



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE OURO PRETO
ESCOLA DE MINAS
COLEGIADO DO CURSO DE ENGENHARIA DE
CONTROLE E AUTOMAÇÃO – CEC AU**



THIAGO AUGUSTO NOGUEIRA

**REDES DE COMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO
INDUSTRIAL**

**MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE CONTROLE E
AUTOMAÇÃO**

Ouro Preto, 2009

THIAGO AUGUSTO NOGUEIRA

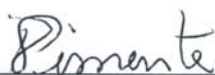
**REDES DE COMUNICAÇÃO PARA SISTEMAS DE AUTOMAÇÃO
INDUSTRIAL**

**Monografia apresentada ao Curso de
Engenharia de Controle e Automação da
Universidade Federal de Ouro Preto como
parte dos requisitos para a obtenção do
Grau de Engenheiro de Controle e
Automação.**

Orientadora: Professora Dra. Karla Boaventura Pimenta

**Ouro Preto
Escola de Minas – UFOP
Agosto/2009**

Monografia defendida e aprovada, em 05 de agosto de 2009, pela comissão avaliadora constituída pelos professores:



Profa. Dra. Karla Boaventura Pimenta - (Orientadora)



Prof. Dr. Agnaldo José da Rocha Reis – Professor Convidado



Prof. Dr. Carlos Frederico Marcelo da Cunha Cavalcanti – Professor Convidado

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus pela oportunidade, meus pais pelo apoio incondicional e por acreditar sempre em mim; meu irmão que sempre esteve do meu lado assim como meus padrinhos, tios, primos, amigos, minha namorada e a república Alcatéia. Aos professores da UFOP, pelos ensinamentos que levarei para o resto da minha vida. A todos que, de forma direta e indiretamente, contribuíram para a minha formação pessoal, acadêmica e profissional.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	12
1.1 OBJETIVOS.....	13
1.2 METODOLOGIA.....	13
1.3 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA.....	14
2 INTRODUÇÃO À AUTOMAÇÃO E AS REDES INDUSTRIAIS.....	15
2.1 INTRODUÇÃO À AUTOMAÇÃO.....	15
2.2 REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL.....	17
2.3 PADRÃO ISO/OSI.	18
2.4 ESPECIFICAÇÕES DE UMA REDE DE AUTOMAÇÃO.....	21
2.4.1 Taxa de Transmissão.....	21
2.4.2 Extensão das redes de comunicação.....	22
2.4.3 Topologia física da rede.....	22
2.4.4 Meio físico de transmissão.....	25
2.4.5 Método de acesso.....	28
2.4.6 Algoritmo de acesso ao barramento.....	30
2.4.7 Confiabilidade e disponibilidade.....	32
2.4.8 Funcionalidade.....	32
2.5 COMPONENTES DE UMA REDE INDUSTRIAL... ..	33
2.6 PROTOCOLOS.....	34
3 CLASSIFICAÇÃO DAS REDES INDUSTRIAIS.....	35
3.1 AS-I – <i>Actuator Sensor Interface</i>	39
3.2 CAN – <i>Controller Area Network</i>	41
3.3 HART - <i>Highway Addressable Remote Transducer</i>	42
3.4 MODBUS.....	44
3.5 PROFIBUS.....	46
3.6 FOUNDATION FIELDBUS.....	49
3.7 DEVICENET.....	51
3.8 CONTROLNET.....	53
3.9 INDUSTRIAL ETHERNET.....	55

3.10 WIRELESS.....	58
4 PADRÃO OPC (<i>OLE for Process Control</i>).....	62
5 SISTEMAS PARA GERÊNCIA DE INFORMAÇÃO INDUSTRIAL	67
5.1 MES - Sistema de Execução da Manufatura.....	68
5.2 PIMS (<i>Plant Information Management System</i>).....	70
6 SISTEMA DE CONTROLE VIA REDE (NCS).....	72
7 CONCLUSÃO.....	75
REFERÊNCIAS.....	76

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Redes de Comunicação Industrial.....	12
Figura 2.1: Evolução das tecnologias de Automação.....	16
Figura 2.2: Arquitetura a sete camadas do Padrão OSI.....	18
Figura 2.3: As sete camadas do Modelo OSI.....	20
Figura 2.4: Topologia Anel.....	22
Figura 2.5: Topologia Barramento.....	23
Figura 2.6: Topologia Estrela.....	23
Figura 2.7: Topologia Ponto a ponto.....	23
Figura 2.8: Topologia em árvore.....	23
Figura 2.9: Cabo Coaxial	25
Figura 2.10: Par Trançado.....	25
Figura 2.11: Fibra ótica.....	25
Figura 2.12: Fibra Ótica Multi-modo e Mono-modo.....	27
Figura 2.13: Comunicação <i>simplex</i> , <i>half-duplex</i> e <i>full- duplex</i>	28
Figura 2.14: Método Mestre/Escravo.....	29
Figura 2.15: Método CSMA.....	31
Figura 2.16: Ilustração do <i>Token Passing</i>	31
Figura 3.1: Classificação das Redes Industriais.....	35
Figura 3.2: Estrutura Funcional.....	36
Figura 3.3: Pirâmide Hierárquica detalhada.....	37
Figura 3.4: Configuração Típica ASI.....	40
Figura 3.5: Comunicação HART ponto-a-ponto.....	42
Figura 3.6: Tipos de protocolo MODBUS.....	45
Figura 3.7: Comunicação Mestre/Escravo.....	48
Figura 3.8: Comunicação Multi-Mestre.....	48
Figura 3.9: Topologia típica de instalação FF.....	50
Figura 3.10: Aplicações da Rede DeviceNet.....	52

Figura 3.11: Cabo Coaxial.....	54
Figura 3.12: Ethernet e faixa de aplicação das redes de campo.....	56
Figura 4.1: Arquitetura cliente-servidor do OPC.....	63
Figura 4.2: Típica Arquitetura OPC.....	66
Figura 5.1: A pirâmide da automação antes e depois dos sistemas.....	69
Figura 5.2: Integração PIMS e MES.....	70
Figura 6.1: Exemplo da Estrutura de um Sistema de Controle via Redes.....	72
Figura 6.2: Arquiteturas de sistema de controle via rede.....	73
Figura 6.3: Diagrama de Blocos do sistema de controle via rede.....	74

LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1 Versões da AS-Interface.....	40
Tabela 3.2 Comparação entre os meios de transmissão.....	47
Tabela 3.3 Características da DeviceNet.....	51
Tabela 3.4 Comprimento do segmento x corrente máxima da fonte.....	52
Tabela 3.5 Características da Controlnet.....	53
Tabela 3.6 Características da Ethernet.....	56
Tabela 3.7 Características dos padrões <i>Wireless</i>	59
Tabela 3.8 Principais tecnologias sem fio para automação.....	61

LISTA DE ABREVIATURAS

APC	Advanced Process Control
APS	Advanced Planning and Scheduling
ASCII	American Code For Information Interchange
BNC	British Naval Connector
CLP	Controlador Lógico Programável
CPU	Central Processing Unit
CSMA/CD	Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection
CTDMA	Code and Time-Division Multiple Access
DCS	Distributed Control System
DDC	Direct Digital Control
E/S	Entrada/Saída
EIS	Executive Information Systems
EPS	Enterprise Production Systems
ERP	Enterprise Resource Planning
FF	Foundation Fieldbus
FMS	Fieldbus Message Specification
FSK	Frequency Shift Key
FTP	Foil Twisted Pair
HVAC	Heating, Ventilation and Air Conditioning
IEC	International Electrotechnical Commission
IEEE	Institute of Electrical and Electronic Engineers
IHM	Interface Homem Máquina
ISA	The International Society for Measurement and Control
ISM	Industrial, Scientific and Medical
ISO	International Organization for Standardization
KPI	Key Performance Indicators
LAN	Local Area Network
LIMS	Lab Information System
MAN	Metropolitan Area Network
MES	Manufacturing Execution System
MRP	Manufacturing Resources Planning

MTBF	Mean Time Between Failure
MTTR	Mean Time To Repair
NCS	Networked Control Systems
NUT	Network Update Time
OLE	Object Linking and Embedding
OPC	OLE for Process Control
OSI	Open System Interconnection
PAN	Personal Area Network
PIMS	Plant Information Management Systems
PLC	Programmable Logic Controller
RM-OSI	Reference Model for Communication between Open Systems
RTU	Remote Terminal Unit
SCADA	Supervisory Control and Data Acquisition
ScTP	Screened Twisted Pair
SDCD	Sistema Digital de Controle Distribuído
SNMP	Simple Network Management Protocol
STP	Shield Twisted Pair
TCP/IP	Transmission Control Protocol / Internet Protocol
TDM	Time Division Multiplexing
TI	Tecnologia da Informação
UART	Universal Asynchronous Receiver/Transmitter
UHF	Ultra High Frequency
UTP	Unshielded Twisted Pair
VBA	Visual Basic for Applications
VHF	Very High Frequency
WAN	Wide Area Network
W-LAN	Wireless Local Area Network
XML	eXtensible Markup Language

RESUMO

Redes de Comunicação Industrial tem um papel importantíssimo para as indústrias de um modo geral. As redes são fundamentais para que uma indústria, seja ela de pequeno, médio ou grande porte, consiga ter interoperabilidade entre todos os seus setores, desde o chão de fábrica até a diretoria da empresa, oferecendo informações precisas, em tempo real e com segurança na integração entre redes corporativas e redes de automação industrial, que serão fundamentais para o gerenciamento e controle do processo produtivo.

Baseado no estudo da arte sobre Redes de Comunicação Industrial, enfatizando as redes mais usadas atualmente pela indústria e abordando os sistemas gerenciais PIMS (*Process Information Management System*) e MES (*Manufacturing Execution Systems*), Sistemas de Controle via Rede (NCS - *Networked Control Systems*) e o uso do protocolo OPC (*OLE for Process Control*), oferecendo conteúdo para entender como desenvolver uma rede de comunicação industrial de maneira a atender todos os requisitos imprescindíveis para a sua instalação, manutenção e atualização.

Palavras-chave: Redes Industriais. Automação Industrial. PIMS. MES. Protocolo OPC. *Networked Control Systems*.

ABSTRACT

Industrial Communication Networks has a huge importance for industry in general. Networks are fundamental to an industry, regardless of company size, providing interoperability between all sectors, accurate information in real time and with safety integration between corporate networks and networks for industrial automation, which will be fundamental to the management and control of the production process.

Based on the study of art on Industrial Communication Networks, emphasizing the networks most currently used by industries, management systems PIMS (Process Information Management System) and MES (Manufacturing Execution Systems), Networked Control Systems (NCS) and use of OPC protocol (OLE for Process Control), offering content to understand how to develop an industrial communication network so as to meet all the requirements needed for its installation, maintenance and upgrade.

Keywords: Industrial Networks. Industrial Automation. PIMS. MES. OPC protocol. Networked Control Systems.

1 INTRODUÇÃO

Segundo Tanenbaum (1997) uma rede de computadores significa uma coleção de computadores autônomos e interconectados. Dois computadores são ditos interconectados, quando são capazes de trocar informações, o que pode ocorrer através de um meio físico de comunicação. Este é composto, por exemplo, de fios de cobre, microondas, fibras óticas ou satélites espaciais. O requisito de autonomia exclui sistemas nos quais existe um claro relacionamento do tipo Mestre-Escravo entre os computadores.

As redes industriais surgiram da necessidade de interligar computadores e controlador lógico programável – CLP - que se proliferavam operando independentemente. Essa interligação em rede permitiu o compartilhamento de recursos e bases de dados, que passaram a ser únicos, o que conferiu mais segurança aos usuários da informação (figura 1.1).

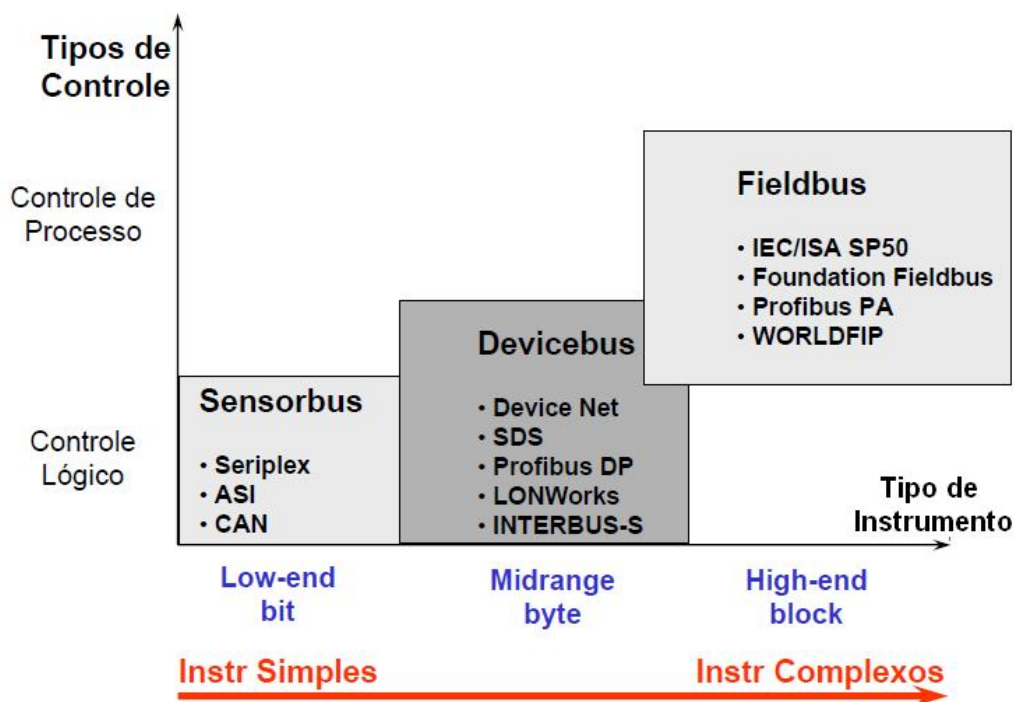


Figura 1.1 Redes de Comunicação Industrial (GUEDES, 2005).

As redes de comunicação industrial são de grande importância para as empresas, devido a quantidade de informação que atualmente são utilizadas para as mais diversas aplicações, seja para visualização em algum sistema supervisório ou para sistemas de gerenciamento da produção - *Enterprise Production Systems* - sendo necessário disponibilizar os dados adquiridos para o sistema em tempo real.

Assim, o ambiente industrial que outrora era isolado, hoje tem a necessidade de estar interligado com o ambiente corporativo da empresa para que assim estes possam compartilhar

informações com o intuito de aperfeiçoar o processo de produção, evitando perda de tempo, insumos e mão de obra.

Por isso tornou-se necessário a utilização de sistemas de comunicação que conseguissem suportar requisitos típicos das suas aplicações: ambientes hostis, interferências eletromagnéticas, características de tempo real, espectro largo de volume de informação trocada, o que obriga a constante busca por novas técnicas e meios de estabelecer essa comunicação.

Assim as empresas viram-se obrigadas a buscar tecnologias que conseguissem aumentar a agilidade e a eficiência e passaram a investir cada vez mais em sistemas que fossem capazes de gerenciar, supervisionar, controlar e proteger as redes industriais. Devido as crescentes exigências, o emprego de redes de supervisão e controle baseadas em protocolos de comunicação digital tem crescido nas mais variadas plantas industriais (CHEN; MOK, 2001). Outra solução utilizada hoje em dia é a integração entre a Tecnologia de Automação (TA) e a de Tecnologia de Informação (TI), que possibilita interligar o processo industrial e a diretoria da empresa.

Para que a rede de comunicação funcione corretamente é recomendado que o sistema siga o modelo OSI (*Open System Interconnection*), modelo este que permite a padronização dos protocolos e assim o fim da falta de compatibilidade entre equipamentos de fabricantes diferentes, permitindo total integração entre os componentes do sistema.

1.1 OBJETIVO

Mostrar as etapas que devem ser levadas em consideração para a seleção de uma rede de comunicação que melhor atenda a aplicação desejada, buscando conhecer detalhes referentes a velocidade de transmissão, confiabilidade, acessibilidade, meios de transmissão, dentre outros requisitos importantes para as redes industriais e desenvolver o conceito de Sistemas de Controle via Rede (*Networked Control Systems*) e do protocolo OPC.

1.2 METODOLOGIA

Para o desenvolvimento deste trabalho foi realizada uma revisão bibliográfica utilizando diversas fontes de informação - livros, revistas, apostilas, manuais e Internet - com o intuito de buscar a maior quantidade possível de informações para fazer um estudo sobre as redes de comunicação para sistemas de automação industrial, sistemas de supervisão, controle e

gerência de informação, de forma a descobrir características, aplicações e tendências destes sistemas.

1.3 ESTRUTURA DA MONOGRAFIA

Este trabalho é estruturado da seguinte forma:

No capítulo 2 é apresentado uma introdução à automação industrial com conceitos, definições, evolução dos dispositivos, padrão físico, protocolos, modelo OSI.

No capítulo 3 será abordado o tema redes industriais, apresentando os tipos de redes e suas características.

No capítulo 4 será apresentado o padrão OPC, mostrando suas principais funções e integração com outros sistemas.

No capítulo 5 é mostrado os sistemas de gerencia de informação industrial, utilizando os conceitos de PIMS e MES, analisando as suas semelhanças e diferenças.

No capítulo 6 será analisado o tema de sistemas de controle via rede, suas características, vantagens e desvantagens no uso industrial.

2 INTRODUÇÃO À AUTOMAÇÃO E AS REDES INDUSTRIAIS

2.1 INTRODUÇÃO À AUTOMAÇÃO

Pode-se dizer que o desejo de controlar os processos industriais acompanha o homem desde a criação das primeiras máquinas. Até a década de 1940, as plantas eram operadas manualmente por um grande número de operadores, os quais valiam-se de alguns poucos instrumentos mecânicos elementares que realizavam controle local (GUTIERREZ; PAN, 2008).

O termo Automação, do inglês *automation*, foi um termo inventado pelo *marketing* da indústria de equipamentos da década de 1960. O neologismo, sem dúvida, buscava enfatizar a participação de computadores no controle automático industrial (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

Automação descreve um conceito amplo, envolvendo um conjunto de técnicas de controle, das quais é criado um sistema ativo, capaz de fornecer a resposta adequada em função das informações que recebe do processo em que está atuando. Dependendo das informações, o sistema calculará a melhor ação corretiva a ser executada (WEG, 2002).

Os sistemas para controle de processos foram desenvolvidos de forma a maximizar a produção e minimizar seus custos, além de eliminar possíveis riscos envolvidos na produção. Tarefas que antes implicavam em alto risco para operadores de equipamentos podem ser realizadas remotamente sem qualquer risco.

Os sistemas de controle de processo e manufatura surgiram em meados de 1940 (figura 2.1), baseados primariamente em tecnologia mecânica e pneumática. Posteriormente foram substituídas no ambiente industrial por sinais elétricos analógicos, abordagem que ganhou grande impulso nos anos 1950, com o surgimento dos controladores eletrônicos, que permitiam maiores distâncias de transmissão.

Em meados dos anos 60, era muito caro a aplicação de micro controladores e computadores para solucionar os vários problemas de controle (DJIEV, 2003). Mas com o barateamento do *hardware*, aumento da competitividade, a introdução de requisitos tais como qualidade, custo, uso racional de energia e matéria-prima, foi necessário que os computadores fossem utilizados em todos os setores de uma indústria, desde o nível do processo até o nível de gestão ou administração da empresa para aperfeiçoar o processo.

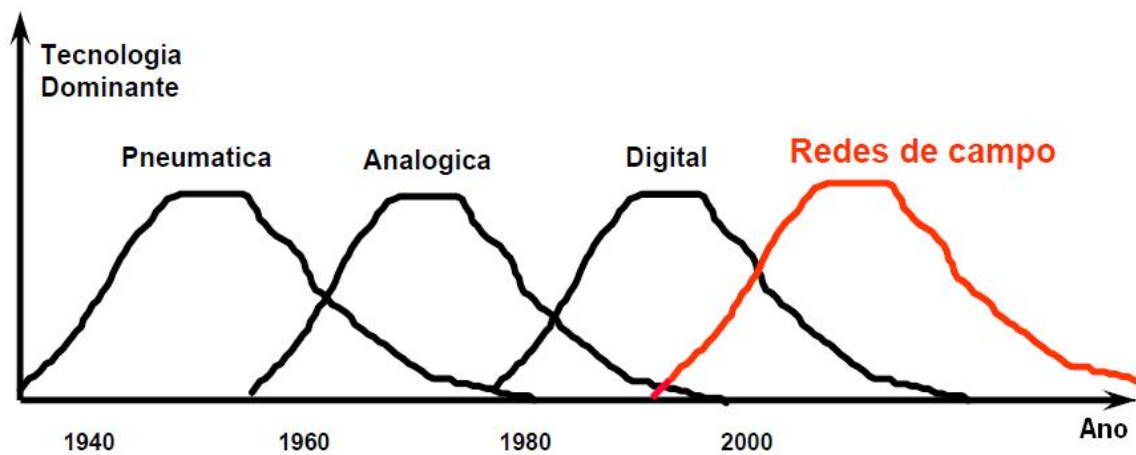


Figura 2.1 Evolução das tecnologias de Automação (GUEDES, 2005).

Inicialmente, a implantação de processos automatizados na indústria tinha o objetivo de alcançar maior produtividade e redução de custos. O investimento para implantação de sistemas automáticos é elevado e, além disso, a nova instalação requer recursos, inclusive humanos, dispendiosos para sua manutenção. Atualmente, o principal motor da automação é a busca de maior qualidade dos processos, para reduzir perdas, (com reflexo em custos) e possibilitar a fabricação de bens que de outra forma não poderiam ser produzidos, bem como do aumento da sua flexibilidade. Outra justificativa para os pesados investimentos em automação que têm sido feitos é a segurança de processos industriais e de infra-estrutura críticos, pois a automação tem sido vista como uma forma de minimizar o erro humano (GUTIERREZ; PAN, 2008).

2.2 REDES DE COMUNICAÇÃO INDUSTRIAL

As redes foram desenvolvidas para a troca de dados entre computadores. Hoje, com os microprocessadores chegando até os instrumentos do chão de fábrica, pode-se caracterizar estes como computadores também (COGHI, 2003). A utilização das redes permite a comunicação rápida e confiável entre equipamentos e o uso de mecanismos padronizados, que são hoje em dia, fatores indispensáveis no conceito de produtividade industrial.

A introdução das redes no ambiente industrial por sinais elétricos analógicos aconteceu a partir da década de 1960 e permitiu a substituição de grande quantidade de tubos utilizados para a transmissão pneumática, o que reduziu substancialmente o custo de instalação dos sistemas, bem como o tempo de transmissão dos sinais, naturalmente lento nos sistemas pneumáticos (GUTIERREZ; PAN, 2008). Primeiramente, foram utilizadas através do Controle Digital Direto interligando os computadores e os dispositivos de E/S. Depois foi utilizada em sistemas de controle distribuídos e controladores de lógica programável, sistemas para conectar os controladores e os operadores. Entretanto, a comunicação digital em pequenos dispositivos, tais como transmissores de chão de fábrica, não foi vista até os anos 80 e por isso o barramento de comunicação para redes de instrumentos de campo não ganhou grande aceitação até os anos 90 (BERGE, 2002).

Como os sistemas de automação industrial tornam-se cada vez maiores e o número de dispositivos de automação só aumentava, tornou-se muito importante para a automação industrial que padrões fossem criados para que fosse possível interconectar diferentes dispositivos de automação de um jeito padronizado. Um considerável esforço internacional para a padronização tem acontecido no que se trata das redes locais. O padrão OSI - *Open Systems Interconnection* - permite que dois dispositivos de automação se comuniquem de forma confiável independente do fabricante (DJIEV, 2003).

2.3 PADRÃO ISO/OSI

Devido a proliferação das redes proprietárias, a International Organization for Standardization - ISO definiu um modelo referência para a interconexão de sistemas abertos em 1978, o RM-OSI. O padrão OSI segue a filosofia das arquiteturas multicamadas, gerencia estruturação da comunicação de dados, através das sete camadas mostradas pela figura 2.2:

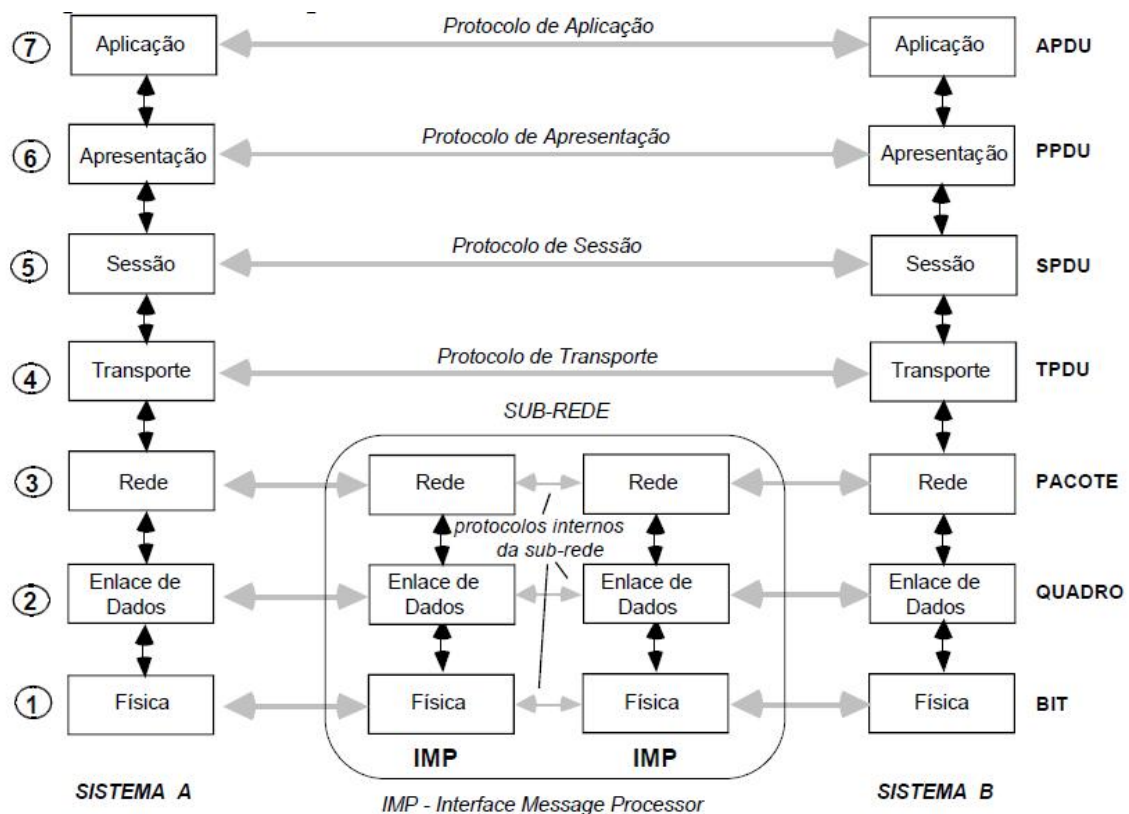


Figura 2.2 Arquitetura a sete camadas do Padrão OSI (STEMMER, 2001).

Cada camada tem um objetivo definido e comunica-se com as camadas adjacentes através de uma interface, que define as operações elementares e os serviços que a camada inferior oferece à camada considerada.

Quando o padrão OSI foi desenvolvido foram levados em consideração alguns princípios para determinar quantas camadas o modelo deveria ter. Estes princípios são:

- Cada camada corresponde a um nível de abstração necessário no modelo;
- Cada camada possui suas funções próprias e bem definidas;
- As funções de cada camada foram escolhidas segundo a definição dos protocolos padronizados internacionalmente;
- A escolha da fronteira entre cada camada deveria ser definida de modo a minimizar o fluxo de informação nas interfaces;

- O número de camadas deveria ser suficientemente grande para evitar a realização de funções muito diversas por uma mesma camada;
- O número de camadas deveria ser suficientemente pequeno para evitar uma alta complexidade da arquitetura (REYNDERS; MACKAY; WRIGHT, 2005).

Resumidamente, as principais funções das camadas são (figura 2.3):

- A camada de Aplicação faz o interfaceamento entre os protocolos de comunicação e o aplicativo que pediu ou receberá a informação pela rede (ROSARIO, 2005);
- A camada de Apresentação assume as funções associadas à formatação, sintaxe e semântica dos dados transmitidos que permitirá a interpretação correta da informação pelo receptor;
- A camada de Sessão controla a comunicação entre os usuários. É responsável por agrupar as mensagens, coordenar a transferência de dados entre as camadas e sincronizar o diálogo;
- A camada de Transporte gerencia a comunicação entre dois sistemas, ou seja, o sistema fonte dialoga com o programa executado na máquina destino (STEMMER, 2001);
- A camada de Rede gerencia o tráfego e o roteamento dos dados. O roteamento é feito baseado em fatores tais como o tráfego de dados e prioridades (ROSARIO, 2005);
- A camada de Enlace de Dados assegura que o conteúdo da mensagem no local de destino seja exatamente igual na origem. Geralmente possui um algoritmo especial, que gera um *bit* de paridade, ou um conjunto de *bits* extras, que desempenha a função de proteção. Ele cria números sequenciais do lado da transmissão e do lado da recepção para promover a devida validação (ROSARIO, 2005);
- A camada Física é responsável pela transferência de *bits* num circuito de comunicação. Sua concepção deve se relacionar com a definição das interfaces elétricas e mecânicas, seus modos de funcionamento, o suporte de comunicação adotado, etc (STEMMER, 2001). Tem responsabilidades funcionais tipo modulação, multiplexação, geração de sinal, etc.

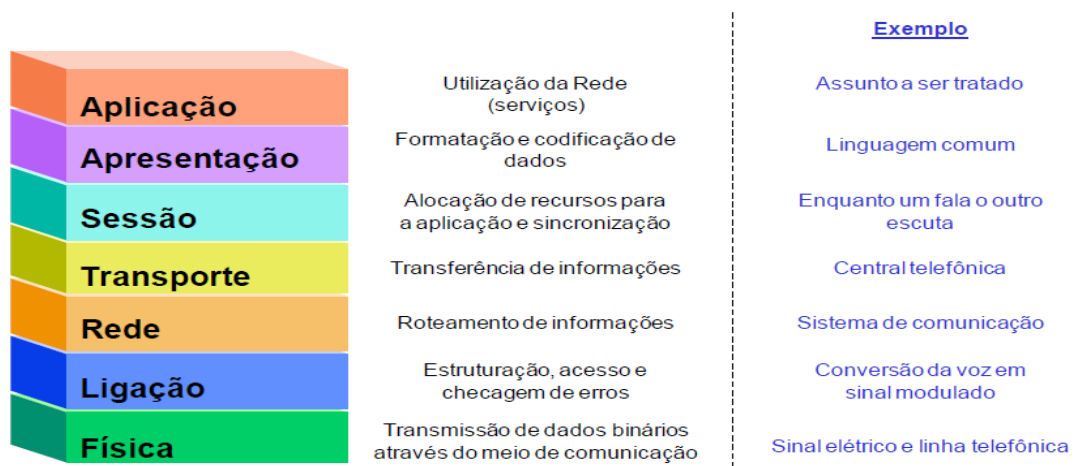


Figura 2.3 As sete camadas do Modelo OSI.

2.4 ESPECIFICAÇÕES DE UMA REDE DE AUTOMAÇÃO

Entre todas as tecnologias associadas ao controle industrial, as redes de comunicação industriais são as que mais sofreram evoluções na última década, seguindo, aliás, a tendência global de evolução das comunicações que se tem ocorrido, praticamente em todos os ramos de atividade, desde as telecomunicações móveis, à Internet, à comunicação sem fios (*wireless*), etc.

Seu uso tem por finalidade permitir que a maior quantidade de dispositivos possam estar interligados, compartilhando recursos, deixando dados dos sistemas disponíveis para o ambiente industrial, oferecendo rapidez, confiabilidade e redução de custo para a empresa.

Os avanços tecnológicos trouxeram grandes vantagens em relação aos sistemas convencionais de cabeamento. Entre eles, redução da fiação, facilidade de manutenção, flexibilidade na configuração da rede e, principalmente, diagnóstico de dispositivos. Além disso, por usarem protocolos de comunicação digital padronizados, essas redes possibilitam a integração de equipamentos de vários fabricantes distintos. Tais sistemas são chamados de abertos e é uma tendência em todas as áreas da tecnologia devido a sua flexibilidade e capacidade de expansão.

Para garantir que a rede de comunicação atenda as necessidades da planta industrial, devemos levar em consideração as seguintes variáveis: taxa de transmissão, topologia física da rede, meio físico de transmissão, tecnologia de comunicação e algoritmo de acesso ao barramento (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

E também devem ser considerados fatores como a compatibilidade da rede com o ambiente, o custo de instalação do projeto, facilidade de instalação, configuração e expansão do sistema, manutenção, quantidade de dispositivos, disponibilidade de produtos, segurança, etc.

2.4.1 Taxa de Transmissão

Taxa de transmissão é a quantidade média de dados a serem transmitidos na rede em um período de tempo. O termo utilizado para esta especificação é o *throughput*. É medida em kilobits por segundo (kbps) (MORAES; CASTRUCCI, 2007). Considera apenas os dados efetivamente úteis para os integrantes da rede (BORGES, 2008).

2.4.2 Extensão das redes de comunicação

Dependendo das distâncias entre os dispositivos conectados na rede são dados nomes diferentes para as redes, por exemplo, redes locais de computadores são sistemas cujas

distâncias entre os módulos processadores se enquadram na faixa de alguns poucos metros. Sistemas cuja dispersão é maior do que alguns quilômetros são chamados de redes geograficamente distribuídas. Resumindo, podemos classificar as redes segundo a sua extensão em:

- PAN (*Personal Area Network*) – Rede de Área Pessoal: pequeno alcance e baixo desempenho. É normalmente utilizado para a comunicação entre dispositivos pessoais, como por exemplo, a comunicação entre um PDA (*Personal Digital Assistants*) ou celular e um computador;
- LAN (*Local Area Network*) ou Rede Local Industrial: interconexão de computadores localizados em uma mesma sala ou em um mesmo prédio. Extensão típica: até aproximadamente 200 metros;
- CAN (*Campus Area Network*): interconexão de computadores situados em prédios diferentes em um mesmo campus ou unidade fabril. Extensão típica: até aproximadamente 5 quilômetros;
- MAN (*Metropolitan Area Network*): interconexão de computadores em locais diferentes da mesma cidade. Pode usar rede telefônica pública ou linha dedicada. Extensão típica: aproximadamente 50 quilômetros;
- WAN (*Wide Area Network*) ou Rede de Longa Distância: interconexão de computadores localizados em diferentes prédios em cidades distantes em qualquer ponto do mundo. Usa rede telefônica, antenas parabólicas, satélites, etc. Extensão acima de 50 quilômetros (KUROSE; ROSS, 2000).

2.4.3 Topologia física da rede

Sistemas industriais normalmente consistem em dois ou mais dispositivos. Como o crescimento dos sistemas industriais, foi necessário considerar a topologia da rede. As topologias mais comuns são a de anel (figura 2.4), barramento (*bus*) (figura 2.5), estrela (figura 2.6), ponto a ponto (figura 2.7) e árvore (figura 2.8) (DJIEV, 2003).

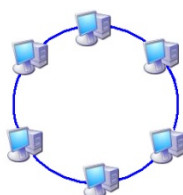


Figura 2.4: Topologia Anel.

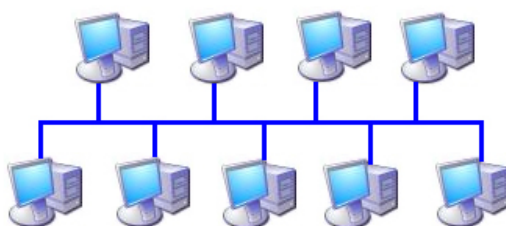


Figura 2.5: Topologia Barramento.



Figura 2.6: Topologia Estrela.

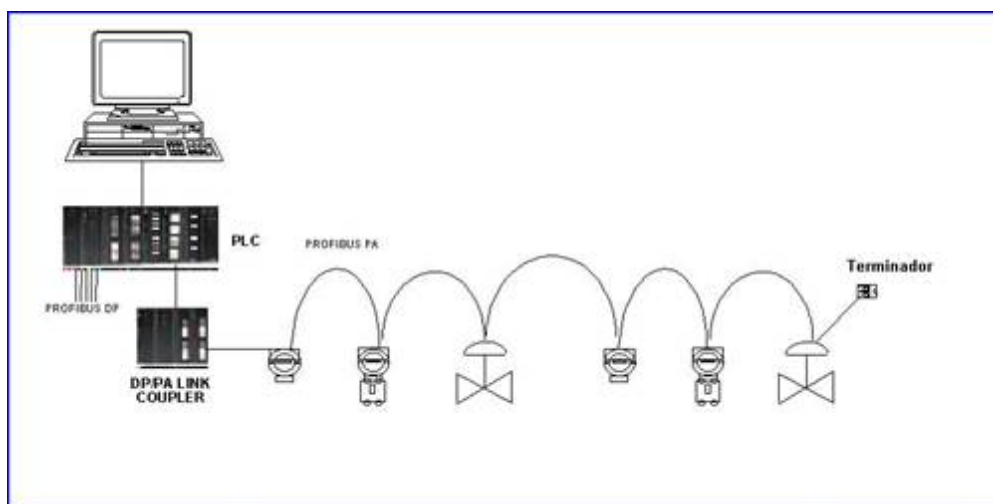


Figura 2.7: Topologia Ponto a ponto (SMAR, 2004).

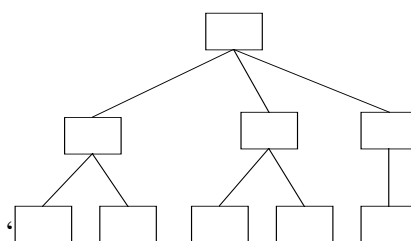


Figura 2.8: Topologia em árvore (KUROSE; ROSS, 2000).

A topologia de redes descreve como é a estrutura de uma rede através da qual há o tráfego de informações, e também o modo como os dispositivos estão ligados à mesma.

Há várias formas nas quais se pode fazer a interligação entre cada um dos nós da rede. As topologias podem ser descritas fisicamente e logicamente. A topologia física é a verdadeira aparência da rede, enquanto que a lógica descreve o fluxo dos dados através da rede (BORGES, 2008).

De acordo com MORAES e CASTRUCCI (2007), podemos descrever as topologias da seguinte forma:

- Topologias ponto a ponto têm comunicação entre dois ou mais processadores, não necessariamente conectados diretamente e que podem usar outros nós como roteadores. Essa topologia é pouco utilizada porque a adição de novos dispositivos ou a falha de algum deles causa interrupções na comunicação. Uma aplicação comum é para comunicações temporárias (provisórias), como, por exemplo, a comunicação de um *notebook* e um CLP.
- Topologia de Barramento é quando o meio físico de comunicação é compartilhado entre todos os processadores, sendo que o controle pode ser centralizado ou distribuído. É largamente utilizado, possui alto poder e expansão, e um nó com falha normalmente não prejudica o os demais, dependendo da falha;
- Topologia do tipo anel trata-se de uma arquitetura ponto a ponto em que cada processador é conectado a outro, fechando-se o último ao primeiro. O sinal circula no anel até chegar ao destino. Para a introdução de outro nó a conexão deve ser interrompida. É uma topologia mais confiável que a ponto a ponto, porém possui grande limitação quanto a sua expansão devido ao aumento do retardo de transmissão. Um nó com problema interfere em toda a rede, porém se houver a comunicação nos dois sentidos a mesma continua operando, degradando apenas o processador em falha.
- Topologia do tipo estrela utiliza um nó central para gerenciar a comunicação entre as máquinas. Nós em falhas não prejudicam os outros, com exceção do nó central, que provoca falha em toda a rede. Por esse motivo, nessa posição geralmente são utilizados processadores em duplicidade, redundância, para garantir confiabilidade para o sistema.
- Topologia do tipo árvore é disposta numa hierarquia como ramos de uma árvore. Existe apenas um caminho para se chegar a um nó, sendo assim não existem problemas de distribuição (roteamento), porém se qualquer conexão for quebrada, interrompe-se a comunicação porque não há rotas alternativas. Um exemplo de redes em estruturas em árvore acontece frequentemente em sistemas de fabricação onde diferentes processos de diferentes níveis devem alimentar de informações um computador de nível hierárquico superior para fins de gerenciamento, controle e planejamento.

2.4.4 Meio físico de transmissão

Para que a comunicação aconteça entre dois dispositivos é necessário existir um meio de contato entre eles. Temos dois grupos básicos de meios de comunicação, um utilizando condutores e um utilizando tecnologia sem fio (REYNDERS; MACKAY; WRIGHT, 2005).

Quando se usa cabos condutores esse pode ser de fio de cobre ou fibra ótica.

Nos cabos de cobre, o sinal é transmitido com um impulso elétrico. Este tipo de cabo pode ser do tipo coaxial (figura 2.9), par trançado (figura 2.10) e cabo paralelo. No caso da fibra ótica o sinal é conduzido como impulsos luminosos (figura 2.11):



Figura 2.9 Cabo Coaxial (KUROSE; ROSS, 2000).



Figura 2.10 Par Trançado (KUROSE; ROSS, 2000).



Figura 2.11 Fibra ótica (KUROSE; ROSS, 2000).

O cabo coaxial é usado para a transmissão de dados de alta velocidade, devido à tolerância aos ruídos graças à malha de proteção destes cabos, sobre distâncias de alguns quilômetros, sendo amplamente disponível, relativamente barato e capaz de ser instalado e mantido facilmente. É composto por um condutor de cobre no centro. Este é envolto num dielétrico recoberto de uma blindagem de uma ou várias camadas de malhas metálicas. A camada exterior é de um material isolante. Existem dois tipos de cabos:

- 75 Ohms: sobretudo para aplicações de sinais analógicos;
- 50 Ohms: por exemplo, para utilização em redes Ethernet 10 Base 2 ou 10 Base 5 (BORGES, 2008).

Os cabos de par trançados são compostos por 4 pares de fios de cobre que, como o nome sugere, são trançados entre si. Este sistema cria uma barreira eletromagnética, protegendo as

transmissões de interferências externas, sem a necessidade de usar uma camada de blindagem. Originalmente, as tranças dos cabos não seguiam um padrão definido, mas, com o passar do tempo, o número de tranças por metro, juntamente com outros detalhes técnicos foram padronizados. Isso permitiu que os cabos de par trançado, originalmente desenvolvidos para transportar sinais de voz, dessem um grande salto de qualidade, passando a atender redes de 10, 100, 1.000 e recentemente de 10.000 *Megabits*, uma evolução realmente notável. A distância máxima permitida é de 100 metros, com exceção das redes 10G *Gigabits*, onde a distância máxima cai para apenas 55 metros. O que muda é a frequência e, conseqüentemente, a taxa máxima de transferência de dados suportada pelo cabo, além do nível de imunidade a interferências externas (MORIMOTO, 2008). Em geral, o par é mais barato que o cabo coaxial. As principais vantagens de uso do cabo par trançado são: uma maior taxa de transferência de arquivos, baixo custo do cabo e baixo custo de manutenção de rede.

Existem três tipos de cabos par trançado:

- *Unshielded Twisted Pair* - UTP ou Par Trançado sem Blindagem: É o mais usado atualmente, tanto em redes domésticas como em grandes redes industriais, devido ao seu fácil manuseamento e instalação, permitindo taxas de transmissão de até 1000 Mbps. Pela falta de blindagem este tipo de cabo não pode ser instalado próximo de equipamentos que possam gerar campos magnéticos e também não podem ficar em ambientes com umidade.
- *Shield Twisted Pair* - STP ou Par Trançado Blindado: É semelhante ao UTP. A diferença é que possui uma blindagem feita com a malha metálica. É usado em ambientes com interferência eletromagnética. Devido à sua blindagem tem um preço mais elevado.
- *Screened Twisted Pair* – ScTP: Também designado como FTP (*Foil Twisted Pair*), os cabos são cobertos pelo mesmo composto do UTP categoria “5 Plenum”, os fios de cobre são revestidos pela resina fluoropolimerada, que é um isolante elétrico extremamente eficiente e é resistente ao fogo, para este tipo de cabo, no entanto, uma película de metal é enrolada sobre todos os pares entrançados, o que contribui para um maior controle das interferências (BORGES, 2008).

O cabo de fibra ótica oferece capacidade de transmissão acima de *GigaBits* e não sofre com interferências eletromagnéticas, já que transmitem luz e não sinais elétricos. Entretanto, os cabos de fibra ótica são mais caro, devido ao complicado processo de fabricação.

Para a transmissão de dados é utilizado um transmissor óptico, que converte o sinal elétrico no sinal luminoso enviado através da fibra e um receptor, que faz o processo inverso. O

transmissor utiliza uma fonte de luz, combinada com uma lente, que concentra o sinal luminoso, aumentando a porcentagem que é efetivamente transmitida pelo cabo. Do outro lado, é usado um receptor ótico, que amplifica o sinal recebido e o transforma novamente nos sinais elétricos que são processados (MORIMOTO, 2008).

Existem padrões de fibra óptica para uso em redes Ethernet desde as redes de 10 *Megabits*. Antigamente, o uso de fibra óptica em redes Ethernet era bastante raro, mas com o lançamento dos padrões de 10 *Gigabits* a utilização vem crescendo, com os *links* de fibra sendo usados, sobretudo para criar *backbones* e *links* de longa distância.

Existem dois tipos de cabos de fibra óptica, o multimodo ou MMF (multimode fibre) e o monomodo ou SMF (singlemode fibre). As fibras monomodo possuem um núcleo muito mais fino, de 8 a 10 *mícrons* de diâmetro, enquanto as multimodo utilizam núcleos mais espessos, tipicamente com 62.5 *microns* (MORIMOTO, 2008).

As fibras multimodo são mais baratas e o núcleo mais espesso demanda uma precisão menor nas conexões, o que torna a instalação mais simples, mas, em compensação, a atenuação do sinal luminoso é muito maior.



Figura 2.12 Fibra Ótica Monomodo e Multimodo (MORIMOTO, 2008).

Para efeito de comparação, as fibras multimodo permitem um alcance de até 550 metros no *Gigabit Ethernet* e 300 metros no 10 *Gigabit*, enquanto as fibras monomodo podem atingir até 80 quilômetros no padrão 10 *Gigabit*. Esta brutal diferença faz com que as fibras multimodo sejam utilizadas apenas em conexões de curta distância, já que sairia muito mais caro usar cabos multimodo e repetidores do que usar um único cabo monomodo de um ponto ao outro (MORIMOTO, 2008).

Soluções sem fio são alternativas viáveis onde é difícil instalar cabos ou fibra ótica. Existem varias técnicas para transmitir sinais usando redes sem fio. Isso inclui transmissão infravermelha e algumas tecnologias que se utilizam rádio frequência (RF), e entre elas as mais interessantes são: *Zigbee*, *Bluetooth* e *Wireless Ethernet*. A faixa de frequência utilizada pelos dispositivos Wi-Fi (nome dado ao sistema *Ethernet wireless*) é a mesma conhecida como ISM (*Industrial, Scientific and Medical*), que apresenta faixas liberadas para uso geral

sem necessidade de licenciamento. Se isso facilita seu emprego devido à eliminação da burocracia, por outro lado também obriga a convivência entre esses dispositivos com outras fontes de RF na mesma faixa, como telefones sem fio, dispositivos Bluetooth, por exemplo. Esses dispositivos sem fio devem possuir meios de continuar operando em áreas onde outros equipamentos de RF estejam compartilhando a faixa do espectro (2,4 GHz para os padrões IEEE 802.11b/g) (CUNHA. 2006/2007).

Nas transmissões utilizando microondas a diferenciação se dá se as transmissões ocorreram no plano horizontal (sistemas terrestres) ou no plano vertical (transmissão via satélite). (REYNDERS; MACKAY; WRIGHT, 2005).

A forma da utilização do meio físico que conecta as estações dá origem a seguinte classificação sobre a comunicação no enlace (figura 2.13):

- *Simplex*: o enlace é utilizado apenas em um dos dois possíveis sentidos de transmissão (figura 2.13a);
- *Half-duplex*: o enlace é utilizado nos dois possíveis sentidos de transmissão, porém apenas um por vez (figura 2.13b);
- *Full-duplex*: o enlace é utilizado nos dois possíveis sentidos de transmissão simultaneamente (figura 2.13c).

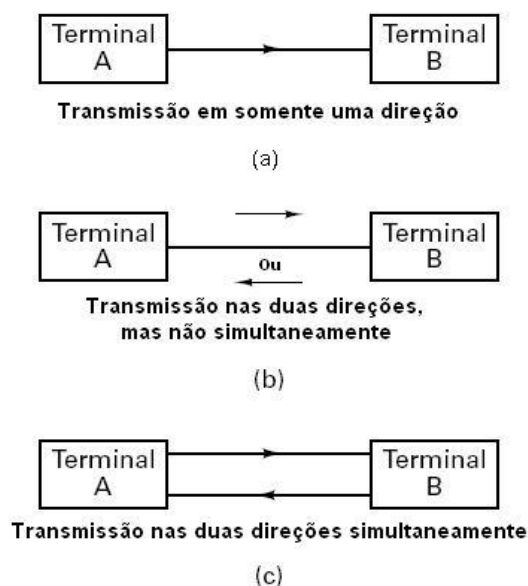


Figura 2.13 Comunicação *simplex* (a), *half-duplex* (b) e *full-duplex* (c)

2.4.5 Método de acesso

É a forma de gerenciamento entre os pontos de comunicação (nós) da rede no tocante à comunicação de dados. São do tipo mestre/escravo e produtor/consumidor.

Em um sistema mestre/escravo (figura 2.14), somente a estação chamada de mestre pode agir como detentora do direito de transmissão. Esse direito de acesso ao meio físico é distribuído por ela para as estações escravas por um determinado tempo. Tal configuração deixa o sistema dependente da estação central, mas mesmo assim é bastante utilizado em instalações industriais. Este método garante um tempo entre transmissões consecutivas a qualquer estação da rede, pela realização de um controle distribuído com supervisão centralizada (ROSARIO, 2005)

Escravo (*Slave*) - Um escravo é um periférico (dispositivos inteligentes de Entrada/Saída, *drivers*, Interfaces Homem-Máquina, Válvulas, Transdutores, etc.), que recebe uma informação do processo e/ou utiliza informações de saída do mestre para atuar na planta. Escravos são dispositivos passivos que somente respondem a requisições diretas vindas do mestre, que pode ser:

- Monomestre: Há somente um mestre no barramento durante a operação. Geralmente a CPU do CLP é o componente do controle central. Os escravos são descentralizadamente acoplados no barramento através do meio de transmissão de dados.
- Multimestre: A imagem das entradas e saídas pode ser lida por todos os mestres, porém somente um mestre pode controlar um dado escravo (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

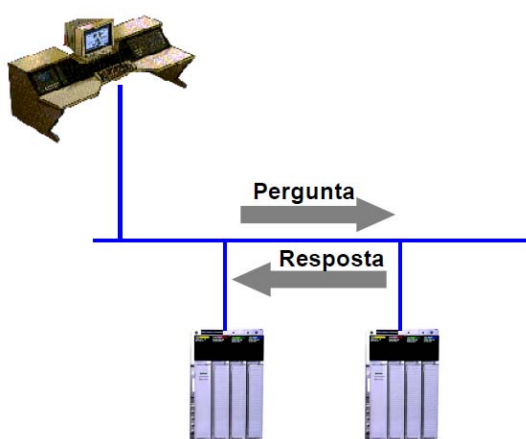


Figura 2.14 - Método Mestre/Escravo

Produtor-Consumidor: Neste modelo, os dados possuem um identificador único, origem ou destino. Todos os nós podem ser sincronizados. Usando esse modelo, múltiplos nós (produtores) podem transmitir dados para outros nós (consumidores). Também alguns nós podem assumir na rede os papéis de produtor e consumidor.

Toda essa característica operacional traz as seguintes vantagens: economia na transmissão de dados, pois eles só são enviados aos dispositivos que os requisitarem e determinismo, já que o tempo para entrega dos dados é independente do número de dispositivos que os solicitam, pois diferentemente do sistema mestre-escravo esse processo não trabalha em varredura (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

2.4.6 Algoritmo de acesso ao barramento

É o algoritmo utilizado pelos nós para acessar ou disponibilizar informações na rede. Algoritmos típicos de acesso ao barramento são processos de varredura ou cíclica, CSMA/CD, *Token Passing*, mudança de estado (*CoS – Change of State*) e CTDMA.

Cíclica ou varredura (*Cyclic Polling*): É quando os dispositivos produtores transmitem dados a uma taxa configurada pelo usuário (entrada/saída). As características dessa forma de transmissão cíclica são:

- Os dados são transferidos numa taxa adequada ao dispositivo/aplicação;
- Os recursos podem ser preservados para dispositivos com alta variação.

Esse método de troca de dados é eficiente para aplicações em que os sinais transmitidos se alteram lentamente. Como, por exemplo, sinais analógicos de entrada e saída. Por outro lado, sinais discretos – cuja variação pode ser muito rápida para mudança e retorno do estado original – nesse sistema de acesso poderão ter sua informação perdida.

CSMA/CD(*Carrier Sense Multiple Access/ Collision Detection*) – Com essa técnica, um dispositivo começa a transmitir dados assim que detecta que o canal está disponível. Quando dois dispositivos transmitem simultaneamente, ocorre uma colisão. Com isso a transmissão irá parar e depois de um período aleatório a estação tentará retransmitir (figura 2.15).

Todas as estações devem ser capazes de suportar detecção de colisão, evasão de colisão e regime de recuperação. É muito eficiente para maximizar o uso da banda disponível e oferece grande flexibilidade e opções para configuração. Foi desenvolvido para ser usado em topologia de barramento. A comunicação *Ethernet* é baseada nessa tecnologia (COBUS, 2003).

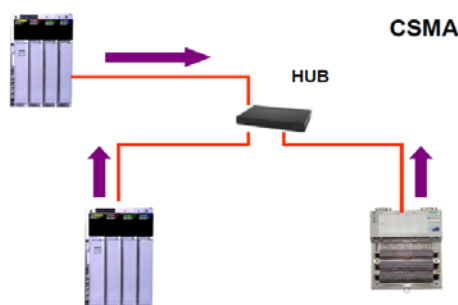


Figura 2.15 Método CSMA

Token Passing é uma técnica utilizada em topologia anel. Nesse anel, é indicada a direção onde circula o *Token* (ficha). Caso um dispositivo deseje transmitir, ele deve “captar” o *token*, substituindo-o por um frame (informações, dados) (figura 2.16).

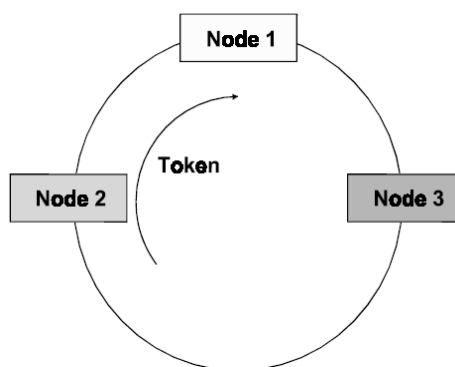


Figura 2.16 Ilustração do *Token Passing* (COBUS, 2003)

Uma vez que um dispositivo termina sua transmissão, quer que seja por colocá-la inteiramente no anel ou por tempo determinado de utilização do *token*, ele regenera o *token*, permitindo assim que outro nó capture o *token* e acesse a rede para transmissão.

Protocolos que também utilizam esse princípio são: *Token Ring* e *Token Bus*. *Token Ring* usam um anel físico e a mensagem passa através cada estação como se circulasse pelo anel. *Token Bus* o *token* ainda circula num anel lógico, mas a topologia da rede é o barramento, com o resultado que a falha de uma estação não necessariamente afeta a rede.

No método de mudança de estado, dispositivos produzem dados apenas quando tem seu estado alterado. Em segundo plano, um sinal é transmitido ciclicamente para confirmar que o dispositivo está operando normalmente. A vantagem deste método é que ele reduz significativamente o tráfego da rede. Indicado para comunicação de dados de entrada e saídas digitais (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

Quando se utiliza *Code and Time-Division Multiple Access* (CTDMA), o acesso à rede é controlado por um algoritmo “fatia de tempo”, que regula a transmissão de dados pelos nós

em cada intervalo de tempo. É possível selecionar esse intervalo através do ajuste do *network update time* (NUT), sendo o mais rápido igual a 2ms (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

2.4.7 Confiabilidade e disponibilidade

A confiabilidade do equipamento é definida como a probabilidade de que ele operará dentro de sua especificação por um período de tempo definido. Para sistemas capazes de serem reparados, a maneira usual de se avaliar confiabilidade é através do tempo médio entre falhas (MTBF – *Mean Time Between Failure*). A disponibilidade do equipamento é a proporção de tempo no qual se espera que o equipamento esteja inteiramente operacional. Pode ser representada a partir do MTBF e do tempo médio para reparo (MTTR – *Mean Time To Repair*) do sistema descrito na equação 2.1:

$$A = \frac{MTBF}{MTBF + MTTR}$$

Equação 2.1 Cálculo do tempo médio para reparo

Para priorizar a disponibilidade de uma rede de comunicação pode-se considerar as seguintes regras (MOON, 1999):

- Processos críticos devem ser isolados em áreas de sub-redes que possam executar independentemente da falha do *backbone*;
- Configurações de rede devem ser tão simples quanto possíveis. Quanto maior e mais complexa a rede ou tecnologia, mais itens estarão sujeitos a falhas;
- Dispositivos de grande confiabilidade devem ser empregados sempre que possível, além de redundância de equipamentos e meios físicos de rede.

2.4.8 Funcionalidade

O projetista da rede deve saber o tipo de dados que ela manipula e qual funcionalidade requer para alcançar seus objetivos. Tipicamente, as funcionalidades requeridas em redes industriais de comunicação incluem:

- Transferência de Arquivos;
- Suporte a Aplicações Distribuídas.

2.5 COMPONENTES DE UMA REDE INDUSTRIAL

Na grande maioria das redes fabris, um simples cabo não é suficiente para conectar todos os nós da rede. Para isso é definida uma topologia de rede para oferecer isolamento e alcançar os requisitos de desempenho. Em muitos casos existe a necessidade de equipamentos adicionais na rede (DJIEV, 2003). Alguns componentes típicos de redes são repetidores (*repeaters*), as pontes (*bridges*), os roteadores (*routers*) e os *gateways*.

Os repetidores ou amplificadores são dispositivos que amplificam o sinal para que ele possa ser transmitido entre nós afastados. Com esse dispositivo, é possível conectar um grande número de nós na rede. Além disso, é possível acoplar diferentes tipos de meios físicos, como um cabo coaxial em uma fibra ótica (DJIEV, 2003).

As pontes (*bridges*) conseguem estabelecer uma conexão entre duas redes com diferentes características elétricas e de protocolo. A ponte pode interconectar duas redes desiguais e aplicativos podem distribuir informação através dela (DJIEV, 2003).

Os roteadores retransmitem pacotes de informação entre várias redes, definindo o caminho.

Os gateways promovem a interoperabilidade para que sub-redes incompatíveis até mesmo do ponto de vista da arquitetura (redes OSI x Rede não OSI) consigam estabelecer uma conexão.

2.6 PROTOCOLOS

Protocolos caracterizam os elementos de maior importância nas redes de automação industrial, tanto que as redes passam a ser denominadas pelos protocolos utilizados (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

Basicamente, um protocolo é um conjunto de regras sobre o modo como se dará a comunicação entre as partes envolvidas. A violação do protocolo dificultará a comunicação e em alguns casos poderá impossibilitá-la (TANEMBAUM, 1997).

Não existe protocolo certo ou errado, a escolha depende particularmente da aplicação (REYNDERS; MACKAY; WRIGHT, 2005). Os protocolos são construídos seguindo o padrão OSI, criando pela ISO. Alguns dos protocolos largamente utilizados são: MODBUS, PROFIBUS, ETHERNET. FIELDBUS FOUNDATION, etc.

3 CLASSIFICAÇÃO DAS REDES INDUSTRIAIS

Atualmente descreve-se os diversos sistemas que coordenam o processo produtivo através de modelos conceituais. Devido à complexidade destes sistemas é comum estruturá-los em níveis hierárquicos para facilitar a compreensão. Cada nível hierárquico tem associado um nível de comunicação com exigências próprias na rede.

Na figura 3.1 é mostrada uma estrutura hierarquizada, com os níveis básicos para as empresas: Níveis de Campo, de Controle e de Gerência. Já na figura 3. mostra uma estrutura funcional, com as divisões Instrumentação (sensores e atuadores), Redes de dispositivos discretos, Controladores, Supervisão e Gestão da Produção.

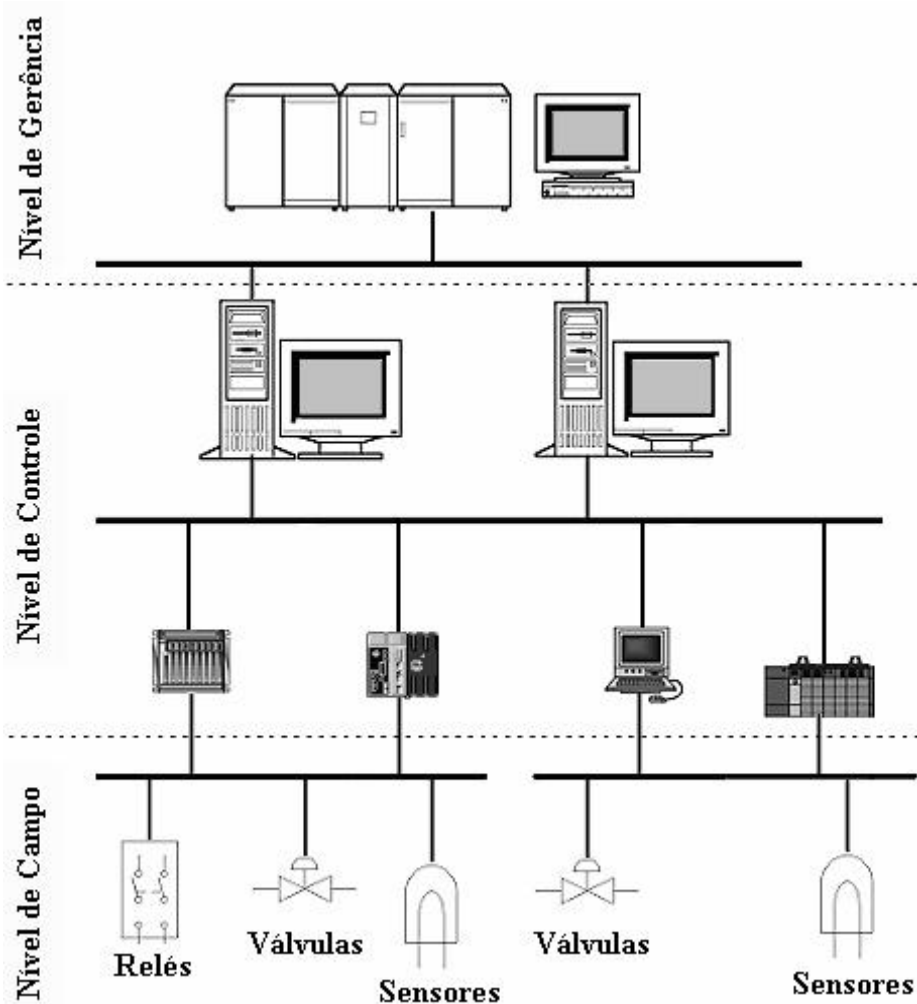


Figura 3.1 Classificação das Redes Industriais (Adaptado DJIEV, 2003).

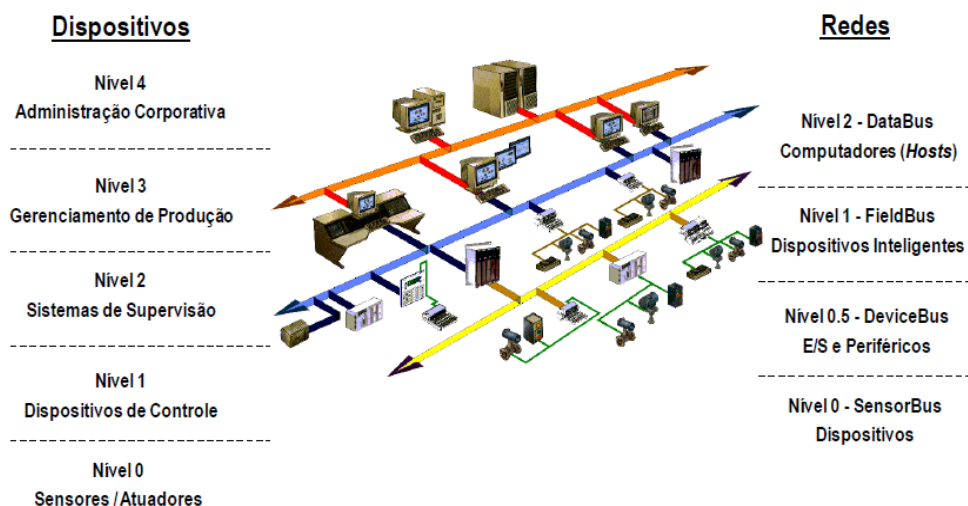


Figura 3.2 – Classificação das Redes Industriais e Estrutura Funcional.

A rede *SENSORBUS* que é uma rede de nível mais baixo, geralmente usada para ligar pequenos sensores, como interruptores, é usada para conectar equipamentos simples e pequenos diretamente à rede. Essa rede é composta geralmente por sensores e atuadores de menor valor. Esse tipo de rede se preocupa em manter os custos de conexão o mais baixo possível (MONTEZ, 2005). Os tempos de reação são da ordem dos milissegundos, as distâncias máximas de 200 metros e a natureza das informações trocadas é o *bit* (BORGES, 2008). São exemplos as redes Seriplex, ASI e CAN.

Rede *DEVICEBUS* é encontrada 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 (MONTEZ, 2005). São exemplos as redes DeviceNet, Profibus DP entre outras.

Já a rede *FIELDBUS* interliga os equipamentos de E/S mais inteligentes e pode cobrir maiores distâncias, chegando a 10 km. Os equipamentos conectados nessa rede possuem inteligência para desempenhar funções específicas de controle, como o controle 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) (MONTEZ, 2005). São exemplos as redes Modbus Plus, Profibus FMS.

A rede *DATABUS* possibilita a comunicação entre os sistemas de supervisão e os sistemas informáticos de gestão (produção, etc). Os tempos de reação são da ordem dos segundos e até

minutos, as distâncias máximas de cerca de 100 km e a natureza das informações trocadas são arquivos com grande volume de informação. Utiliza rede Ethernet (LAN, WAN, Internet) (BORGES, 2008).

O nível de gerenciamento da produção é o nível superior da pirâmide e está reservado aos sistemas de informação. Estes sistemas destinam-se à gestão global da empresa. Como é um ambiente voltado mais para a Tecnologia da Informação (TI) prioriza a confidencialidade dos dados na rede, protegendo contra acessos não autorizados, assim como a integridade e a disponibilidade dos mesmos.

Segundo SEIXAS FILHO e FINKEL (2003), uma maneira simples e didática de visualizar toda essa estrutura descrita anteriormente pode ser expressa na figura 3.3:



Figura 3.3 Pirâmide Hierárquica detalhada (SEIXAS FILHO; FINKEL, 2003).

Este modelo hierárquico estratifica os sistemas de manufatura em níveis:

- Nível 0 – Instrumentação;
- Nível 1 – Controladores: PLCs, Remotas de sistemas digitais de controle distribuídos (SDCDs);
- Nível 2 – Supervisão: Sistemas de supervisão e aquisição de dados (SCADA), interface homem máquina (IHM) e otimizadores de processo dentro do conceito de APC (*Advanced Process Control*);
- Nível 3 – Gestão da produção: Sistemas MES(*Manufacturing Execution System*), PIMS (*Process Information Management System*), APS(*Advanced Planning and Scheduling*), LIMS (*Lab Information System*), sistemas de manutenção (*Maintenance Management System*), Sistema de Gestão de Ativos (*Asset Management System*), etc;

- Nível 4 – Sistemas Integrados de Gestão Empresarial (ERP - *Enterprise Resource Planning*);
- Nível 5 – *Data Warehousing* corporativos, um sistema de computação utilizado para armazenar informações relativas às atividades de uma organização em bancos de dados e sistemas EIS (*Executive Information Systems*), que tem como objetivo principal dar suporte à tomada de decisão.

Para compreender o modelo proposto pela figura 3.3 basta compreender que no nível 3 ou acima é onde são utilizados os *softwares* gerenciais e corporativos, interligados usando Intranet e acesso à Internet, permitindo a comunicação entre todos os departamentos da empresa envolvidos no gerenciamento industrial.

Já no nível 2 é necessário interligar as estações de operação a estações de cálculo, banco de dados para que seja possível realizar funções de supervisão, armazenamento e tratamento das informações do processo.

O nível 1 tem por função conectar os CLPs e as estações de controle e o nível 0 faz a interface entre os controladores e aos dados dos equipamentos e componentes do processo.

Cada um dos níveis tem requisitos diferentes para a instalação da rede e por isso existe uma infinidade de redes que podem atuar em cada uma das camadas da pirâmide.

Por isso é necessário conhecer o tipo de aplicação que o usuário final está procurando para assim utilizar uma tecnologia que seja compatível e que possa oferecer um melhor desempenho e conseqüentemente menos falhas no sistema (FORTE, 2004).

3.1 AS-I – *ACTUATOR SENSOR INTERFACE*

Actuator Sensor Interface foi desenvolvida por um consórcio de 11 empresas europeias e introduzido no mercado em 1993 como uma das mais inovadoras soluções de rede para sensores e atuadores.

Primeiramente, ela foi concebida para interligar via rede elementos periféricos (sensores e atuadores) binários, elementos que requerem em geral uma informação mínima para operar (1 *bit* com comando tipo LIGA/DESLIGA) (STEMMER, 2001).

AS-Interface utiliza o princípio do cabo comum, onde são conectados todos os elementos periféricos. O cabo é composto por dois condutores não blindados e é utilizado também para alimentação dos escravos, podendo ter até 100 metros de comprimento. Com repetidores, pode ir a até 500 m.

A tecnologia *AS-Interface* é compatível com qualquer outro barramento de campo ou rede. Existem *gateways* para ligação a CANopen, Profibus, Interbus, FIP, LON, RS485, RS232 e E/S remotas. Está de acordo com as normas europeias EN50295, IEC 62026-2.

Desenvolvido como um sistema Mestre/Escravo utilizando apenas um mestre por rede para controlar a troca de dados. Este executa a varredura cíclica dos escravos, chamando cada escravo sequencialmente e aguardando a sua resposta.

O mestre possibilita as funções de diagnóstico, monitoramento contínuo da rede, reconhecimento de falhas e atribuição de endereço correto quando um nó é removido para manutenção (MORAIS; CASTRUCCI, 2007).

Existem duas versões da ASI, a versão 2.0 e a 2.1. A versão 2.0 suporta até 31 escravos em um barramento. Como cada escravo pode ter 4 entradas ou saídas, o número máximo de elementos binários que podem ser ligados aos escravos é de 124 (figura 3.4). A varredura completa dos 31 escravos, atualizando todas as 124 entradas e saídas requer cerca de 5ms (STEMMER, 2001).

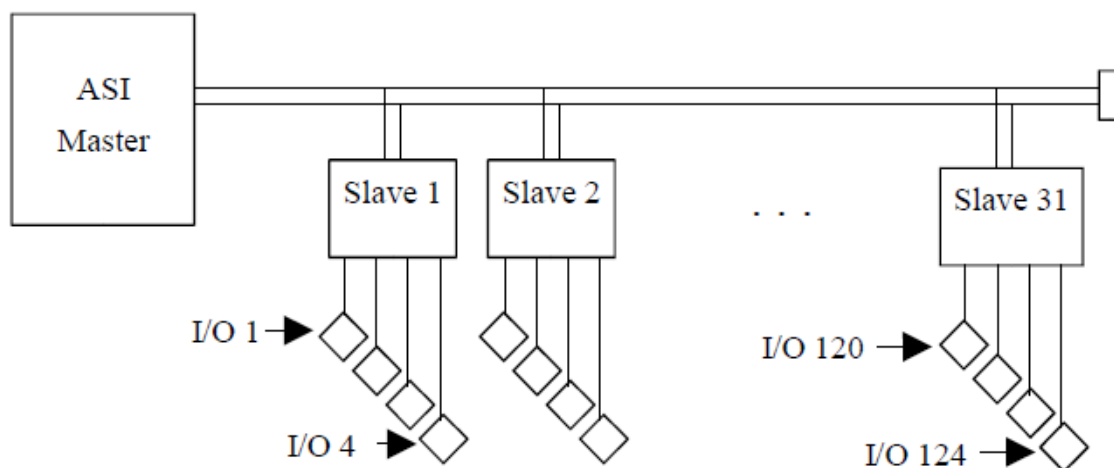


Figura 3.4 Configuração Típica ASI (STEMMER, 2001).

A tabela 3.1 mostra as características das duas versões:

Tabela 3.1 Versões da *AS-Interface* (MORAIS; CASTRUCCI, 2007).

	Versão 2.0	Versão 2.1
Número Máximo de Escravos	31	62
Número Máximo de E/S	124E+ 124S	248E+186S
Tempo Máximo de Ciclo	5ms	10ms
Transmissão	Dados e energia	Dados e energia
Dados Analógicos	16 bytes para dados digitais e analógicos	124 bytes para dados analógicos
Comprimento Máximo dos cabos	100m, extensão com repetidor até 500m	100m, extensão com repetidor até 500m

É possível trocar ou adicionar escravos durante a operação normal, sem interferir na comunicação com os outros nós. Cada um destes dispositivos tem um endereço único na rede, devendo este estar entre o endereço 1 a 31 (BORGES, 2007).

3.2 CAN – *CONTROLLER AREA NETWORK*

Desenvolvido, originalmente pela BOSCH, para integrar elementos inteligente em veículos autônomos, no início dos anos 80, com o intuito de eliminar a grande quantidade de fios nos automóveis Mercedes. Padronizada pela ISO 11898 e 11519, é um protocolo de comunicação serial síncrono que apresenta vantagens em termos de simplificação do cabeamento (custo, confiabilidade, redução da necessidade de manutenção), flexibilidade (facilidade de implementação de modificações na estrutura da rede), velocidade de comunicação atendendo a requisitos de tempo real do sistema, facilidades para acesso aos diversos nós da rede remotamente (monitorando, alterando dados e diagnosticando falhas), entre outras.

A primeira versão do sistema saiu em 1984 mas foi em 1987 que foi produzido o primeiro *chip* que implementava em *hardware* as funções de comunicação, o 82526, produzido pela Intel. A partir de 1991 vários fabricantes foram licenciados para a fabricação de *chips* para CAN (STEMMER, 2001).

Este protocolo tem as seguintes propriedades:

- Priorização de mensagens;
- Flexibilidade de configuração;
- Recepção do *multicast* com sincronia de tempos;
- Multimestre, produtor-consumidor;
- Detecção e sinalização de erros;
- Retransmissão automática de mensagens corrompidas assim que o barramento estiver ativo novamente;
- Distinção entre erros provisórios e falhas permanentes dos nós (MORAIS; CASTRUCCI, 2007).

Algumas características importantes do protocolo:

- Topologia: barramento ou estrela (concentrador);
- Taxa de transmissão: de 125 kbps ou 1 Mbps;
- Comprimento máximo do barramento: 1km para 125 Kbps e 40m para 1 Mbps;
- Número máximo de nós: 16;
- Codificação de *bits*: NRZ (*Non Return to Zero*);
- Meio de transmissão: usualmente par trançado ou fibra ótica (STEMMER, 2001).

3.3 HART - *Highway Addressable Remote Transducer*

Desenvolvido pela Fisher Rosemount em meados da década de 1980 como um protocolo proprietário, o HART tornou-se um padrão aberto em 1990 e tem evoluído desde então.

HART é um protocolo digital, mas aceita também comunicação analógica no padrão 4-20mA, o que o torna compatível com a enorme base instalada analógica existente no mundo, além de possibilitar o uso de instrumentos inteligentes em cima dos cabos 4-20 mA tradicionais. Os dispositivos capazes de executarem esta comunicação híbrida são denominados *smart*.

As principais características do protocolo HART são:

- Meio físico: par trançado;
- Taxa de Transmissão: 1200 bps;
- Transmissão assíncrona a nível de caracteres UART (1 *start bit*, 8 *bits* de dados, 1 *bit* de paridade e 1 *stop bit*);
- Tempo médio de aquisição de um dado: 378,5 ms;
- Método de acesso ao meio: Mestre/escravo (STEMMER, 2001);
- Topologia: A topologia pode ser ponto a ponto (figura 3.5) ou *multidrop*, onde todos os componentes são conectados pelo mesmo cabo. O protocolo permite o uso de até dois mestres. O mestre primário é um computador ou CLP ou multiplexador. O mestre secundário é geralmente representado por terminais *hand-held* de configuração e calibração;
- Modulação: O sinal Hart é modulado em FSK (*Frequency Shift Key*) e é sobreposto ao sinal analógico de 4-20 mA. Para transmitir 1 é utilizado um sinal de 1 mA pico a pico na frequência de 1200 Hz e para transmitir 0 a frequência de 2400 Hz é utilizada. A comunicação é bidirecional. O sinal FSK é contínuo em fase, não impondo nenhuma interferência sobre o sinal analógico. A padronização obedece ao padrão *Bell 202* (SEIXAS FILHO, 2003a).

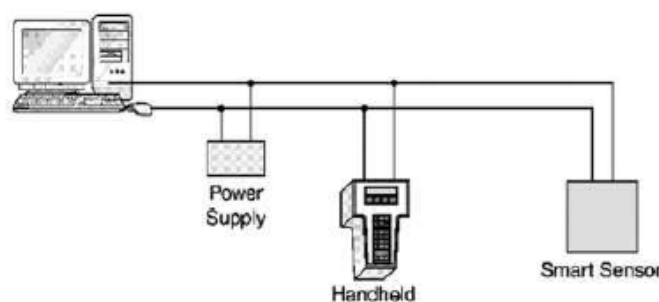


Figura 3.5 Comunicação HART ponto-a-ponto (REYNDERS; MACKAY; WRIGHT, 2005).

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. Existem barreiras de segurança intrínseca especiais que permitem o tráfego do sinal HART.

Quando usando uma topologia do tipo *multidrop*, a rede HART suporta até 15 instrumentos de campo. 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 muito lento para grande parte das aplicações (SEIXAS FILHO, 2003a).

3.4 MODBUS

Desenvolvido e publicado pela Modicon *Industrial Automation Systems* em 1979 para uso do seu CLP, tornou-se um padrão de fato na indústria. É um dos mais antigos protocolos utilizados em redes de controladores lógicos programáveis para aquisição de sinais de instrumentos e comandar atuadores usando uma porta serial. Atualmente parte do grupo Schneider Electric, a Modicon colocou as especificações e normas que definem o Modbus em domínio público. Por esta razão é utilizado em milhares de equipamentos existentes e é uma das soluções de rede mais baratas a serem utilizadas em automação industrial.

MODBUS é usualmente implementado usando RS232, RS422 ou RS485 sobre uma variedade de meios de transmissão (STEMMER, 2001).

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 tipo *unicast*: o mestre envia uma requisição para um escravo definido e este retorna uma mensagem-resposta ao mestre. Portanto, nesse modo são enviadas duas mensagens: uma requisição e uma resposta;
- Mensagem tipo *broadcast*: o mestre envia a requisição para todos os escravos, e não é enviada nenhuma respostas para o mestre (MORAIS; CASTRUCCI, 2007).

Existem dois modos de transmissão: ASCII (*American Code for Information Interchange*), onde cada *byte* de mensagem é enviado como 2 caracteres ASCII e RTU (*Remote Terminal Unit*) onde cada *byte* da mensagem é enviado como 2 caracteres hexadecimais de 4 *bits*, que são selecionados durante a configuração dos parâmetros de comunicação. Eles definem o conteúdo dos campos da mensagem transmitida serialmente.

As topologias físicas usadas pelo MODBUS são: Ponto a Ponto com RS-232 e Barramento Mutiponto com RS-485 (MELO, 2005a).

3.4.1 Tipos de Protocolo MODBUS

Os tipos de protocolo MODBUS são (figura 3.6):

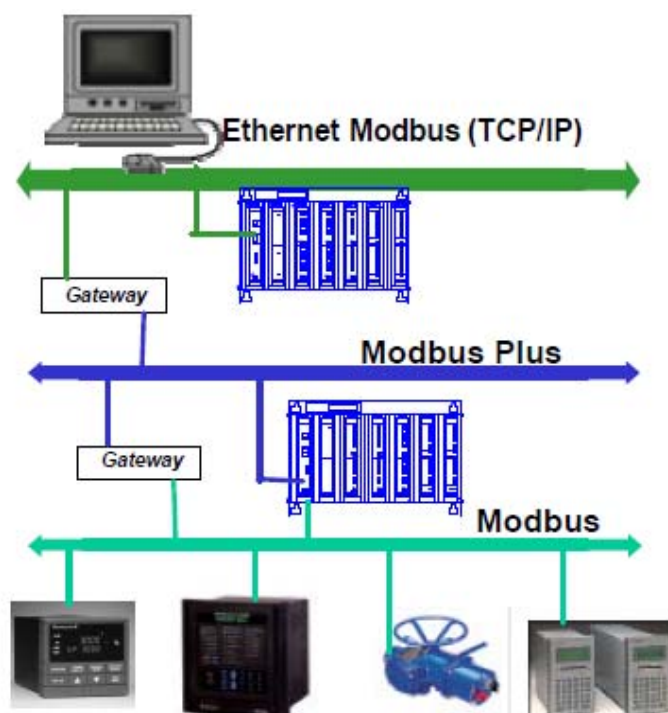


Figura 3.6 Tipos de protocolo MODBUS (MELO, 2005a).

O MODBUS TCP/IP é usado para comunicação entre sistemas de supervisão e controladores lógicos programáveis. O protocolo Modbus é encapsulado no protocolo TCP/IP e transmitido através de redes padrão Ethernet com controle de acesso ao meio por CSMA/CD.

O MODBUS PLUS é usado para comunicação entre de controladores lógicos programáveis, módulos de E/S, chaves de partida eletrônica de motores, interfaces 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*).

O MODBUS PADRÃO é usado para comunicação dos CLPs com os dispositivos de entrada e saída de dados, instrumentos eletrônicos inteligentes (IEDs) 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 (MELO, 2005a).

3.5 PROFIBUS - *PRO*cess *FI*eld *BUS*

PROFIBUS foi concebida a partir de 1987 em uma iniciativa conjunta de fabricantes, usuários e do governo alemão. A rede está padronizada através da norma DIN 19245 incorporada na norma europeia Cenelec EN 50170 (SEIXAS FILHO, 2004a) e também IEC61158 e IEC61784.

PROFIBUS é um padrão aberto de barramento de campo para uma larga faixa de aplicações em automação de fabricação e processos. Ele destaca-se por atuar nos diversos níveis do processo industrial: ambiente de fábrica, processo e gerência. Oferece características diversas de protocolos de comunicações, tais como:

- PROFIBUS DP (*Descentralized Peripheral*): é o mais usado dentre os protocolos, ele é caracterizado pela velocidade, eficiência e baixo custo de conexão. Foi projetado especialmente para comunicação entre sistemas de automação e periféricos distribuídos;
- PROFIBUS FMS (*Field Message Specification*): é um protocolo de comunicação geral para as tarefas de comunicações solicitadas. FMS oferece muitas funções sofisticadas de aplicações para comunicação entre dispositivos inteligentes;
- PROFIBUS PA (*Process Automation*): Este protocolo define os parâmetros e blocos de funções dos dispositivos de automação de processo, tais como transdutores de medidas, válvulas e IHM (*Interface Human Machine*) (PROFIBUS, 1999);
- PROFINet (*Profibus for Ethernet*): Comunicação entre CLPs e PCs usando Ethernet/TCP-IP;
- PROFISafe: para sistemas relacionados a segurança;
- PROFIDrive: para sistemas relacionados a controle de movimento.

Os meios de transmissão mais usuais são o RS485, RS485-IS, MBP e a Fibra Ótica (tabela 3.2).

O RS485 é o mais empregado. Utilizando um cabo de par trançado, possibilita transmissões até 12 *Mbits/s*. Usado quando grandes velocidades são necessárias. O RS485-IS é um meio de transmissão a 4 fios para uso em áreas explosivas.

O MBP (*Manchester code bus powered*) é um meio de transmissão usado em aplicações na automação de processo que necessitem de alimentação através do barramento e segurança intrínseca dos dispositivos.

A fibra ótica é utilizada em áreas com alta interferência eletromagnética ou onde grandes distâncias são necessárias.

Tabela 3.2 Comparação entre os meios de transmissão – (MORAIS; CASTRUCCI, 2007).

	MBP	RS485	RS485-IS	Fibra Ótica
Taxa de Transmissão	31,25 <i>Kbits/s</i>	9,6 a 12000 <i>Kbits/s</i>	9,6 a 1500 <i>Kbits/s</i>	9,6 a 12000 <i>Kbits/s</i>
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

O protocolo PROFIBUS utiliza tecnologia de comunicação mestre-escravo, podendo ser mono (figura 3.7) ou multimestre (figura 3.8). Caso seja utilizada a tecnologia multimestre, o acesso ao barramento é feito através da técnica de *token* entre os mestres. 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 *slaves*, o que diminui o tempo de resposta na comunicação (MORAIS; CASTRUCCI, 2007).

Comunicação Mestre e Escravo

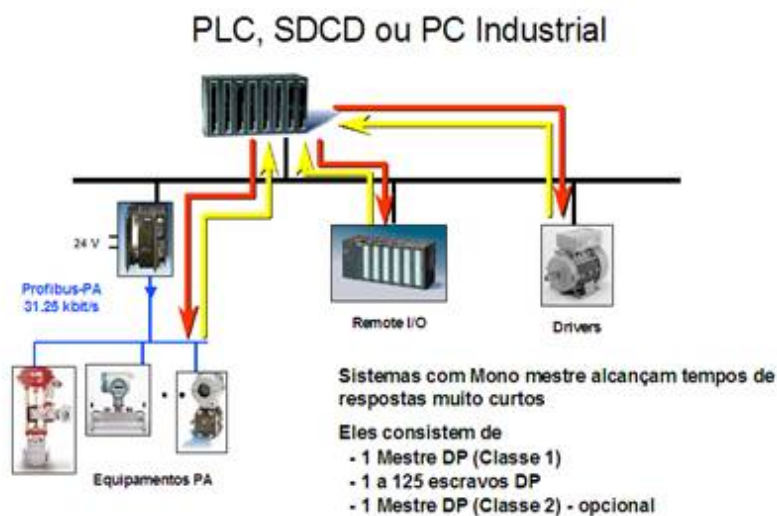


Figura 3.7 – Comunicação Mestre-Escravo (SMAR, 2004).

Comunicação Multi-mestre

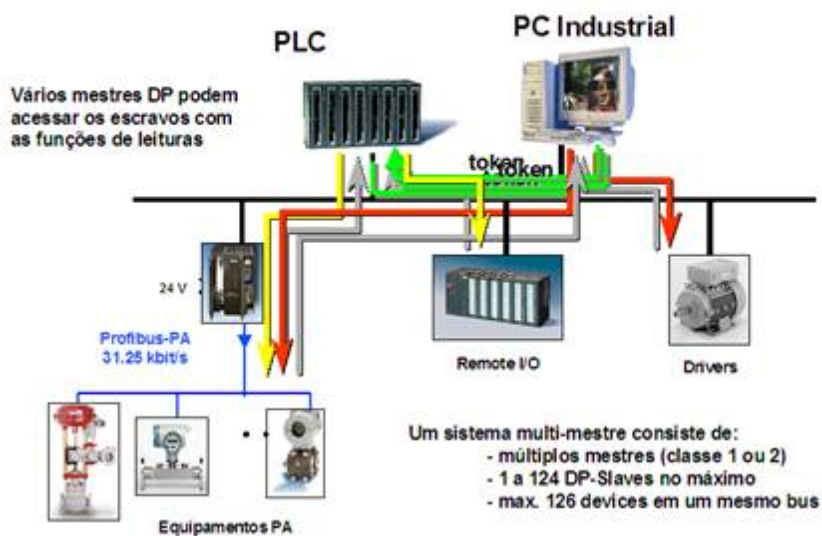


Figura 3.8 – Comunicação Multi-Mestre (SMAR, 2004).

3.6 FOUNDATION Fieldbus

Foundation Fieldbus (FF) é um padrão aberto que engloba diversas tecnologias aplicadas no controle de processos e automação industrial, tais como: processamento distribuído, diagnóstico avançado e redundância. É um sistema heterogêneo distribuído, composto por *softwares* de configuração e supervisão, equipamentos de campo, interfaces de comunicação e supervisão, fontes de alimentação pela própria rede que os interconecta. Uma das funções dos equipamentos de campo é executar a aplicação de controle e supervisão do usuário que foi distribuída pela rede. Essa é a grande diferença entre FF e outras tecnologias como Hart ou Profibus, que dependem de um controlador central para executar os algoritmos Foundation Fieldbus (PERES FILHO; MATA, 2009).

O Foundation Fieldbus mantém muitas das características operacionais do sistema analógico 4-20 mA, tais como uma interface física padronizada da fiação, os dispositivos alimentados por um único par de fios e as opções de segurança intrínseca, mas oferece uma série de benefícios adicionais aos usuários (SMAR, 2008).

Este protocolo, que segue o padrão IEC 61158, apresenta dois tipos de aplicação: H1 e HSE.

O FF H1 é uma rede de transmissão de dados em tempo real para comunicação com equipamentos de instrumentação e controle de plantas industriais, tais como transmissores atuadores e controladores, podendo, inclusive, ser utilizado em aplicações que requeiram especificações quanto aos requisitos de segurança intrínseca. Possui taxa de transmissão de 31,25 Kbits/s e interconecta dispositivos de campo (SOUZA, 2004).

A rede FF HSE (*High Speed Ethernet*) é uma rede de transmissão que trabalha a 100Mbits/s e fornece integração de controladores de alta velocidade (CLPs), servidores, subsistemas FF HI (via dispositivos de acoplamento) e estações de trabalho (MORAIS; CASTRUCCI, 2007).

São características marcantes:

- Segurança intrínseca para uso em áreas perigosas, com alimentação e comunicação pelo mesmo par de fios;
- Topologia em barramento ou em árvore (figura 3.9), com suporte a múltiplos mestres no barramento de comunicação;
- Comportamento previsível (determinístico), mesmo com redundância em vários níveis;
- Interfaces padronizadas entre os equipamentos, o que facilita a interoperabilidade;

- Modelamento de aplicações usando linguagem de blocos funcionais;
- Recomendado o uso de cabos STP desenvolvidos especialmente para o protocolo (SMAR, 2008).

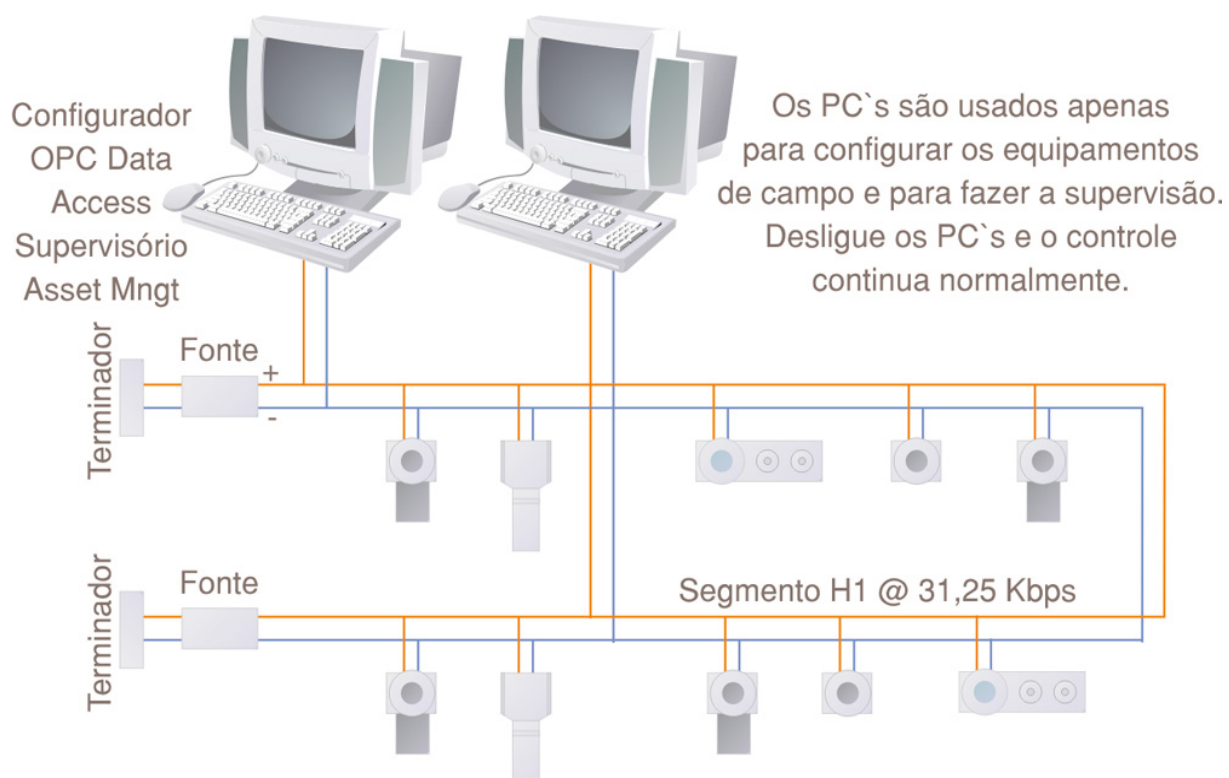


Figura 3.9 - Topologia típica de instalação FF (PERES FILHO; MATA, 2009).

Sobre o endereçamento, cada nó deve possuir somente um endereço. O endereço de nó é o endereço atual que o segmento está utilizando para o dispositivo. Cada dispositivo deve possuir um *tag* de endereço físico único e seu correspondente endereço de rede (MORAIS; CASTRUCCI, 2007).

3.7 DEVICENET

Desenvolvido pela Allen-Bradley, uma empresa do grupo *Rockwell Automation*, em 1994, é uma rede para o nível operacional e baseia-se no protocolo CAN (*Controler Area Network*) o qual apresenta boa velocidade de resposta e elevada confiabilidade. Tornou-se um protocolo aberto com a criação da *Open DeviceNet Vendors Association (ODVA)*. Permite conectar dispositivos industriais (sensores de posição, sensores fotoelétricos, interfaces homem-máquina etc.) a uma rede permitindo, portanto, a comunicação entre dispositivos e o diagnóstico de falhas (figura 3.10). A transferência de dados se dá segundo o modelo produtor consumidor.

Apresenta como vantagens a possibilidade de remover e substituir equipamentos em redes energizadas e sem um aparelho de programação ou ainda a possibilidade de fornecer a alimentação aos equipamentos através do próprio cabo de rede.

As características da rede DeviceNet podem ser vistas na tabela 3.3:

Tabela 3.3 – Características da DeviceNet.

Número de Nós	No máximo 64	
Comprimento da Rede	Taxa de Comunicação	Distância Máxima
	125 Kbps	500m
	250 Kbps	250m
	500 Kbps	100m
Tamanho do pacote de dados	0 a 8 bytes	
Topologia	Linha tronco com derivações, mas somente com configurações lineares	
Método de Acesso	Ponto a ponto com <i>multicast</i> ; mestre(s) e escravo	
Algoritmos de Acesso	<i>Polling</i> , Cíclico e Mudança de Estado	
Meio Físico	Barramentos separados de par trançado para a distribuição de sinal e de alimentação (24VCC), ambos no mesmo cabo	

Suas principais vantagens são: baixo custo, grande aceitação no mercado, alta confiabilidade, uso eficiente da rede e energia elétrica disponível na rede. Suas desvantagens são comprimento máximo, limite do tamanho da mensagem e limite de largura de banda.

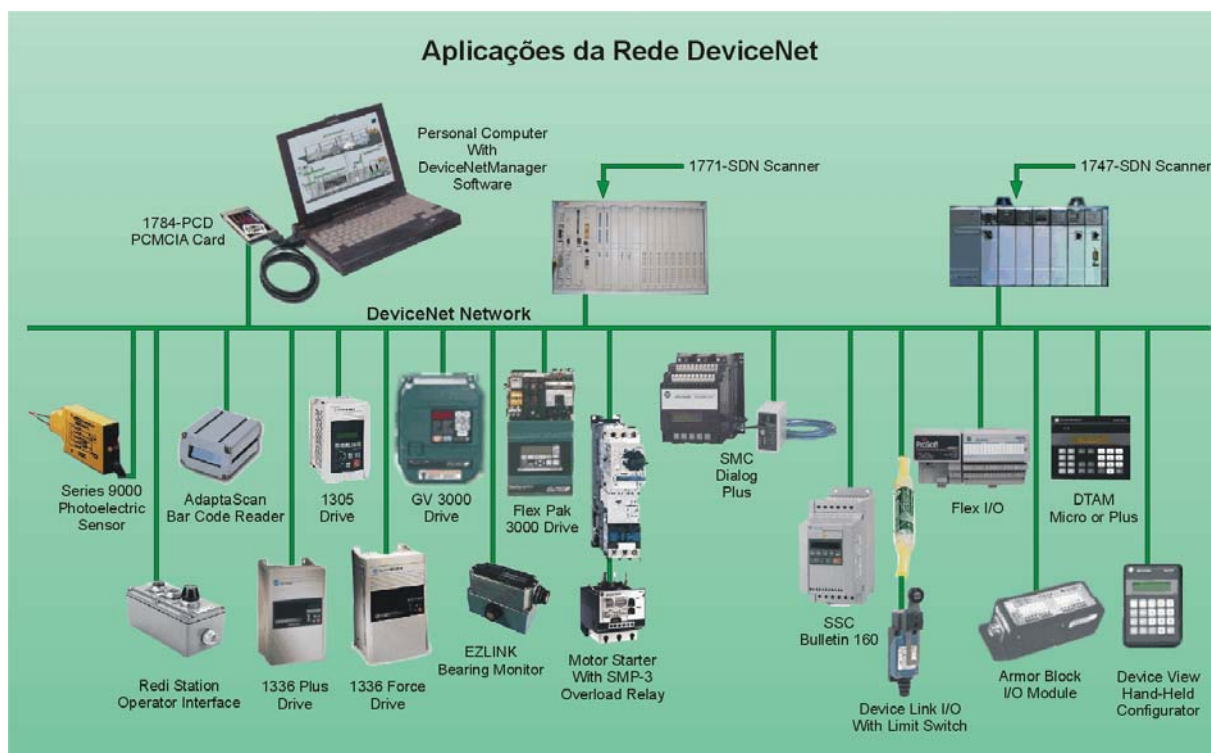


Figura 3.10 Aplicações da Rede DeviceNet (SEIXAS FILHO, 2004b).

A colocação da fonte de alimentação também segue uma série de regras. Eis aqui alguns princípios gerais a serem observados para melhorar o posicionamento da fonte:

- Mover a fonte de alimentação na direção da seção sobrecarregada;
- Mover as cargas de corrente mais alta para mais próximo da fonte;
- Transferir os dispositivos de seções sobrecarregadas para outras seções;
- Diminuir o comprimento dos cabos (SEIXAS FILHO, 2004b).

A corrente máxima suportada pela fonte, em um dado segmento, é função do comprimento máximo do segmento e deve obedecer à tabela 3.4:

Tabela 3.4 Comprimento do segmento x corrente máxima da fonte (SEIXAS FILHO, 2004b).

	Cabo Grosso	Cabo Chato		Cabo Grosso	Cabo Chato
Comprimento da rede (m)	Corrente Máxima (A)	Corrente Máxima (A)	Comprimento da rede (m)	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	----

3.8 CONTROLNET

A rede ControlNet também foi desenvolvida pela Allen-Bradley (uma empresa do grupo Rockwell *Automation*) em 1995 e o protocolo tornou-se aberto em 1996 controlado pela ControlNet International, que mantém e distribui a especificação ControlNet e gerência os esforços de *marketing* dos membros associados.

As 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 (SOUZA, 2005).

Trata-se de uma rede para o nível de controle, com transferência de dados em tempo real, provendo transportes de dados críticos de E/S e mensagens, incluindo o *upload* e *download* de programação e configuração de dispositivos (MELO, 2005b).

Algumas das características da ControlNet estão na tabela 3.5:

Tabela 3.5 Características da 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 <i>bytes</i>
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

Meios físicos mais comuns são: Cabo coaxial RG 6/U 75 W com conector BNC (figura 3.11) e fibra ótica.



Figura 3.11 Cabo Coaxial (MELO, 2005b).

Em relação ao modo de envio de dados, as conexões possuem dois tipos:

- Não Agendadas (*Unscheduled*): dados enviados pelo usuário do programa ou pela interface homem/máquina por solicitação em demanda. Essa conexão é fechada quando não utilizada por um determinado intervalo de tempo;
- Agendada (*Scheduled*): dados são enviados repetidamente em taxas configuradas e predeterminadas. Essa conexão permanece aberta enquanto o gerador da conexão estiver ativo (MORAIS; CASTRUCCI, 2007).

ControlNet utiliza o protocolo de acesso ao meio denominado de *Concurrent Time Domain Multiple Access* (CTDMA), onde as informações críticas são enviadas durante a parte agendada do intervalo da rede (MORAIS; CASTRUCCI, 2007). A largura do intervalo de acesso a rede é selecionado pelo usuário através da seleção de um parâmetro chamado NUT (*Network Update Time*). Este parâmetro tem valor mínimo de 2ms (MELO, 2005b).

3.9 INDUSTRIAL ETHERNET

A rede Ethernet foi desenvolvida pela Xerox no seu Centro de Pesquisa Palo Alto (PARC) nos anos 70. É uma rede mundialmente utilizada para a conexão de computadores pessoais e foi um grande desafio levar a Ethernet para a indústria e torná-la uma das redes de maior crescimento no setor.

Além disso, o padrão Ethernet é um dos mais populares e difundidos nas redes corporativas instaladas atualmente. Ao contrário dos protocolos industriais como MODBUS e PROFIBUS que são determinísticos, no padrão Ethernet ocorrem colisões de dados na rede, tornando o tempo de resposta não determinístico. Isto, do ponto de vista de automação, não é recomendável, pois a falta de definição do tempo de resposta de uma informação pode comprometer o desempenho do sistema que está sendo controlado (BOARETTO, 2005).

O protocolo Ethernet não foi concebido para aplicações em automação industrial, não apresentando algumas características desejáveis em ambientes de controle em tempo real, como determinismo e segurança na transmissão dos dados. No entanto, Ethernet é provavelmente a tecnologia de rede mais difundida, que permite uma grande escala de produção e disponibilidade, e, por consequência, baixo custo, tornando-se uma alternativa bastante atrativa para interconexão de dispositivos de automação.

A rede Ethernet passou por uma longa evolução nos últimos anos se constituindo na rede de melhor faixa e desempenho para uma variada gama de aplicações industriais (figura 3.12). A Ethernet foi inicialmente concebida para ser uma rede de barramento *multidrop* (10Base 5) com conectores do tipo vampiro (*piercing*), mas este sistema mostrou-se de baixa praticidade. A evolução se deu na direção de uma topologia estrela com par trançado. As velocidades da rede cresceram de 10 *Mbps* para 100 *Mbps* e agora alcançam 1 *Gbps* (IEEE802.3z ou *Gigabit Ethernet*). A outra evolução se dá no uso de *hubs* inteligentes com capacidade de comutação de mensagens e no uso de cabos *full duplex* em substituição aos cabos *half duplex* mais comumente utilizados. Isto faz com que a rede se torne determinística e reduzem a probabilidade de colisão de dados. (SEIXAS FILHO, 2003b).

Ainda segundo SEIXAS FILHO (2003b), os seguintes fatores contribuíram para a construção de uma rede Ethernet industrial:

- Uso de *switches* (dispositivos utilizados em redes para reencaminhar *frames* entre os diversos nós) para evitar a arbitragem de barramento;
- Uso de canais dedicados de 10 *Mbps* a 10000 *Mbps*;

- Padrão IEEE802.1p/Q que acrescenta campos de prioridade e de *Quality of Service* (QoS) ao *frame* Ethernet tradicional;
- Canal *full duplex* para eliminar colisões;
- Rede *Fast Ethernet* no *backbone* levando a velocidade a até 200 Mbps.

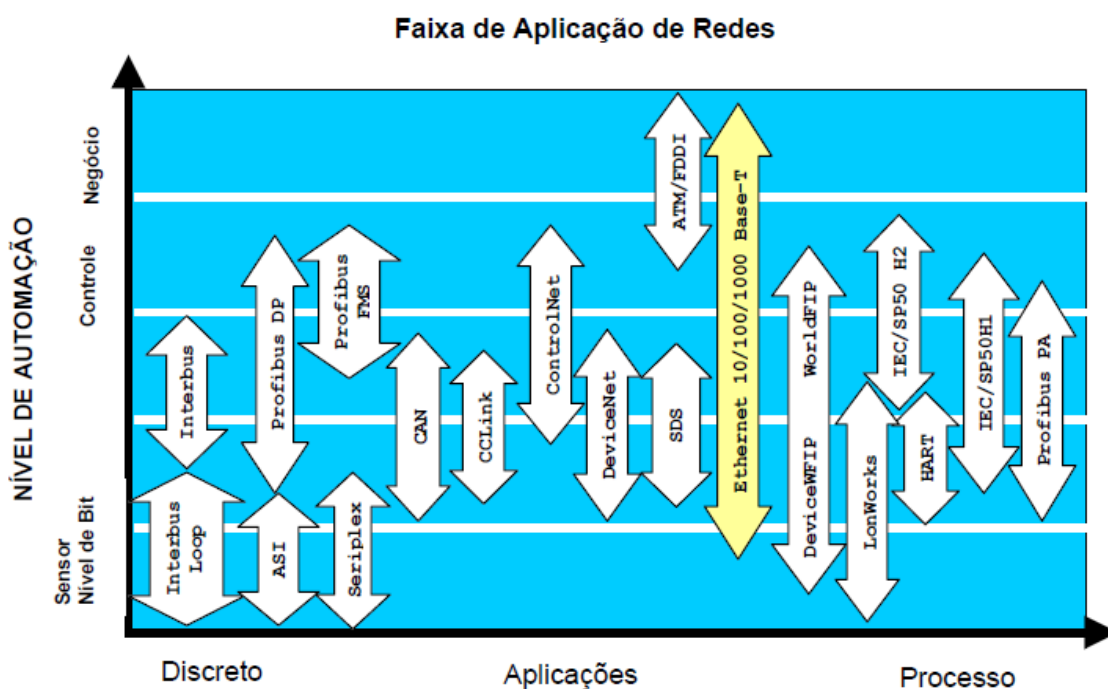


Figura 3.12 Ethernet e faixa de aplicação das redes de campo,

Algumas características da rede Ethernet podem ser vistas na tabela 3.6.

Tabela 3.6 Características da Ethernet.

Número de Nós	2^{11} ou 2^{29} em modos estendidos	
Taxa de Transmissão	10 Mbit/s , 100Mbit/s e 1 Gbit/s	
Comprimento da rede	Variável de acordo com o cabeamento utilizado.	
	Tipo	Comprimento
	10Base5	500m
	10Base2	200m
	10BaseT, 100BaseTx	100m
	Fibra Ótica mono modo com <i>switches</i>	Até 50 km
Conectores	RJ45 ou coaxiais	
Tamanho do Pacote de Dados	Até 1500 bytes	
Topologia	Barramento ou estrela	
Tecnologia de Comunicação	Ponto-a-Ponto	
Alimentação dos dispositivos	Alimentação dos dispositivos é externa	
Algoritmo de acesso ao meio	CSMA/CD	

Algumas organizações desenvolveram a partir dos seus protocolos níveis de aplicação para Ethernet TCP/IP. Presentemente, os mais conhecidos são:

- Modbus/TCP (Modbus sobre TCP/IP);
- EtherNet/IP (ControlNet/DeviceNet sobre TCP/IP);
- Foundation Fieldbus High Speed Ethernet;
- Profinet (Profibus sobre Ethernet) (BORGES, 2007).

A falta de padronização não permite que haja interoperabilidade entre as diferentes redes, ou seja, não há possibilidade comunicação direta entre estas. Desta forma, um usuário que possua duas ou mais redes industriais, tem dificuldades para trocar informações de uma rede para outra, além do custo adicional para aquisição de peças e cabos sobressalentes, *softwares* de configuração/manutenção e treinamentos para seus técnicos para cada rede existente (SHIRASUNA, 2005).

Alguns motivos para a abrangência do mercado de Ethernet é que ele conta com as seguintes vantagens:

- Plataforma aberta e realmente global;
- Tecnologia acessível e de fácil compreensão;
- Segurança, velocidade e confiabilidade garantida pela evolução da própria informática;
- Dados disponíveis em qualquer sistema operacional;
- Acesso às informações da planta via redes públicas e redes privadas;
- Diversidade de serviços disponíveis para melhor desempenho;
- Inúmeros equipamentos disponíveis de diversos fabricantes (FERNANDES, 2003).

O potencial da Ethernet Industrial extrapola sua utilização como rede de comunicação. Mais do que o mero emprego de uma tecnologia de rede local de Tecnologia da Informação (TI) na área industrial, a Ethernet possibilita a utilização de vários protocolos usados na Internet (TCP/IP, http, SNMP, etc.) o que mudou drasticamente a maneira como se lida com as informações no chão de fábrica (SHIRASUNA, 2005).

Segundo ERIKSSON, COESTER e HENNIG (2006), o padrão Ethernet Industrial terá uma grande fatia do mercado, mas não deverá substituir os barramentos de campo tradicionais. Não existem razões técnicas para esta substituição e sob o ponto de vista de custo, a Ethernet é cara para aplicações onde é exigido determinismo.

3.10 WIRELESS

A rede *wireless* (*wire* = fio, *less* = sem) é um sistema de transmissão de dados flexível que pode ser utilizado como alternativa para as redes cabeadas. É uma tecnologia que permite a conexão entre equipamentos sem uma conexão física. As redes locais sem fio são baseadas no padrão 802.11, especificado pelo *Institute of Electrical and Electronics Engineers* (IEEE), e compostas de um conjunto de estações que trocam informações, utilizando a propagação das ondas eletromagnéticas. Entretanto, equipamentos de comunicação de dados *wireless* podem utilizar-se também de luz infravermelha ou laser, apesar das ondas de rádio (eletromagnéticas) ser o meio mais difundido.

Toda a comunicação sem fio é baseada no seguinte princípio: quando os elétrons se movem, criam ondas eletromagnéticas que podem se propagar através do espaço livre. O número de oscilações por segundo de uma onda eletromagnética é chamado de frequência que é medida em Hz. Quando se instala uma antena com o tamanho apropriado, as ondas eletromagnéticas podem ser transmitidas e recebidas com eficiência por receptores localizados a uma distância que depende de vários fatores, como por exemplo: frequência, potência do transmissor, etc. (TANENBAUM, 1997).

O primeiro padrão, chamado de IEEE 802.11 foi publicado em 1997. Este apenas serviu de base para padrões posteriores, sendo que atualmente nem se fabricam mais produtos compatíveis com tal tecnologia (SANCHES, 2005).

Dois anos mais tarde, em 1999, a IEEE efetuou algumas mudanças na camada física e lançou a especificação 802.11b, concebida com o objetivo de atender a necessidade de maior velocidade de transmissão imposta pelo mercado.

No mesmo ano surgiu a especificação 802.11a, a qual teve como principal característica o aumento da velocidade para um máximo de 54 *Mbps*, além da alteração da frequência para a faixa de 5 GHz, menos suscetível a interferências (ROSNAM; LEARY, 2003).

Embora o padrão 802.11a seja semelhante ao 802.11b, não é compatível com este, uma vez que utiliza uma banda diferente no espectro de frequências (ENGST; FLEISHMAN, 2005).

Entretanto, a idéia de conseguir taxas próximas a 54 *Mbps* animava a utilização do padrão 802.11a (ENGST; FLEISHMAN, 2005). Com esse intuito foi aprovado, em 2003, o padrão 802.11g, o qual mantinha total compatibilidade com o padrão 802.11b por operar na mesma faixa de frequência (2.4 GHz) e ainda transmitia a taxa máxima de 54 *Mbps*, idêntico ao padrão 802.11a (ROSNAM; LEARY, 2003).

A tabela 3.7 aponta as principais características e diferenças entre os padrões *wireless*.

Tabela 3.7 Características dos padrões (Adaptado de ENGST, FLEISHMAN, 2005).

Padrão	Frequência	Velocidade Máxima	Tendência de adoção
802.11b	2,4 GHz	11 Mbps	Diminuindo em computadores, avançando na eletrônica mais barata.
802.11a	5GHz	54Mbps	Empresas adotando lentamente, sem consumidores.
802.11g	2,4 GHz	54 Mbps	Avançando em todos os segmentos.

Embora diversos barramentos de dados estejam presentes em um ambiente industrial, as conexões *wireless* são uma opção bastante interessante. Mesmo sem a necessidade de obras de infra-estrutura, a facilidade de alteração de *layout* sem preocupação com cabeamento e a alta taxa de transferência de dados possibilitada pela tecnologia *wireless* são fatores que devem ser considerados (CUNHA, 2006/2007).

O uso de comunicação sem fio já é utilizada em aplicações industriais em função das seguintes vantagens sobre os sistemas convencionais:

- Mobilidade e liberdade de movimento;
- Sem desgaste mecânico do meio de transmissão;
- Instalação e colocação em funcionamento rápida e fácil;
- Alta flexibilidade com poucas alterações na instalação;
- Integração simples de dispositivos na rede;
- Ultrapassar “territórios problemáticos”.

Ou seja, ela pode e deve ser usada todas as vezes em que o custo de passagem de cabos e dos sistemas associados ao mesmo sejam mais altos que os custos do sistema *wireless* correspondente.

As diferenças relevantes na forma de utilização da tecnologia *wireless* em ambiente industrial estão associadas a:

- Distância a ser coberta pelo sistema;
- Quantidade de dados trafegando por unidade de tempo (largura de banda);

- Taxa de atualização de informação requerida pelo processo (tempo de ciclo);
- Atraso máximo aceito do momento em que uma informação está disponível em um ponto do sistema até que ela esteja presente no seu destino (tempo de latência) (COZZO, 2008).

De acordo com MATA (2006) existem algumas tecnologias que se encaixam no perfil citado, e entre elas as mais interessantes são: Wireless Ethernet, Zigbee, Bluetooth e HART Wireless.

IEEE 802.11b Wi-Fi: Atualmente, este é o padrão para as redes locais sem fio (Wireless LAN). Usa a faixa de 2,4 GHz e pode transmitir Ethernet em taxas relativamente altas (> 10 Mbps). Esse padrão foi desenvolvido para as redes comerciais, domésticas e corporativas. Sendo assim, Wi-Fi não é adequado para os ambientes industriais pela sua susceptibilidade às interferências eletromagnéticas e pela distância limitada (< 50 m). Com o uso de antenas apropriadas é possível chegar a mais de 100 m, mas a cobertura não é omnidirecional.

IEEE 802.15.1 Bluetooth: Esse padrão foi desenvolvido especificamente para conectar computadores pessoais, telefones celulares e outros periféricos tais como câmeras e fones de ouvido. Bluetooth também usa a faixa de 2,4 GHz mas com velocidades inferiores ao Wi-Fi, sendo dessa forma menos vulnerável às interferências. Novamente, a distância alcançada compromete algumas das aplicações industriais (< 30 m para classe 2 e < 100 m para classe 1).

IEEE 802.15.4 ZigBee: Desenvolvido originalmente para aplicações em aquecimento, ventilação e condicionadores de ar (HVAC) como uma alternativa ao uso do Bluetooth. Esse padrão preza pelo baixo consumo, o que confere maior autonomia para equipamentos alimentados por baterias. Além disso, foi desenvolvido para ser embarcado diretamente nos sensores e atuadores. Sua camada física possui também melhores características para operação em temperaturas extremas. Opera em taxas mais baixas, sendo bem mais robusto contra interferências no sinal que o Wi-Fi e o Bluetooth. Contudo, devido à baixa potência empregada pelos seus transmissores, a distância também é limitada pouco mais de 100m.

A tabela 3.8 compara resumidamente as três principais tecnologias-padrão que estão sendo usadas atualmente nas aplicações *wireless* industriais e comerciais. É possível observar que estas são tecnologias complementares ao invés de competir entre si, cada uma se presta a diferentes objetivos.

Tabela 3.8 Principais tecnologias sem fio para automação (MATA, 2006).

Norma IEEE (nome de mercado)	802.15.1 (Bluetooth)	802.11b (Wi-Fi)	802.15.4 (ZigBee)
Aplicação principal	Eliminar a fiação atual	Internet, e-mail, multimídia	Controle e monitoração
Frequência de operação	2,4 GHz	2,4 GHz	2,4 GHz
Taxa de comunicação (Kbps)	1000-3000	11000	20-250
Distâncias alcançadas com visada direta (m)	30 (Classe 2) 100+ (Classe 1)	100+(antenas direcionais)	30-70, 100+ (com amplificador externo)
Número de equipamentos	7	32	2*64
Autonomia da bateria (dias)	1-7	0,5-5	100-1000+
Consumo na transmissão	45mA (Classe 2) <150mA (Classe 1)	300 mA	30 mA
Conveniência para controle e supervisão aplicações industriais	Baixa (Boa média mas conexão inicial lenta)	Baixa (Taxa alta mas conexão inicial lenta)	Boa (Bom compromisso entre taxa e custo de conexão)
Tecnologia de espalhamento espectral	FHSS	DSSS	DSSS
Tamanho do firmware (KB)	50+	70+	40
Vantagens relativas	Custo, Flexibilidade	Velocidade, Flexibilidade	Potência, Custo

O padrão Hart Wireless: O protocolo HART é de longe o mais conhecido e utilizado na automação industrial para o controle de processos. Ele permite que um sinal digital modulado em FSK seja subreposto ao sinal convencional de 4-20 mA, trafegando dados em modo *half-duplex* a uma taxa de 1200 bps.

Pela sua fácil integração aos sistemas de controle e facilidade de uso tornou-se um padrão mundial na indústria. Apesar do crescimento de tecnologias como FOUNDATION Fieldbus e Profibus PA, quando o assunto é controle de processos contínuos, mais de 70% de todos os instrumentos instalados ao redor do mundo ainda são 4-20 mA + HART (MATA 2006).

Essa é a principal razão pela qual a HART Communication Foundation (HCF), sediada nos EUA, lançou em 2004 o desafio de criar um padrão sem fio para comunicação HART. O resultado esperado é uma tecnologia confiável que garanta interoperabilidade entre os produtos e novas alternativas de conectividade para a instrumentação industrial.

O protocolo HART é um bom candidato para os padrões emergentes sem fio, pois não exige altas taxas de comunicação e nem um controle tão preciso das latências na camada física. (MATA, 2006).

4 PADRÃO OPC (*OLE for Process Control*)

OPC significa OLE para Controle de Processos. Baseado nas tecnologias Microsoft OLE COM (*Component Object Model*) e DCOM (*Distributed Component Object Model*), o OPC é um conjunto comum de interfaces, métodos e propriedades de comunicação, agregados dentro de uma especificação padronizada e aberta para acesso público. Teoricamente, qualquer pessoa com conhecimentos de programação pode desenvolver seus aplicativos OPC, basta acessar as especificações contidas no *web site* da OPC Foundation e desenvolver uma interface compatível (PUDA, 2008).

Basicamente, o padrão OPC estabelece as regras para que sejam desenvolvidos sistemas com interfaces padrões para comunicação dos dispositivos de campo (CLPs, sensores, etc.) com sistemas de monitoração, supervisão e gerenciamento (SCADA, MES, ERP, etc.) (FONSECA, 2002). Sendo um padrão aberto, o OPC separa os sistemas das dificuldades de comunicação, criando uma camada única e padronizada que permite a fácil integração de diversos sistemas (PUDA, 2008).

OPC surgiu como uma simples resposta aos *drivers* de comunicação proprietários e acabou por se tornar um padrão altamente difundido na indústria. Com o OPC é possível criar uma camada de comunicação padronizada, que integra facilmente todas as informações industriais (PUDA, 2008).

O padrão OPC, conforme o próprio nome indica, é uma aplicação da tecnologia OLE tendo em vista as necessidades da indústria de controle de processos. O objetivo fundamental da tecnologia OPC é prover uma infra-estrutura única, na qual a informação possa ser universalmente compartilhada. Além disso, as seguintes diretrizes nortearam seu desenvolvimento:

- Simplicidade de implementação: o padrão é, à medida do possível, simples e pouco restritivo;
- Flexibilidade: há interesse em se endereçar as necessidades de vários segmentos da indústria;
- Alta funcionalidade: procura-se incluir o máximo de funcionalidade possível na especificação, sem conflito com os demais objetivos;
- Operação eficiente: embora a simples compatibilidade com o padrão OPC não garanta clientes ou servidores altamente eficientes, nada na especificação impede o

desenvolvimento de *softwares* com essa característica (SOUZA; SEIXAS FILHO; PENA, 1998).

O funcionamento do OPC é baseado na tradicional arquitetura cliente-servidor, conforme a figura 4.1.



Figura 4.1 Arquitetura cliente-servidor do OPC (PUDA, 2008).

O funcionamento desta solução é simples: um ou mais servidores fornecem dados para uma ou mais aplicações cliente.

O interessante do OPC é que uma aplicação cliente pode solicitar dados a um ou mais servidores OPC, e o inverso também é verdadeiro, um servidor OPC pode transferir dados a um ou mais clientes OPC. Portanto, fica claro que o OPC possibilita uma variedade enorme de comunicações, basta que os aplicativos sejam compatíveis com OPC. É importante ressaltar que o OPC não elimina o protocolo proprietário do CLP ou equipamento de campo. O que acontece é que o servidor OPC “traduz” este protocolo proprietário para o padrão OPC. Portanto é necessário o desenvolvimento de um servidor OPC específico para cada um dos diferentes protocolos de comunicação existentes (PUDA, 2008).

Três tipos de acesso aos dados são definidos na especificação OPC: leitura e escrita síncronas, leitura e escrita assíncronas, e atualização enviada pelo servidor. Leitura e escrita síncronas, conforme o próprio nome indica, são executadas imediatamente pelo servidor, e só retornam para o cliente após completar a operação. Há dois tipos de acesso diferentes: ao *cache* normalmente mantido pelo servidor, ou diretamente ao dispositivo. Neste último modo as operações síncronas podem comprometer seriamente o desempenho do sistema, pois cliente e servidor ficam bloqueados enquanto o dispositivo físico é acessado. Operações assíncronas são mais eficientes, pois o cliente é imediatamente liberado após fazer a requisição, a qual o servidor pode processar da forma mais conveniente. Satisfeito o pedido, o servidor envia de volta ao cliente os resultados em uma única chamada de retorno. O terceiro tipo de acesso, baseado em mecanismo padrão OLE, permite ao cliente requisitar ao servidor que lhe envie,

de forma periódica ou por exceções, mensagens atualizando um determinado conjunto de valores (SOUZA; SEIXAS FILHO; PENA, 1998).

De acordo com a OPC FOUNDATION (2006), o padrão OPC tem as principais funcionalidades:

- OPC Common Definitions and Interfaces fornece e descreve definições, interfaces e serviços comuns a todas especificações (versão 1.00);
- OPC Data Access (DA) principal especificação do OPC fornece a funcionalidade de transferência de dados de tempo real e contínua de CLPs, SDCDs e outros, para IHMs, sistemas supervisórios e similares (versão 3.00);
- OPC Alarms & Events (AE) fornece notificações de alarmes e eventos sob demanda, como alarmes de processo, ações do operador, auditoria, etc. (versão 1.10);
- OPC Historical Data Access (HDA) fornece mecanismos consistentes e uniformes de acesso a dados de histórico já armazenados (versão 1.20);
- OPC Batch traz a filosofia do OPC às aplicações de processamento em batelada (*batch processing*), permitindo mecanismos de troca de informações e condições operacionais atuais em equipamentos que implementam este tipo de controle. É uma extensão da OPC-DA (versão 2.00);
- OPC Data eXchange (DX) é uma extensão do OPC-DA, e fornece mecanismos para troca de dados entre diferentes servidores OPC-DA através de redes de campo heterogêneas, incluindo serviços de configuração, diagnóstico, monitoração e gerenciamento remotos (versão 1.00);
- OPC Security fornece mecanismos de controle de acesso a informações de processo e proteção contra modificações não autorizadas de parâmetros do mesmo (versão 1.00);
- OPC XML-DA (XMLDA) é a extensão da OPC-DA, fornece mecanismos consistentes e flexíveis para apresentação dos dados de chão de fábrica usando a linguagem XML, permitindo sua apresentação em navegadores *web* via Internet/Intranet (versão 1.01);
- OPC Complex Data é outra extensão da OPC-DA, permite aos servidores a descrição e representação de formatos de dados mais complexos, tais como estruturas binárias, *arrays* e outros. Vem sempre associada à DA ou à XMLDA (versão 1.00).

Segundo FONSECA (2002), a publicação das especificações para o padrão OPC possibilitou o desenvolvimento de diversos produtos para automação industrial, os quais se beneficiam das vantagens proporcionadas pelo padrão:

- Padronização das interfaces de comunicação entre os servidores e clientes de dados de tempo real, facilitando a integração e manutenção dos sistemas;
- Eliminação da necessidade de *drivers* de comunicação específicos (proprietários);
- Melhoria do desempenho e otimização da comunicação entre dispositivos de automação;
- Interoperabilidade entre sistemas de diversos fabricantes;
- Integração com sistemas MES, ERP e aplicações Windows (Excel, etc.);
- Redução dos custos e tempo para desenvolvimento de interfaces e *drivers* de comunicação, com consequente redução do custo de integração de sistemas;
- Facilidade de desenvolvimento e manutenção de sistemas e produtos para comunicação em tempo real;
- Facilidade de treinamento.

A arquitetura do padrão OPC contém dois tipos de interfaces: a interface OPC *Custom* e a OPC *Automation*. Interfaces OPC *Custom* são projetadas para serem utilizadas com linguagens de programação que empregam ponteiros, como C/C++, enquanto que, para linguagens mais simples, como Visual Basic, Delphi e VBA, devem ser utilizadas as interfaces OPC *Automation*. Nestas últimas existe um componente a mais no servidor OPC, chamado *Automation Wrapper*, que encapsula e gerencia as chamadas entre as linguagens sem ponteiros e a interface OPC *Custom*, conforme apresentado na figura 4.2.

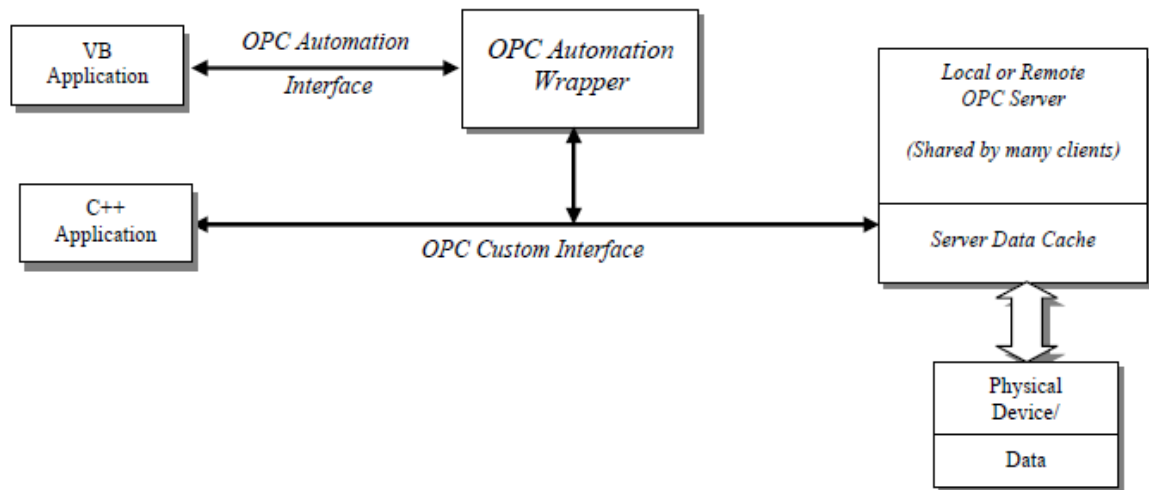


Figura 4.2 Típica Arquitetura OPC (OPC FOUNDATION, 1998).

É necessário salientar que clientes e servidores OPC são programas separados. O Servidor OPC responde aos comandos do Cliente OPC e assim:

➤ Cliente OPC:

- Pode ser um aplicativo autônomo;
- Pode ser parte de um sistema;
- Pode ser um módulo de um aplicativo;
- Pode trocar dados com um ou mais servidores OPC.

➤ Servidor OPC:

- Pode ser um aplicativo autônomo ou pode ser um módulo de um aplicativo;
- Inclui um ou mais *driver(s)* de comunicação;
- Pode trocar dados com um ou mais clientes OPC;
- Pode estar no mesmo computador do cliente OPC;
- Pode estar em computador em rede com o cliente OPC (MELO, 2007).

5 SISTEMAS PARA GERÊNCIA DE INFORMAÇÃO INDUSTRIAL

O desenvolvimento de *software* para automação industrial foi grandemente impulsionado pela adoção dos protocolos digitais, tanto sob a forma de *software* embarcado, dada a necessidade de *drivers* de comunicação para os dispositivos, quanto de ferramentas de *software* para supervisão, controle, calibração e configuração remota de instrumentos de campo. Surgiu também a oportunidade de criação de programas para tratamento da grande quantidade de dados que passou a ser transmitida do campo para a sala de controle, bem como para geração de informações úteis para outros setores da empresa. (GUTIERREZ; PAN, 2008).

Os sistemas de gerência de informação industrial, que são englobados com o termo geral de *Enterprise Production Systems* (EPS), onde estão incluídos os *Plant Information Management System* (PIMS) e os *Manufacturing Execution Systems* (MES) atuam como um “intermediário” entre o chão-de-fábrica e os sistemas corporativos de gestão da planta, *Enterprise Resource Planning* (ERP), responsáveis pela transformação desses dados em informações de negócio. Apesar de serem responsáveis, em suma, pela coleta e disponibilização de dados do chão-de-fábrica, eles são diferentes, isto é, desempenham diferentes papéis nesse contexto, embora, segundo CARVALHO (2003), alguns sistemas comerciais de PIMS e MES hoje disponíveis no mercado apresentem, de forma “errônea”, algumas sobreposições funcionais, o que cria dificuldades adicionais posteriores de integração e mesmo de compreensão dos conceitos.

5.1 MES - Sistema de Execução da Manufatura

MES (*Manufacturing Execution System*) ou Sistema de Execução da Manufatura foi criado em 1990 por Bruce Richardson da *Advance Manufacturing Research* (AMR). Controla todo o fluxo produtivo, incluindo estoques de matérias-primas, produtos em processamento e disponibilidade de máquinas. Através do MES, podem ser calculados os indicadores chave de desempenho (*Key Performance Indicators* - KPI), que contribuem para a melhoria do desempenho da planta local (GUTIERREZ; PAN, 2008).

Surgiu da necessidade de se constituir um nível intermediário entre os sistemas integrados de gestão empresarial (*Enterprise Resource Planning* - ERP) e o chão de fábrica. Devido a natureza dos dados lhe interessam, os MES são mais voltados a indústrias de processos discretos, por batelada.

Um sistema MES coleta e acumula informações do realizado no chão de fábrica e as realimenta para o sistema de planejamento. O MES cumpre dois papéis: um é o de controlar a produção, ou seja, considera o que foi efetivamente produzido e como foi produzido e permite comparações com o que estava planejado para, em caso de não coincidência, permitir o disparo de ações corretivas. O outro papel é de liberar as ordens de produção, tendo a preocupação de detalhar a decisão de programação da produção definida pelo MRP (*manufacturing resources planning*), ou seja, garantir que o plano definido pelo MRP seja cumprido. Com isso, é possível saber exatamente a capacidade do chão de fábrica dentro de um determinado horizonte de planejamento (CORRÊA; GIANESI; CAON, 1997).

A necessidade de automatizar os processos para responder com mais agilidade e competitividade às exigências do cliente é uma preocupação para as empresas. Neste contexto, a automação focalizada no negócio e nos resultados a serem alcançados consiste no alicerce para se atingir esta competitividade. A disponibilidade de informações atualizadas e precisas é fundamental para se ter êxito nesta tarefa (CARVALHO, 2004).

Integrar as informações do chão de fábrica com os sistemas de tomada de decisão não é uma tarefa fácil e instantânea. Os processos devem ser sistematizados antes de serem automatizados. É necessária uma equipe multidisciplinar e também muita discussão para se achar a melhor solução custo benefício. A figura 5.1 mostra os componentes da pirâmide de automação com a introdução dos sistemas de gestão empresarial denominados ERP (*Enterprise Resource Planning*) e MES (*Manufacturing Execution System*) (CARVALHO, 2004).

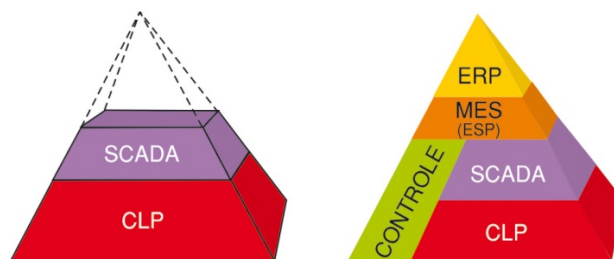


Figura 5.1 A pirâmide da automação antes e depois dos sistemas ERP e MES (CARVALHO, 2004).

O grande desafio da automação é em primeiro lugar estabelecer um amplo diálogo com a equipe de produção e a equipe de tomada de decisões para entender bem o processo produtivo e as informações necessárias para depois propor o que precisa ser feito em termos de arquitetura do sistema. O conceito é transformar uma “montanha” de dados aquisitados em informação útil para tomada de decisões (CARVALHO, 2004).

O uso do MES é devido a sua capacidade de ajudar na eficiência do processo industrial. Utilizando estes indicadores chave de desempenho, a performance *on-line* poderá ser monitorada, acessada e melhorada, além de outras áreas como a análise das eficiências global de equipamentos e da planta, do inglês *Overall Equipment Efficiency* e *Overall Plant Efficiency*, respectivamente.

Segundo CARVALHO (2004), a performance pode ser medida em tempo real com relatórios resumidos que permitem que ações instantâneas ou planejadas sejam tomadas de forma que a qualidade seja mantida ou melhorada, este é o principal objetivo de um sistema MES e os principais motivos para a utilização de um sistema de execução de manufatura são:

- Redução do tempo de ciclo de produção;
- Aumentar a qualidade do produto;
- Otimização dos recursos empregados na produção;
- Prevenir erros de produção;
- Simplificar o processo de produção;
- Diminuir custos de produção.

No âmbito de soluções MES, existe uma organização internacional chamada MESA (*Manufacturing Enterprise Solution Association*), que tenta criar modelos, *guidelines*, especificações e métricas para sistemas MES, que contribui com a ISA (Modelo ISA-95) (RABELO, 2009).

5.2 PIMS (*Plant Information Management System*)

Software utilizado para armazenamento de todas as informações relevantes de processo. Coleta informações dos sistemas de supervisão, sistemas de controle e sistemas legados (já existentes) e os armazena em uma base de dados, que se distingue dos bancos de dados convencionais por ter grande capacidade de compactação e alta velocidade de resposta a consulta local (GUTIERREZ; PAN, 2008).

Segundo SEIXAS FILHO (2003c), PIMS são sistemas que adquirem dados de processo de diversas fontes, os armazenam num banco de dados históricos e os disponibilizam através de diversas formas de representação. O PIMS nasceu na indústria de processos contínuos, mais propriamente na indústria química e petroquímica para resolver o problema da fragmentação de dados e proporcionar uma visão unificada do processo. A implantação de um PIMS facilita a implantação de outros módulos de *software* como reconciliador de dados, sistema especialista, MES, *Supply Chain Manager* e facilita a integração de sistemas ERP com o chão de fábrica (figura 5.2). A principal função de um PIMS é concentrar a massa de dados e permitir transformar dados em informação e esta informação em conhecimento. Para um engenheiro de processo é a ferramenta fundamental que permite tirar conclusões sobre o comportamento atual e passado da planta, que permite confrontar o comportamento recente com o de dias atrás ou com o melhor já observado no sistema.

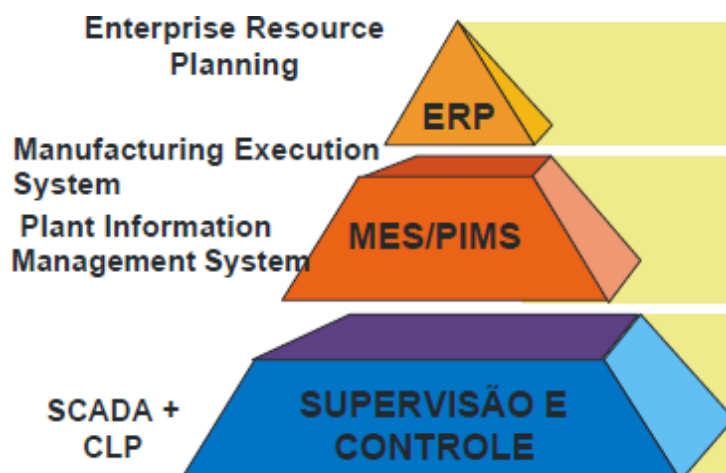


Figura 5.2 Integração PIMS e MES (SEIXAS FILHO, 2003c).

Segundo CARVALHO *et al.*(2005), os benefícios gerados pela implantação de um sistema PIMS são muitos, entre eles destacam-se:

- Centralização dos dados de processo, já que os sistemas PIMS centralizam toda a informação em uma única base de dados;

- Democratização da informação, já que o sistema permite que todos os usuários tenham acesso aos dados da planta instantaneamente;
- Visualização do processo produtivo em tempo real, seja através de gráficos de tendências, relatórios, telas sinóticas, aplicações *Web*, etc;
- Maior interatividade com os dados do processo, permitindo realizar cálculos, estudos estatísticos e lógica de eventos, utilizando os dados do processo;
- Histórico de dados, capaz de armazenar até 15 anos de dados de processo graças a eficiência de seu algoritmo de compressão;
- Receita de Processo, que permite identificar e armazenar os dados correspondentes ao melhor resultado obtido na produção, para que estes sirvam como referência para as interações futuras.

Na sua forma clássica, os sistemas PIMS acessam as fontes de dados localizadas no Nível 1, onde estão os sistemas de supervisão e aquisição de dados (SCADA) e sistema digital de controle distribuído (SDCD). Porém, há algumas implementações que (também) acessam dados diretamente do Nível 1, por exemplo dos CLPs (RABELO, 2009).

6 SISTEMA DE CONTROLE VIA REDE

Sistema de controle via rede é um tipo de sistema de controle distribuído onde sensores, atuadores e controladores são interconectados através de uma rede de comunicação. A utilização de sistema de controle via rede em sistemas de manufatura automatizados tem se mostrado uma nova área de pesquisa multidisciplinar, relacionando conhecimentos de sistemas de controle, sistemas de tempo real e redes de comunicação. Isto é, de forma a garantir um desempenho e estabilidade requeridos para um sistema de controle via rede, ferramentas de análise e projeto baseadas em conceitos e parâmetros de redes de comunicação e técnicas de controle tornam-se necessários (GODOY, 2007). Consiste em malhas de controle realimentado sob um sistema de comunicação (figura 6.1).

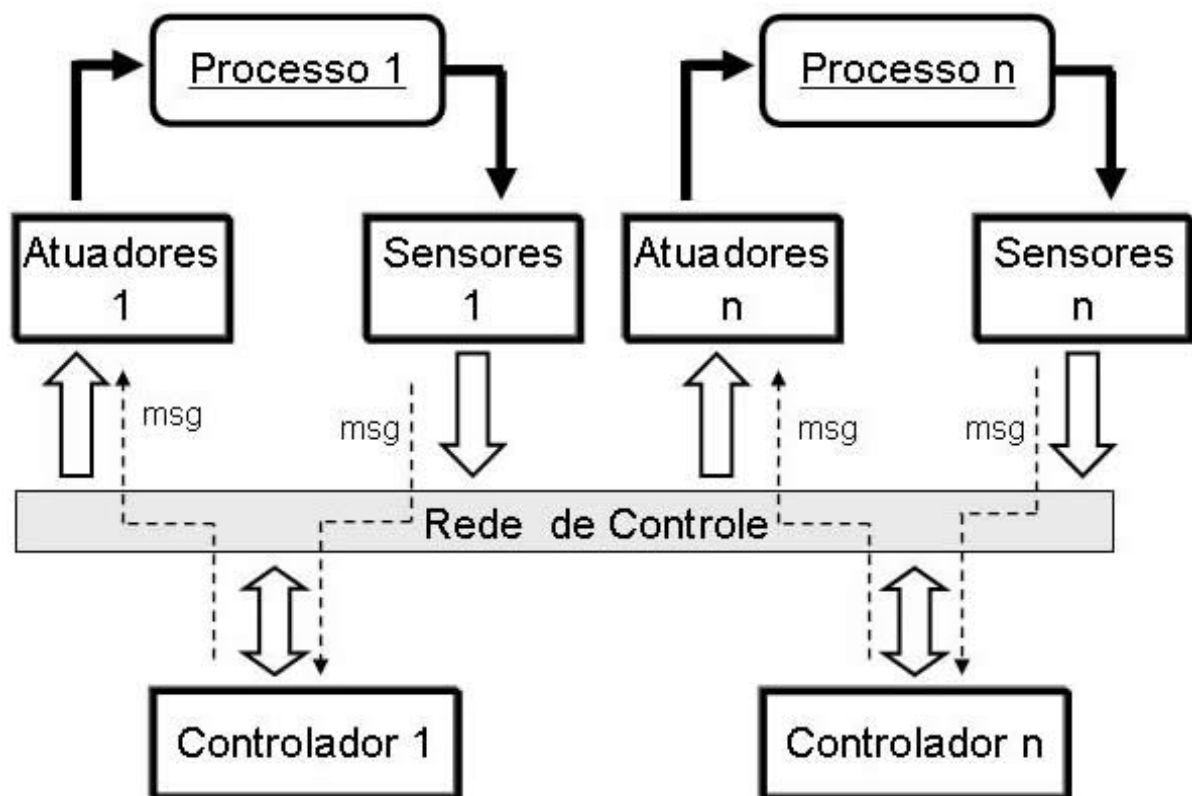


Figura 6.1 Exemplo da Estrutura de um Sistema de Controle via Redes (GODOY, 2007).

Um dos principais requisitos de um sistema de controle via rede com relação à rede de comunicação, é que esta ofereça um serviço de comunicação de tempo real. Subjacente a este tipo de serviço, deve estar a possibilidade de suportar fluxos de mensagens periódicas, de forma a transferir dados periódicos relacionados com o controle, a capacidade em garantir um tempo de resposta limitado superiormente para transferência de mensagens entre os nós computacionais e a capacidade de garantir um comportamento temporal previsível na presença de carga de rede variável por causa do tráfego não relacionado à aplicação de controle (SANTOS, 2004).

Para compreender as redes de controle via rede é necessário entender o conceito de sistemas de controle por computador. Uma malha clássica de controle por computador consiste em três partes principais: o elemento sensor para aquisição de dados, o computador para a execução do algoritmo de controle e o atuador para transmissão do sinal de controle à planta física.

Quando diversas malhas de controle são fechadas sob um computador, os algoritmos de controle tornam-se programas concorrentes executando sobre recursos computacionais compartilhados e escassos, como CPU, memória, e unidades de E/S. Faz-se necessário uma política de escalonamento de tarefas, de forma que os diferentes programas tenham uma execução correta e garantida, em termos lógicos e temporais. Para isto, é fundamental a consideração do paradigma de tempo real que contempla os requisitos lógicos e temporais de um conjunto de programas concorrentes (CERVIN, 2003).

Os elementos sensor, controlador e atuador podem ser considerados sistemas computacionais com uma interface de comunicação sob a rede (nós computacionais de comunicação). A disposição de nós computacionais sob a rede para a formação de um sistema de controle via rede pode ser realizada de três formas distintas, caracterizando assim três possíveis arquiteturas de sistema de controle via rede conforme pode ser visto na figura 6.2. (SANTOS, 2004).

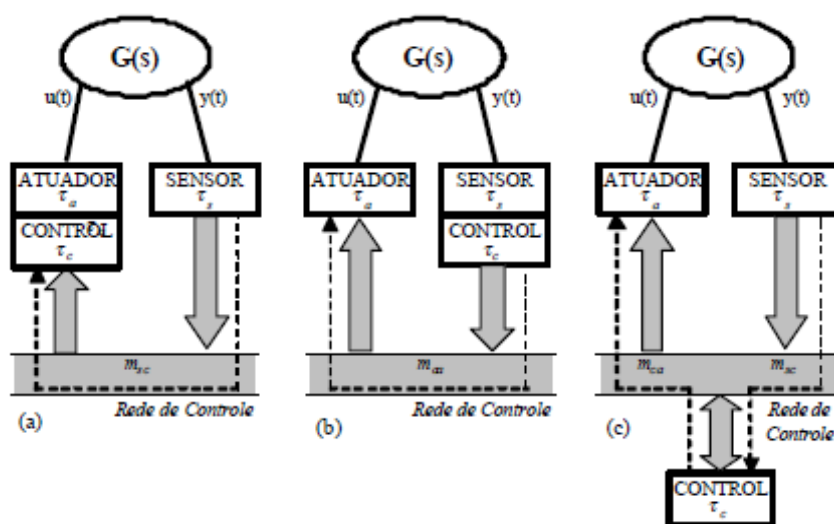


Figura 6.2 Arquiteturas de sistema de controle via rede (SANTOS, 2004).

Dois tipos de atrasos devem ser considerados em sistema de controle via rede: um relacionado com a execução das tarefas sob os nós computacionais de processamento e o outro relacionado com a transmissão de mensagens sob a rede de comunicação. Conforme apresentado na figura 6.2, a diferença das arquiteturas apresentadas está na quantidade de fluxos de mensagens sob a rede de comunicação, nos atrasos e variações de atrasos na

execução de tarefas e na transmissão de mensagens. Todos estes aspectos podem influenciar diretamente no desempenho e estabilidade do sistema de controle do sistema de controle via rede. As figuras 6.2 (a) e (b) apresentam uma arquitetura de sistema de controle via rede com dois nós computacionais contendo como diferença básica a disposição do controlador e geram apenas um fluxo de mensagem sob a rede de comunicação. A figura 6.2 (c) apresenta uma arquitetura de sistema de controle via rede com três nós computacionais e gera dois fluxos de mensagens sob a rede de comunicação (SANTOS, 2004).

Segundo Souza (2005), os sistemas com arquitetura ponto-a-ponto (Nível Um e Nível Zero) não são adequados quando se pensa em trabalhar com modularidade, diagnóstico integrado e descentralização do controle. Sendo assim, a utilização de arquiteturas baseadas em redes de barramento comum permite ao sistema ser projetado com modularidade e redução de custos de instalação (Figura 6.3).

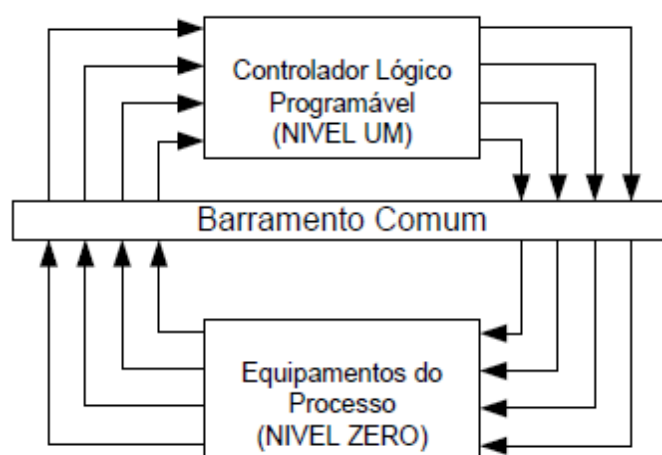


Figura 6.3 Diagrama de Blocos do NCS (SOUZA, 2005).

A utilização de um barramento comum traz benefícios já citados anteriormente, mas também introduz atrasos na troca de informações entre sensores e atuadores (Nível Zero) e os controladores lógicos programáveis (Nível Um). Estes atrasos são ocasionados pelo compartilhamento do meio de comunicação, pelo tempo de codificação e decodificação e pelo tempo de transmissão. Os valores desses atrasos podem ser constantes, randômicos ou com limites, tudo dependerá do tipo de protocolo e do *hardware* utilizados. Para o sistema de controle a existência de atrasos pode causar degradação de desempenho ou mesmo levar a instabilidade (SOUZA, 2005).

7 CONCLUSÃO

Com o grande avanço tecnológico, os sistemas de automação e controle tem se apoiado cada vez mais em redes de comunicação industriais, seja pela crescente complexibilidade dos processos industriais, seja pela distribuição geográfica que se tem acentuado nas novas instalações industriais.

A necessidade de interoperabilidade entre a Tecnologia de Automação (TA) e a de Informação (TI), que possibilita interligar o processo industrial e a diretoria da empresa de um mesmo sistema de automação industrial motivou o desenvolvimento dos sistemas de comunicação, imprescindíveis em qualquer complexo industrial.

Por isso, é cada vez mais importante saber a forma como o sistema de comunicação de dados, seja ele local, através de redes industriais, seja remota, implementadas em sistemas para aquisição, supervisão e controle de processos irá ser montado, considerando características que são próprias de cada rede, tais como: taxa de transmissão, extensão das redes, topologia, meios de transmissão e métodos de acesso. Estes fatores são essenciais para que não ocorram erros quando se planeja desenvolver ou atualizar o sistema de comunicação industrial.

Assim, é possível dizer que a crescente utilização de sistemas abertos de comunicação, ao invés dos sistemas proprietários, tem proporcionado para as instalações industriais uma grande variedade de dispositivos que tendem a se comunicar de maneira padronizada, permitindo a integração de equipamentos de diversos fabricantes, além de oferecer grande flexibilidade na configuração, redução da quantidade de cabos, leitura de dados de diagnóstico dos dispositivos via rede, técnicas de controle e facilidade de manutenção. Por isso, as redes de comunicação industrial são muito importantes para a modernização industrial e devem ser analisadas com bastante critério para o sucesso do projeto de implantação industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BERGE, J. **Fieldbuses for Process Control: Engineering, Operation and Maintenance** (tradução Thiago Augusto Nogueira). Research Triangle Park, NC: ISA, 2002.

BOARETTO, N. **Tecnologia de comunicação em sistema SCADA** – enfoque em comunicação Wireless com espalhamento espectral. 2005. 95p. Monografia (Mestrado em Engenharia de Produção) CEFET-PR, Ponta Grossa.

BORGES, F. **Redes de Comunicação Industrial** - Documento técnico nº2. Edição de Setembro de 2007. Schneider Electric. Disponível em: <http://www.schneiderelectric.pt/paginas/Formacao/DOC_tecnicos/DOC_tecnicos/DocTecnico_redes.pdf> Acesso em 03 dez. 2008.

BORGES, F. **Transmissão de dados** - Documento técnico nº3. Edição de Outubro de 2008. Schneider Electric. Disponível em: <http://www.schneiderelectric.pt/paginas/Formacao/DOC_tecnicos/DOC_tecnicos/Transmissao_Dados.pdf> Acesso em 03 dez. 2008.

CARVALHO, F.B. de *et al* . **SISTEMAS PIMS – CONCEITUAÇÃO, USOS E BENEFÍCIOS** - Tecnologia em Metalurgia e Materiais. São Paulo, v.1, n.4, p. 1-5, abr-jun, 2005.

CARVALHO, P. C. de. **MES - Sistemas de Execução da Manufatura - "Manufacturing Execution System"** Revista Mecatrônica Atual - Nº19 - Dez/04.

CERVIN, A. (2003). Integrated Control and Real-Time Scheduling. PhD Thesis ISRN LUTFD2/TFRT-1065—SE. Department of Automatic Control, Lund Institute of Technology, Sweden.

CHEN, D.; MOK, A. K. **Developing New Generation of Process Control Systems**. In: IEEE Real-Time Embedded System Workshop, 2001, San Diego, USA.

COBUS, S. **Practical Electrical Network Automation And Communication Systems** (tradução Thiago Augusto Nogueira). Newnes, 2004.

COGHI, M.A. **Critérios para seleção de redes para automação industrial**. Revista Mecatrônica Atual - Nº11 - Set/03.

CORRÊA, H. L.; GIANESI, I. G. N.; CAON, M.: **Planejamento, Programação e Controle da Produção: MRP II / ERP**. Ed. Atlas, São Paulo, 1997.

COZZO, R. Tecnologia Industrial Wireless - Conceitos básicos. **Revista Mecatrônica Atual** - Ano 6 - nº38 - Set/Out/08.

CUNHA, R. L. R. Redes Wireless em chão de fábrica. **Revista Mecatrônica Atual** - Ano 4 - Edição 31 - Dez/Jan/2006/2007.

DJIEV, S. **Industrial Networks for Communication and Control**. Reading for Elements for Industrial Automation, Technical University, Sofia, Bulgaria, 2003. Disponível em: < <http://anp.tu-sofia.bg/djiev/Networks.htm> >. Acesso em 30 mar. 2009.

ENGST, A.; FLEISHMAN, G. **Kit do iniciante em redes sem fio**: o guia prático sobre redes Wi-Fi para Windows e Macintosh. São Paulo: Pearson Makron Books, 2005. 460p.

ERIKSSON, J.; COESTER, M.; HENNIG, C.H. Redes industriais- Panorama histórico e novas tendências - **Revista Controle e Instrumentação**, nº 119, Agosto 2006, pg 86-89.

FERNANDES, R.G. Ethernet Industrial - A tendência na indústria para a automatização do chão-de-fábrica. **Revista Mecatrônica Atual** - Nº12 – out.03.

FONSECA, M. de O. **Comunicação OPC – Uma abordagem prática**. In: SEMINÁRIO DE AUTOMAÇÃO DE PROCESSOS DA ABM, 6., 2002, Vitória, Brasil. Anais... Vitória, 2002.

FORTE, M. **Protocolos de Comunicação: Analisar e só depois escolher**. Revista Controle e Instrumentação, São Paulo, n.94, p.54-59, 2004.

GODOY, E. P. **Metodologias de Análise, Simulação e Controle para Sistemas de Controle via Redes**. 2007. Disponível em: <<http://www.simulacao.eesc.usp.br/~egodoy/doutorado.html>> Acesso em 01 jul. 2009.

GUEDES, L.A. **Classificação das redes para automação industrial**. 2005. Disponível em: < http://www.dca.ufrn.br/~affonso/DCA0447/aulas/rai_cap3_part1.pdf > Acesso em 30 mar. 2009.

GUTIERREZ, R.M.V.; PAN, S.S.K. **Complexo Eletrônico: Automação do Controle Industrial** - Disponível em:<<http://www.bndes.gov.br/conhecimento/bnset/set2807.pdf>>. Acesso em 06 abr. 2009.

KUROSE, J.; ROSS, K. **Computer Network A Top-Down Approach Featuring the Internet**. Addison Wesley, 2000

MATA, R.S. da. Automação Industrial Wireless – Parte 2. **Revista Mecatrônica Atual** - Ano 4 - Nº28 - Jun/Jul/06.

MELO, W. **Visão Geral dos Protocolos Modbus**. 2005a. Disponível em: <http://www.cefetrn.br/~walmy/RI_A4.pdf> Acesso em 09 jun. 2009.

MELO, W. **Família de Protocolos da Allen Bradley**. 2005b. Disponível em <http://www.cefetrn.br/~walmy/RI_A6.pdf> Acesso em 16 jun. 2009.

MELO, W. **Protocolo OLE for Process Control (OPC) - Visão Geral do OPC Data Access**. 2007. Disponível em <http://www.cefetrn.br/~walmy/RI_A10.pdf> Acesso em 04 jul. 2009.

MONTEZ, C. **Redes de Comunicação Para Automação Industrial**. 2005.

MOON, H. **An Introduction to Industrial Networks**. Seoul National University, Korea, 1999.

MORAES, C. C. de; CASTRUCCI, P. L. **Engenharia de Automação Industrial**. 2.ed. LTC, 2007.

MORIMOTO, C.E. **Redes, guia prático**. GDH Press e Sul Editores, 2008.

OPC FOUNDATION - OPC Overview 1.00 - 1998 - Disponível em: <<http://www.opcfoundation.org/DownloadFile.aspx/General/OPC%20Overview%201.00.pdf?RI=1>> Acesso em 04 jul. 2009

OPC FOUNDATION - What is OPC? - 2006 - Disponível em: <http://www.opcfoundation.org/Default.aspx/01_about/01_what_is.asp?MID=AboutOPC> Acesso em 04 jul. 2009

PERES FILHO, G.F.; MATA, R.S. da - **Tecnologia Foundation Fieldbus**. **Revista Mecatrônica Atual**. Disponível em:<<http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/453>> Acesso em 13 jun. 2009.

PROFIBUS Brochure, Technical Description - Order-No. 4.002, September 1999. Disponível em:<[http://www.dia.uniroma3.it/autom/Reti_e_Sistemi_Automazione/PDF/Profibus %20Technical%20Overview.pdf](http://www.dia.uniroma3.it/autom/Reti_e_Sistemi_Automazione/PDF/Profibus%20Technical%20Overview.pdf)>. Acesso em: 19 jan. 2009.

PUDA, A.P. **Padronização da comunicação através da tecnologia OPC**. 2008. Disponível em:<www.isarj.org.br/artigos/Padronizacao-da-Comunicacao-atraves-da-Tecnologia-OPC.pdf> Acesso em 09 ago. 2009

RABELO, R.J. **PIMS & MES - Process Information Management Systems& Manufacturing Execution Systems**. Disponível em:<<http://www.das.ufsc.br/~rabelo/Ensino/DAS5316/MaterialDAS5316/PARTE2/MES&PIMS.pdf>> Acesso em 01 jul. 2009.

REYNDERS, D.; MACKAY, S.; WRIGHT, E. **Practical Industrial Data Communications. Best Practice Techniques** (tradução Thiago Augusto Nogueira). Newnes/Elsevier. 2005.

ROSÁRIO, J.M. **Princípios de Mecatrônica**. São Paulo: Prentice Hall, 2005.

ROSNAM, P.; LEARY, J. **Wireless LAN Fundamentals**. 1. ed.: Cisco Press, 2003. 312p.

SANCHES, Carlos Alberto. **Projetando redes WLAN: conceitos e práticas**. Rio de Janeiro: Érica, 2005. 342p.

SANTOS, M.M.D. **Metodologias de Projeto para Sistemas de Controle via Redes**. 2004. 126p. Monografia (Doutorado em Engenharia de Produção)– Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SEIXAS FILHO, C. **Arquiteturas de sistemas de automação - Uma introdução**. 2002. Disponível em: <<http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaII/Download/DownloadFiles/Arquitetura.PDF>>. Acesso em: 01 dez. 2008.

SEIXAS FILHO, C. **Introdução ao Protocolo HART**. 2003a. Disponível em: <<http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaSDA/Download/DownloadFiles/Hart.pdf>>. Acesso em 16 mar. 2009.

SEIXAS FILHO, C. **Industrial Ethernet**. 2003b. Disponível em: <<http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaSDA/Download/DownloadFiles/Ethernet.PDF>> Acesso em 16 mar. 2009.

SEIXAS FILHO, C. **PIMS - Process Information Management System – Uma introdução**. 2003c. Disponível em: < <http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaII/Download/DownloadFiles/Pims.PDF>> Acesso em 16 mar. 2009.

SEIXAS FILHO, C. **Profibus - Process Fieldbus**. 2004a. Disponível em: <http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaSDA/Download/DownloadFiles/R3_Profibus.pdf> Acesso em 16 mar. 2009.

SEIXAS FILHO, C. **Devicenet**. 2004b. Disponível em: < http://www.cpdee.ufmg.br/~seixas/PaginaSDA/Download/DownloadFiles/R2_DeviceNet.pdf> Acesso em 16 mar. 2009.

SEIXAS FILHO, C.; FINKEL, V. **Sistemas de Automação e Adequação Funcional dos Profissionais de Automação e TI Industrial**, Revista InTech, nº 51, Maio 2003, pg 24-28.

SHIRASUNA, M. Ethernet Industrial - Parte 1. **Revista Mecatrônica Atual** - Nº17 – set. 05.

SHIRASUNA, M. Ethernet Industrial - Parte 5. **Revista Mecatrônica Atual** - Nº21- Maio/05.

SILVA, C. F. da et al. **Protocolo OPC: Introdução e Aplicações na Automação Industrial**. Rio de Janeiro: UERJ, 2007. 85 f. Monografia (Especialização) – Curso de Especialização em Automação Industrial, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Universidade Petrobras,

Rio de Janeiro, 2007. Disponível em < <http://www.cefetrn.br/~walmy/OPC4.pdf> > Acesso em 14 abr. 2009.

Sistemas de comunicação em ambiente industrial. Disponível em: <ftp://ftp.fe.up.pt/pub/Pessoal/Deec/fjr/ai/tsai_sist_com.ppt>. Acesso em 02 dez. 2008.

SMAR. O que é PROFIBUS? 2004. Disponível em: <<http://www.smar.com/Brasil2/profibus.asp>> Acesso em 13 jun. 2009.

SMAR. Manual dos procedimentos de instalação, operação e manutenção Foundation Fieldbus, Fevereiro de 2008. Versão 3. Disponível em: <<http://www.smar.com/PDFs/manuals/GERAL-FFMP.pdf>> Acesso em 13 jun. 2009.

SOUZA, F.L.V. de. **Avaliação do desempenho de redes com foco na aplicação em sistemas de controle digitais.** 2005. 108p. Monografia (Mestrado em Engenharia Elétrica). Centro Tecnológico da Universidade Federal do Espírito Santo, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

SOUZA, F. da C. **FOUNDATION FIELDBUS.** 2004. 69p. Monografia (Engenharia de Automação). Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

SOUZA, L. C. A.; SEIXAS FILHO, C.; PENA, R. T. **Padrão de Acesso a Dados OPC e sua Implementação em um driver OPC-Modbus.** In: II Congresso Mineiro de Automação, V Simpósio Regional de Instrumentação da ISA-BH / GRINST-MG, 1998, Belo Horizonte. Livro de Anais - II Congresso Mineiro de Automação, V Simpósio Regional de Instrumentação da ISA-BH / GRINST-MG, 1998. p. 157-164.

STEMMER, M.R. **Sistemas distribuídos e redes de computadores para controle e automação industrial.** Disponível em: <http://www.das.ufsc.br/disciplinas/das5314/uploads/nota_aula/ApostilaMarcelo.pdf>. Acesso em 02 dez. 2008.

STRAUSS, C. **Practical Electrical Network Automation and Communication Systems** (tradução Thiago Augusto Nogueira). Newnes/ Elsevier. 2003.

TANENBAUM, A. S. **Redes de Computadores.** 3ª. edição. Editora Campus, 1997.

TANENBAUM, A.S. **Redes de Computadores.** Tradução da Quarta Edição, (tradução Vandenberg D. Souza). Rio de Janeiro, 2003.

WEG S.A. **Automação de Processos Industriais - PC12 Design Center.** Apostila para treinamento interno, Jaraguá do Sul, [2002]. Jaraguá do Sul: Weg S.A., 2002.