

Engenharia de Controle e Automação
Disciplina: Redes Industriais - 7º Período
Professor: José Maurício S. Pinheiro

AULA 7 – Redes Industriais

A instrumentação e automatização migraram gradativamente de sistemas pneumáticos para sistemas baseados em microprocessadores. Na década de 1940, eram utilizados sinais de pressão de 3 a 15 PSI para aplicações industriais. Na década de 1960, os sistemas de controle passaram a aplicar sinais analógicos de 4 a 20mA. Na década de 1970, com o desenvolvimento da eletrônica digital, os processadores passaram a ser utilizados para o monitoramento e controle de dispositivos de controle e automação. Na década de 1980 foram desenvolvidos e implementados sensores com capacidade de processamento para aplicações no controle digital.

As redes de automação industriais atuais englobam uma variedade de tecnologias onde as áreas de computação, comunicação e controle coexistem, elevando o grau de complexidade nas fases de concepção, projeto, implantação e manutenção. Os sistemas de controle e automação industriais englobam diferentes paradigmas, metodologias e tecnologias, com diversos fornecedores.

1. Evolução das Redes de Campo

Rede de campo ou genericamente *Fieldbus*, descreve as redes digitais de comunicação com a finalidade de substituir os antigos padrões 4-20mA existentes. Essas redes de campo, ou barramentos de campo industriais, foram desenvolvidas com intuito de interligar dispositivos de automação industrial como sensores, atuadores, módulos de I/O (*input/output*), controladores lógicos, sistemas de supervisão e monitoramento. O conceito se baseia num ambiente compartilhado que agrega flexibilidade e distribuição de processamento nos dispositivos. O controle industrial, inicialmente centralizado, passa a ocorrer de forma distribuída nos CLP's, definindo os Sistemas Digitais de Controle Distribuídos (SDCD).

A definição de um padrão internacional levou vários grupos a se unirem, entre eles destacam-se a *International Society of Automation (ISA)*, a *International Electrotechnical Commission (IEC)*, o comitê de padronização do PROFIBUS (norma alemã) e o comitê de padronização do FIP (norma francesa). Esses comitês formaram o comitê internacional IEC/ISA SP50 Fieldbus. Em 2000, todas as organizações interessadas convergiram para criar o Fieldbus padrão IEC, que foi denominado IEC 61158 com oito protocolos distintos (Figura 1):

- Tipo 1 — FOUNDATION Fieldbus H1;
- Tipo 2 — ControlNet;
- Tipo 3 — PROFIBUS;
- Tipo 4 — P-Net;
- Tipo 5 — FOUNDATION Fieldbus HSE (High Speed Ethernet);
- Tipo 6 — Interbus;

- Tipo 7 — SwiftNet;
- Tipo 8 — WorldFIP

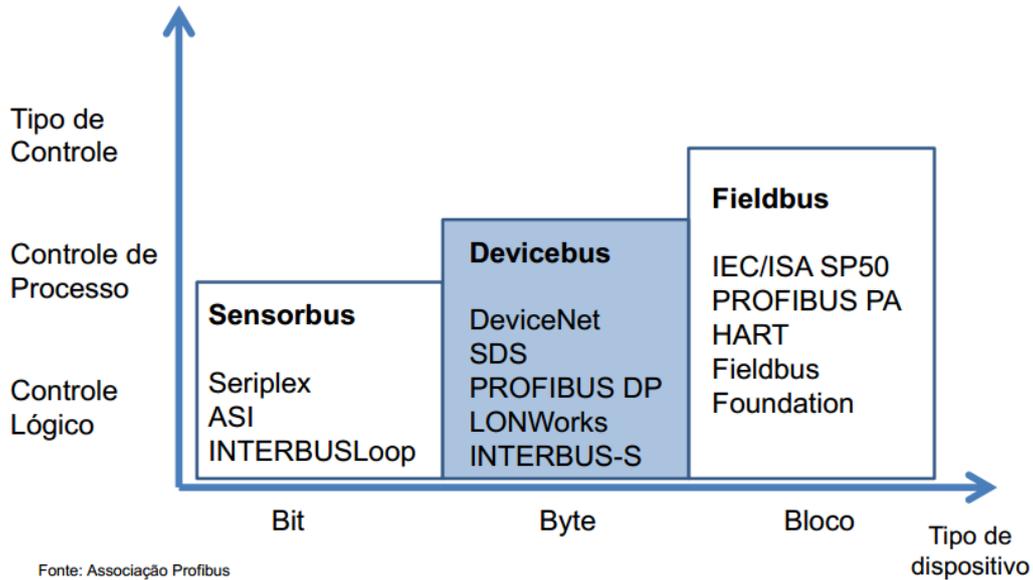


Figura 1 - Classificação e divisão de Fieldbuses

Mesmo com estes padrões, não foi possível abranger todas as aplicações na indústria. Mais tarde, foi criada a IEC 61784, como uma definição dos chamados “*profiles*” e, ao mesmo tempo, foram corrigidas as especificações de IEC 61158. A Tabela 1 mostra os padrões com os seus respectivos “*profiles*”.

Tabela 1 - Padrões e protocolos de acordo com a IEC 61784 e IEC 61158

IEC 61784	IEC 61158 - PROTOCOLOS		
	MEIO FISICO	DATA LINK LAYER	
CPF-1/1	TIPO 1	TIPO 1	FOUNDATION FIELDBUS (H1)
CPF-1/2	ETHERNET	TCP/UDP/IP	FOUNDATION FIELDBUS (HSE)
CPF-1/3	TIPO 1	TIPO 1	FOUNDATION FIELDBUS (H2)
CPF-2/1	TIPO 2	TIPO 2	CONTROLNET
CPF-2/2	ETHERNET	TCP/UDP/IP	ETHERNET/IP
CPF-3/1	TIPO 3	TIPO 3	PROFIBUS-DP
CPF-3/2	TIPO 1	TIPO 3	PROFIBUS-PA
CPF-3/3	ETHERNET	TCP/UDP/IP	PROFINET
CPF-4/1	TIPO 4	TIPO 4	P-NET RS-485
CPF-4/1	TIPO 4	TIPO 4	P-NET RS-232
CPF-5/1	TIPO 1	TIPO 7	WORLDFIP(MPS.MCS)
CPF-5/2	TIPO 1	TIPO 7	WORLDFIP(MPS.MCS, SubMMS)
CPF-5/3	TIPO 1	TIPO 7	WORLDFIP(MPS)
CPF-6/1	TIPO 8	TIPO 8	INTERBUS
CPF-6/2	TIPO 8	TIPO 8	INTERBUS TCP/IP
CPF-6/3	TIPO 8	TIPO 8	INTERBUS SUBSET
CPF-7/1	TIPO 6	TIPO 6	SWIFNET TRANSPORT
CPF-7/2	TIPO 6	TIPO 6	SWIFNET FULL STACK

Os padrões para os vários protocolos de Ethernet já foram incluídos. Estes padrões utilizam o meio físico da Ethernet bem como os protocolos IP, TCP e UDP. Cabe ressaltar que, apesar de os mecanismos de padronização auxiliarem na interoperabilidade entre diferentes tecnologias de redes industriais para um único ambiente de controle e automação industrial, alguns requisitos de padronização podem não ser satisfeitos, levando uma degradação no desempenho da rede e, conseqüentemente, no controle do sistema de manufatura ou processo.

2. Classificação das Redes Industriais

As redes industriais podem ser classificadas segundo uma série de características físicas e lógicas. A Tabela 2 apresenta uma classificação geral para as redes industriais.

Tabela 2 - Classificação geral de redes industriais

Topologia Física	Barramento – Anel – Estrela – Árvore – Mista
Modelo de rede	Origem-destino e Produtor-consumidor
Método de troca de dados	Pooling – Cíclica – Mudança de estado
Tipo de conexão	Ponto-a-ponto e Multiponto
Modo de transmissão	Serial e Paralela
Sincronismo de bits	Síncrona e Assíncrona
Modo de operação	Simplex – Half duplex – Full duplex
Tipo de comunicação	Comutação de circuitos e Comutação de pacotes

Dentre as possíveis topologias para interconexão de dispositivos de automação em rede, a mais utilizada é a de barramento. A conexão utilizando a topologia em barramento traz uma série de vantagens, tais como:

- Flexibiliza a ampliação da rede e facilita adicionar módulos na mesma linha;
- Permite atingir maiores distâncias do que com outros tipos de conexões;
- Reduz o quantitativo de cabeamento;
- Reduz os custos globais de projeto;
- Simplifica a instalação e operação da rede;
- Disponibilidade de ferramentas para instalação e diagnóstico;
- Possibilidade de conexão de dispositivos de diferentes fornecedores.

Por outro lado, a substituição de uma rede existente em configuração ponto-a-ponto (com CLP) por um barramento industrial possui algumas desvantagens aparentes:

- Necessidade de aquisição de *know-how*;
- Elevado investimento inicial.
- A interoperabilidade nem sempre é garantida.

Os sistemas que coordenam o processo produtivo também utilizam modelos estruturados em níveis hierárquicos para facilitar sua compreensão. Cada nível hierárquico tem associado um nível de comunicação com exigências próprias

na rede. Na Figura 2 é mostrada uma estrutura com os 5 níveis da pirâmide de automação.

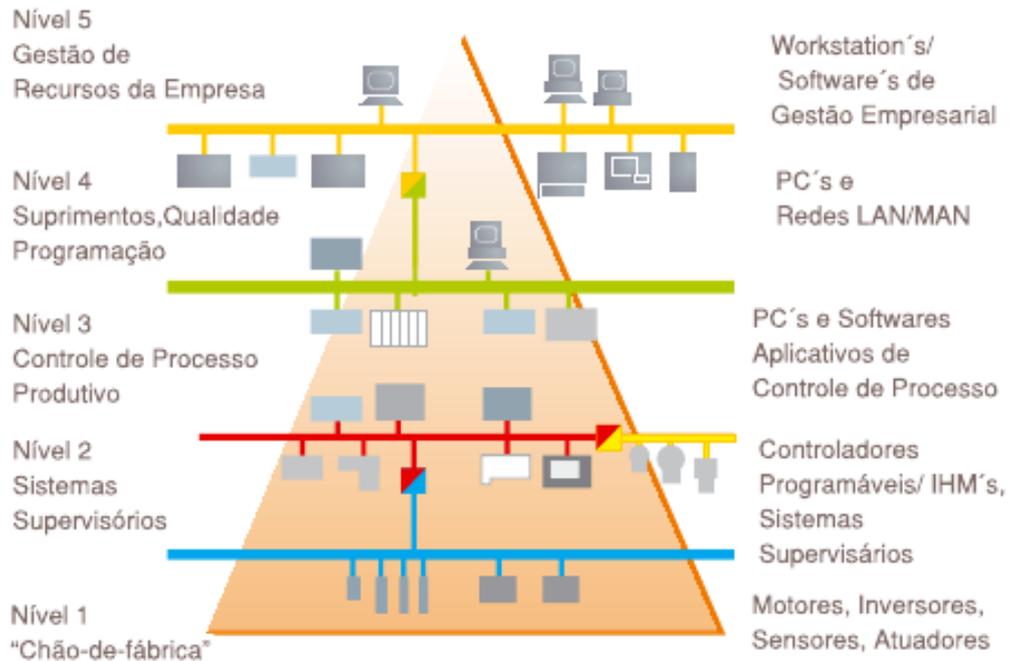


Figura 2 – Pirâmide de automação

As redes industriais podem ser subdivididas ainda em 3 estruturas distintas: rede de informação, rede de controle e rede de campo.

- **Rede de Informação** - representa o nível mais elevado na arquitetura, caracterizado pela existência de backbone de comunicação para interligação dos sistemas ERP (*Enterprise Resource Planning*), EPS (*Enterprise Production Systems*) e *Supply Chain*, no gerenciamento da cadeia de suprimentos;
- **Rede de Controle** – tem como função interligar os sistemas de nível 2 ou sistemas SCADA aos sistemas de nível 1, representados por CLP's e remotas de aquisição de dados. É possível também que equipamentos de nível 3, tais como, sistemas PIMS e MES estejam ligados a este barramento. Atualmente o padrão recomendado é o Ethernet;
- **Rede de Campo** - deve garantir a conectividade entre os diversos dispositivos atuantes diretamente no "chão de fábrica", isto é o nível 1, sejam eles dispositivos de aquisição de dados, atuadores ou CLP's. As redes de campo são sistemas de comunicação industrial que usam uma ampla variedade de meios físicos, tais como cabos de cobre, fibra óptica ou redes sem fio, para conectar os dispositivos de campo a um sistema de controle ou um sistema de gerenciamento.

Na Figura 3 é mostrada a estrutura funcional, com as divisões em níveis de dispositivos e de redes, envolvendo instrumentação (sensores e atuadores), dispositivos discretos, controladores, sistemas de supervisão e gestão da produção.

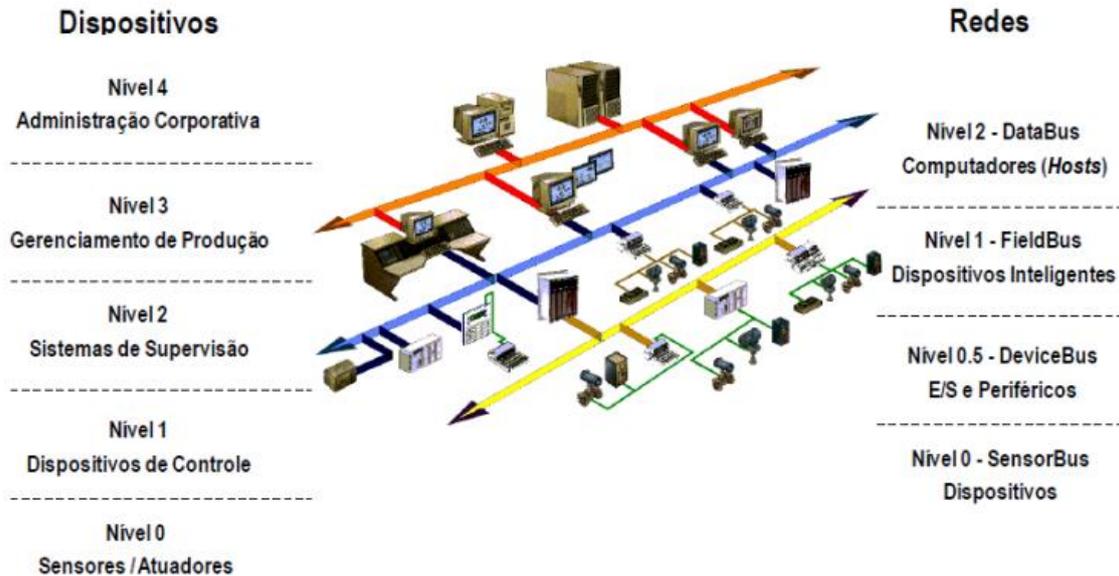


Figura 3 - Estrutura funcional de redes industriais

2.1. Níveis de Redes

Pelo lado das redes temos os seguintes níveis:

2.1.1. Nível 0 - SensorBus

É uma rede de nível mais baixo, usada para conectar equipamentos de construção e funcionamento mais simples (por exemplo, interruptores) diretamente à rede industrial. Essa rede é composta geralmente por sensores e atuadores e tempos de reação da ordem dos milissegundos, com distâncias máximas de 200m e informações trocadas ao nível de bit. São exemplos as redes ASI (*Actuator Sensor Interface*) e CAN.

2.1.2. Nível 0.5 – DeviceBus

Nível encontrado entre as redes Sensorbus e Fieldbus cobrindo cerca de 500m de distância. Os equipamentos conectados a Devicebus terão mais pontos discretos, dados analógicos ou uma mistura dos dois. Em algumas dessas redes é permitido transferir blocos em prioridade menor se comparado aos dados no formato de bytes. Possui os requisitos de transferência rápida (ordem das dezenas de milissegundos) de dados como da rede Sensorbus, conseguindo lidar com mais equipamentos e dados simultaneamente. São exemplos as redes DeviceNet, Profibus DP, entre outras.

2.1.3. Nível 1 - FieldBus

No nível de campo, os módulos de Entrada/Saída (E/S), transdutores, acionamentos (drives), válvulas e painéis de operação, comunicam-se com sistemas de automação através de rede de comunicação em tempo real (PROFIBUS-DP ou PA, Foundation Fieldbus, HART, etc.). A transmissão de

dados do processo e diagnósticos é efetuada ciclicamente e pode cobrir maiores distâncias, chegando a 10km, enquanto alarmes, parâmetros e também diagnósticos são transmitidos ciclicamente, somente quando necessário. Os equipamentos conectados nessa rede possuem inteligência para desempenhar funções específicas de controle, como o de fluxo de informações e processos. Os tempos de transferência são longos (ordem das centenas de milissegundos), mas, em compensação, a rede é capaz de se comunicar usando vários tipos de dados (discreto, analógico, parâmetros, programas e informações do usuário).

2.1.4. Nível 2 - DataBus

Possibilita a comunicação entre os sistemas de supervisão e os sistemas de gestão (ERP). Os tempos de reação são da ordem dos segundos e até minutos, as distâncias máximas de cerca de 100km e a natureza das informações trocadas são arquivos com grande volume de informação. Utiliza rede Ethernet e a própria Internet.

Na Tabela 3 estão representados os requisitos de comunicação dos sistemas de automação industrial nos níveis de sensores/atuadores, de campo, de supervisão e corporativo, quanto ao volume de dados, tempos e frequência de transmissão dos dados.

Tabela 3 - Requisitos de comunicação

Nível	Volume de Dados	Tempo de Tx	Frequência de Tx
DataBus	MByte	Hora / Minuto	Dia / Turno
DeviceBus	KByte	Segundos	Horas / Minutos
FieldBus	Byte	100us a 100ms	10ms a 100ms
SensorBus	Bit	1ms a 10ms	Alguns ms

2.2. Níveis de Dispositivos

Pelo lado dos dispositivos temos os seguintes níveis:

2.2.1. Nível 0 – Sensores e Atuadores

Ao nível de atuadores e sensores existem algumas redes industriais onde os sinais binários de dados são transmitidos através de um barramento extremamente simples e de baixo custo, juntamente com a alimentação elétrica (24 Vcc) necessária para alimentar estes mesmos sensores e atuadores. Outra característica importante é que os dados são transmitidos ciclicamente, de uma maneira extremamente eficiente e rápida.

2.2.2. Nível 1 – Dispositivos de Controle

No nível dos dispositivos de controle, também designado por nível de célula, os controladores programáveis, tais como CLP's e PC's comunicam-se uns com os outros, o que requer grandes pacotes de dados, meios de comunicação

eficientes (Ethernet é um requisito mandatório) e integração aos sistemas corporativos, tais como: Intranet, Internet.

Redes PROFinet, HSE (*High Speed Ethernet*), Ethernet IP, suportam dispositivos de campo simples e aplicações de tempo crítico, bem como a integração de sistemas de automação distribuídos baseados em componentes. Têm por função conectar os CLP's e as estações de controle e o Nível 0 faz a interface entre os controladores e aos dados dos equipamentos e componentes do processo. Inclui ainda PLC e Remotas de Sistemas Digitais de Controle Distribuídos (SDCD).

2.2.3. Nível 2 – Sistemas de Supervisão

Neste nível é necessário interligar as estações da operação com estações de controle e banco de dados para que seja possível realizar funções de supervisão, armazenamento e tratamento das informações do processo. Sistemas de supervisão e aquisição de dados (SCADA), interface homem máquina (IHM) e otimizadores de processo dentro do conceito de APC (*Advanced Process Control*).

2.2.4. Nível 3 – Gerenciamento de Produção

A partir desse nível (e acima), são utilizados softwares gerenciais e corporativos, interligados via Intranet e com acesso à Internet, que permitem a comunicação entre os departamentos envolvidos no gerenciamento da produção industrial. Encontramos os Sistemas MES (*Manufacturing Execution System*), PIMS (*Process Information Management System*), APS (*Advanced Planning and Scheduling*), LIMS (*Lab Information System*), sistemas de manutenção, sistemas de gestão de ativos etc.

2.2.5. Nível 4 – Administração Corporativa

Neste nível estão os Sistemas Integrados de Gestão Empresarial (*Enterprise Resource Planning - ERP*).

2.2.6. Nível 5 – Data Warehousing Corporativos

Embora suprimido na figura anterior, inclui o sistema para armazenamento de informações relativas às atividades da organização em banco de dados e sistemas EIS (*Executive Information Systems*), que tem como objetivo principal dar suporte à tomada de decisão.

3. Tipos de Redes industriais

A opção pela implementação de sistemas de controle baseados em redes industriais requer estudo detalhado para determinar qual o tipo que possui as maiores vantagens de implementação ao usuário final, que deve buscar uma plataforma de aplicação compatível com o maior número de equipamentos possíveis para escolha.

3.1. PROFIBUS

A história do PROFIBUS (*PROcess Field BUS*) começa em 1987 na Alemanha quando 21 empresas e institutos de pesquisas se uniram e criaram um projeto em Fieldbus. O primeiro passo foi a especificação do protocolo de comunicações complexas PROFIBUS FMS (Especificação de Mensagens Fieldbus), que foi preparado para exigência de tarefas de comunicação. O passo seguinte ocorreu em 1993 com a especificação do PROFIBUS-DP (Periferia Descentralizada), protocolo disponível atualmente em três versões (DP-V0, DP-V1 e DP-V2).

O PROFIBUS é um padrão de rede de campo aberto e independente de fornecedores, onde a interface entre eles permite uma ampla aplicação em processos, manufatura e automação. Esse padrão é garantido pelas normas EN 50170 e EN 50254. O PROFIBUS, em sua arquitetura, está dividido em três variantes principais (Figura 4):

- **PROFIBUS DP** - solução de alta velocidade do PROFIBUS otimizada para comunicações entre os sistemas de automação e equipamentos descentralizados e sistemas de controle, onde se destaca o acesso aos dispositivos de I/O distribuídos. É utilizado em substituição aos sistemas analógicos convencionais de 4mA a 20mA, HART ou em transmissão com 24Vcc. Utiliza-se do meio físico RS-485 ou fibra óptica. Requer menos de 2ms para a transmissão de 1KB de entrada e saída e é amplamente utilizado em controles com tempo crítico;
- **PROFIBUS PA** - atende aos requisitos da automação de processos, onde se tem a conexão de sistemas de automação e sistemas de controle de processo com equipamentos de campo, tais como: transmissores de pressão, temperatura, conversores, posicionadores etc. Pode ser usado em substituição aos sistemas analógicos de 4mA a 20mA;
- **PROFINET** - é uma rede padronizada pelo PROFIBUS de acordo com a IEC 61158-5 e IEC 61158-6. É uma das quatorze redes de Ethernet industrial. Basicamente, há dois tipos: PROFINET IO e PROFINET CBA. O PROFINET IO é utilizado em aplicações em tempo real e o PROFINET CBA é utilizado em aplicações onde o tempo não é crítico, por exemplo, na conversão para rede PROFIBUS-DP.

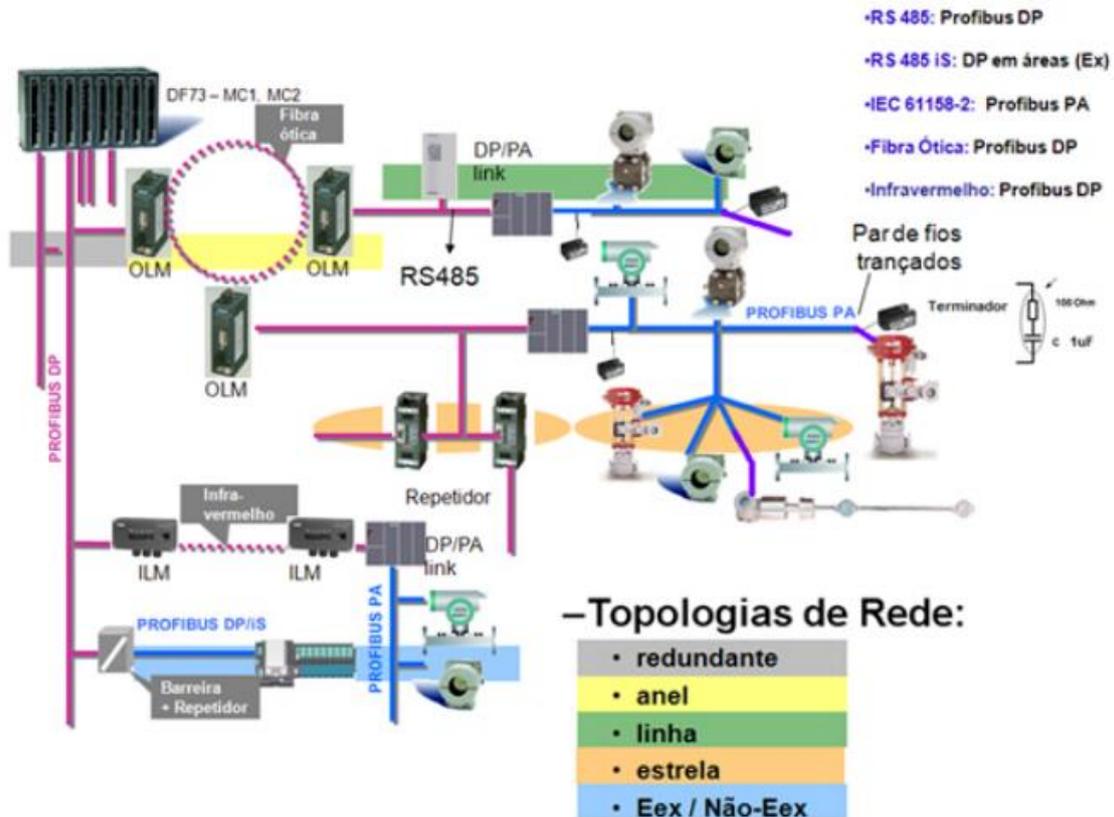


Figura 4 - Exemplo de redes PROFIBUS

3.1.1. Meios de Transmissão

Os meios de transmissão mais usuais em redes PROFIBUS são o RS485, RS485-IS, MBP e a Fibra Óptica. O RS485 é o mais empregado, utilizando cabo de par trançado e possibilita transmissões até 12 Mbps quando grandes velocidades são necessárias. O RS485-IS é um meio de transmissão a 4 fios para uso em áreas explosivas. Já o MBP (*Manchester code bus powered*) é o meio de transmissão usado em aplicações na automação de processos que necessitem de alimentação através do barramento e segurança intrínseca dos dispositivos. A fibra óptica é utilizada em áreas com alta interferência eletromagnética ou onde grandes distâncias são necessárias.

A Tabela 4 estabelece uma comparação entre os meios de transmissão citados para redes PROFIBUS.

Tabela 4 - Comparativo entre os meios de transmissão em redes PROFIBUS

	MBP	RS485	RS485-IS	Fibra Ótica
Taxa de Transmissão	31,25 Kbits/s	9,6 a 12000 Kbits/s	9,6 a 1500 Kbits/s	9,6 a 12000 Kbits/s
Cabeamento	STP	STP	STP -4 Fios	Fibra de Vidro multimodo ou monomodo, plástico.
Alimentação	Opcional (cabo do sinal)	Opcional (cabo do adicional)	Opcional (cabo do adicional)	Opcional (linha híbrida)
Topologia	Barramento e/ou árvore	Barramento	Barramento	Estrela e anel, barramento também possível
Número de estações	32 por segmento, 126 por rede	32 por segmento sem repetidor, 126 com repetidor	32 por segmento sem repetidor, 126 com repetidor	126 por rede

3.1.2. Topologias

O protocolo PROFIBUS utiliza topologia de comunicação como mestre-escravo, podendo ser monomestre (um único mestre) conforme mostra a Figura 5.

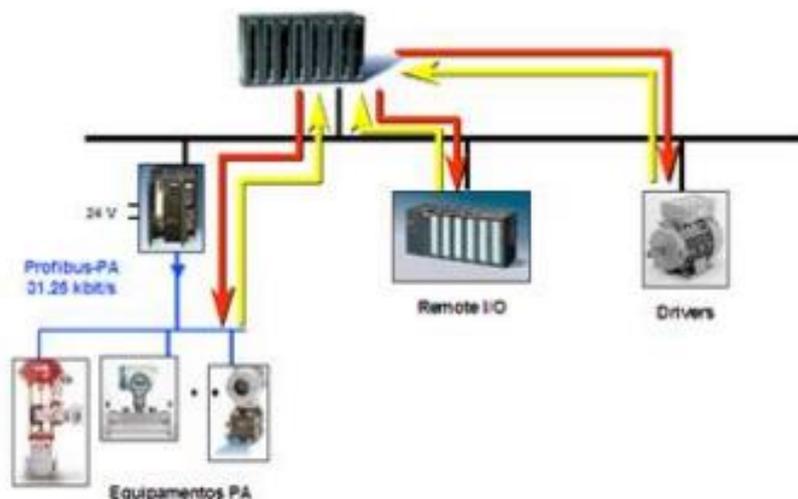


Figura 5 - Topologia PROFIBUS monomestre

Também é possível uma topologia com vários mestres (multimestre), conforme mostra a Figura 6. Neste caso, o acesso ao barramento é feito através da técnica de token entre os mestres.

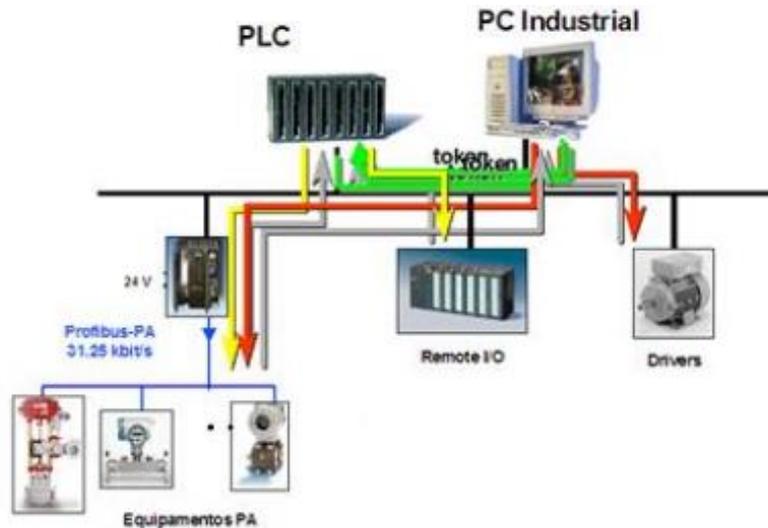


Figura 6 - Topologia multimestre

A comunicação entre os mestres e os escravos é feita através do processo de varredura. Versões mais avançadas permitem a comunicação acíclica entre mestres e escravos, além da possibilidade de comunicação entre os escravos, o que diminui o tempo de resposta na comunicação

3.2. AS-Interface

Em 1990, na Alemanha, um consórcio de empresas elaborou um sistema de barramento para redes de sensores e atuadores, denominado *Actuator Sensor Interface* (AS-Interface ou AS-i). As redes AS-i foram elaboradas para complementar os demais sistemas e tornar mais simples e rápida as conexões entre sensores e atuadores com os seus respectivos controladores. Apesar de tecnicamente, o "AS-i" ser um barramento, o termo interface mostra que ele fornece uma interface simples para acesso a sensores e atuadores em campo.

As redes AS-i foram concebidas para serem aplicadas em ambientes automatizados, substituindo as conexões tradicionais de atuadores e sensores do tipo "switch" (liga-desliga) por um barramento único. Além desses é possível conectar ao barramento sensores/atuadores que realizam uma conversão analógico/digital ou vice-versa. Tradicionalmente essas conexões são feitas por pares de fios que conectam um a um os atuadores e sensores ao controlador correspondente, em geral CLP.

O sistema AS-i é configurado e controlado por um mestre, o qual programa a interface entre um controlador e o sistema AS-i. Esse mestre troca informações continuamente com todos os sensores e atuadores ligados ao barramento AS-i de forma pré-determinada e cíclica. Um sistema industrial formado por redes AS-i é considerado um dos mais econômicos e ideal para comunicação entre atuadores e sensores. Os benefícios da utilização de uma rede AS-i vão desde

economias de hardware até o comissionamento da rede AS-i propriamente dita (Figura 7).

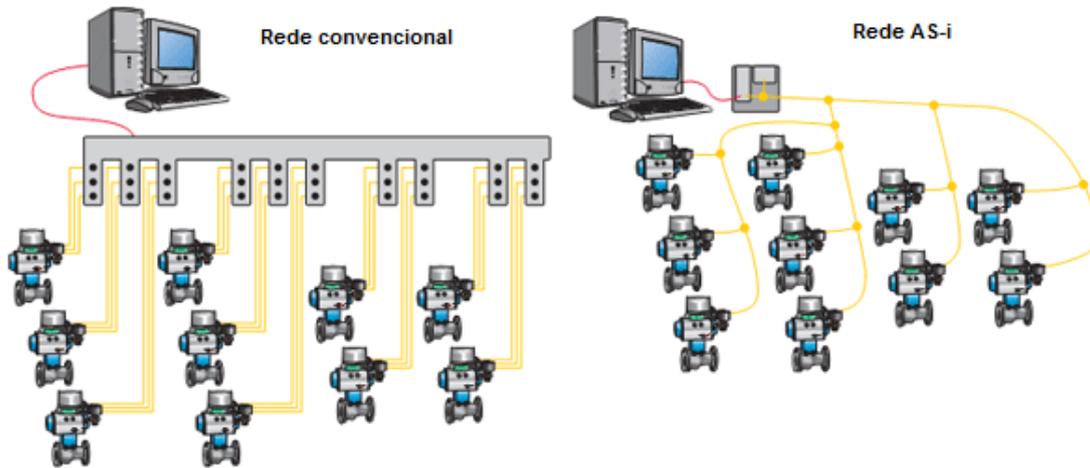


Figura 7 - Comparação entre rede convencional e rede AS-i

Alguns benefícios da rede AS-i:

- **Simplicidade** - a rede AS-i é muito simples, pois requer apenas um único cabo para conectar módulos de entradas e saídas de quaisquer fabricantes. Usuários de uma rede AS-i não precisam ter grandes conhecimentos em sistemas industriais ou protocolos de comunicação. Diferentemente de outras redes digitais, a rede AS-i não precisa de terminadores e de arquivos de descrição de equipamentos;
- **Desempenho** - Sistemas AS-i são eficazes e incrivelmente rápidos, o que os tornam aptos a substituírem sistemas grandes e com altos custos. Existem mestres AS-i, especialmente, desenvolvidos para comunicarem com sistemas legados de controle e promoverem a integração entre as tecnologias existentes;
- **Flexibilidade** – A rede AS-i suporta qualquer topologia de cabeamento: estrela, barramento, árvore, anel ou qualquer outra configuração com até 100m de cabo. Com a adição de repetidores é possível expandir o sistema até 300m. A rede AS-i é de fácil instalação, pois não há necessidade de terminadores nos pontos finais;
- **Custo** - Redes AS-i tipicamente reduzem o custo de cabeamento e instalação em torno de 50% em comparação com outras redes convencionais. A utilização de um único cabo para conexão com equipamentos discretos reduz a necessidade de gabinetes, conduítes e bandejas.

A Figura 8 apresenta o sistema AS-i destacando os seus principais componentes e interfaces.

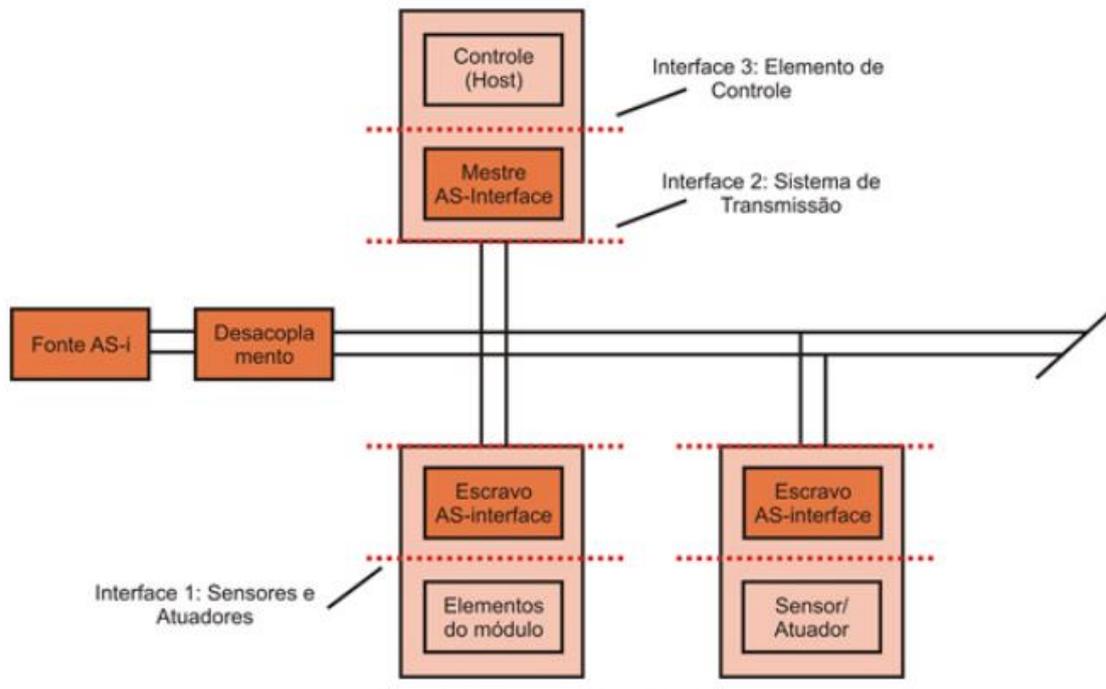


Figura 8 - Sistema AS-i

- **Interface 1:** localizada entre o escravo e os sensores e atuadores localizados em campo;
- **Interface 2:** localizada entre os equipamentos (fonte, mestre e escravo) e o meio de transmissão;
- **Interface 3:** localizada entre o mestre e o host (entidade qualquer que acessa a rede AS-i de um nível superior).

3.2.1. Conectividade

A rede AS-i pode se conectar ao nível de controle principal de duas formas: diretamente ou através de um acoplador (Figura 9).

Na conexão direta, o mestre é parte de um CLP ou PC sendo executado dentro dos tempos de ciclos determinados por esses dispositivos. Um mestre AS-i pode ser construído por qualquer fabricante uma vez que se trata de um padrão aberto.

A segunda maneira de se conectar é através de um acoplador (gateway) entre uma rede de mais alto nível e a rede AS-i. Hoje existem acopladores para outras redes de campo, tais como: Profibus, Interbus, FIP, DeviceNet, CAN, etc.

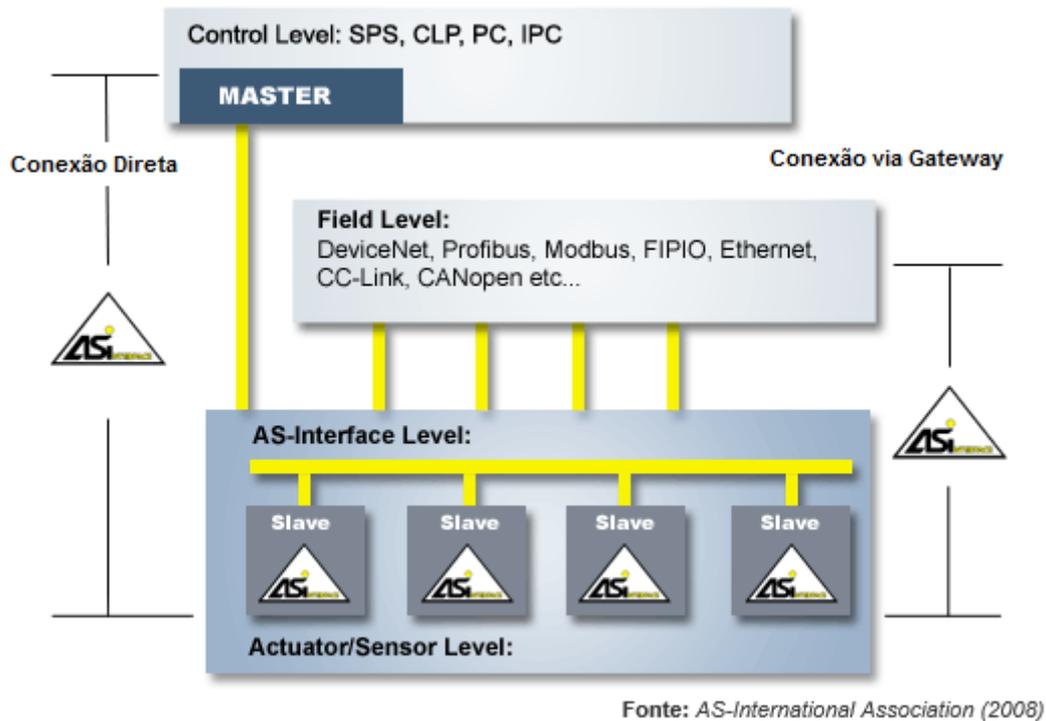


Figura 9 - Conexão direta e via gateway

3.2.2. Meio de Transmissão

AS-Interface é um sistema padronizado (EN 50295) e aberto, que interliga de maneira muito simples atuadores e sensores usando um único cabo para atuadores e sensores. A conexão dos elementos pode ser feita em estrutura de árvore, estrela, linha ou em uma combinação das anteriores.

A rede AS-i se caracteriza por somente em um par de fios, caminham junto a alimentação dos sensores ou atuadores em 24Vcc e a informação do estado dos mesmos. A configuração máxima da rede é de 62 participantes (escravos) conectados diretamente no barramento sem a necessidade de interligação adicional e que são acessados ciclicamente por um mestre no nível de controle superior. O tempo de reação é curto, para todos os escravos conectados, o tempo de resposta é de 10ms.

Um cabo flexível de duas vias é considerado como padrão para a rede AS-i (Figura 10).

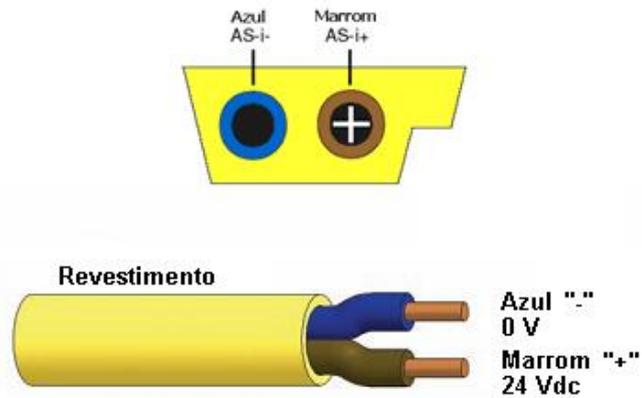


Figura 10 - Cabo padrão AS-i

Existe ainda um outro cabo com formato circular, sem blindagem, que deve ser usado somente se for explicitamente especificado pelo fabricante (Figura 11).

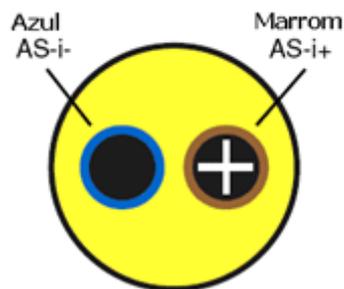


Figura 11 - Cabo padrão AS-i circular

3.3. Foundation Fieldbus

Este é um protocolo de comunicação digital bidirecional que permite a interligação em rede de vários equipamentos diretamente no campo, realizando funções de controle e monitoração de processos e estações (IHM) através de softwares supervisórios. Está baseado no modelo de referência ISO/OSI, onde se tem as seguintes camadas (Figura 12):

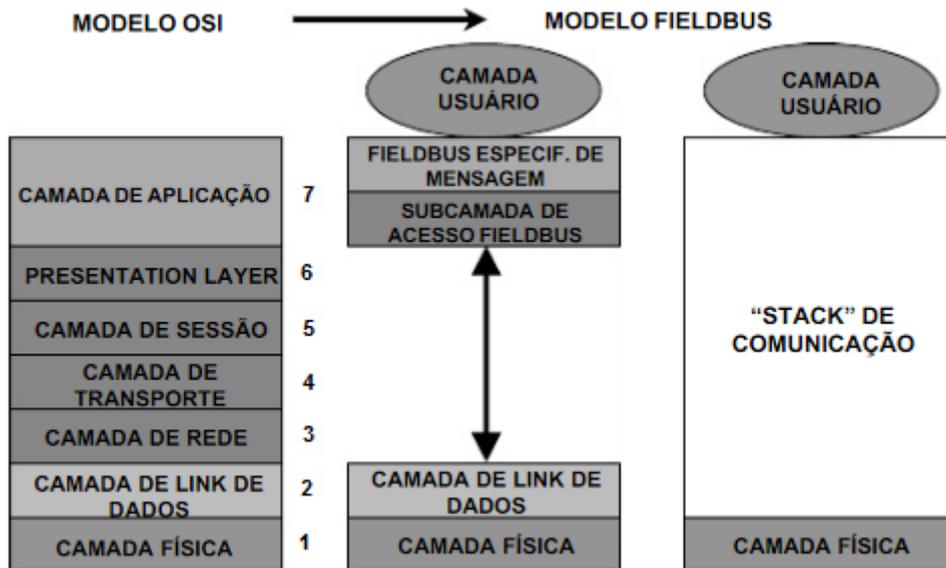


Figura 12 - Modelo OSI versus modelo FIELDBUS

3.3.1. Camada Física

A camada Física é definida segundo os padrões internacionais (IEC, ISA). Ele recebe mensagens da camada de comunicação (*Communication Stack*) e as converte em sinais físicos no meio de transmissão Fieldbus e vice-versa, incluindo e removendo preâmbulos, delimitadores de começo e fim de mensagens. O meio físico é baseado na IEC61158-2.

3.3.2. Camada de Link de Dados

A camada de Link de Dados ou de Enlace garante a integridade da mensagem e controla também o acesso ao meio de transmissão, determinando quem pode transmitir e quando se pode ter a transmissão. O nível de enlace garante que os dados cheguem ao equipamento correto. Neste caso, existem três formas de acesso à rede:

- **Passagem de Token (bastão):** o token é o modo direto de iniciar uma transação no barramento. Ao terminar de enviar mensagens o equipamento retorna o token para o LAS (*Link Active Scheduler*) que controla e planeja a comunicação no barramento e que também transmitirá o token para o equipamento que o requisitou, por configuração prévia ou por escalonamento;
- **Resposta imediata:** neste caso o mestre dará uma oportunidade para uma estação responder com uma mensagem;
- **Requisição de Token:** um equipamento requisita o token usando uma de suas mensagens com a codificação para esta requisição e o LAS ao recebê-la, envia o token a ele quando houver tempo disponível nas fases acíclicas do escalonamento.

3.3.3. Camada de Aplicação

A camada de Aplicação fornece uma interface para o software aplicativo do equipamento e definirá a maneira de se ler, escrever ou disparar uma tarefa em uma estação remota. Ele também define o modo pelo qual a mensagem deve ser transmitida.

3.3.4. Camada de Usuário

A Camada de Usuário é onde transmissores, posicionadores, atuadores, conversores, hosts etc., fazem a interface com o usuário. Pontos fundamentais do *Foundation Fieldbus* são a interoperabilidade e a intercambio entre os fabricantes e seus dispositivos. Isto é conseguido com especificações abertas e que definem de maneira uniforme equipamentos e interfaces. Ao nível do usuário que serão definidos os formatos dos dados e a semântica que permitirão que os equipamentos compreendam e ajam com inteligência no manuseio das informações.

3.4. CAN

O protocolo CAN (*Controller Area Network*) foi proposto pela Bosch em 1980, para interconexão de componentes de controle na indústria automobilística. Posteriormente, o protocolo foi adaptado para uso industrial devido ao seu excelente desempenho em ambientes com alta temperatura, umidade, ruídos eletromagnéticos, ao mesmo tempo que permite alta velocidade de resposta e confiabilidade. O protocolo CAN segue o padrão ISO 11898 em conformidade com o modelo OSI, definido em camadas (Figura 13).

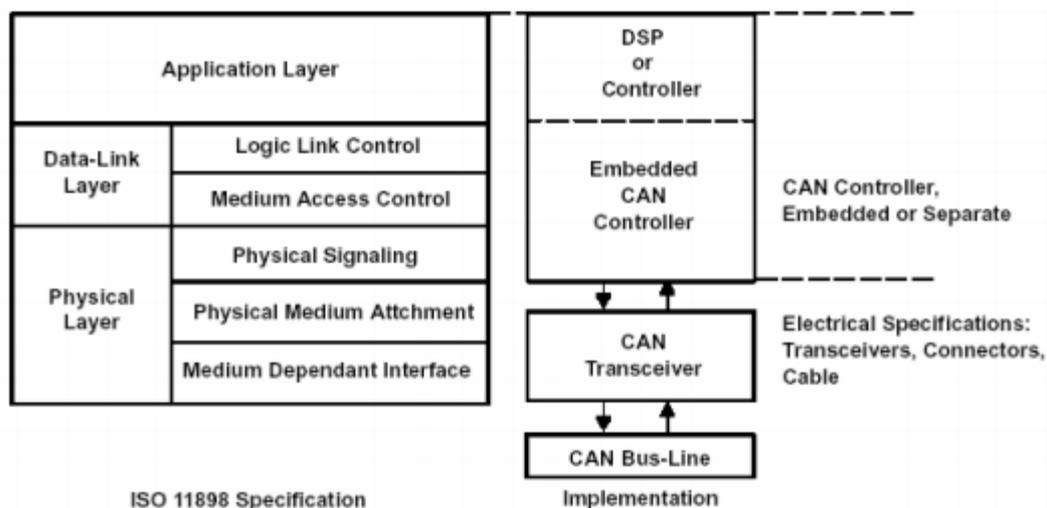


Figura 13 - Arquitetura CAN na especificação ISO 11898

A rede CAN é um protocolo de múltiplo acesso com detecção de portadora e de colisão e arbitragem na prioridade da mensagem (CSMA/CD+AMP) e define uma metodologia de controle de acesso ao Meio e fornece como segurança

uma checagem CRC que detecta estruturas alteradas e erros descobertos por outros mecanismos do protocolo. A detecção de portadora especifica que todo nó que deseja transmitir deve antes verificar se o barramento está livre, e se o estiver, iniciar a transmissão. Colisões são detectadas e resolvidas de forma não destrutiva. A arbitragem do barramento é definida pela mensagem e não pelos nós. Isso garante que mensagens vitais sejam transmitidas em detrimento de mensagens não tão prioritárias.

Existem três principais tipos de redes CAN conforme mostra a Tabela 5. As diferenças entre elas são principalmente no que se refere a taxa de transferência de dados no barramento e o tamanho do campo de identificação.

Tabela 5 - Tipos de rede CAN

Nomenclatura	Padrão	Taxa máxima	Identificador
CAN baixa-velocidade	ISO 11519	125kbps	11 bits
Versão 2.0A	ISO 11898:1993	1Mbps	11 bits
Versão 2.0B	ISO 11898:1995	1Mbps	29 bits

Uma rede CAN pode interligar até 2048 números identificadores com a versão 2.0A. Com a versão 2.0B, são possíveis até 537 milhões de números de identificação diferentes.

Ao nível físico, o meio mais usado é composto de dois fios, sendo capaz de operar até 1Mbps, tendo restrições de velocidade em virtude da distância entre os nós. Na Tabela 6, por exemplo, para uma rede com extensão de 1km, a velocidade a taxa de dados é 62,5 Kbps, com tempo de bit de 20us. Cada nó ligado a este meio é capaz de “ouvir”, simultaneamente de outros nós os dados transmitidos na rede. A escrita, porém, é uma operação permitida somente para um dispositivo por vez.

Tabela 6 - Taxa de dados versus tamanho da rede CAN

Taxa de Dados (Baud Rate)	Tamanho da Rede (Bus Length)	Tempo Nominal de um bit (Nominal Bit-Time)
1 Mbit/s	30 m	1 μ s
800 Kbit/s	50 m	1,25 μ s
500 Kbit/s	100 m	2 μ s
250 Kbit/s	250 m	4 μ s
125 Kbit/s	500 m	8 μ s
62,5 Kbit/s	1000 m	20 μ s
20 Kbit/s	2500 m	50 μ s
10 Kbit/s	5000 m	100 μ s

3.5. DeviceNet

A DeviceNet é uma rede digital baseada no protocolo CIP (*Common Industrial Protocol*) que surgiu em 1994, com topologia multiponto, para conexão entre sensores, atuadores e sistema de automação industrial em geral e no protocolo CAN (*Controller Area Network*), desenvolvido pela Bosch nos anos 1980, originalmente para aplicação na indústria automobilística.

Trata-se de uma rede de baixo nível que proporciona comunicação utilizando o mesmo meio físico entre equipamentos, desde os mais simples (como sensores e atuadores), até os mais complexos, como Controladores Lógicos Programáveis (CLP) e microcomputadores. A rede possui o protocolo aberto, tendo um número expressivo de fornecedores de equipamentos que adotaram o protocolo.

A rede DeviceNet apresenta como características principais a alta velocidade, comunicação a nível de byte, englobando comunicação com equipamentos discretos e analógicos e alto poder de diagnóstico dos dispositivos da rede. Como um padrão aberto de automação, tem como objetivo transportar dois tipos principais de informação:

- Dados cíclicos de sensores e atuadores, diretamente relacionados ao controle;
- Dados acíclicos indiretamente relacionados ao controle, como configuração e diagnóstico.

Os dados cíclicos representam informações trocadas periodicamente entre o equipamento de campo e o controlador. Por outro lado, os acíclicos são informações trocadas eventualmente durante configuração ou diagnóstico do equipamento de campo.

A camada física e de acesso da rede DeviceNet é baseada na tecnologia CAN (*Controller Area Network*) e as camadas superiores no protocolo CIP, que define uma arquitetura baseada em objetos e conexões entre eles. Uma rede DeviceNet pode conter até 64 dispositivos onde cada dispositivo ocupa um nó na rede, endereçados de 0 a 63. Qualquer um destes pode ser utilizado. Não há qualquer restrição, embora se deva evitar o 63, pois este costuma ser utilizado para fins de comissionamento. Um exemplo de rede DeviceNet é mostrada na Figura 14.

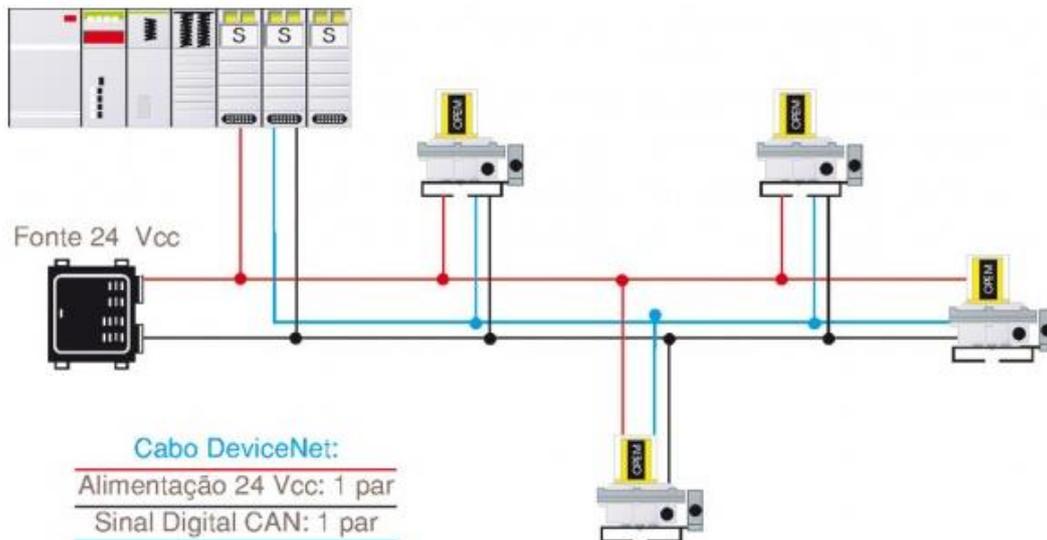


Figura 14 - Exemplo de rede DeviceNet

3.6. HART

O protocolo HART (*Highway Addressable Remote Transducer*) foi desenvolvido pela Fisher Rosemount em meados da década de 1980 como um protocolo proprietário e tornou-se um padrão aberto em 1990. Tinha como objetivo original permitir fácil calibração, ajustes de range e alcance (*damping*) de equipamentos analógicos. Apesar de ser um protocolo digital, aceita também comunicação analógica no padrão 4-20mA, o que o torna compatível com a base de dispositivos analógicos existente no mundo, além de possibilitar o uso de instrumentos inteligentes em redes com cabos convencionais e sinais de 4-20mA (Figura 15). Os dispositivos que executam esta comunicação híbrida são denominados *smart* e são capazes de parametrização e monitoração das informações de campo.



Figura 15 - Dispositivos HART

3.6.1. Meio Físico

O meio físico utilizado é o par trançado, com taxa de transmissão de 1200bps. A distância máxima do sinal HART é de cerca de 3000m com cabo com um par trançado blindado e de 1500m com cabo múltiplo com blindagem simples. A

topologia pode ser ponto-a-ponto ou multiponto, onde todos os componentes são conectados pelo mesmo cabo. O protocolo se utiliza do sinal de 4-20mA, sobrepondo um sinal em técnica de modulação FSK (*Frequency Shift Keying*), onde uma frequência de 1200Hz representa o “1” binário e a frequência de 2200Hz representa o “0” binário, com comunicação bidirecional.

3.6.2. Topologias

O protocolo opera segundo uma topologia Mestre-Escravo, onde o escravo somente transmitirá uma mensagem se houver uma requisição do mestre. O HART permite o uso até dois mestres. O mestre primário é um computador ou CLP ou multiplexador. O mestre secundário é geralmente representado por terminais handheld de configuração e calibração (Figura 16).

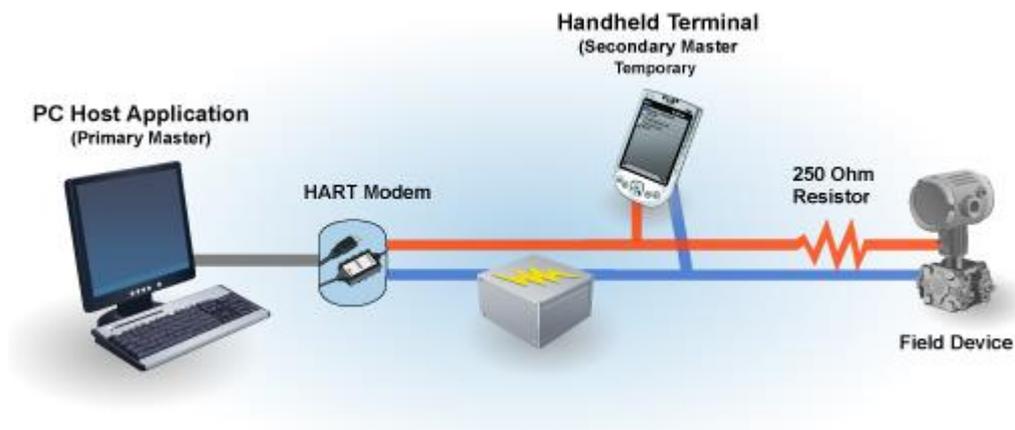


Figura 16 - HART com dois mestres

A Figura 17 representa de maneira simples o modelo de troca de dados entre o mestre e o escravo.



Figura 17 - Modelo mestre e escravo no protocolo HART

Toda comunicação é iniciada pelo mestre e o escravo só responde se houver um pedido para ele. Existe todo um controle de tempo entre envio de comandos pelo mestre. Inclusive existe um controle de tempo entre mestres quando se tem dois mestres no mesmo barramento.

3.6.2.1. Topologia Multiponto

Quando usa a topologia multiponto ou *multidrop*, a rede HART suporta até 15 instrumentos de campo. Neste caso apenas o modo mestre-escravo pode ser utilizado. A grande deficiência dessa topologia é que o tempo de ciclo para leitura de cada dispositivo é de cerca de meio segundo podendo alcançar um segundo. Assim para 15 dispositivos o tempo será de 7,5 a 15 segundos, o que é um tempo muito lento para boa parte das aplicações de campo (Figura 18).

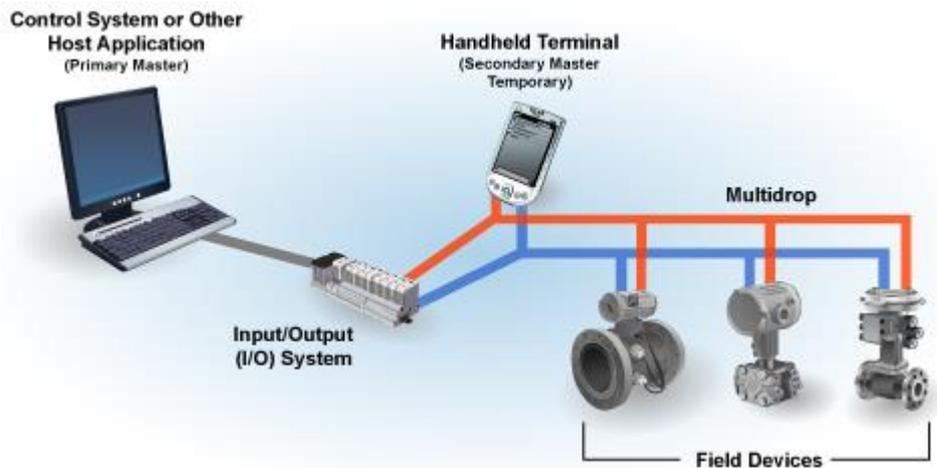


Figura 18 - Topologia multiponto

3.6.2.2. Topologia Ponto-a-Ponto

Na topologia ponto-a-ponto um segundo dispositivo de transferência de dados pode ser inserido. Neste caso, o instrumento pode enviar de forma autônoma e periódica o valor de uma variável do processo (Figura 19). No intervalo entre os envios o mestre pode executar um ciclo de requisição e resposta. A taxa de transmissão então se eleva para 3 ou 4 por segundo e esse modo é denominado *burst* ou *broadcast mode*. Cada mensagem pode comunicar o valor de até 4 variáveis (cada dispositivo HART pode ter até 256 variáveis).

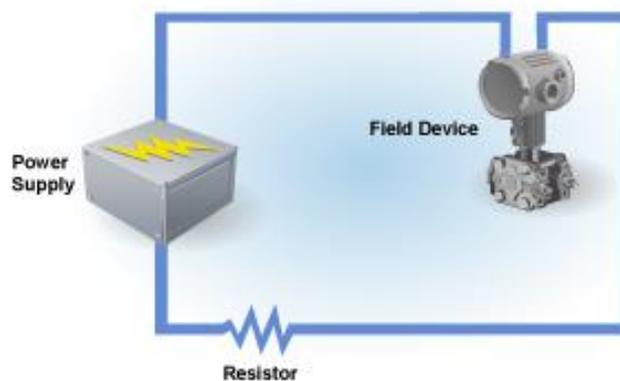


Figura 19 - Topologia ponto-a-ponto

3.7. MODBUS

Desenvolvido pela Modicon Industrial Automation Systems em 1979 para uso do seu CLP, tornou-se um padrão aberto. É um dos mais antigos protocolos utilizados em redes com CLP's para aquisição de sinais de instrumentos e comandar atuadores usando uma porta serial.

MODBUS é usualmente implementado usando RS232, RS422 ou RS485 sobre uma variedade de meios de transmissão. A tecnologia de comunicação no protocolo é o mestre-escravo, sendo que somente um mestre e no máximo 247 escravos podem ser conectados à rede. A comunicação é sempre iniciada pelo mestre, e os nós escravos não se comunicam entre si. O mestre pode transmitir dois tipos de mensagens aos escravos, dentro de uma mesma rede:

- **Mensagem *unicast*:** o mestre envia uma requisição para um escravo definido e este retorna uma mensagem-resposta ao mestre;
- **Mensagem *broadcast*:** o mestre envia a requisição para todos os escravos e não é enviada nenhuma resposta para o mestre.

As topologias físicas usadas pelo MODBUS são: ponto-a-ponto com RS-232 e barramento multiponto com RS-485

3.7.1. Tipos de Protocolo MODBUS

Os tipos de protocolo MODBUS são (Figura 20):

3.7.1.1. MODBUS TCP/IP

Este protocolo é usado para comunicação entre sistemas de supervisão e CLP's. O protocolo é encapsulado no protocolo TCP/IP e transmitido através de redes padrão Ethernet com controle de acesso ao meio por CSMA/CD.

3.7.1.2. MODBUS PLUS

Protocolo usado na comunicação entre CLP's, módulos de E/S, chaves de partida eletrônica de motores, interface homem máquina etc. O meio físico é o RS-485 com taxas de transmissão de 1 Mbps, controle de acesso ao meio por HDLC (*High Level Data Link Control*).

3.7.1.3. MODBUS PADRÃO

Protocolo usado para a comunicação de CLP's com os dispositivos de entrada e saída de dados, instrumentos eletrônicos inteligentes como relés de proteção, controladores de processo, atuadores de válvulas, transdutores de energia e etc., o meio físico é o RS-232 ou RS-485 em conjunto com o protocolo mestre-escravo.

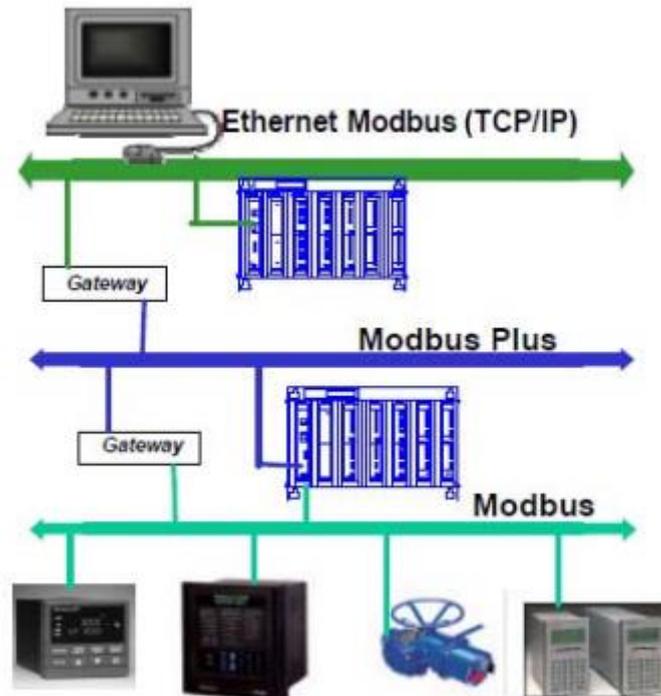


Figura 20 - Tipos de protocolos MODBUS

3.8. CONTROLNET

A rede CONTROLNET foi desenvolvida pela Allen-Bradley em 1995 e o protocolo tornou-se aberto em 1996. Suas características são compatíveis com as aplicações que necessitam de determinismo, repetibilidade, alta taxa de transmissão (throughput), distribuição de dados através de grandes distâncias (chegando a 30 km) e sincronismo. Ela utiliza o protocolo de acesso ao meio denominado *Concurrent Time Domain Multiple Access* (CTDMA), onde as informações críticas são enviadas durante a parte agendada do intervalo da rede. A largura do intervalo de acesso a rede é escolhido pelo usuário através da seleção de um parâmetro chamado NUT (*Network Update Time*). Este parâmetro tem valor mínimo de 2ms.

Trata-se de uma rede ao nível de controle, com transferência de dados em tempo real, provendo transporte de dados críticos de E/S e mensagens, incluindo o upload e download de programação e configuração de dispositivos. Algumas das suas características principais estão na Tabela 7.

Tabela 7 - Características CONTROLNET

Número de Nós	99
Taxa de Transmissão	5 Mbit/s
Comprimento da Rede	Variável com o número de nós: 1000m com cabo coaxial para dois nós; com 32 nós é possível chegar a 500m e com 48 nós é o máximo é 250m. Com uso de repetidores e fibra ótica é possível chegar a 30 km de rede.
Tamanho do Pacote de Dados	0 a 510 bytes
Topologia	Barramento, árvore, estrela ou combinações
Configuração de Comunicação	Mestre e escravo, múltiplos mestres e <i>peer-to-peer</i>
Modelo de Comunicação	Produtor/Consumidor
Alimentação dos Dispositivos	Alimentação externa
Outras Características	Pode-se remover ou adicionar dispositivos com a rede energizada, detecção de duplicidade de nós

3.8.1. Meio Físico

Os meios físicos mais comuns são neste padrão são o cabo coaxial e a fibra ótica.

3.9. ETHERNET Industrial

O Ethernet Industrial é o nome comercial da especificação da camada de aplicação Control Net com TCP/UDP/IP sobre Ethernet. O Ethernet sofreu modificações para se tornar mais adaptado ao ambiente industrial e foram criados novos padrões conforme mostra a Tabela 8:

Tabela 8 - Novos padrões para Ethernet industrial

Nome do standard	Função	Comentários
IEEE 802.1p	Priorização de mensagens	256 níveis de prioridade
IEEE 802.12d	Redundância de links	Traz maior confiabilidade para a rede
IEEE 802.3x	Full Duplex	Comunicação bidirecional simultânea sobre link 10/100Base-T em cabo categoria 5.
IEEE 802.3z	Gigabit Ethernet	Uso como backbone corporativo. Afeta pouco a automação.

Diversos fabricantes criaram seus próprios padrões de redes Ethernet industriais, cada um diferindo do outro em termos de aplicação ao usuário e na

utilização ou não de determinadas camadas do padrão TCP/IP. Alguns deles possuem hardwares dedicados para aplicação industrial. Os quatorze protocolos para Ethernet industrial são: Profinet, Ethernet/IP, HSE, Modbus/TCP, EPA, EPL, EtherCAT, IEC 61850, JetSync, P-Net, Sercos III, SynqNet, TCnet e Vnet/IP. A Figura 21 apresenta uma aplicação típica do Ethernet Industrial em rede de comunicação industrial.

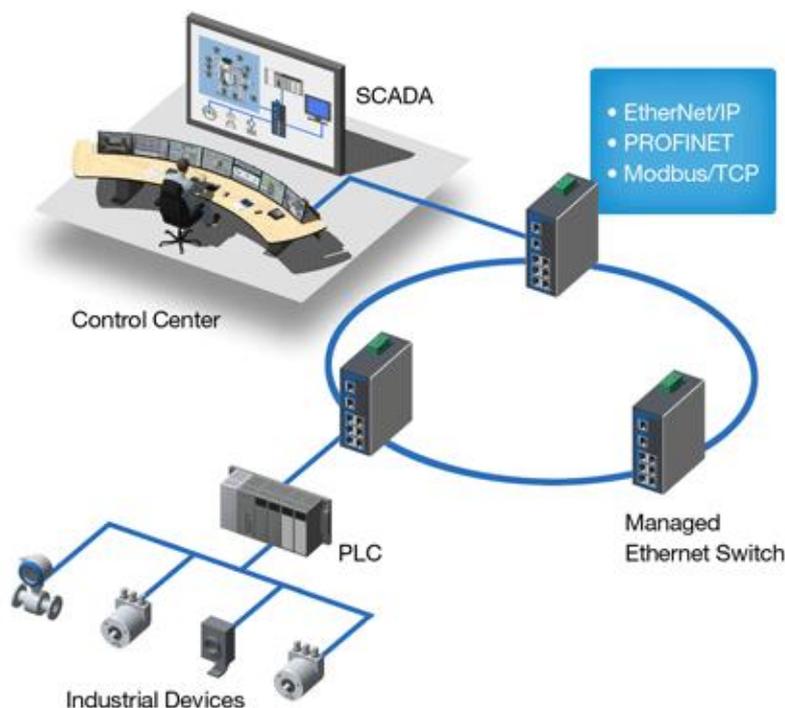


Figura 21 - Aplicação de Ethernet em rede industrial

3.9.1. Ethernet/IP

O Ethernet/IP é uma rede Ethernet industrial padronizada pela ODVA (*Open DeviceNet Vendor Association*) e baseia-se na arquitetura encapsulada do TCP/IP. O termo IP significa “Industrial Protocol” e não deve ser confundido com o protocolo IP.

O protocolo de camada de aplicação Ethernet/IP baseia-se no Protocolo de Informação e Controle – CIP (*Control and Information Protocol*) na camada de aplicação, específico da ODVA e usado em DeviceNet e Control Net. Ethernet/IP é uma especialização do protocolo CIP rodando sobre TCP/UDP/IP, que por sua vez roda sobre a rede Ethernet. O Ethernet/IP usa todos os protocolos de Ethernet tradicional incluindo o TCP, o IP e as tecnologias de sinalização e acesso ao meio físico, encontradas em todas as interfaces de rede Ethernet.

Há dois tipos diferentes de operação. Uma delas é o TCP utilizando a camada de aplicação e outro método é utilizar o UDP para transportar os dados até a CIP, onde há protocolos específicos para inversores de frequência, posicionadores de válvulas, elementos pneumáticos, I/O discreto, entre outros.

O uso de TCP ou UDP depende da aplicação do usuário. Podemos ter transmissões explícitas e implícitas:

- **Explícitas:** Utilizam o TCP e a camada CIP da ODVA. Aplicado na troca de informações entre PLC's e IHM's (tempo de ciclo de 100ms ou maior) ou para configuração de elementos da rede à longa distância (por exemplo, um set-point de um transmissor de pressão). Tais tarefas não são críticas, ou seja, não requerem um baixo tempo de processamento;
- **Implícitas:** Utiliza o UDP e a camada CIP da ODVA. Aplicado para comunicações entre I/O (tempo de ciclo em torno de 10ms), quando o tempo de resposta deve ser o menor possível. Essa tarefa deve ser cíclica, requerendo um baixo tempo de processamento.

Um resumo dos tipos de comunicação para redes Ethernet/IP encontra-se na Tabela 9.

Tabela 9 – Resumo dos tipos de comunicação para redes Ethernet/IP

Tipos de Transmissão	Tipo de Mensagem	Descrição	Exemplo
Informação	Explícito	Transferência de Dados Não Crítica	Leitura / Escrita via instrução de mensagem
Dados I/O	Implícito	Dados de Tempo-Real	Dados de Controle em tempo-real de um Dispositivo Remoto I/O
Sincronização em Tempo-Real	Implícito	Sincronização em Tempo-Real	Troca de Dados em Tempo-Real entre dois processadores

A figura 22 mostra a pilha de protocolos Ethernet/IP relacionada ao modelo de referência OSI.

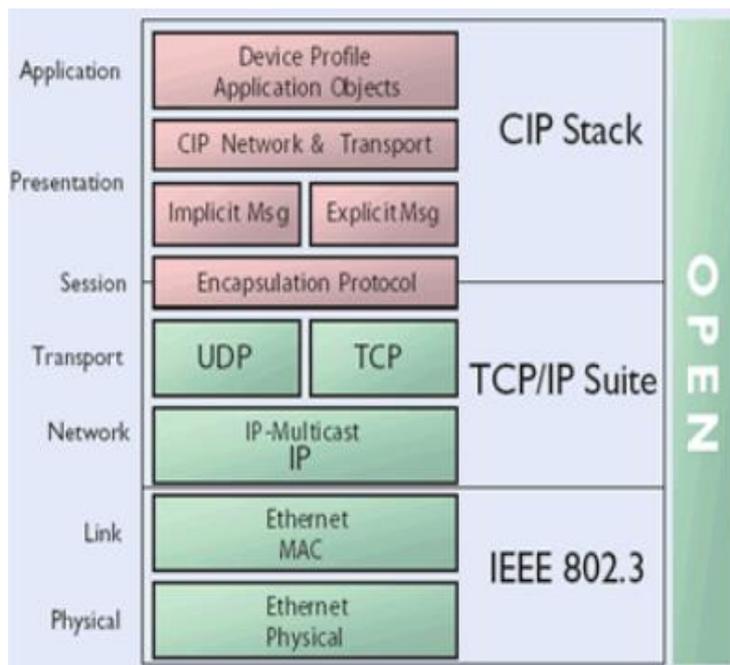


Figura 22 - Arquitetura TCP/IP para Ethernet/IP

3.10. Redes Industriais sem Fio

Os protocolos de comunicação para redes industriais sem fio devem fornecer serviços de comunicação que atendam aos requisitos das aplicações de controle de campo. Os mecanismos de comissionamento para estes tipos de redes devem considerar os diferentes estados operacionais em face às características do ambiente em que estão inseridos. Desta forma, as perturbações eletromagnéticas entre segmentos industriais podem ser diferentes entre si e, conseqüentemente, os mecanismos de comissionamento utilizados.

Aqui serão tratados quatro padrões de redes sem fio passíveis de uso no ambiente industrial: Bluetooth, ISA-SP100, ZigBee e WirelessHART.

3.10.1. Bluetooth

O Bluetooth é uma tecnologia de rede sem fio utilizada para conectar dispositivos móveis. Foi desenvolvida para reduzir a complexidade de conexões entre dois ou mais dispositivos eletrônicos, minimizando o número de opções de conexão, barateando os custos e facilitando a instalação de novas redes. A comunicação ocorre sempre que um dispositivo compatível com o padrão detecta outro dispositivo igualmente compatível. Para realizar a transferência de informações entre os dispositivos não há necessidade de configuração de redes e permissões, o dispositivo emissor faz uma varredura para encontrar outros dispositivos disponíveis para conexão e qualquer dispositivo pode ser configurado para responder a essa requisição.

A partir do momento em que dispositivos Bluetooth estejam dentro da distância de operação, independentemente da existência de obstáculos, eles sempre serão capazes de se comunicar. Nesse momento, os dispositivos são sincronizados automaticamente, criando uma rede móvel conhecida como rede ad hoc. Em uma rede ad hoc todos os dispositivos móveis são capazes de se comunicar diretamente entre si, não existindo um ponto fixo de acesso para o controle da rede.

A conexão entre dispositivos Bluetooth é denominada de Piconet, que corresponde a mini rede pessoal conhecida como PAN (Personal Área Network), onde cada tipo de dispositivo utiliza uma faixa específica de endereços previamente estabelecida pelo fabricante. Na Piconet, um dispositivo recebe a função de mestre enquanto os demais (até um total de oito), recebem a função de escravos. O dispositivo mestre é o responsável por controlar as comunicações, incluindo as transferências de dados entre os dispositivos escravos (Figura 23).

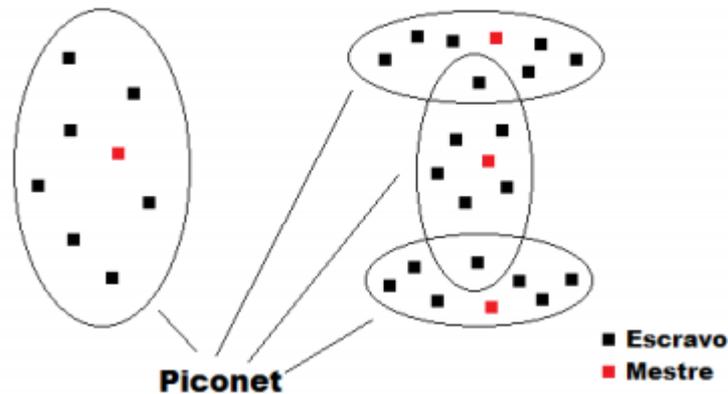


Figura 23 - Piconet

Uma limitação é a distância que pode variar de acordo com a classe da tecnologia aplicada (Tabela 10). Devido à comunicação utilizada ser um sistema sem fio, os dispositivos não necessitam de visada direta, podendo estar em ambientes diferentes, caso a potência de transmissão esteja dentro do limite de proximidade.

Tabela 10 - Classes de dispositivos Bluetooth

Classe	Potência Máxima Permitida (mW/dBm)	Alcance Aproximadamente
Classe 1	100 mW (20 dBm)	Até 100 m
Classe 2	2,5 mW (4 dBm)	Até 10 m
Classe 3	1 mW (0 dBm)	1 m

O sistema de transmissão do Bluetooth opera na banda do espectro de 2,4GHz a 2,485GHz, faixa ISM (*Industrial, Scientific and Medical*) centrada em 2,45GHz, padronizada e não licenciada. Devido a tecnologia trabalhar em uma faixa do espectro padronizada, é necessário garantir que o sinal do Bluetooth não sofra e não ocasione interferências em outros sistemas na mesma faixa. A tecnologia utiliza o esquema de comunicação FHCDMA (*Frequency Hopping – Code Division Multiple Access*), dividindo a frequência em vários canais.

O Bluetooth utiliza uma arquitetura de protocolos em camadas, divididos em três grupos lógicos: protocolos de transporte, protocolos de middleware e protocolos de aplicação. Os protocolos de transporte permitem que a rede localize outros dispositivos e gerencie os links físicos e virtuais. Os protocolos de middleware são os responsáveis por viabilizar a comunicação com padrões

já existentes e protocolos de terceiros. Já os protocolos de aplicação estabelecem a comunicação com as aplicações que já utilizam Bluetooth.

3.10.2. ISA-SP100

O padrão ISA-SP100 (*International Society of Automation – Standard Protocol 100*) é um padrão elaborado pela ISA para aplicações industriais utilizando redes sem fio, visando a utilização em ambientes hostis e suas aplicabilidades. A norma consiste em padrões relacionados a rede sem fio nas áreas de automação predial e industrial, transmissão e distribuição de informações e identificação por radiofrequência. O padrão também trata da coexistência com outras tecnologias de comunicação sem fio, robustez às interferências e a interoperabilidade com a infraestrutura de rede já existente.

Pelo fato das áreas de automação possuírem diferentes aspectos físicos e diferentes tempos de operação para cada equipamento, o padrão foi subdividido em seis classes numeradas de 0 a 5, de acordo com o nível de restrição temporal. Estas classes são ainda subdivididas em três categorias de acordo com sua aplicação (segurança, controle e monitoramento). A Tabela 11 mostra as divisões em categorias, classes, aplicações e descrições do padrão ISA - SP100.

Tabela 11 - Categoria, classes, aplicação e descrição ISA - SP100

Categoria	Classe	Aplicação	Descrição
Segurança	0	Ação Emergencial	Restrição temporal sempre crítica
Conotrole	1	Sistema de controle de malha fechada	Restrição temporal normalmente crítica
	2	Sistema de controle de malha fechada	Restrição temporal não crítica
	3	Sistema de controle de malha aberta	Restrição temporal quase desprezível
Monitoramento	4	Alerta	Aplicações com consequências operacionais de curto prazo
	5	Registro	Eventos menos urgentes

3.10.3. ZigBee

O protocolo ZigBee atende os critérios do IEEE (*Institute of Electrical and Electronic Engineers*) 802.15.4. A conexão dos dispositivos da rede pode assumir as topologias em estrela, árvore e malha, o que torna possível conectar diversos dispositivos, tendo algumas funcionalidades como:

- Reconhecimento de rede e diagnóstico de comunicação;
- Segurança de informação utilizando criptografia;
- Alcance de enlace de 10m a 100m, dependendo das condições climáticas e da potência utilizada;
- Número máximo de nós, por rede, pode superar 64000.

As comunicações utilizando o protocolo ZigBee são feitas na faixa das frequências ISM, assim sendo, tem-se então as faixas de 2.4Ghz (mundial), 915Mhz (América) e 868Mhz (Europa). Nesse contexto a taxa de transferência dos dados é de até 250kbps na frequência de 2.4Ghz, operando com 16 canais, 40kbps na frequência de 915Mhz operando com 10 canais e 20kbps na frequência de 868Mhz operando com 1 canal.

Existem três elementos ZigBee executando diferentes funções (Figura 24):

- **ZigBee Coordinator (Coordenador):** Há apenas um coordenador em cada rede. Esse tem o maior número de funções. O coordenador é capaz de criar uma rede, tornar-se a raiz da rede e ser o único dispositivo com autonomia de comutar dados entre redes, além de fazer o armazenamento das informações da rede;
- **ZigBee Router (Roteador):** São os dispositivos que fornecem informações aos outros dispositivos da rede, ou seja, faz o roteamento das informações como um roteador comum sem fio;
- **ZigBee Sleepy End Device (Dispositivo final):** Tem a função de trocar informações com um coordenador ou roteador. Uma vantagem é apresentar uma memória menor, pois não precisa rotear informações, conseqüentemente o custo é menor.

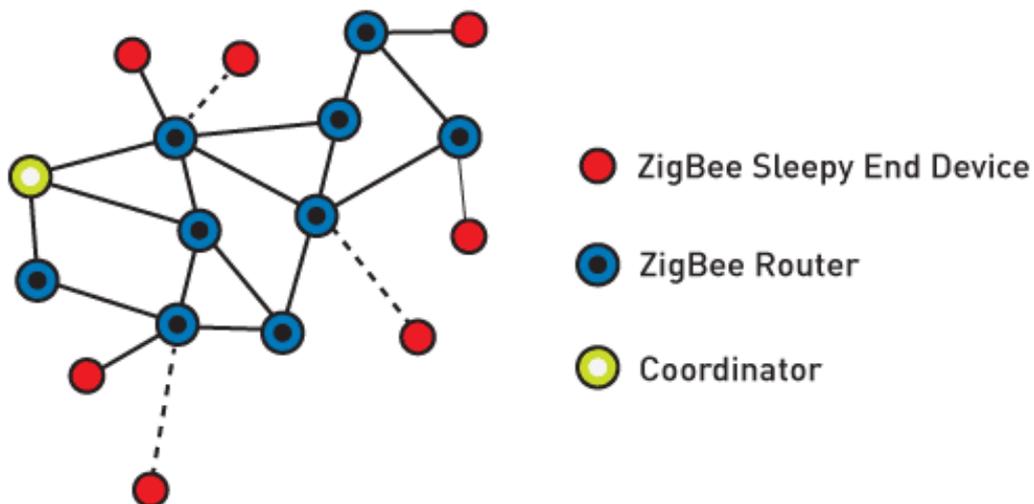


Figura 24 - Elementos da rede ZigBee

A topologia Zigbee está baseada em rede *Mesh* ou Malha. A topologia em malha permite a inicialização automática dos dispositivos assim que os mesmos se conectam à rede. Assim, é possível estender a cobertura da rede utilizando os *hops* (saltos) e desta forma um dispositivo pode rotear uma mensagem utilizando os seus vizinhos. Assim, mesmo com transmissões em baixa potência é possível atingir grandes distâncias.

Outra característica da rede ZigBee é que os dispositivos podem permanecer por longos períodos sem se comunicar um com o outro. Por esse motivo é muito econômico em relação ao consumo de energia permitindo uma autonomia superior em relação aos outros dispositivos de comunicação sem fio.

3.10.4. WirelessHART

O WirelessHART é um protocolo de comunicação para redes de automação industrial baseado no protocolo HART, adicionando novas funcionalidades e recursos, das quais a de maior destaque foi a possibilidade de realizar comunicação sem fio entre os elementos integrantes da rede. O WirelessHART manteve a compatibilidade com os dispositivos e ferramentas já existentes, sendo, portanto, compatível com o protocolo HART original.

O protocolo utiliza o padrão Bell 202 de chaveamento por deslocamento de frequência (FSK – *Frequency Shift Keying*) para adicionar as informações digitais no sinal analógico enviado pelo instrumento de medida. A taxa de transmissão entre os dispositivos é de 1200 bits por segundo, onde, o bit “1” é representado pela frequência de 1200Hz e o bit “0” pela frequência de 2200Hz. O sinal digital, por ser um sinal FSK e com fase constante, não gera nível DC, sendo, portanto, possível sobrepor o sinal digital ao sinal analógico sem que exista qualquer interferência entre os dois. Desta maneira, o protocolo HART possibilita a transmissão e a recepção de informações adicionais, como calibração do equipamento, diagnósticos de defeito e configurações, além do sinal analógico de corrente de 4-20mA que representa a grandeza medida pelo dispositivo.

O WirelessHART é uma rede de comunicação sem fio em malha, podendo ser composta por vários nós que podem operar como ponto de acesso ou roteador, possibilitando que o sistema de controle acesse um ponto da rede por vários caminhos diferentes. Dessa forma, há uma maior mobilidade de equipamentos para aplicações industriais críticas. A Figura 25 apresenta o diagrama de uma rede WirelessHART.

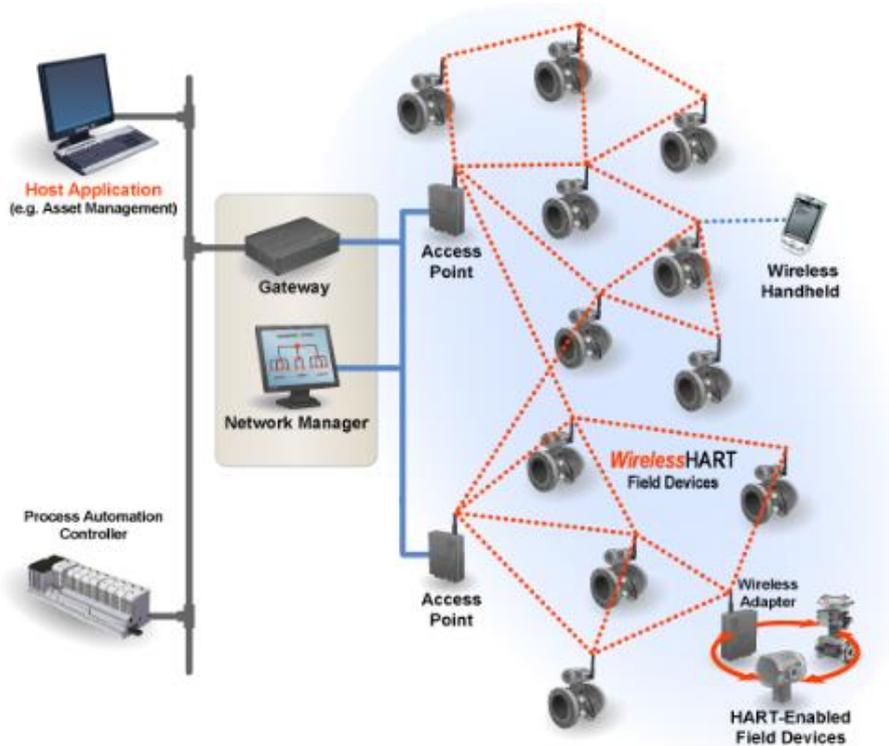


Figura 25 - Sistema WirelessHART

Os três principais elementos da rede são:

- **Dispositivos de campo (Field Devices):** Pontos de acesso que recebem os comandos do sistema de controle e executam os processos sobre os dispositivos de medida. Podem operar também como roteadores, aumentando o alcance da rede e possibilitando uma maior estabilidade do sistema;
- **Gateway:** Responsável pela comunicação entre o sistema de controle e o ponto de acesso;
- **Gerenciador de rede (Network Manager):** Administra a rede de comunicação, configura novos dispositivos e determina as rotas redundantes.

Na estrutura da rede WirelessHART a comunicação é feita através de um gateway. Este gateway tem a funcionalidade de um roteador de pacotes para um destino específico (instrumento da rede, aplicação hospedeira ou gerenciador da rede). O gateway usa o padrão de comandos HART para se comunicar com os instrumentos na rede e aplicações. Cada elemento da rede tem a capacidade de reconhecer e analisar os dispositivos vizinhos, baseado nas informações da rede analisada, tais como: latência, potência do sinal e eficiência da rede. Com isso, consegue-se estabelecer uma rota para as informações a serem trafegadas na rede. Cada ponto da rede se torna um roteador, princípio da rede em malha, criando rotas de redundância, administradas pelo gerenciador de rede, facilitando o acesso de cada

dispositivo. A distância entre dois pontos da rede é de até 250m em visada direta e o número máximo de dispositivos na rede é de 264. O WirelessHART pode operar em topologia de malha, em estrela ou em rede de malha estrela, como ilustra a Figura 26.

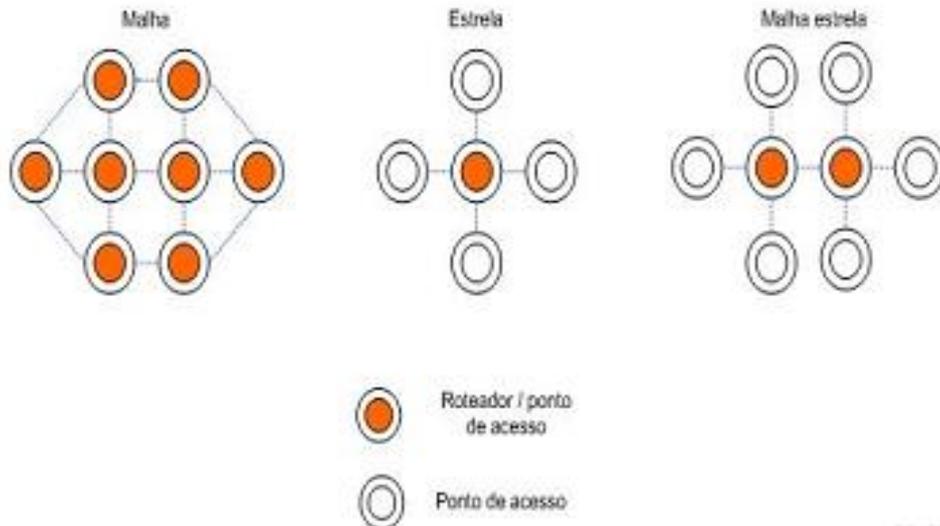


Figura 26 - Topologias WirelessHART