

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL

Área de Engenharia Elétrica

Por

Eduardo Luís da Silva Souza

Débora Meyhofer Ferreira, M.^a
Orientadora

Campinas (SP), Dezembro de 2010

UNIVERSIDADE SÃO FRANCISCO
CURSO DE ENGENHARIA ELÉTRICA

REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL

Área de Engenharia Elétrica

Por

Eduardo Luís da Silva Souza

Monografia apresentada ao Curso de Engenharia Elétrica da Universidade São Francisco, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheiro Eletricista.

Orientadora: Prof.^a M.^a Debora Meyhofer Ferreira

Campinas (SP), Dezembro de 2010

À Deus, minha família e amigos pelo apoio
em todos os momentos da minha vida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	v
LISTA DE TABELAS	vi
RESUMO	vii
ABSTRACT	viii
INTRODUÇÃO	01
1 O MODELO OSI	04
1.1 FUNÇÕES DAS CAMADAS	05
2 REDE DEVICENET	08
2.1 REDE CAN (<i>CONTROLLER AREA NETWORK</i>)	08
2.2 CARACTERÍSTICAS DA REDE DEVICENET	10
2.3 ARQUITETURA DEVICENET	11
2.3.1 Meio físico	11
2.3.2 Topologia	12
2.3.3 Resistores de terminação	14
2.3.4 Número de estações ativas	14
2.3.5 Comunicação	15
2.3.6 Protocolo DeviceNet	18
3 REDES PROFIBUS	19
3.1 CARACTERÍSTICAS DAS REDES PROFIBUS	21
3.2 PROFIBUS DP	23
3.2.1 Topologia ProfiBus DP	24
3.3 PROFIBUS PA	25
3.3.1 Topologia ProfiBus PA	26
3.4 PROFBUS FMS	27
4 REDES MODBUS	29
4.1 MODBUS PADRÃO (<i>STANDARD</i>)	30
4.1.1 Camada de enlace ModBus Padrão (<i>Standard</i>)	32
4.2 MODBUS <i>PLUS</i>	34
4.3 MODBUS TCP/IP	34
CONCLUSÃO	35

TRABALHOS FUTUROS.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	40

LISTA DE FIGURAS

Figura 0.1 – Faixa de aplicação de redes.....	03
Figura 1.1 – Estrutura do modelo OSI de referência	04
Figura 2.1 – Comparação entre DeviceNet e CanBus	10
Figura 2.2 – Cabos utilizados na rede DeviceNet grosso, fino e flat.....	12
Figura 2.3 – Exemplo de conector DeviceNet.....	12
Figura 2.4 – Modelo de rede DeviceNet mestre/escravo	16
Figura 2.5 – Modelo de rede DeviceNet <i>Peer-to-Peer</i>	16
Figura 2.6 – Modelo de rede DeviceNet multimestres	17
Figura 2.7 – Modelo de rede DeviceNet baseado na mudança de estado.....	17
Figura 2.8 – Modelo de rede DeviceNet produção cíclica de dados.....	18
Figura 2.9 – Estrutura do frame de dados da rede DeviceNet	18
Figura 3.1 – Pirâmide de protocolos ProfiBus	20
Figura 3.2 – Arquitetura ProfiBus.....	20
Figura 3.3 – Principal controle de acesso ao meio na rede ProfiBus	22
Figura 3.4 – Disponibilidade e evolução do protocolo ProfiBus DP.....	25
Figura 4.1 – Protocolos ModBus	30
Figura 4.2 – Ciclo de comunicação ModBus	31
Figura 4.3 – Encapsulamento TCP no ModBus	35

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1 – Taxas de transmissão da rede DeviceNet	12
Tabela 2.2 – Comprimento da rede DeviceNet e corrente máxima para fonte.....	13
Tabela 3.1 – Velocidades ideais de transmissão ProfiBus no padrão RS-485.....	23
Tabela 3.2 – Propriedades das fibras ópticas para transmissão ProfiBus	23
Tabela 3.3 – Fontes de alimentação para o padrão ProfiBus IEC 61158-2.....	27
Tabela 3.4 – Comprimento do cabo para o padrão ProfiBus IEC 61158-2	27

RESUMO

Devido ao constante desenvolvimento ao redor do mundo dos métodos de produção e do controle industrial e também das necessidades das empresas por redução dos custos operacionais, aumento da disponibilidade produtiva e transparência/fluência de informações em todos os níveis organizacionais, as redes de comunicação industrial tem surgido e evoluído de modo muito rápido, assumindo um importante papel nas indústrias.

Além dos fatores acima, existem outros fatores que também contribuíram para o desenvolvimento das redes industriais sendo eles a necessidade de otimização de matéria-prima, necessidade de aumento da qualidade do produto final, flexibilidade e confiabilidade dos dados dos processos produtivos.

Por causa desta importância, o objetivo deste trabalho é estudar e analisar as redes de comunicação para automação industrial DeviceNet, ProfiBus (versões DP, PA e FMS) e ModBus (versões Padrão, *Plus* e TCP/IP) abordando seus aspectos físicos, construtivos e características de funcionamento, para que seja possível analisar as mesmas perante as aplicações industriais considerando os recursos disponíveis, vantagens e desvantagens que cada uma oferece.

Palavras-chave: redes, comunicação industrial, modelo OSI, automação industrial, DeviceNet, ProfiBus, ModBus.

ABSTRACT

Considering the continuous development around the world regarding the production methods and industrial control and also the industrial needs of cost reduction, increasing of production availability, and transparency/better information flows in all the industrial internal levels, the industrials communications interfaces have been developed in few years in a very fast way, becoming very important inside the industries.

Besides the facts above, there are others facts that also contributed to the industrials communications interfaces development, and they are the necessity of better use of raw materials, increasing the final product's quality, flexibility and reliability in the production process database.

Because the importance of the industrial communications interfaces, this work was aimed in the study and analysis of the DeviceNet, ProfiBus (DP, PA and FMS versions) and ModBus (Standard, Plus and TCP/IP) regarding the physical layouts, protocols interfaces, working methods, in order to analyses this interfaces in industrial applications considering the resources available, advantages and disadvantages of each industrial communication interface.

Key words: industrial communication interfaces, industrial communication, OSI model, industrial automation, DeviceNet, ProfiBus, ModBus.

INTRODUÇÃO

Ao longo das décadas de produção industrial e com as mudanças sócio-econômicas que acontecem constantemente ao redor do mundo, cada vez mais as empresas e indústrias de todos os segmentos buscam diferenciais para se consolidar nos mercados que atuam, diferenciais esses como redução de custos, otimização dos recursos produtivos (matéria-prima), aumento da qualidade do produto e dos processos, flexibilidade na produção e transparência/fluência de informações em todos os níveis organizacionais.

Com o desenvolvimento da informática principalmente nos anos 80 e a utilização de computadores na indústria e do desenvolvimento contínuo das tecnologias eletroeletrônicas somado com a popularização dos dispositivos microcontrolados, as implementações dos sistemas de comunicação tornou-se totalmente possível, chegando hoje inclusive ao padrão Ethernet.

Para suprir essas necessidades do mercado atual e aliado ao desenvolvimento tecnológico contínuo, ocorreu também o desenvolvimento da automação industrial, no qual a rede de comunicação industrial tem surgido e evoluído de modo impressionante, superando muitos obstáculos como confiabilidade, custos, velocidade de comunicação e distâncias maiores de operação.

A motivação do trabalho é devido ao fato de que os sistemas de automação e controle têm se apoiado cada vez mais em redes de comunicação industrial, seja pela crescente complexidade dos processos industriais ou pela distribuição/limitação geográfica que se tem acentuado nas instalações industriais, sendo assim necessário um estudo sobre as principais redes disponíveis em relação às características, funcionalidades e aplicações.

Buscando maior velocidade na execução de comandos e também na tomada de decisões, as redes industriais (principalmente as de grande porte) operam cada vez mais com velocidades maiores de transmissão e com busca constante para aumentar a capacidade de transmissão de dados. O constante aumento de produção nas empresas tem esbarrado no limite máximo das linhas e por conseqüência este aumento tem requerido investimentos em novos equipamentos ou na troca parcial dos existentes.

Ao longo dos anos, pode-se citar que automação no passado se baseava em uma única sala de controle central com quilômetros de cabos e milhares de contatos/reles para as lógicas de funcionamento, representado assim milhares de pontos e conexões com elevado consumo

de energia, o que proporcionava muitos potenciais para falhas e causa difícil manutenção / gerenciamento, com longo período de interrupções e paradas para solucionar problemas.

Devido a isso também existiam centenas de indicadores de processos e variáveis nos programas de execução, o que tornavam os sistemas difíceis de serem compreendidos, com alta probabilidade de erro nas operações. Somado a todas essas limitações e a baixas capacidades de processamento e armazenamento de dados, a coleta dos dados nos processos produtivos eram feitas praticamente de modo manual, criando uma grande dificuldade para rastrear os dados posteriormente e dificultava a análise dos processos industriais.

Atualmente encontram-se redes industriais interligando sistemas gerenciais das empresas e também sistemas supervisórios, que substituem os painéis e lâmpadas para indicação de status, proporcionando simplificação dos sistemas de operação/controle, o que facilita as operações, intervenções e também manutenções futuras, economia de cabos e de energia elétrica e além de tudo facilidade (transparência) de fluxo de informações que muitas das vezes são acessadas em tempo real.

As redes de comunicação industrial também permitem interligar o controle e comunicação em alta velocidade com uma diversa gama de dispositivos como os controladores lógicos programáveis (que substituem os painéis lógicos de contatos com relés e enormes quantidades de cabos e que também possuem alta capacidade de processamento juntamente com confiabilidade de operação, oferecendo inúmeros recursos e funções de programação), motores de passo, sistemas de visão e inspeção, sensores de detecção (ópticos, indutivos, fotoelétricos), barreiras de segurança, balanças, válvulas solenóides, inversores de frequência para motores elétricos de corrente alternada, chave eletrônica para partida de motor, servo acionamentos, medidores e controladores de temperatura, pressão e vazão, transdutores, robôs, entre outros.

As diversas redes podem ser classificadas de acordo com a tecnologia de transmissão que é empregada, que pode ser por difusão ou ponto a ponto, ou de acordo com sua escala, que pode ser:

- PAN: Rede pessoal
- LAN: Rede local
- MAN: Rede metropolitana
- WAN: Rede geograficamente distribuída

As redes industriais são sistemas essencialmente distribuídos, onde diversos elementos trabalham de forma simultânea com a finalidade de controlar (supervisionar) um processo

produtivo, cuja topologia é responsável pelo enlace físico e pela organização dos nós existentes, influenciando assim diretamente no funcionamento da mesma.

- Dados no formato de bits (*Sensorbus*): conecta equipamentos pequenos e simples, normalmente em curtas distâncias e que precisam de rápida comunicação. Geralmente são de baixo custo quando comparadas a redes maiores. Exemplo: redes AS-Interface e Interbus.
- Dados no formato de bytes (*Devicebus*): apresenta porte intermediário (nível de dispositivo) e cobre distâncias maiores de trabalho, unindo a rápida transferência do *Sensorbus* com a capacidade de gerenciamento da rede. Exemplo: DeviceNet.
- Dados no formato de pacotes (*Fieldbus*): interliga equipamentos de entrada e saída mais inteligentes, controlando fluxo de informações e processo, permitindo a interação de vários tipos de dados. Exemplo: Profibus FMS.

A figura 0.1 mostra as faixas de aplicação de redes conforme o nível de automação empregado.

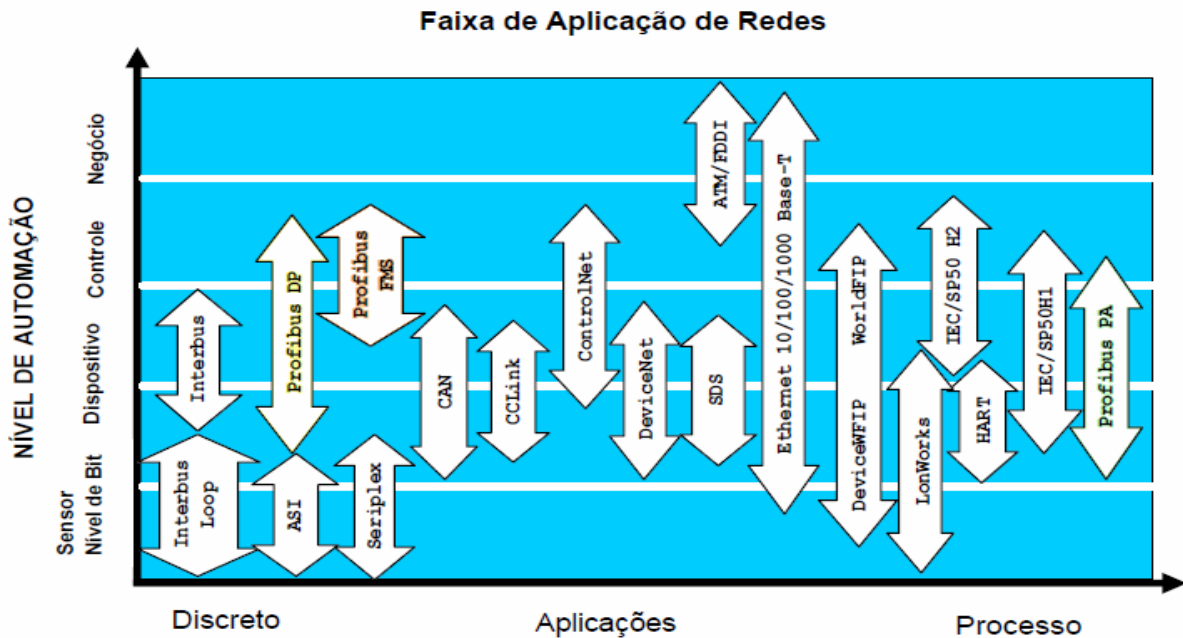


Figura 0.1: Faixa de aplicação de redes [3]

1 O Modelo OSI

As redes de comunicação industrial são organizadas em níveis hierárquicos chamados de camadas. O modelo que gerencia a estruturação em camadas também para as redes industriais é o modelo OSI.

Na década de 1980, a *International Organization for Standardization* (ISO) começou a definir o modelo de referencia para comunicação entre sistemas abertos - *Open Systems Interconnection*, mais conhecido como modelo OSI (norma ISO 7498).

O modelo OSI essencialmente é uma estrutura para gerenciar a comunicação de dados, dividindo a própria comunicação de dados em 7 camadas ou níveis conforme representado na figura 1.1, sendo que cada uma das camadas possui suas próprias responsabilidades definidas.

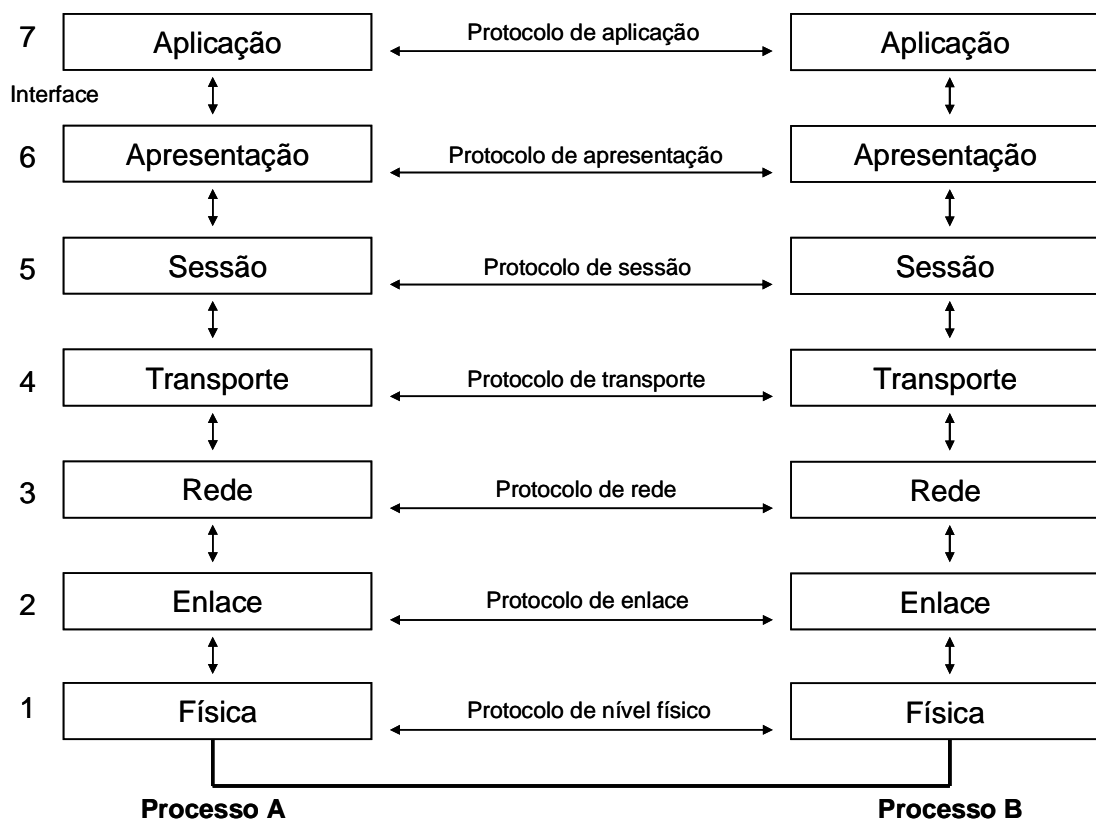


Figura 1.1: Estrutura do modelo OSI de referência [2]

O modelo OSI possui dois componentes principais: um modelo abstrato de rede (*Basic Reference Model*) e um conjunto concreto de protocolos.

Durante o desenvolvimento do modelo OSI os princípios abaixo foram seguidos:

- Uma camada deve ser criada onde há necessidade de interligar níveis abstratos
- Cada camada deve desenvolver uma função bem definida
- A função de cada camada deve ser definida baseando-se no padrão internacional de protocolos
- Os limites das camadas devem ser escolhidos para minimizar o fluxo de informações entre as interfaces
- O número de camadas deve ser grande o suficiente para que as camadas tenham funções distintas

1.1 Funções das Camadas do Modelo OSI

A camada 1 é chamada de camada física, cuja função é prover uma interface física (mecânica, como por exemplo conectores), elétrica e funcional para ativar, manter e desfazer conexões entre os demais elementos do sistema. A camada 1 também oferece acesso físico dos computadores às redes, adaptando o sinal elétrico de informação ao meio de transmissão utilizado.

A camada 2 do modelo OSI chama-se enlace e tem por objetivo o endereçamento físico das máquinas, o controle de erros e controle de fluxo. A camada de enlace detecta notifica e recupera erros, detectando também erros de transmissão que podem ocorrer no meio físico. Na camada 2 o fluxo da transmissão é controlado para evitar perdas e ociosidade do meio de transmissão, fornecendo também uma identificação física para cada computador da rede.

A terceira camada é a camada de rede, que é responsável por estabelecer uma conexão entre os computadores de uma transmissão de rede. A função da camada 3 é rotear as informações através dos nodos das redes desde a máquina de origem até a máquina de destino.

No final da transmissão, o protocolo da camada 3 desfaz a conexão entre os computadores, liberando assim a rede para novas conexões. Como exemplo de protocolo de camada 3 temos o IP (*internet protocol*).

A camada número 4 é a camada de transporte e que oferece recursos lógicos adicionais para a transmissão (transporte) de dados através da rede. O protocolo de transporte é necessário em serviços onde o protocolo de rede (camada 3) não garante a completa entrega dos dados e informações. Para se ter uma qualidade de serviço adequada é necessário um protocolo de camada 4 como por exemplo o TCP.

Estudando as camadas 3 e 4 do modelo OSI pode-se verificar que existem 2 tipos de protocolos e serviços com relação à confiabilidade da transmissão [2]:

- Protocolos sem conexão (conhecidos como *connection less*) que apesar de serem do tipo *best-effort* devido ao esforço de entregar os dados corretamente eles não garantem uma conexão.
- Protocolos com conexão que estabelecem um caminho virtual através da rede, no qual todos os dados que serão transmitidos terão o mesmo caminho já pré-definido.

A camada 5 do modelo OSI é a camada de sessão, que é pouco utilizada nas aplicações de rede. A função da camada 5 é permitir que diversos usuários possam estabelecer conexões entre eles. A camada de sessão também provém serviços de controle de diálogo entre as máquinas, gerenciamento do *token* nas redes que o utilizam para organizar a comunicação e de sincronização entre os computadores na rede.

A camada de apresentação é a sexta camada do modelo OSI cuja função é formatar e converter sintaxes, códigos e linguagens com diferentes representações utilizadas pelas máquinas. A camada 6 gerencia as estruturas dos dados e permite convertê-las em estruturas até mesmo mais complexas como por exemplo utilizadas em registros bancários, sendo que também pode realizar criptografia, embaralhamento e compressão de dados.

A sétima camada do modelo OSI é a camada de aplicação, onde todos os aplicativos de interesses dos usuários (clientes da rede) são implementados, como por exemplo: correio eletrônico, transferência de arquivos de dados, *downloads* e *uploads* (FTP), telnet, internet (*web*), acesso remoto entre outros.

Conforme a norma ISO 9545, a camada 7 também determina a qualidade do serviço mínimo requisitado na conexão e os aspectos de segurança (controle de acesso e integridade de dados).

Nas redes industriais DeviceNet, ProfiBus e ModBus verifica-se que são utilizadas apenas três camadas do modelo OSI de referência:

- Camada física (camada 1);
- Camada de enlace (camada 2);
- Camada de aplicação (camada 7).

2 REDE DEVICENET

A rede DeviceNet, derivada da rede CAN (*Controller Area Network*), classifica-se como uma rede de dispositivos, adaptada para operar ao nível de chão de fábrica onde equipamentos desde os mais simples como sensores do tipo liga/desliga e módulos de entrada e saída digitais e analógicos (*Input/Output*) até os mais complexos, como interfaces homem máquinas, chaves eletrônicas para partida de motores, inversores de frequência/servo acionamentos para controle de velocidade de motores, controladores lógicos programáveis e medidores de pressão, vazão e temperatura aplicados em instrumentação podem ser utilizados [3].

A rede DeviceNet foi desenvolvida pela fabricante mundial de equipamentos de automação industrial Allen Bradley (grupo *Rockwell Automation*) e foi lançada ao mercado no ano de 1994, possuindo protocolo aberto, tendo hoje em dia um expressivo número de fabricantes que produzem e comercializam equipamentos, sendo que todos são regulamentados via a associação internacional OVDA (*Open DeviceNet Vendor Association*), organização independente que tem o objetivo de divulgar, padronizar e difundir a tecnologia visando seu crescimento mundial.

A rede DeviceNet é baseada no protocolo CAN (*Controller Area Network*), desenvolvido pela empresa Robert Bosch GmbH como uma rede digital na década de 1980 originalmente para aplicações automobilísticas, mais especificamente para a fabricante alemã Mercedes-Benz, onde devido ao grande número de sensores utilizados, tornava-se inviável o encaminhamento dos fios e cabos necessários para o funcionamento dos sistemas automotivos.

2.1 Rede CAN (*Controller Area Network*)

A rede CAN foi basicamente desenvolvida para a indústria automobilística em resposta ao crescimento muito rápido da aplicação e utilização de sistemas eletrônicos de controle em automóveis (eletrônica embarcada).

Com o passar do tempo e a crescente demanda da eficiência de combustíveis e requisitos de segurança à população, cada vez mais dispositivos eletrônicos foram sendo agregados na rede CAN.

Posteriormente a tecnologia CAN foi difundida e aplicada para o uso industrial devido ao excelente desempenho alcançado nas aplicações automobilísticas porque em um automóvel encontram-se varias características críticas das instalações industriais, como exemplo altas temperaturas, umidade e interferência de ruídos eletromagnéticos. A rede CAN para o uso industrial foi padronizada em 1994 pela norma ISO 11988.

Ao mesmo tempo em que se precisa de alta velocidade e tempo para respostas reduzido em uma aplicação em tempo real, é necessário alto grau de confiabilidade das informações, assim como nos veículos que atualmente possuem alto índice de equipamentos eletrônicos, como exemplo os freios ABS e *Airbag* que são equipamentos de segurança altamente críticos em termos de confiabilidade e tempo de resposta.

A rede CAN é do tipo *Bus* porém não utiliza um barramento principal (*master*) ou um bastão passante (*token*) para acessar os barramentos. Ela se baseia em uma arquitetura do tipo multimestres, onde todos os nodos podem transmitir dados. O transmissor não utiliza endereçamentos, enviando mensagens de dados a todos os dispositivos que estão conectados na rede.

As especificações do protocolo CAN abrangem somente as camadas físicas (camada 1 – *physical layer*) e o link de dados (camada 2 – *data link*) do modelo internacional OSI da ISO, sendo que o controle de acesso ao meio é o CSMA/BA (*carrier sense multiple access/bit wise arbitration*) que no caso de eventuais colisões durante a comunicação as prioridades de tempo já estão definidas.

O protocolo CAN define uma metodologia de acesso ao meio físico MAC (Controle de Acesso ao Meio) e fornece como segurança bits de checagem CRC (Vistoria Redundante Cíclica), que detecta estruturas alteradas e erros durante a transmissão de dados.

A figura 2.1 mostra uma comparação entre a rede DeviceNet e a rede CanBus baseando-se no modelo OSI.

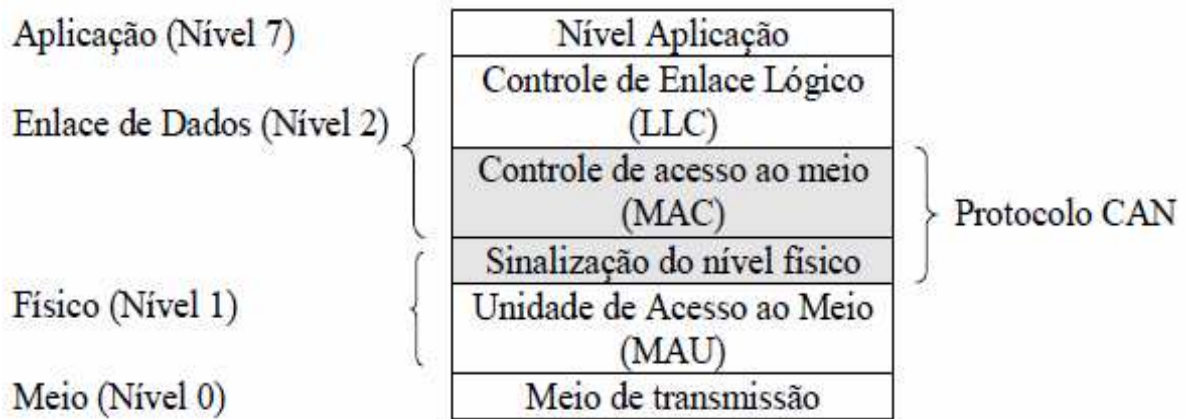


Figura 2.1: Comparação entre DeviceNet e CanBus [3]

2.2 Características da Rede DeviceNet

As principais características da rede DeviceNet são:

- Configuração de protocolo aberto com topologia física básica do tipo linha principal com derivações (a rede DeviceNet permite a conexão de até 64 nós);
- Barramentos separados de par trançado para a distribuição de sinal e de alimentação (24VCC), ambos no mesmo cabo;
- Inserção e remoção de nós sem ser necessário desligar os dispositivos e sem necessidade de desconectar a alimentação da rede, facilitando muito as intervenções e manutenção na rede;
- Usa opto acopladores para proteger as conexões e permitir que dispositivos alimentados externamente possam compartilhar o cabo do barramento com os dispositivos alimentados pelo próprio barramento;
- Necessidade de usar resistores para terminação de 121 ohms em cada fim de linha para funcionar e evitar reflexão de sinais;
- Permite conexão de múltiplas fontes de alimentação para os dispositivos;
- As conexões podem ser abertas ou seladas, dependendo do ambiente e da classificação da área em que a rede está trabalhando;
- Protocolo aberto atualmente;

2.3 Arquitetura DeviceNet

Com a arquitetura DeviceNet é possível controlar a transferência de dados através da escolha das taxas de atualização do processamento dos sinais de entrada e saída, entradas compartilhadas, mensagens ponto a ponto e lógica de intertravamentos entre os controladores. Também é possível coletar dados para mostrá-los em interfaces homem-máquina e configurar remotamente todos os dispositivos que estão conectados na rede.

2.3.1 Meio físico

A rede DeviceNet utiliza dois pares de fios, no qual um se baseia na alimentação do tipo corrente contínua dos equipamentos que estão conectados na rede e o outro é responsável pela transmissão dos dados, sendo que ainda existe uma blindagem externa dos pares de fios constituída de uma fita de alumínio e uma blindagem geral do cabo (que deve ser aterrado em um só lugar e de preferência o mais próximo possível do centro da rede) via malha trançada juntamente com fio de dreno.

As cores dos fios são padronizadas, com o par de alimentação “V+” na cor vermelha e “V-“ na cor preta e o par de comunicação com cor branca para o sinal chamado de *CAN High* e cor azul para o *CAN Low*.

Para a rede DeviceNet existem três tipos de cabos disponíveis: o cabo tronco também conhecido por cabo grosso, que tem diâmetro externo de 12,2 mm e alcança distancia máxima de 500 metros, outro chamado de cabo fino (os dispositivos são interligados ao tronco através deste cabo) com diâmetro externo de 6,9 mm e um terceiro cabo chamado de flat (aplicado somente como tronco da rede) com dimensões de 19,3 mm x 5,3 mm para ser utilizado por conectores especiais que visam reduzir o tempo de montagem, como se pode notar na figura 2.2 e figura 2.3.



Figura 2.2: Cabos utilizados na rede DeviceNet grosso, fino e flat [4]



Figura 2.3: Exemplo de conector DeviceNet [4]

Os sinais de comunicação utilizam a técnica de tensão diferencial para os níveis lógicos, visando diminuir a interferência eletromagnética, que será igual nos dois fios e que aliada a blindagem dos cabos tem o objetivo de conservar a integridade das informações através dos ambientes industriais. O nível do sinal de CAN *Low* pode variar de 1,5Vdc a 2,5Vdc enquanto o sinal de CAN *High* pode variar de 2,5Vdc a 4,0Vdc.

2.3.2 Topologia

A rede DeviceNet trabalha com a topologia baseada em um cabo tronco central (chamado de linha principal) com derivações que partem do próprio cabo principal.

Para que a rede DeviceNet e o sistema de cabos funcione corretamente é necessário seguir as seguintes definições:

- A distância máxima entre qualquer equipamento em uma derivação ramificada para uma linha principal (tronco) não pode ser maior do que 6 metros [2].

- A distancia entre dois pontos na rede não pode ser maior do que a distância máxima que o tipo de cabo utilizado permite e a taxa de comunicação também deve ser adequada [2].

A rede DeviceNet pode trabalhar com velocidades de 125Kbps a 500Kps, dependendo do cabo utilizado e do comprimento da rede e de suas derivações, conforme tabela 2.1.

Tabela 2.1: Taxas de transmissão da rede DeviceNet [4]

Tipo de Cabo	Função do Cabo	Taxa de Transmissão		
		125 kbits/s	250 kbits/s	500 kbits/s
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	Σ Derivações	156 m	78 m	39 m

A colocação da fonte de alimentação também precisa seguir regras, sendo que a corrente máxima que a fonte suporta é uma função do comprimento máximo do segmento determinado, respeitando os valores como se pode notar na tabela 2.2.

Tabela 2.2: Comprimento da rede DeviceNet e corrente máxima para fonte [4]

Comprimento da rede (m)	Cabo Grosso	Cabo Chato	Comprimento da rede (m)	Cabo Grosso	Cabo Chato
	Corrente Máxima (A)	Corrente Máxima (A)		Corrente Máxima (A)	Corrente Máxima (A)
0	8.00	8.00	240	1.28	1.20
20	8.00	8.00	260	1.19	1.11
40	6.53	7.01	280	1.10	1.03
60	4.63	4.72	300	1.03	0.96
80	3.59	3.56	340	0.91	0.85
100	2.93	2.86	360	0.86	0.80
120	2.47	2.39	380	0.82	0.76
140	2.14	2.05	420	0.74	0.69
160	1.89	1.79	440	0.71	----
180	1.69	1.60	460	0.68	----
200	1.53	1.44	480	0.65	----
220	1.39	1.31	500	0.63	----

Múltiplas fontes podem ser utilizadas na rede DeviceNet porém para otimizar o posicionamento da mesma na rede existem algumas dicas como por exemplo mover a fonte de alimentação em direção a região sobrecarregada, instalar as cargas que consomem uma corrente maior próximas da fonte, diminuir o comprimento dos cabos e dividir os dispositivos dentre todas as seções de modo a evitar acúmulos em apenas uma região.

Uma vantagem da topologia DeviceNet é a capacidade de inserir e remover módulos sem necessidade de retirar a alimentação da rede, facilitando muito os reparos de manutenção.

2.3.3 Resistores de terminação

A rede DeviceNet necessita de resistores de terminação nas duas extremidades do cabo principal (linha tronco) da rede para que seja reduzida e/ou evitada a reflexão de sinais através do meio.

Os resistores precisam ser de 121ohms com potência de ¼ de watt e precisam ser conectados entre os dois fios de comunicação (par) azul e branco.

A maioria dos problemas de relacionados ao sistema de cabos é resultado de má instalação no campo ou ausência dos resistores de terminação.

2.3.4 Número de estações ativas

O número máximo de estações ativas na rede DeviceNet admitidas são 64, endereçados logicamente de 0 a 63, sendo que o endereço 63 é o endereço padrão para os equipamentos fabricados para trabalhar na rede DeviceNet [4].

É aconselhável utilizar no máximo 62 equipamentos na rede DeviceNet (endereçados de 0 a 61), deixando o endereço número 62 para a interface de comunicação e o endereço número 63 para a conexão de novos dispositivos, evitando assim conflitos de endereços e o desarme da rede.

2.3.5 Comunicação

O controle de acesso ao meio (camada DLL) utiliza o protocolo CSMA/NBA (*carrier sense multiple access/non destructive bitwise arbitration*), variante dos protocolos CSMA porém cada mensagem possui uma prioridade definida, no qual qualquer nó pode acessar o barramento quando o mesmo estiver livre.

Caso aconteça colisão, haverá a arbitragem bit a bit baseada na prioridade da mensagem que é função do campo identificador (tamanho de 11 bits) que está presente no cabeçalho. As mensagens podem ser de dois tipos: mensagens de entrada/saída (dados de tempo crítico com controle – permitem o tráfego de dados entre aplicações produtoras e consumidoras) e mensagens explícitas (dados de configuração e diagnósticos ponto a ponto).

Arbitragem é o procedimento no qual cada nó inicia a transmissão e monitora o meio bit a bit se o dado enviado é igual ao dado monitorado recebido, sendo que os bits com valores dominantes sobrescrevem bits recessivos. Todos os nodos respondem se a mensagem recebida está correta com um ACK (*acknowledgement*) dentro do mesmo intervalo de tempo.

Utilizando o conceito de produtor-consumidor é capaz de suportar vários modelos de rede, no qual o dado é especificado pelo seu conteúdo e um elemento produz a mensagem (informação) no barramento e os elementos que precisam dessa mensagem a consomem, visando eliminar troca de informações desnecessárias.

Os métodos de aquisição de dados na rede DeviceNet são: *Polled Message*, *Strobed Message*, *Change of State* e *Cyclic Message*.

O método *Polled Message* consiste em um dispositivo mestre gerar uma mensagem contendo um comando direcionado a um determinado escravo e a resposta desse escravo ser direcionada diretamente ao mestre, ou seja, cada mestre faz uma requisição individual.

O método *Strobed Message* funciona com o mestre gerando uma mensagem de requisição no meio e todos os escravos que atuam com a comunicação do tipo *Strobed* respondem em seqüência, ou seja, há uma requisição geral e respostas de cada dispositivo *Strobed*.

No método *Change of State* (mudança de estado) um dispositivo escravo só envia suas informações ao mestre quando há alteração do estado de suas entradas. Neste modo os escravos têm um recurso de comunicação cíclica para informar que está funcionando normalmente na rede (este sinal também é chamado de *heartbreaker*).

O método *Cyclic Message* consiste no fato de que escravos na rede atualizem suas informações (dados) nos dispositivos mestres a cada intervalo pré-definido de tempo, muito utilizado em aplicações na qual a informação de determinado ponto não necessita de atualizações instantâneas.

Os modelos de rede suportados são:

- Mestre/Escravo: O dispositivo mestre realiza *polling* dos dispositivos escravos (figura 2.4).

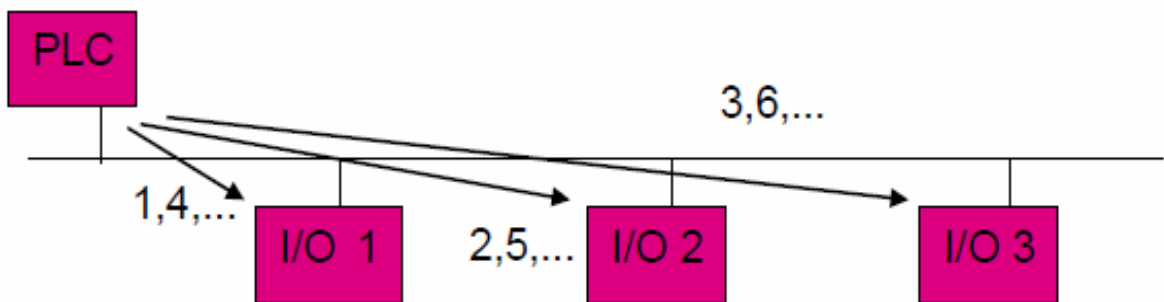


Figura 2.4: Modelo de rede DeviceNet mestre/escravo [3]

- *Peer-to-peer* (ponto-a-ponto): Não possuem mestres fixos, cada nó pode gerar mensagens para a rede desde que possua o bastão de comunicação (figura 2.5).

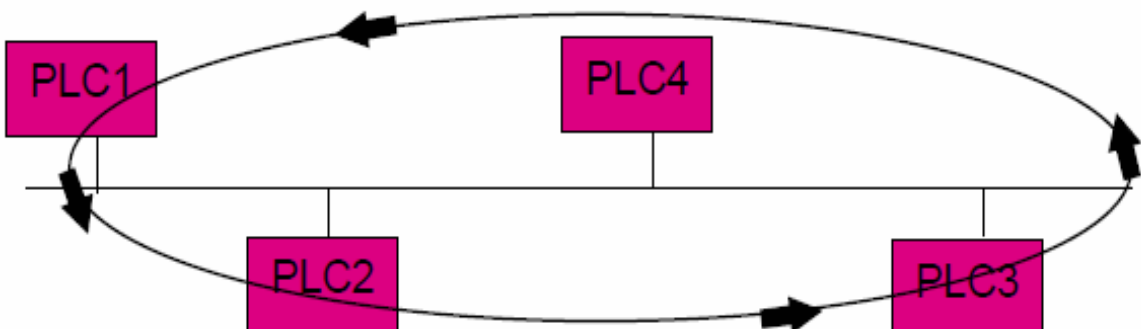


Figura 2.5: Modelo de rede DeviceNet *peer-to-peer* [3]

- Multimestres: Mensagens podem alcançar diversos destinatários que estão conectados na rede simultaneamente (figura 2.6).

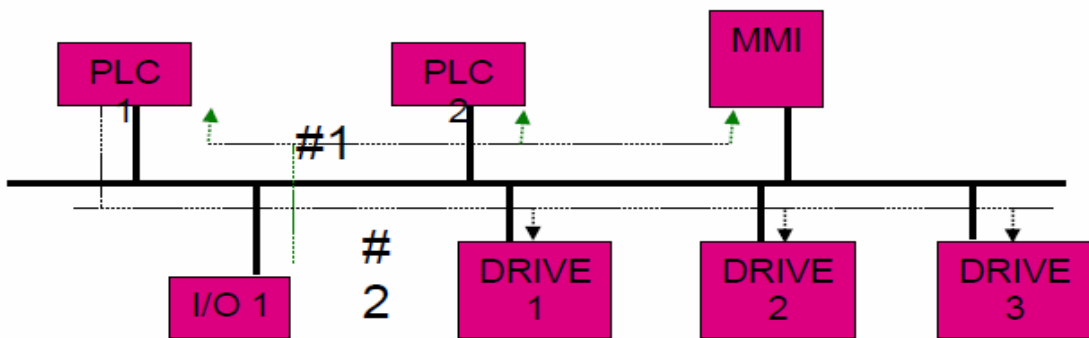


Figura 2.6: Modelo de rede DeviceNet multimestres [3]

- Mudança do estado do dado: Ao invés de leitura cíclica, os dados são lidos apenas quando os dispositivos de campo informam que seus dados alterados, porém é necessário que um sinal de *heartbreaker* seja enviado em tempos determinados para indicar ao mestre que os escravos estão funcionando normalmente (figura 2.7).

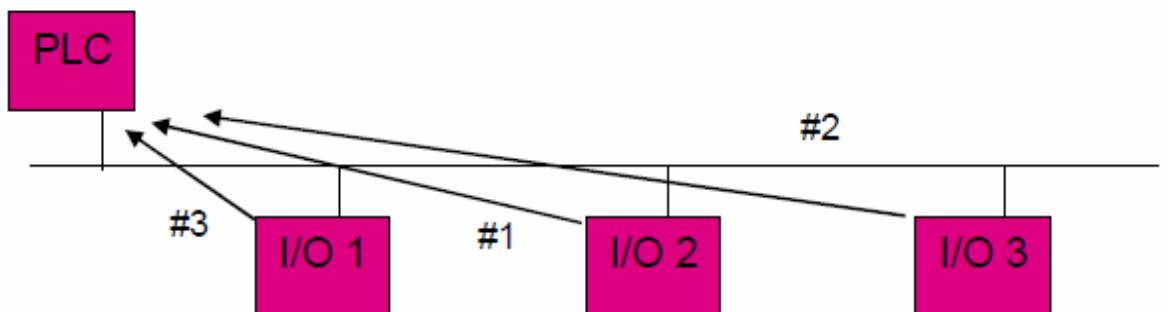


Figura 2.7: Modelo de rede DeviceNet baseado na mudança de estado [3]

- Produção cíclica de dados: Os dados nos mestres são atualizados periodicamente em tempos já pré-estabelecidos (figura 2.8).

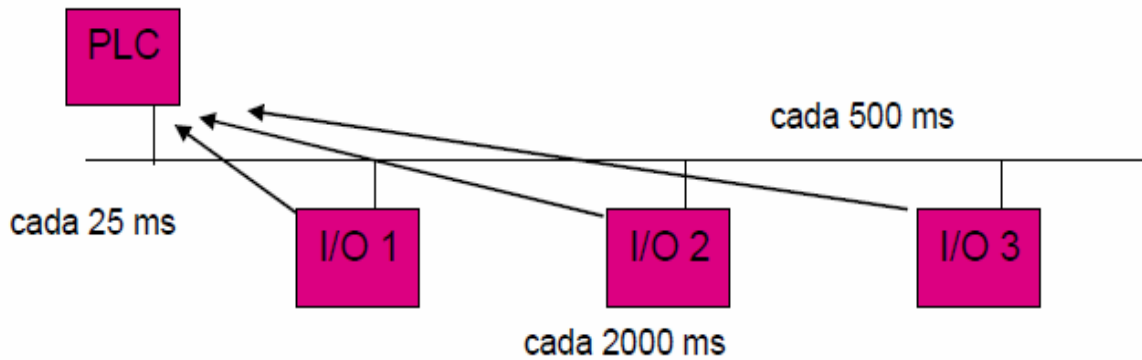


Figura 2.8: Modelo de rede DeviceNet modo de produção cíclica de dados [3]

2.3.6 Protocolo DeviceNet

O pacote de dados DeviceNet é composto por 1 bit de início de cabeçalho (*Start Of Frame*), 11 bits no campo Identificador que é o campo responsável pela arbitragem, 7 bits de controle (campos RTR e Campo de controle), 8 bytes (variável de 0 a 8 bytes) no campo de “Dados”, 15 bits no campo CRC (*Cyclic Redundancy Code*) responsável pelo detecção de erros, 1 bit para delimitar o final da verificação CRC, 1 bit de ACK (*acknowledgement*) responsável pela confirmação de recepção e 1 bit para delimitar o ACK. Como final de frame temos 7 bits e entre os *frames* é necessário um espaço de 3 bits. A estrutura do pacote DeviceNet está representada na figura 2.9.

1 bit	11 bits	1 bit	6 bits	0-8 bytes	15 bits	1 bit	1 bit	1 bit	7 bits	3 bits
Início da Frame	Identificador	RTR bit	Campo de Controle	Campo de DADOS (Variável de 0 a 8 bytes)	Sequenciador CRC	Delimitador de CRC	Bit de Ack	Delimitador de Ack	Final da Frame	Espaço entre Frames

Figura 2.9: Estrutura do pacote de dados da rede DeviceNet [3]

3 Redes ProfiBus

A rede ProfiBus (*Process Fieldbus*) é hoje um dos padrões de redes industriais mais aplicados no mundo que foi idealizada a partir do ano de 1987, motivada por uma iniciativa entre os fabricantes de equipamentos industriais na época, usuários e também o governo alemão, com o objetivo de desenvolver um barramento de campo digital.

O protocolo ProfiBus é caracterizado como um protocolo aberto e definido conforme a norma alemã DIN 19245 1-2, e em 1995 teve fundada a sua instituição *Profibus International* que possui 22 entidades ao redor do mundo.

O padrão ProfiBus oferece uma solução completa para comunicação e gerenciamento de atividades/processos industriais, capaz de interligar desde os níveis intermediários em uma estrutura de automação (chamado de nível de campo ou chão de fábrica – *Field Level*) e níveis superiores (como por exemplo gerenciamento, chamado também de nível de célula – *Cell Level*).

A família completa de protocolos FieldBus é composta por:

- ProfiNet (*Profibus for Ethernet*) – permite a comunicação entre computadores (*workstations*) e controladores lógicos programáveis usando o sistema Ethernet/TCP-IP
- ProfiBus DP (*Decentralized Periphery*) – permite a comunicação com sensores, atuadores, dispositivos de entrada/saída e posicionadores de controle de motores entre outros.
- ProfiBus PA (*Process Automation*) – permite a comunicação com dispositivos de processo, como por exemplo controladores de pressão e temperatura, válvulas de controle, sensores de nível.
- ProfiBus FMS (*FieldBus Message Specification*) – permite a comunicação entre controladores lógicos programáveis e computadores de controle e gerenciamento, abrangendo o nível de integração de células.
- AS – I (*Actuator Sensor Interface*) – permite o controle dos sinais basicamente de sensores e atuadores do tipo liga/desliga.

Na figura 3.1 protocolos da família ProfiBus estão representados em forma de pirâmide conforme seus respectivos níveis de atuação.

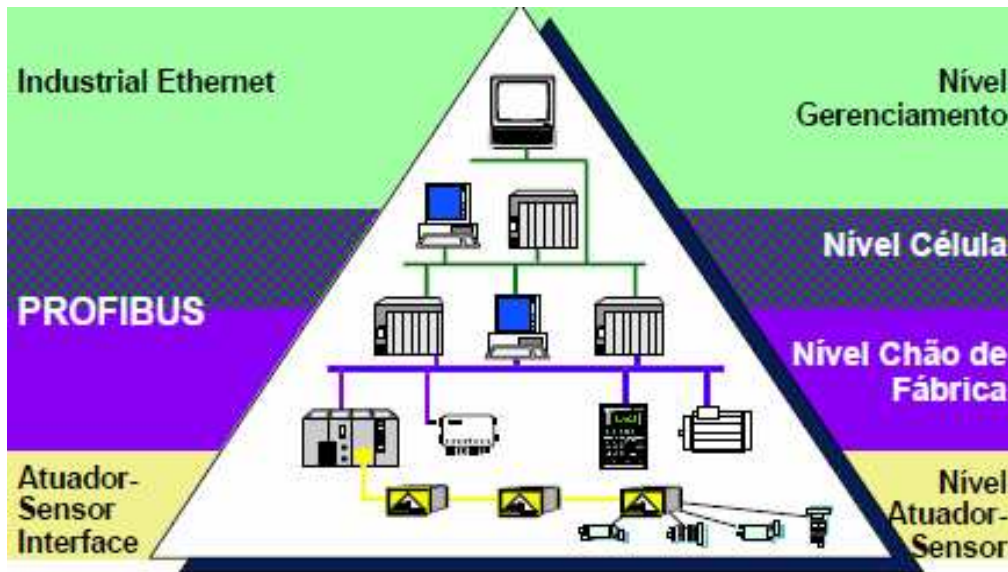


Figura 3.1: Pirâmide de protocolos Profibus [5]

A figura 3.2 exemplifica também a arquitetura/atuação dos integrantes da família Profibus.

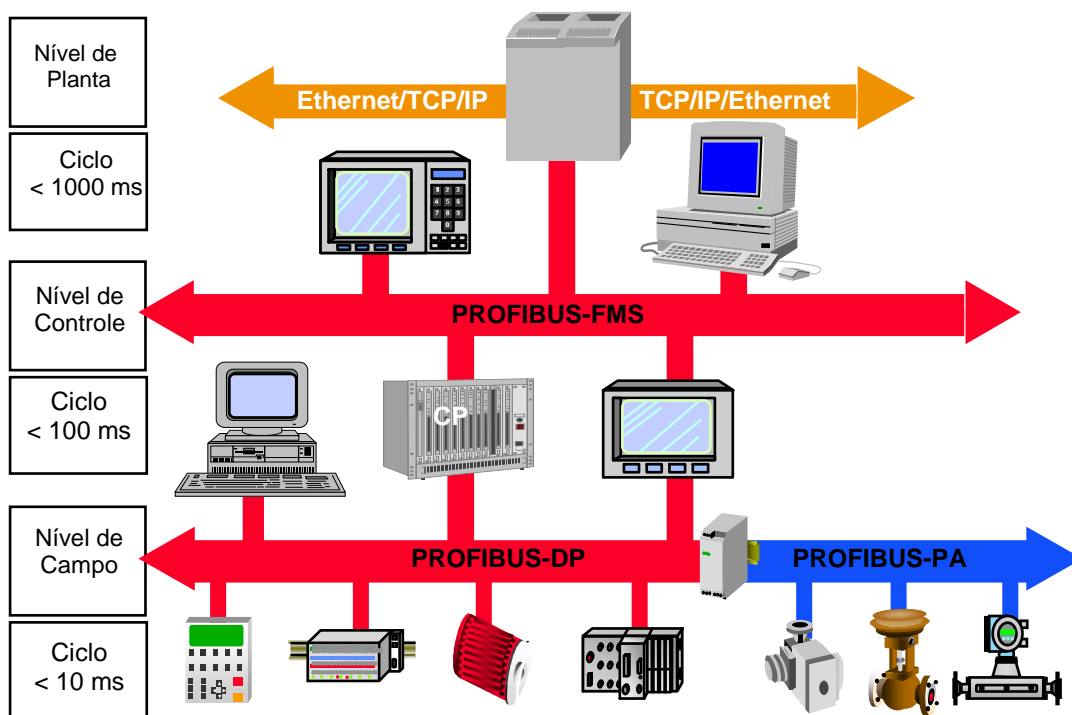


Figura 3.2: Arquitetura Profibus [8]

3.1 Características das Redes ProfiBus

Como características gerais das redes ProfiBus existe a questão de ser uma rede do tipo multimestres podendo atingir o número de 127 nós, apresentando dois tipos de dispositivos: dispositivos mestres e dispositivos escravos.

Dispositivos mestres coordenam a comunicação no meio (barramento) e são capazes de enviar mensagens/informações de dados independente de solicitações externas desde que possuam o bastão de comunicação, que são conhecidas também como estação ativas.

É possível utilizar mais de um mestre na rede e os mestres ainda são divididos em duas classes: classe 1 e classe 2. Mestres de classe 1 tem permissão para ler e escrever dados nos dispositivos de campo, geralmente controlador lógico programável. Mestres de classe 2 são de configuração dos dispositivos escravos e não precisam estar o tempo todo na rede.

Dispositivos escravos são dispositivos periféricos e não possuem acesso direto ao barramento de comunicação. Eles têm direito a apenas confirmar o recebimento de informações ou responder informações quando solicitadas pelas estações mestres, sendo que os dispositivos escravos também são conhecidos como estações passivas.

O padrão ProfiBus é garantido na norma EN50170 e EN50254 sendo que no ano 2000 o ProfiBus foi estabelecido com a norma IEC 61158 dividida em 7 camadas especificadas de acordo com o modelo OSI.

O principal controle de acesso ao meio é baseado na lógica de ficha do tipo *token ring* entre os dispositivos mestres (controladores lógicos programáveis e computadores; os tempos de passagem do *token* são precisamente definidos entre todas as unidades mestres) com princípios mestre-escravo, sendo que a eficiência do protocolo é baseada nos serviços existentes na camada de enlace do próprio protocolo (denominada FDL – *FieldBus Data Link*) [10], como se pode notar na figura 3.3.

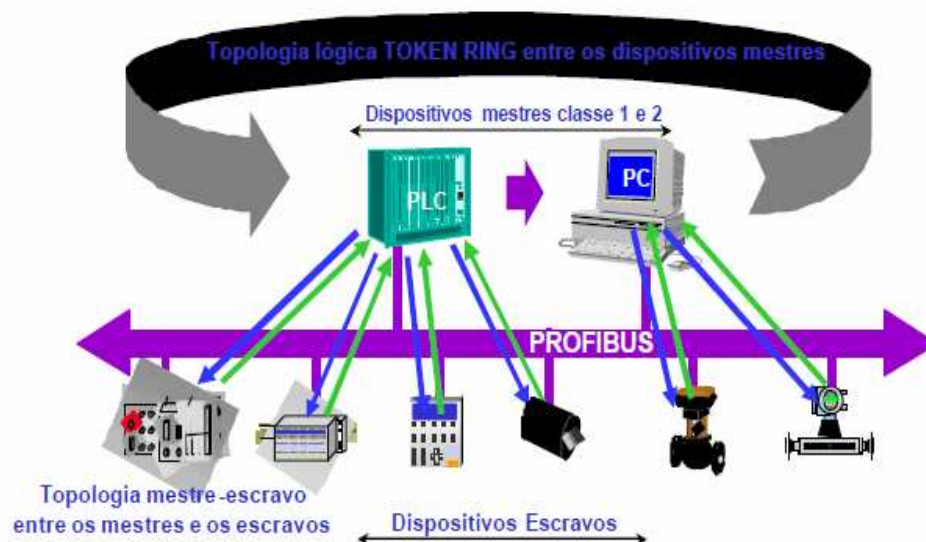


Figura 3.3: Principal controle de acesso ao meio na rede ProfiBus [10]

A detecção de defeitos no meio de transmissão ou no receptor, assim como detecção de erros de endereçamento (como por exemplo endereços duplicados) ou na passagem do *token* (por exemplo múltiplos *tokens* ou perda do *token*) são funções do controle de acesso ao meio (MAC) do ProfiBus.

Outra tarefa muito importante da camada 2 é a segurança dos dados. A camada 2 do ProfiBus formata pacotes que asseguram a alta integridade de dados. Todos os telegramas têm *Hamming Distance* $HD=4$, alcançada através do uso de telegramas especiais delimitadores de início/fim, bit de paridade e byte de verificação, conforme norma IEC 8705-1.

A rede ProfiBus alcança taxas de comunicação/transmissão desde 9,6kbps até 12mbps (taxa máxima alcançável). Os métodos de transmissão disponíveis no ProfiBus são o elétrico (RS-485 para uso gerais e IEC 61158-2 para uso em automação de processos) e óptico.

O meio de transmissão elétrico mais frequentemente encontrado é baseado no padrão RS-485 e é constituído de par de fios blindados para garantir a isolação a ruídos do ambiente industrial atingindo velocidades desde 9,6kbps até 12mbps [10], cuja velocidade de transmissão ideal é superior a 19,2kbps devido ao próprio investimento no padrão RS-485 buscando velocidades e distâncias maiores (velocidades de 9,6kbps e 19,2kbps são principalmente utilizadas no padrão RS-232), dependendo da distância de trabalho conforme a tabela 3.1.

Tabela 3.1: Velocidades ideais de transmissão ProfiBus no padrão RS-485 [7]

Baud rate (kbits/s)	93,75	187,5	500	1.500	12.000
Distância/segmento (m)	1.200	1.000	400	200	100

Os componentes do padrão RS-485 possuem custos menores e sua instalação é simples porque a sua associação/remoção da rede não interfere no funcionamento da mesma.

No ProfiBus PA o meio de transmissão elétrico (baseado no padrão IEC 61158-2) tem uma taxa de transmissão definida em 31,25kbps e é voltado para processos principalmente em indústrias químicas e petroquímicas porque permite segurança aos dispositivos energizados pelo próprio barramento, podendo atuar assim em áreas classificadas. Os cabos também são do tipo par trançado com blindagem para isolar os ruídos e interferências dos ambientes industriais, podendo atingir a distancia máxima de 1.900 metros sem repetidores.

O meio de transmissão óptico é indicado para ambientes que possuem elevada interferência eletromagnética e para aumento da distancia máxima de utilização a taxas elevadas de transmissão, composto por um cabo de fibra óptica do tipo vidro/plástica e o tipo da fibra interfere na distância máxima de trabalho da rede, como se pode notar na tabela 3.2.

Tabela 3.2: Propriedades das fibras ópticas para transmissões ProfiBus [4]

Tipo de fibra	Propriedades
Fibra de vidro multimodo	Distâncias médias na faixa de 2-3 km
Fibra de vidro monomodo	Longas distâncias > 15 km
Fibra sintética	Pequenas distâncias > 80 m
Fibra de PCS/HCS	Pequenas distâncias > 500 m

A rede ProfiBus é uma família que compreende três redes de automação:

- ProfiBus DP
- ProfiBus PA
- ProfiBus FMS

3.2 ProfiBus DP (*Decentralized Periphery*)

A rede ProfiBus DP (*Decentralized Periphery*) é focada na automação industrial e possui poderosas ferramentas de configuração/manutenção permitindo parametrização e

diagnósticos remotos, sendo uma rede de topologia de barramento especializada na comunicação entre sistemas de automação e periféricos distribuídos, destinada a automação em níveis da manufatura e ambientes industriais.

É a solução mais rápida dentre as redes ProfiBus e requer apenas 2 milisegundos de tempo para transmitir 1 Kbyte de dados de entrada e saída, suportando desse modo aplicações de manufatura que requerem um rápido envio e processamento de informações.

Ela é uma rede de transmissão determinística e assíncrona que trabalha de maneira cíclica em modo mestre-escravo e acíclica entre mestres-mestres.

3.2.1 Topologia ProfiBus DP

A topologia pode ser de estrutura em linha ou linha com derivações e o acesso ao meio é através do uso do *token* (entre os dispositivos mestres que podem ser de classe 1 ou 2) e configurações mestre/escravas (entre os dispositivos escravos).

O seu foco é na transmissão de pequenos pacotes de dados, uma vez que se aplica principalmente a interligação de dispositivos, e que se comunica com uma vasta gama de dispositivos no ambiente industrial como exemplos sensores, acionamentos, e painéis entre outros.

A rede do tipo DP utiliza-se do meio físico padrão RS-485 (mais utilizado) ou fibra óptica e apresenta alta velocidade de comunicação, de 9,6 Kbps a 12 Mbps, sendo que a velocidade padrão é 1,5 Mbps. A velocidade da rede é única e é baseada no dispositivo escravo mais lento.

A distância média de utilização da rede ProfiBus DP é de 100 m a 1,2 Km utilizando a interface RS-485, podendo ser estendida com repetidores até a 15 km utilizando a interface de fibra óptica padrão.

É permitida a conexão de até 32 dispositivos por segmento, com o número máximo de 4 segmentos através do uso máximo de 3 repetidores. O número máximo de nodos (dispositivos) permitidos na rede é 126.

A rede DP também necessita de terminadores apropriados ativos e alimentados no final de cada segmento para que a mesma funcione.

O protocolo DP utiliza as camadas 1, 2 e 7 do modelo OSI. A figura 3.4 mostra que o protocolo DP está disponível em 3 versões (que foram evoluindo com o passar dos anos e devido a novas necessidades de utilização): DP-V0 (controle de acesso ao meio através de *token ring* entre os mestres, configuração mestre escravo, até 127 dispositivos), DP-V1 (adicionalmente ao DP-V0 temos a transmissão de dados acíclicas e possibilidade de parametrização/calibração de dispositivos com a rede em pleno funcionamento) e DP-V2 (adicionalmente aos anteriores permite a comunicação utilizando mensagens diretamente entre os dispositivos escravos *broadcast*, sem a participação do mestre).

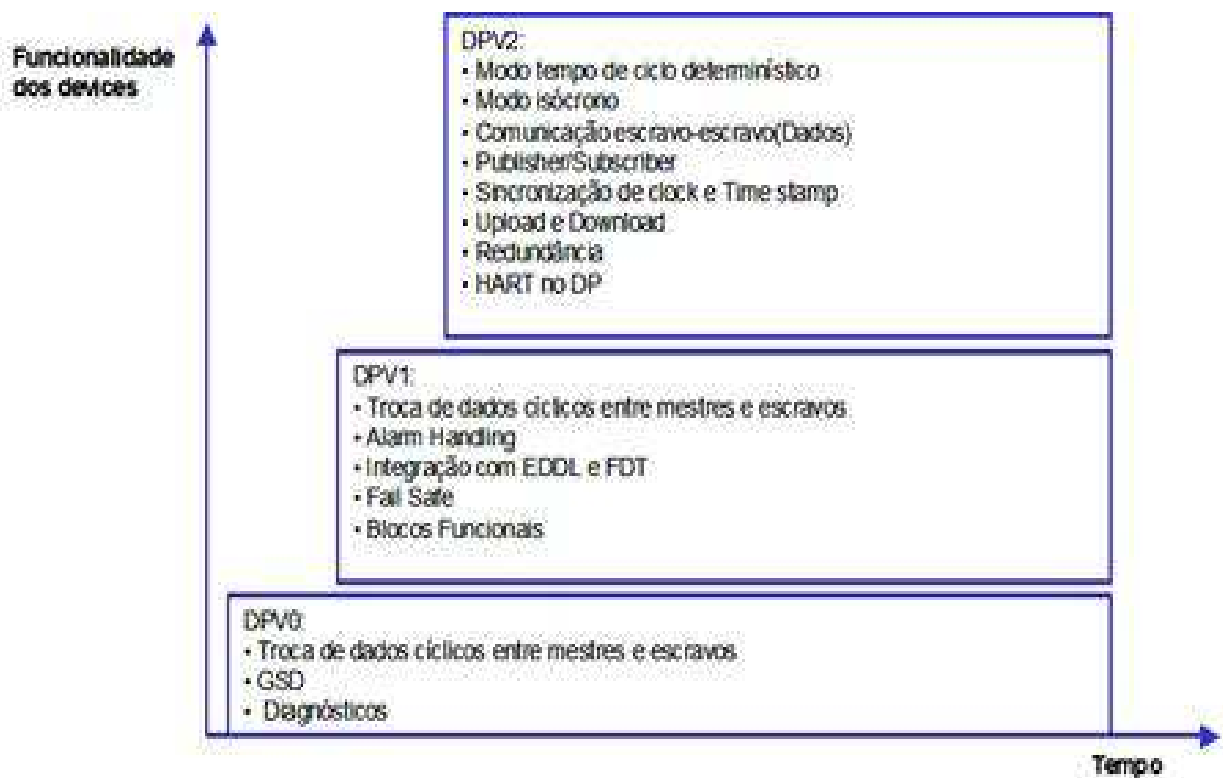


Figura 3.4: Disponibilidade e evolução do protocolo ProfiBus DP [7]

3.3 ProfiBus PA (*Process Automation*)

A rede ProfiBus PA (*Process Automation*) atende às necessidades das automações em processos, interligando os sistemas de automação (controle de processo) aos dispositivos de campo utilizados em instrumentação de processos como por exemplo válvulas, sensores de

nível, transmissores de pressão, transmissores de vazão, transdutores de temperatura e conversores.

O ProfiBus PA é um substituto das redes de 4 a 20mA e HART e que além de permitir uma comunicação eficiente e confiável é capaz de alimentar dispositivos de campo em áreas classificadas (áreas de risco), oferecendo segurança em caso de falhas durante a operação através do uso de redundâncias).

Devido ao próprio foco de aplicação em automação de processos, os valores e estados dos dispositivos de campo possuem alta prioridade na comunicação, onde são transmitidos de modo cíclico usando as funções rápidas do protocolo DP, garantindo assim que no programa de controle os dados relativos ao processo estão sempre atualizados e disponíveis. Em contra partida os dados de parâmetros dos dispositivos para visualização, manutenção e diagnóstico são transmitidos em funções acíclicas com baixa prioridade na transmissão.

No PA também é possível utilizar dispositivos de campo de diferentes fabricantes devido à utilização dos métodos de blocos funcionais internacionais que descrevem os parâmetros e funções de cada equipamento. Os principais blocos disponíveis são: físico, transdutor, entrada analógica, saída analógica, entrada digital e saída digital.

3.3.1 Topologia ProfiBus PA

Na topologia PA pode-se ter uma estrutura em linha, uma estrutura em linha com derivações lineares e uma estrutura em árvore. A conexão e desconexão dos dispositivos de uma estação para uma eventual manutenção são permitidas durante a operação, facilitando muito as intervenções (especialmente manutenções) na rede sem interferir no funcionamento contínuo do processo e das demais estações.

A alimentação dos dispositivos é realizada em conjunto com a transmissão de dados em um único par de fios blindados (com segurança intrínseca), baseada no padrão IEC 61158-2, oferecendo velocidade de transmissão igual a 31,25 Kbps.

Para determinar a distância máxima de utilização da rede é necessária uma análise detalhada, porém que pode seguir uma regra simples relacionada à potência necessária devido ao consumo de energia dos dispositivos (tabela 3.3 e tabela 3.4).

Tabela 3.3: Fontes de alimentação para o padrão ProfiBus IEC 61158-2 [5]

Tipo	Aplicação	Tensão de alimentação	Corrente máxima da fonte	Potência máxima	Número de estações típico
I	Eex ia/ib IIC	13.5 V	110 mA	1.8 W	9
II	EEX ib IIC	13.5 V	110 mA	1.8 W	9
III	Eex ib IIB	13.5 V	250 mA	4.2 W	22
IV	Não intrinsecamente seguro	24 V	250 mA	12 W	32

Tabela 3.4: Comprimento do cabo para o padrão ProfiBus IEC 61158-2 [5]

Fonte de alimentação		Tipo I	Tipo II	Tipo III	Tipo IV	Tipo IV	Tipo IV
Tensão de alimentação	V	13.5	13.5	13.5	24	24	24
Necessidade de potência	mA	<=110	<=110	<=250	<=110	<=250	<=500
Comprimento total do cabo q=0.8 mm ²	m	<= 900	<=900	<=400	<=1900	<=1300	<=650
Comprimento total do cabo q=1.5 mm ²	m	<=1000	<=1500	<=500	<=1900	<=1900	<=1900

Na rede ProfiBus PA é permitida a conexão de até 32 dispositivos por segmento sem segurança intrínseca ou até 9 dispositivos com o perfil de segurança intrínseca.

3.4 ProfiBus FMS (*FieldBus Message Specification*)

O padrão de comunicação FMS foi desenvolvido para a comunicação no nível de células, onde computadores e controladores lógicos (CLP) podem se comunicar uns com os outros,

O protocolo FMS permite que processos distribuídos se associem em um processo único através de relacionamentos de comunicação utilizando-se de objetos de comunicação, sendo que a aplicação situada no dispositivo de campo que pode ser acessada via comunicação é chamada de dispositivo virtual de campo (VFD). Todos os objetos de

comunicação FMS são registrados em um dicionário de objetos que contém uma descrição da estrutura e tipo de dados e a associação dos endereços internos dos dispositivos à sua denominação no barramento de comunicação.

Os objetos podem ser de comunicação estática (são registrados no dicionário de objetos estáticos) e objetos de comunicação dinâmica (são registrados no dicionário de objetos dinâmicos).

Os objetos de “comunicação estática” são configurados apenas uma vez e durante a operação suas informações não podem ser modificadas, sendo que esses objetos reconhecidos pelo FMS são: variáveis simples, matrizes (vetor de variáveis simples), registro (série de diferentes tipos de variáveis simples), domínio e evento. Os objetos de “comunicação dinâmica” podem ter suas informações modificadas durante a operação.

Uma opção que o protocolo também oferece é a proteção de acesso aos objetos de comunicação através do uso de senhas de acesso.

O protocolo FMS também prove serviços para a administração e gerenciamento da rede (*FMS Services*) que podem ser:

- Serviços confirmados: utilizados para as comunicações orientadas a conexão, representando uma conexão lógica ponto a ponto entre dois processos.
- Serviços não confirmados: utilizados para a comunicação sem conexão (por exemplo *broadcast* ou *multicast*), representando uma conexão simultânea com diversas estações.

Os serviços que o protocolo FMS prove são divididos em grupos, conforme abaixo:

- Gerenciamento de contexto: estabelecem e desfazem conexões lógicas.
- Acesso a variáveis: acessam variáveis, registros, matrizes e lista de variáveis.
- Gerenciamento de domínio: transmitem grandes quantidades de memória (dados).
- Gerenciamento de chamada de programas: permite gerenciar o modo e a chamada dos programas de funções.
- Gerenciamento de eventos: utilizados para transmitir mensagens de alarme (enviadas como transmissões *broadcast* ou *multicast* a todos os dispositivos necessários).
- VFD support (*Virtual Field Device*): dispositivo de campo virtual que são utilizados para identificação e status.
- Serviços de gerenciamento OD (dicionário de objetos): permite o acesso para leitura e escrita dos dicionários.

4 REDE MODBUS

ModBus é uma estrutura que foi desenvolvida aproximadamente no ano de 1979 com o objetivo de comunicar controladores da fabricante Modicon, atualmente no mercado como Schneider Electric. A rede ModBus de fato tornou-se uma rede padrão pois foi adotada como padrão para vários fabricantes desde o seu surgimento. Apesar de ser uma rede mais lenta do que outras redes já existentes, a rede ModBus tem a vantagem de ser versátil e comunicar-se com inúmeros dispositivos dentre vários outros padrões de redes de comunicação utilizando apenas um par de cabo trançado.

A organização sem fins lucrativos “ModBus-IDA” integra usuários e empresas fornecedoras de dispositivos Modbus objetivando difundir e evoluir a arquitetura de sistemas de automação para vários segmentos de mercados, fornecendo infra-estrutura, informações sobre protocolos, aplicações e certificações de equipamentos.

Inicialmente quando projetada a rede ModBus trabalhava com a interface RS232 porém com o passar dos anos a rede continuou se desenvolvendo e foi sendo adaptada a novos padrões, trabalhando por exemplo com interfaces RS-422, RS-485 para ganhar maior velocidade de comunicação alcançando maiores distâncias e Ethernet entre outros, sendo utilizada até mesmo em altos níveis de aplicação como sistemas supervisórios de manufatura.

Assim como as demais redes de comunicação industrial, a rede ModBus também pode ser relacionada ao modelo OSI da ISO e possui as camadas 1 (física), 2 (enlace) e 7 (aplicações).

A rede ModBus é uma rede de protocolo aberto desde o início de sua criação e caracteriza-se como uma rede de fácil operação e manutenção, trabalhando com os seguintes protocolos:

- ModBus Padrão (*Standard*)
- ModBus *Plus*
- ModBus TCP/IP

Os protocolos ModBus também atuam em níveis de automação diferentes, conforme figura 4.1.

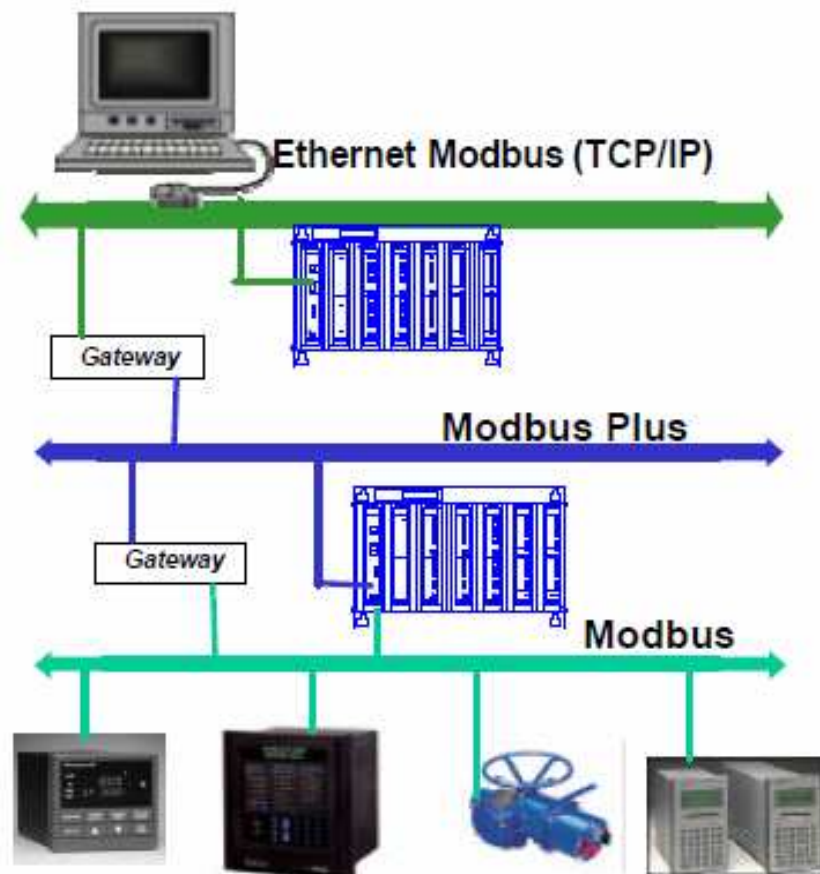


Figura 4.1: Protocolos ModBus [9]

4.1 ModBus Padrão (*Standard*)

O protocolo ModBus Padrão (*Standard*) é usado para comunicação assíncrona de controladores lógicos programáveis com os dispositivos de campo de entrada e saída de dados, instrumentos eletrônicos, como relés de proteção, controladores de processo, atuadores de válvulas e transdutores de pressão, vazão e temperatura entre outros. A topologia física é ponto a ponto com o RS-232 ou barramento multiponto com o RS-485. O controle de acesso ao meio utiliza o protocolo mestre-escravo.

O protocolo ModBus Padrão pode ser enquadrado na camada de aplicação (camada 7) do modelo OSI.

Durante a comunicação em uma rede ModBus, (figura 4.2) o protocolo determina como o dispositivo conhecerá seu endereço, como reconhecerá uma mensagem endereçada

para ele, como determinar o tipo de ação a ser tomada e como extrair o dado ou outra informação qualquer contida na mensagem. Caso uma resposta é necessária, o protocolo também vai determinar como o dispositivo construirá uma mensagem e a enviará.

O mestre pode endereçar mensagens para um escravo individualmente ou enviar mensagens para todos os escravos, como uma mensagem broadcast. Os escravos retornam uma mensagem somente para as consultas endereçadas especificamente para ele sendo que as mensagens do tipo broadcast não geram respostas.

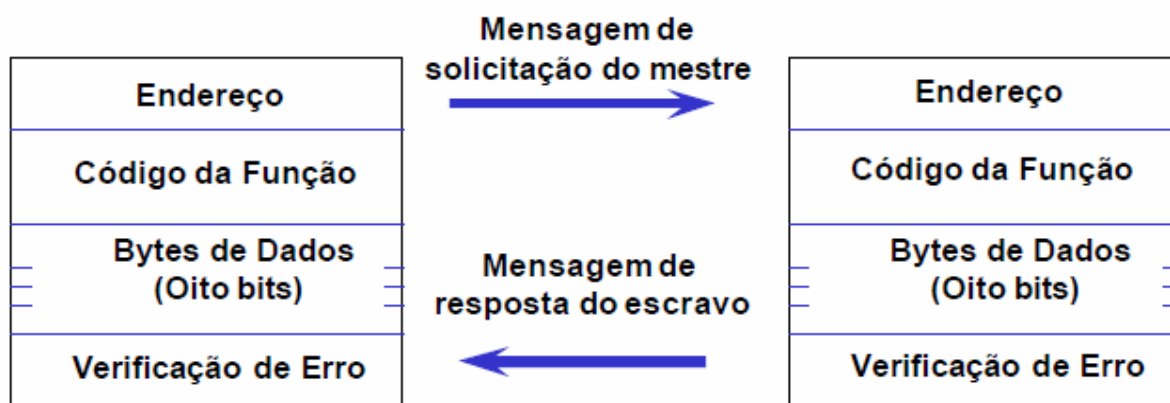


Figura 4.2: Ciclo de comunicação ModBus [10]

Na mensagem de consulta que é enviada, o código de função informa ao dispositivo escravo com o respectivo endereço, qual a ação que deverá ser executada. Os *bytes* de dados contêm informações para o escravo, por exemplo, qual o registrador inicial e a quantidade de registros a serem lidos. O campo de verificação de erro permite ao escravo validar os dados que foram recebidos.

Na mensagem de resposta, o código de função é repetido de volta para o dispositivo mestre. Os *bytes* de dados contêm os dados coletados pelo escravo ou o seu estado. Se um erro ocorre, o código de função é modificado para indicar que a resposta é uma resposta de erro e os bytes de dados passam a conter um código que descreverá o erro.

A verificação de erro é efetuada opcionalmente pela paridade de cada byte transmitido e obrigatoriamente pelo método LRC (verificação de redundância longitudinal, aplicado na comunicação em modo de transmissão ASCII assíncrona) ou CRC (verificação de redundância cíclica, aplicado na comunicação em modo de transmissão RTU) sobre toda a mensagem, sendo que o método LRC descarta os caracteres de início e fim de mensagem e o CRC descarta os bits de início, paridade e parada de cada *byte*. A verificação de erros permite com que o dispositivo mestre valide os dados recebidos.

O dispositivo mestre que enviou a mensagem espera uma resposta por um determinado tempo antes de abortar uma comunicação (*timeout*), porém o tempo precisa ser suficiente para permitir a resposta de qualquer dispositivo escravo conectado na rede. Caso ocorra um erro de transmissão, o escravo não construirá a resposta para o mestre e um *timeout* será detectado, fazendo com que o mestre tome as providências programadas.

O conteúdo da transação de comunicação na rede ModBus é:

- **Endereçamento** (1 *byte*): endereça a mensagem que será enviada.
Valor “0” : usado para transmitir mensagens tipo *broadcast*.
Valor “1” a “247”: usados pelos escravos.
- **Código da Função** (1 *byte*): estabelece a ação a ser efetuada.
Valor “0” a “127”: funções
Valor “128” a “255”: código para informar o erro na transmissão.
- **Bytes de Dados**: contém informações adicionais necessárias de endereços de memória, quantidade de itens transmitidos e quantidade de bytes do campo.
- **Verificação de Erros** (2 *bytes*): pode ser LRC ou CRC.

4.1.1 Camada de enlace ModBus Padrão (*Standard*)

Os próprios usuários selecionam o modo desejado de transmissão, assim como os parâmetros de comunicação da porta serial (como exemplo a taxa de comunicação na unidade *bauds* e o modo de paridade), durante a configuração de cada controlador. O importante é que o modo de transmissão e os parâmetros de comunicação devem ser os mesmos para todos os dispositivos que estiverem interligados na mesma rede ModBus.

Existem dois modos de transmissão no ModBus Padrão (comunicação assíncrona):

- RTU (*remote terminal unit*): Cada *byte* contém dois dígitos hexadecimais.
- ASCII: Cada *byte* contém um caractere ASCII entre 0 e 9, A a F.

Quando os controladores são configurados para comunicação utilizando o modo RTU (assíncrono), cada *byte* em uma mensagem contém dois caracteres de 4 *bits* em base hexadecimal. A vantagem principal deste modo é que possui uma densidade maior de caracteres, o que permite uma fluidez de dados melhor que o ASCII para a mesma taxa *bauds* de comunicação. Cada mensagem deve ser transmitida em um fluxo contínuo e cada *byte* no

modo RTU utiliza um sistema codificando 8 *bits* em hexadecimal, com dois caracteres hexadecimal contidos em cada campo de oito bits da mensagem, conforme abaixo:

- 1 start-bit;
- 8 bits de dados, LSB enviado primeiro;
- 1 bit de paridade; nenhum bit se nenhuma paridade;
- 1 stop-bit, em caso de haver paridade; 2 bits se nenhuma paridade foi usada.

O campo de verificação de erro é o CRC (*Cyclic Redundancy Check*).

Quando os controladores são configurados para que se comuniquem utilizando o modo ASCII (assíncrono), cada byte em uma mensagem é enviado como dois caracteres ASCII.

A vantagem principal deste modo é que permite intervalos de tempo de até um segundo entre caracteres sem causar um erro. Cada byte no modo ASCII é codificado em hexadecimal, usando os caracteres ASCII de 0 a 9 e de A a F, conforme abaixo:

- 1 start-bit;
- 7 bits de dados, LSB enviado primeiro;
- 1 bit de paridade; nenhum bit se nenhuma paridade;
- 1 stop-bit, em caso de haver paridade; 2 bits se nenhuma paridade foi usada.

O campo de checagem de erro é o LRC (*Longitudinal Redundancy Check*)

As formações dos quadros definem o início e o fim da mensagem sendo que no modo de transmissão:

- RTU: existem tempos de silêncio de 3,5 caracteres.
- ASCII: Inicia-se com o caracter “:” e termina com os caracteres CR (*Carriage return*) e LF (*Line feed*).

4.2 ModBus *Plus*

Além do protocolo ModBus, alguns modelos de controladores lógicos programáveis podem se comunicar através de redes ModBus *Plus*, que usam portas embutidas ou placas adaptadoras de rede. Nesta rede, os controladores utilizam a técnica de comunicação ponto a ponto, na qual qualquer controlador pode iniciar transações com os outros controladores.

Dessa forma, um controlador conectado à rede pode operar como um escravo ou como mestre em transações separadas.

Nas redes ModBus *Plus*, mensagens são colocadas em pacotes de dados que não são relacionados à transmissão serial, como por exemplo, um pedido para ler um registro pode ser controlado por dois CLPs no ModBus Plus, sem levar em conta a configuração da porta serial ModBus de qualquer um dos dois CLPs.

O protocolo de rede gerencia o empacotamento de mensagens com delimitadores de início e fim, específicos para cada rede. Esses protocolos também controlam a entrega ao dispositivo de destino, tornando desnecessário o endereçamento ModBus encapsulado no protocolo da rede para este tipo de transmissão.

4.3 ModBus TCP/IP

O ModBus TCP/IP foi lançado no ano de 1999 e foi o primeiro protocolo aberto a usar Ethernet e TCP/IP. O ModBus versão TCP/IP usa uma arquitetura do tipo cliente servidor e com isso não há distinção entre dispositivos mestre e dispositivos escravos.

As conexões são estabelecidas através da Porta 502 e os *gateways* são disponíveis para o ModBus no modo de transmissão RTU (unidade terminal remota).

Não existindo diferenças entre os dispositivos mestres e escravos, qualquer nó utilizando uma porta TCP pode acessar qualquer outro nó, tornando possível comunicação ponto-a-ponto entre os antigos dispositivos escravos onde agora as mensagens são encapsuladas no pacote TCP/IP, sendo que a estrutura básica da mensagem original Modbus não foi alterada.

No encapsulamento TCP/IP (figura 4.3) as diferenças estão na verificação e na escrita/obtenção do endereço. O endereço de um dispositivo escravo foi substituído por um byte chamado de identificador único, que pode ser usado para comunicação através de dispositivos *gateways* e *bridges* que utilizam um único endereço IP para integrar vários equipamentos na rede.

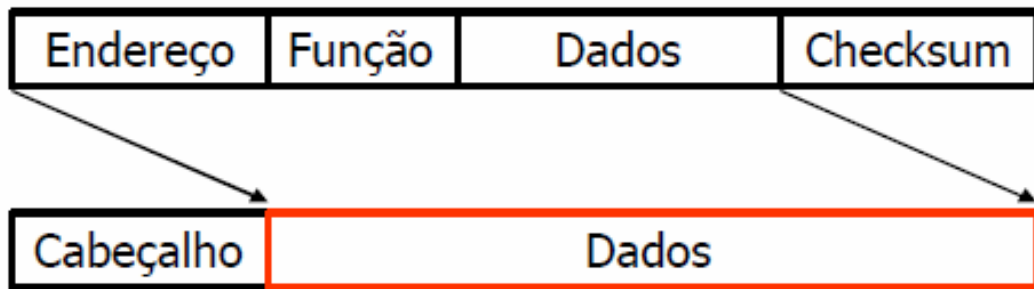


Figura 4.3: Encapsulamento TCP no ModBus [9]

Na verificação de erros são utilizados dispositivos já existentes nos mecanismos TCP/IP e redes Ethernet ao invés dos campos CRC ou LRC.

O Modbus TCP permite acesso via redes de gestão industrial (redes ligadas aos sistemas gerenciais da planta) e Internet, o que proporciona vantagens e também riscos. Vantagens como exemplo a facilidade de fluir as informações dos processos produtivos em todos os níveis organizacionais e riscos como a possibilidade de acessos e operações remotas por qualquer usuário, comprometendo a segurança da rede em questão, necessitando de várias medidas de segurança (por exemplo *firewalls*).

Nesta configuração de rede não é possível priorizar mensagens e o fato de ser não determinística impede que se calcule (determine) os tempos de comunicação através do meio.

CONCLUSÃO

A evolução dos sistemas de controle e a acirrada disputa por expansão dos mercados de atuação de cada fabricante de dispositivos para automação industrial fizeram com que as redes e os protocolos que até então eram totalmente proprietários fossem difundidos e abertos para competir com os concorrentes e aumentar assim suas chances de utilização nas indústrias.

A abertura das redes e protocolos trouxe um benefício para a comunicação industrial porque com o passar dos anos, as organizações dos fabricantes das redes se fortaleceram na busca de soluções e no desenvolvimento de interfaces capazes de interligar diferentes padrões de *hardwares* e protocolos, vindo de encontro também com o desejo dos consumidores finais de não estar preso a somente uma tecnologia de um determinado fabricante.

Para se fazer um projeto de comunicação industrial bem dimensionado e que corresponda a todas as expectativas de custo/benefício de qualquer aplicação é necessário levar em consideração alguns aspectos chaves que influenciam diretamente no modelo (configuração) e tipo de rede a ser utilizado.

Os principais aspectos chaves que determinam as escolhas de uma rede são: características da aplicação, capacidade (no sentido de funcionalidades e recursos), segurança dos dados (confiabilidade/robustez) e custos.

As características da aplicação variam bastante de acordo com o ramo de atividade da empresa e estão diretamente ligadas ao próprio processo produtivo e ambiente em que a rede vai trabalhar. Até mesmo para cada ramo de atividade industrial existem conjuntos de normas e padrões de funcionamentos pré-estabelecidos, como exemplo pode-se citar as indústrias alimentícias onde são necessários graus elevados de proteções dos equipamentos devido principalmente a necessidade de higiene das linhas de produção (cujas linhas de produção devem ser totalmente lavadas e esterilizadas com água quente e produtos de limpeza) e as indústrias químicas que possuem áreas classificadas (oferecendo riscos inclusive à saúde dos operadores) e que todos os níveis de tensão e corrente para a alimentação dos dispositivos são padronizados assim como os conectores, cabos e equipamentos periféricos do sistema.

As redes ProfiBus, DeviceNet e Modbus apesar de serem bastante versáteis, é possível verificar que para a automação de processos que envolvem áreas classificadas e que exigem redundâncias cíclicas de segurança nas aplicações críticas (aplicações essas como por

exemplo reatores, caldeiras ou processos de mineração) a única rede preparada é a ProfiBus PA pois além de ser focada em automação de processos (por conter blocos de funções especiais aplicados aos sistemas de instrumentação e controle) possui redundâncias e uma interface elétrica diferenciada para equipamentos de campo onde todos os níveis de tensão e corrente para alimentação de dispositivos, fontes, sensores, conectores, terminais de sinais remotos e cabos são padronizados conforme norma IEC 61158-2. Cada componente dessa rede possui o índice de proteção necessário para atuar em ambientes com risco de explosão.

Para a automação de manufatura e processos de fabricação contínuos (como por exemplo linhas de montagem de peças ou automóveis) verifica-se que as redes ProfiBus DP, DeviceNet e Modbus possuem maior campo de atuação pois se baseiam em distribuir geograficamente pela planta industrial terminais remotos para a aquisição de sinais/informações dos processos e envio de sinais para controle no campo, evidentemente lembrando que cada rede tem suas capacidades e limitações.

Com relação à capacidade de transmissão de dados e distâncias máximas de atuação que exigem grande fluxos de informações, encontra-se que as redes ProfiBus DP (capacidade de 127 terminais remotos) e DeviceNet (capacidade de 64 terminais remotos) tem vantagem de conseguem abranger uma maior área geográfica com maiores velocidades de comunicação, trabalhando assim de modo mais eficiente para aplicações mais elaboradas. A rede mais veloz é a rede ProfiBus DP na qual o meio mais utilizado é o RS-485 que consegue uma velocidade máxima de 12.000 kbits/seg para uma distância de até 100 metros e uma distância máxima de 1.200 metros (através da utilização de repetidores) a uma velocidade de 9.6 kbits/seg. O DeviceNet permite uma distância máxima ao barramento de 500 metros somados com 156 metros de distancia percorrida por derivações a uma velocidade de 125 kbits/seg. A rede ModBus é mais utilizada para aplicações que necessitam de pouco fluxo de informação e velocidade de transmissão pois possui uma arquitetura mais simples porém muito robusta.

Devido ao fato das redes DeviceNet, ProfiBus e ModBus terem surgidos exclusivamente para a comunicação industrial, quando se considera a questão de segurança, elas apresentam uma melhor proteção aos dados que trafegam na rede (pois os mesmos são acessados apenas pelos dispositivos controladores que estão diretamente conectados na aplicação), do que por exemplo as aplicações que se utilizam do padrão Ethernet (que permite o acesso de qualquer usuário através de conexões remotas). A possibilidade de se priorizar mensagens também contribui positivamente para se prever ou determinar o comportamento dos tempos de transmissão de dados mesmo quando aconteça uma colisão de informações na rede.

No projeto e aplicação de uma rede de comunicação industrial não são somente os custos de aquisição, programação e instalação dos dispositivos que necessitam ser considerados. É necessário avaliar os custos de manutenção dos sistemas de *hardware* (reposição de equipamentos em caso de eventuais problemas, disponibilidade do fabricante para pronta entrega de equipamentos, assistência técnica próxima de preferência) e *softwares* (aquisição de licenças dos *softwares* de programação/configuração e aquisição de atualizações dos programas). Os custos de eventuais treinamentos dos colaboradores também necessitam ser considerados porque é extremamente importante ter pessoas qualificadas e prontamente aptas a intervir nas aplicações não somente em manutenções corretivas mas também em manutenções preventivas.

Uma grande vantagem proporcionada pelas redes industriais é a possibilidade de acesso em tempo real a dados dos processos produtivos, permitindo uma enorme agilidade na aquisição de informações e uma gestão industrial totalmente integrada, capaz de interligar desde o nível operacional do chão da fábrica (ambiente produtivo) até os sistemas gerenciais das empresas.

Com a implementação das redes de comunicação industrial na automação há uma enorme economia de recursos, por exemplo nos cabos, que ao invés de milhares de quilômetros de fios para interligar todos os dispositivos distribuídos por uma planta, existe apenas um único barramento de comunicação que percorre longas distâncias no ambiente industrial onde todos os dispositivos de campo são conectados a terminais de entradas e saídas remotos espalhados, além da grande economia de energia porque todos os dispositivos e intertravamentos das lógicas de controle são micro processadas, eliminando enormes painéis elétricos com reles e contadores, obtendo assim melhor rendimento e utilização de recursos de energia elétrica.

TRABALHOS FUTUROS

Pretende-se dar continuidade ao estudo relacionado a redes de comunicação industrial analisando as redes DeviceNet, ProfiBus e ModBus em relação à rede Ethernet industrial.

Gradativamente nas indústrias a rede Ethernet está se popularizando e avançando nas aplicações, porém é necessário verificar sua relação custo/benefício, segurança dos dados (informações), robustez e todos os aspectos de funcionamento Ethernet em relação às redes que surgiram justamente com o propósito de realizar a comunicação em ambiente industrial.

A proposta é desenvolver um estudo de caso sobre todas as características da rede Ethernet, para que assim seja possível estabelecer comparações com as redes DeviceNet, ProfiBus e ModBus.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] PARK, John; MACKAY, Steve; WRIGHT, Edwin. **Practical Data Communications for Instrumentation and Control**. Oxford – Great Britain: Ed. Elsevier, 2003
- [2] TANEMBAUM, Andrew S. **Computer Networks** – 4ed. New Jersey – USA: Ed. Prentice Hall, 2003
- [3] FILHO, Constantino Seixas. **Devicenet**. Local: UFMG 28p. Apostila.
- [4] Melo, Walmy. **Redes Industriais – Aula 06**. Local: CEFET/RN Curso superior de tecnologia em automação industrial. 28p. Apostila.
- [5] FILHO, Constantino Seixas. **R3 ProfiBus**. Local: UFMG. 25p. Apostila.
- [6] PEREIRA, Carlos E. **Profibus**. Local: UFRGS/DELET. 64p. Apostila
- [7] CASSIOLATO, César; TORRES, Leandro Henrique B.; CAMARGO, Paulo Roberto. **Profibus – Descrição Técnica**. rev. Julho 2006. Associação ProfiBus.
- [8] ASSOCIAÇÃO PROFIBUS BRASIL. **Seminário Profibus**, 2000.
- [9] MELO, Walmy. **Redes Industriais – Aula 04**. Local: CEFET-RN Curso superior de tecnologia em automação industrial. 11p. Apostila.
- [10] MELO, Walmy. **Redes Industriais – Aula 07**. Local: CEFET/RN Curso superior de tecnologia em automação industrial. 15p. Apostila.
- [11] MELO, Walmy. **Protocolos Orientados a Caracter**. Local: CEFET/RN Curso superior de tecnologia em automação industrial. 24p. Apostila.