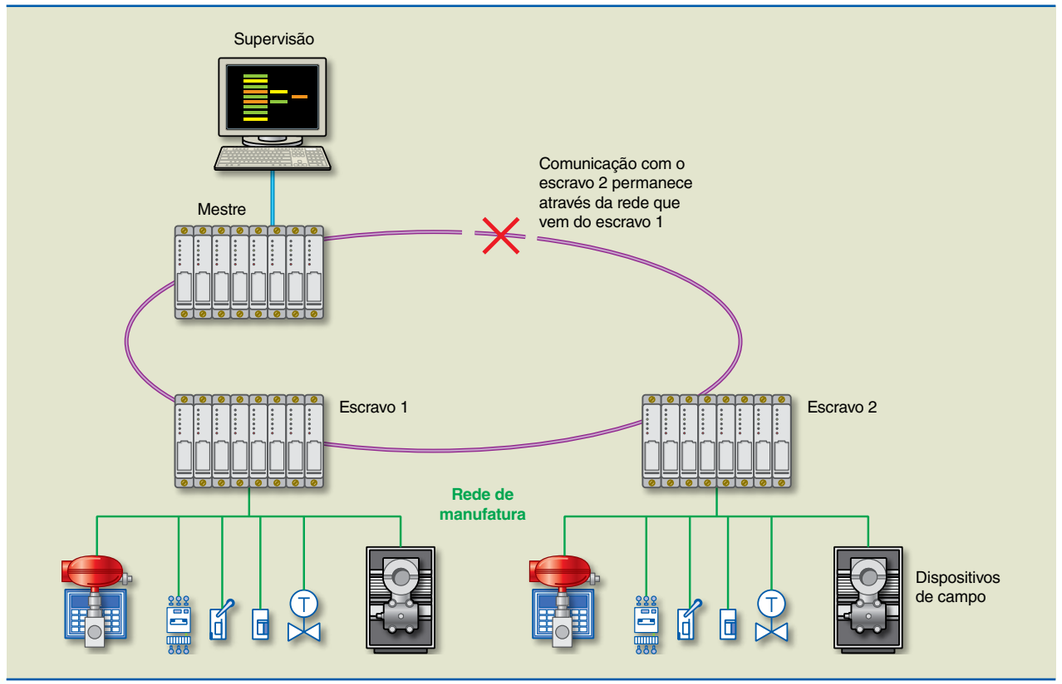


Figura 8.33 Rede em anel com ramo com falha no cabo.



- **Rede em anel redundante** – Asemelha-se à rede em anel (figura 8.34). Os dispositivos de distribuição possuem redundância na comunicação para o caso de falha do dispositivo que a gerencia. Praticamente não existe uma situação de falha na rede de comunicação que faça com que os dispositivos parem de se comunicar. Se houver falha de um dos dispositivos de distribuição, outro assume o controle de maneira automática e, em geral, transparente ao processo. É utilizada em situações muito críticas de disponibilidade. Gerencia redes de interface tipo Ethernet.

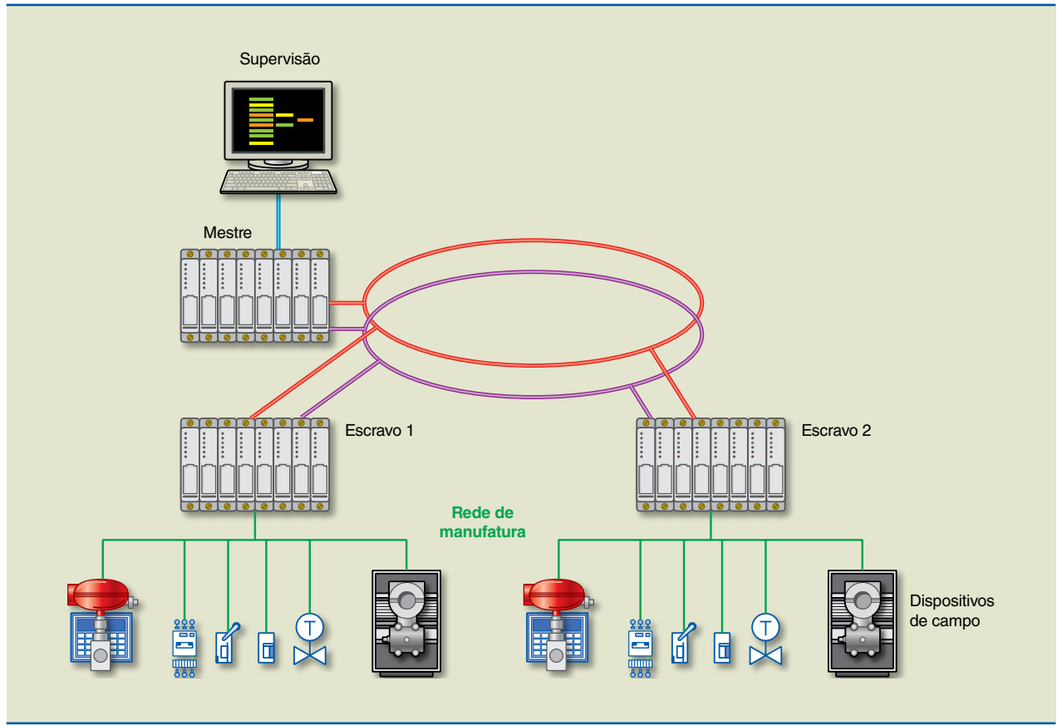



Figura 8.34
Rede em anel redundante.