

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE ELETRÔNICA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM AUTOMAÇÃO INDUSTRIAL**

ALTIVIR LUIZ DOMINIAK

**PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA O ESTUDO
DE REDES INDUSTRIAIS**

MONOGRAFIA - ESPECIALIZAÇÃO

**CURITIBA
2012**

ALTIVIR LUIZ DOMINIAK

**PROJETO DE UMA BANCADA DIDÁTICA PARA O ESTUDO
DE REDES INDUSTRIAIS**

Monografia de conclusão do curso de Especialização em Automação Industrial do Departamento Acadêmico Eletrônica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná apresentada como requisito parcial para obtenção do grau de Especialista em Automação Industrial.

Orientador: Prof. Dr. Valmir de Oliveira.

CURITIBA
2012

AGRADECIMENTOS

À minha esposa Luiza por ter compartilhado todos os esforços necessários para a realização do curso e desse trabalho.

Aos meus pais que sempre estão me apoiando em tudo que necessito, incentivam meus estudos e formaram a base para minha educação.

Aos professores da UTFPR, pela responsabilidade e dedicação em nos repassarem um pouco de seus conhecimentos.

E a Deus pela nossa saúde e por permitir estarmos sempre em busca de novos conhecimentos e desafios.

RESUMO

Dominiak, Altivir Luiz. **Projeto de uma bancada didática para o estudo de redes industriais**, 2012, 76 f. Monografia (Trabalho de conclusão de Curso de Especialização em Automação Industrial). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Este trabalho apresenta o estudo e o desenvolvimento de um projeto para implementação de uma bancada didática para o estudo de redes industriais. Devido ao aperfeiçoamento dos sistemas digitais em rede e tendo em vista as vantagens do emprego desta nova tecnologia incorporada a utilização de instrumentos inteligentes, torna-se indispensável a formação de profissionais técnicos com conhecimento para atuarem em sistemas de redes para o controle de plantas industriais ou sistemas destinados à pesquisa tecnológica. A partir de uma revisão bibliográfica abrangendo as principais tecnologias de redes industriais existentes no mercado, foi selecionado um protocolo e especificado os dispositivos necessários para a implementação da bancada. Essa proposta tem por finalidade atender as necessidades de formação de conhecimento, em alunos de cursos técnicos profissionalizantes, na área de redes industriais.

Palavras chave: Redes industriais. Redes *Fieldbus*. Automação.

ABSTRACT

Dominiak, Altivir Luiz. **Project of a didactic workbench for studying industrial networks**, 2012, 76 f. Monografia (Trabalho de conclusão de Curso de Especialização em Automação Industrial). Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

This paper presents the study and development of a project for implementation of a didactic workbench for studying industrial networks. Due to the improvement of digital systems in the network and in view of the advantages of using this new technology incorporated the use of intelligent instruments, it is essential to train professionals with technical knowledge to work in networking systems for the control of industrial plants or systems for technological research. From a literature review covering the main industrial networking technologies on the market, a protocol has been selected and specified devices required for the implementation of the bench. This proposal aims to meet the training needs of knowledge in vocational technical education students in the area of industrial networks.

Key words: Industrial networks. Fieldbus networks. Automation.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Classificação das redes	18
Figura 2: Níveis hierárquicos de sistemas de automação.	19
Figura 3: Topologia ponto a ponto.....	22
Figura 4: Topologia em barramento.	22
Figura 5: Topologia em anel.....	23
Figura 6: Topologia em estrela.....	23
Figura 7: Topologia em árvore.	24
Figura 8: Cabos UTP.....	25
Figura 9: Cabos STP.....	25
Figura 10: Cabo coaxial	26
Figura 11: Cabos de fibras ópticas.....	26
Figura 12: Modelo OSI em sete camadas hierárquicas.....	29
Figura 13: Cabo padrão para rede AS-I.	32
Figura 14: Interligação da rede AS-I com outras redes digitais.....	33
Figura 15: Técnica modular de conexão.	34
Figura 16: Sobreposição do sinal digital FSK ao sinal analógico de 4 a 20 mA.	35
Figura 17: Comandos HART.	37
Figura 18: Conexão da rede <i>Profibus</i> com diversos níveis de automação.....	39
Figura 19: Arquitetura do protocolo de comunicação <i>Profibus</i>	41
Figura 20: Exemplo do uso de <i>Profinet</i> numa planta industrial.	43
Figura 21: Modelo OSI em comparação com <i>Foundation Fieldbus</i>	45
Figura 22: Exemplo de topologias <i>Foundation Fieldbus</i>	48
Figura 23: Padrões wireless.....	52
Figura 24: Exemplo de arquitetura da rede <i>WirelessHART</i>	54
Figura 25: Transmissor de pressão diferencial LD 302.	56
Figura 26: Transmissor de temperatura TT302.....	56
Figura 27: Posicionador de válvulas PY 302.....	57
Figura 28: Terminador de barramento BT 302.	57
Figura 29: Configuração da DFI302 com os módulos DF50, DF51, DF52 e DF53. ..	58
Figura 30: Disposição física dos dispositivos <i>Foundation Fieldbus</i>	59
Figura 31: Tela inicial <i>System302</i>	60
Figura 32: Tela inicial <i>Syscon</i>	60
Figura 33: Criando novo projeto.	61
Figura 34: Nomeando projeto.....	61
Figura 35: Criando a planta física.....	62
Figura 36: Nomeando a planta física.....	62
Figura 37: Abrindo a janela planta física.	63
Figura 38: Organizando telas.	63
Figura 39: Inserindo <i>Bridge</i>	64
Figura 40: Configurando a <i>Bridge</i>	64
Figura 41: Inserindo <i>Device</i>	65
Figura 42: Configurando <i>Devices</i>	65
Figura 43: Visualização das telas após configuração física.	66
Figura 44: Configuração dos blocos funcionais.....	66
Figura 45: Configuração dos blocos funcionais (continuação).	67
Figura 46: Renomeando blocos funcionais	67

Figura 47: Apagando blocos funcionais.	68
Figura 48: Solicitação de confirmação para apagar blocos.	68
Figura 49: Visualização final da janela "Planta Didatica".....	69
Figura 50: Salvando o projeto.	69

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Comparação entre as versões 2.0, 2.1 e 3.0.....	34
Quadro 2: Blocos de funções Foundation Fieldbus.....	48
Quadro 3: Características dos meios físicos das redes Ethernet.....	50
Quadro 4: Comparação entre Ethernet comercial e industrial.....	51
Quadro 5: Relação básica de materiais para a bancada de rede industrial.	76

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E ACRÔNIMOS

AS-I	<i>Actuator Sensor Interface</i>
AES	<i>Advanced Encryption Standard</i>
AFH	<i>Adaptive Frequency Hopping</i>
CAN	<i>Controller Area Network</i>
CLP	<i>Controlador Lógico Programável</i>
CNC	<i>Controle Numérico Computadorizado</i>
CSMA/CD	<i>Carrier Sense Multiple Access with Collision Detection</i>
CTDMA	<i>Concurrent Time Domain Multiple Access</i>
DCS	<i>Distributed Control System</i>
DD	<i>Descrição do Dispositivo</i>
DDLM	<i>Direct Data Link Mapper</i>
DIP	<i>Dual In-line Package</i>
DHCP	<i>Dynamic Host Configuration Protocol</i>
DP	<i>Decentralized Peripherals</i>
DSSS	<i>Direct Sequence Spread Spectrum</i>
FB	<i>Function Block</i>
FHSS	<i>Frequency Hopping Spread Spectrum</i>
FMS	<i>Fieldbus Message Specification</i>
FSK	<i>Frequency Shift Keying</i>
HART	<i>Highway Addressable Remote Transducer</i>
http	<i>Hypertext Transfer Protocol</i>
I/O	<i>Input/Output - Entrada/Saída</i>
IEC	<i>International Electrotechnical Commission</i>
IEEE	<i>Institute of Electrical and Electronic Engineers</i>
IHM	<i>Interface Homem Máquina</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ISM	<i>Industrial, Scientific and Medical</i>
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
kbps	<i>Quilobits por segundo</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LAS	<i>Link Active Schedule</i>
LED	<i>Light Emitting Diode</i>
LLI	<i>Lower Layer Interface</i>
m	<i>Metro</i>
mA	<i>mili Ampère</i>
Mbps	<i>Megabits por segundo</i>
ODVA	<i>Open DeviceNet Vendors Association</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplexing</i>
OLE	<i>Object Linking and Embedding</i>
ON/OFF	<i>Liga/Desliga</i>
OPC	<i>OLE for Process Control</i>
OSI	<i>Open Systems Interconnection</i>
PA	<i>Process Automation</i>
PID	<i>Controle Proporcional Integral derivativo</i>
RF	<i>Radio Frequência</i>
SDCD	<i>Sistema Digital de Controle Distribuído</i>
SMTP	<i>Simple Mail Transfer Protocol</i>
SNMP	<i>Simple Network Management Protocol</i>

STP	<i>Shielded Twisted Pair</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TI	Tecnologia da Informação
UTP	<i>Unshielded Twisted Pair</i>
Vca	Tensão alternada
Vcc	Tensão contínua
Vpp	Tensão pico a pico
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WMAN	<i>Wireless Metropolitan Area Network</i>
WPAN	<i>Wireless Personal Area Network</i>
Ω	Ohm

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	12
1.1	TEMA	12
1.1.1	Delimitação do Tema	13
1.2	PROBLEMA E PREMISSA	13
1.3	OBJETIVOS	14
1.3.1	Objetivo Geral	14
1.3.2	Objetivos Específicos	15
1.4	JUSTIFICATIVA	15
1.5	PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS	16
2	FUNDAMENTOS TEÓRICOS	17
2.1	REDES INDUSTRIAIS	17
2.1.1	Classificação das Redes Industriais	18
2.1.2	Transmissão de Dados	20
2.1.3	Troca de Informação em Redes Industriais	20
2.1.4	Topologia de Rede	21
2.1.5	Meio Físico de Transmissão	24
2.1.5.1	Cabos Metálicos	24
2.1.5.2	Fibra Óptica	26
2.1.5.3	Radio Frequência	27
2.1.6	Métodos de Acesso ao Meio	27
2.2	MODELO DE REFERÊNCIA OSI	29
2.3	PROTOCOLOS	30
2.3.1	AS-I	31
2.3.1.1	Componentes Principais	31
2.3.1.2	Cabeamento	32
2.3.1.3	Conectividade	33
2.3.1.4	Versões da Rede AS-I	33
2.3.1.5	Técnica Modular	34
2.3.2	HART	35
2.3.2.1	A Tecnologia HART	35
2.3.2.2	Topologia	36
2.3.2.3	Cabos	37
2.3.2.4	Comandos HART	37
2.3.3	<i>Profibus</i>	38
2.3.3.1	Características Básicas	39
2.3.3.2	Tecnologias <i>Profibus</i>	40
2.3.3.3	Arquitetura do Protocolo	40
2.3.3.4	Tecnologia de Transmissão	42
2.3.3.5	<i>Profinet</i>	42
2.3.4	<i>Foundation Fieldbus</i>	43
2.3.4.1	Características de Desempenho	44
2.3.4.2	Níveis do Protocolo	45
2.3.4.3	Especificações do Protocolo	45
2.3.4.4	Blocos de Função	47
2.3.5	<i>Ethernet Industrial</i>	49
2.3.5.1	Características	50
2.3.6	<i>Wireless</i>	51

2.3.6.1 Tecnologias de Redes Industriais Sem Fio	53
3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO	55
3.1 INSTRUMENTOS DE CAMPO	55
3.2 ELEMENTOS DE ALIMENTAÇÃO E CONTROLE DO SISTEMA	57
3.3 CONFIGURAÇÃO E TOPOLOGIA DA REDE	59
4 CONCLUSÕES.....	70
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	72
APÊNDICE A – Lista Orientativa de Materiais.....	76

1 INTRODUÇÃO

1.1 TEMA

O controle de plantas industriais primeiramente utilizava tecnologia pneumática. Posteriormente, a pneumática foi trocada pela tecnologia eletrônica analógica, e em seguida pela eletrônica digital. Com o aparecimento do controle digital, os sistemas passaram a ter uma separação física mais marcante entre o processo e os instrumentos de controle. A partir dos anos 80, começaram a ser criados padrões para a comunicação entre os instrumentos de um sistema de automação. Assim, as primeiras redes industriais foram criadas para que o controle pudesse ser feito a grandes distâncias do processo (LOPEZ, 2000).

A instalação e manutenção de sistemas de automação e controle tradicionais implicam em altos custos principalmente quando se espera ampliar uma aplicação onde são demandados, além dos custos de projeto e equipamento, custos com cabeamento destes equipamentos à unidade central de controle. Com o objetivo de diminuir estes custos e aumentar a operacionalidade de uma aplicação industrial introduziu-se o conceito de redes industriais para interligar os vários equipamentos de uma aplicação. O uso de redes em aplicações industriais é considerado um significativo avanço nas seguintes áreas (BORGES, 2009):

- Custos de instalação;
- Procedimentos de manutenção;
- Opções de *upgrades*;
- Informação de controle de qualidade

Para Lugli e Santos (2010), os sistemas de automação com redes industriais estão cada vez mais presentes nos meios industriais. Essa superação em relação aos sistemas tradicionais deve-se principalmente aos fatores técnicos e econômicos que os tornam uma tecnologia extremamente vantajosa e atraente. A constante evolução da engenharia de *software* e a miniaturização de componentes e peças são os fatores principais para o desenvolvimento dos sistemas de automação distribuídos com redes industriais.

A utilização de dispositivos autônomos inteligentes, como sensores e atuadores e o desenvolvimento de sistemas de supervisão em tempo real, tem

contribuído para a evolução dos sistemas de automação industrial conectados entre si por uma rede (barramento industrial) os quais contribuem para a realização de tarefas no ambiente industrial. As vantagens ocasionadas por essas ferramentas tornam os sistemas de redes industriais muito competitivos, havendo uma grande confiabilidade e modularidade, facilitando o entendimento do sistema e reduzindo os custos para a indústria comparativamente aos sistemas centralizados com a utilização de Controladores Lógicos Programáveis (CLP) (LUGLI e SANTOS, 2010).

Inserido neste contexto introdutório, este trabalho aborda os temas referentes às redes industriais. Além do avanço do conhecimento sobre o tema e suas relações, o trabalho pretende contribuir para o desenvolvimento tecnológico e humano, com uma proposta para implantação de uma bancada didática para o estudo de redes industriais, podendo assim contribuir para a formação de profissionais qualificados para trabalharem nas indústrias.

1.1.1 Delimitação do Tema

Com o intuito de proporcionar melhores condições para o processo de ensino da disciplina de redes industriais para estudantes de ensino médio profissionalizante, é necessário desenvolver uma bancada didática para o estudo de redes industriais.

Para que isso possa ser realizado com sucesso é de fundamental importância que sejam estudados temas como: redes *fieldbus*, dispositivos como sensores e atuadores inteligentes, entre outros.

1.2 PROBLEMA E PREMISA

Com a automatização da indústria e dos mais diversos segmentos, está associado, entre diversos aspectos, as possibilidades de aumentar a velocidade de processamento das informações, uma vez que as operações estão cada vez mais complexas e variáveis, desprovido de um grande número de controles e dispositivos de regulação para permitir ações mais rápidas e, com isso, aumentar os níveis de produtividade e eficiência do processo produtivo (CASSIOLATO, 2011).

De todas as tecnologias associadas ao controle industrial, a rede de comunicação é a que sofreu maiores evoluções nos últimos anos, seguindo a tendência global de evolução das comunicações que se sente praticamente em todos os ramos de atividade produtiva. Com isso, 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 que se refere à produtividade industrial (SCHNEIDER, 2007).

Devido ao aumento do grau de automatização das máquinas e sistemas, cresceu a quantidade de cabos utilizados nas ligações paralelas. Com um grande número de entradas e saídas em um sistema, são especificados um grande número de cabos, como por exemplo, para a transmissão de valores analógicos. Dessa forma, a ligação em série dos componentes utilizando uma rede de campo é cada vez mais utilizada, devido ao menor custo de material e mão de obra, redução significativa da quantidade de cabos, eventualmente maiores velocidades nos tempos de comando e respostas dos sistemas, entre outros benefícios (SCHNEIDER, 2007).

Com o estudo a ser realizado sobre este tema surge a seguinte questão:

- **Como implementar uma bancada didática para o estudo e aprendizado da disciplina de redes industriais em cursos profissionalizantes em escolas públicas?**

Por meio da seleção do tipo de protocolo, escolha de sensores de campo e atuadores, além do elemento mestre de controle, será realizada uma proposta para a implementação da bancada didática, essencial para a formação de profissionais qualificados para atuarem em projetos, manutenção e desenvolvimento de sistemas automatizados utilizando as tecnologias de redes industriais.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Desenvolver uma proposta teórica para implementação de uma bancada didática para o estudo de redes industriais.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Realizar uma revisão de literatura sobre os principais protocolos de redes industriais e seus componentes;
- Definir o protocolo a ser utilizado no projeto e os componente para desenvolvimento da bancada;
- Elaborar uma lista básica de materiais e equipamentos necessários para o projeto;
- Elaborar um diagrama da instalação dos componentes integrantes da bancada;
- Utilizando *software* específico realizar a configuração física da rede selecionada.

1.4 JUSTIFICATIVA

Nos últimos anos, o mercado de instrumentação e automação vem demandando equipamentos de campo (transmissores de pressão, vazão, nível e temperatura, conversores, posicionadores, atuadores, controladores e outros) com alto desempenho, confiabilidade, disponibilidade, recursividade, entre outros, com o intuito de reduzir o consumo, diminuir a variabilidade dos processos, proporcionar a minimização de custos de operação e de manutenção, assim como garantir a otimização e melhoria continua dos processos (CASSIOLATO, 2011).

A evolução das tecnologias e a concretização das redes industriais fizeram com que os sistemas de automação e controle, equipamentos de campo, controladores, entre outros, possam adquirir funções antes inimagináveis, como o controle contínuo e discreto, tempos de verificação menores, arquiteturas redundantes, gerenciamento e tráfego de informação, disponibilidade de informações para Interfaces Homem Máquina (IHM), *internet*, geração de relatórios, gerenciamento de ativos, além de possibilitar altos níveis de segurança (CASSIOLATO, 2011).

O aumento por sistemas de automação e controle de processos baseados em redes de campo e o significativo número de protocolos digitais de comunicação,

voltados para esta finalidade, estimulam a comunidade científica ao estudo e desenvolvimento de sistemas de controle via redes industriais (TIPSUWAN *et al.*, 2003 *apud* MOSSIN 2007).

Pretende-se com a solução do problema exposto, adquirir uma experiência prática que possa ser agregada ao conhecimento teórico adquirido em sala de aula, pois para a solução do problema será necessário um estudo aprofundado dos tipos de redes industriais, bem como de seus componentes, como por exemplo, sensores e atuadores, cabeamento, entre outros.

Para encerrar a justificativa desse trabalho, cabe destacar sua importância para o desenvolvimento do conhecimento científico. A proposta de desenvolver um projeto para implementação de uma bancada didática para o estudo de redes industriais vai de encontro à proposta do Curso de Especialização em Automação Industrial, que é preparar profissionais qualificados para elaborar e executar projetos de automação nos diversos segmentos do mercado de trabalho.

1.5 PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

O trabalho se caracterizará como projeto de pesquisa aplicada de caráter qualitativo. O desenvolvimento da pesquisa se dará com o levantamento de dados, revisão bibliográfica e projeto para execução de uma bancada didática.

O primeiro passo para o desenvolvimento deste trabalho será uma revisão bibliográfica para obter informações necessárias sobre os principais protocolos das redes industriais. Após, será definido o protocolo a ser utilizado para o desenvolvimento do projeto, além da escolha e especificação dos instrumentos que irão compor a bancada.

Por fim, será elaborado o projeto proposto, que será composto por um diagrama com a topologia e os equipamentos da rede, um exemplo de configuração física utilizando *software* específico e uma lista orientativa de materiais e componentes utilizados na bancada.

Cabe ressaltar que este trabalho, num primeiro momento, não visa à implementação física da rede, mas sim, um estudo teórico que possibilite uma futura implementação.

2 FUNDAMENTOS TEÓRICOS

2.1 REDES INDUSTRIAIS

Com um expressivo destaque na automação da indústria, as redes digitais de instrumentação, ou barramentos de campo, tornam-se cada vez mais uma alternativa de grande aceitação. Depois da integração de microprocessadores a instrumentos de campo, apareceram os denominados instrumentos inteligentes aptos a comunicar-se através de um barramento de campo, possibilitando que estes informem seu estado, a quantidade e qualidade do sinal medido, além de outras informações (LIMA, 2004).

Devido ao surgimento e desenvolvimento nas indústrias dos barramentos de campo, a estratégia de controle centralizada em um CLP pode ser suprida pelo controle descentralizado, de maneira que qualquer equipamento ligado na rede pode assumir o papel de controlador. Assim, diversos controladores podem ser implementados na rede, além de poderem ser implementados nos próprios instrumentos de campo, descentralizando, dessa forma, a estrutura de controle (LIMA, 2004).

Uma rede é um sistema de dispositivos eletrônicos que estão conectados com o propósito de compartilhar informações. Cada dispositivo na rede é chamado de nó. O meio físico usado para interconectar os dispositivos numa rede é chamado de meio de transmissão. Diferentes tipos de rede foram sendo desenvolvidos para atender necessidades específicas. Elas foram desenvolvidas para atenderem eficientemente a grande variedade de tipos de dados encontrados num sistema de controle. Cada protocolo de rede possui uma estrutura de dados diferente e incorpora diferentes conjuntos de características. Ao estabelecer a integração dos dados digitalmente por meio de uma rede de comunicação entre os mais diferentes níveis hierárquicos dentro de uma indústria, reduz-se o custo de fabricação, pela eficiência da manipulação do produto, aumenta-se a produtividade e se estabelece um novo conceito em automação industrial: a integração de seus componentes nos mais diferentes níveis (FRANCO; VERMAAS, 2008).

2.1.1 Classificação das Redes Industriais

As redes de campo são classificadas pelo tipo de equipamento conectado a elas e o tipo de dados que trafega pela rede. Os dados podem ser *bits*, *bytes* ou blocos. As redes com dados em formato de *bits* transmitem sinais discretos contendo simples condições Liga/Desliga (*ON/OFF*). As redes com dados no formato de *byte* podem conter pacotes de informações discretas e/ou analógicas e as redes com dados em formato de bloco são capazes de transmitir pacotes de informação de tamanhos variáveis (BORGES, 2009).

Assim, as redes podem ser classificadas basicamente em três tipos:

- Rede *Sensorbus* - dados no formato de *bits*;
- Rede *Devicebus* - dados no formato de *bytes*;
- Rede *Fieldbus* - dados no formato de pacotes de mensagens.

Cada tipo de rede industrial possui a sua particularidade e suas características específicas para o controle das informações industriais (LUGLI; SANTOS, 2010). A classificação das redes de acordo com a quantidade de informação é mostrada na figura 1.

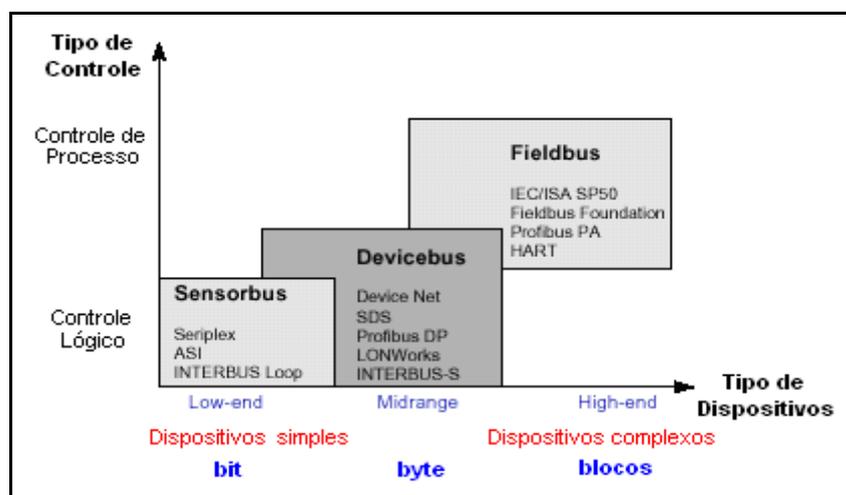


Figura 1: Classificação das redes.
Fonte: Borges (2009).

A rede *Sensorbus* liga equipamentos simples e pequenos diretamente à rede. Os equipamentos deste tipo de rede requerem comunicação rápida em níveis discretos e são tipicamente sensores e atuadores de baixo custo. Estas redes não almejam cobrir grandes distâncias e sua principal preocupação é manter os custos

de conexão tão baixos quanto for possível. Exemplos típicos de rede *Sensorbus* incluem *Seriplex*, *AS-I* e *Interbus* (BORGES, 2009).

A rede *Devicebus* compreende o ambiente entre redes *Sensorbus* e *Fieldbus* e pode abranger distâncias mais longas. Os equipamentos ligados a esta rede terão mais pontos discretos, alguns dados analógicos ou uma mistura de ambos. Algumas destas redes também permitem a transferência de blocos em uma menor prioridade comparados aos dados no formato de *bytes*. Esta rede tem os mesmos requisitos de transferência rápida de dados da rede *Sensorbus*, porém consegue gerenciar mais equipamentos e dados. Alguns exemplos de redes deste tipo são *DeviceNet*, *Profibus DP*, *LONWorks*, *Interbus-S*, *ModbusPlus* (BORGES, 2009).

A rede *Fieldbus* interliga os equipamentos de *Input/Output (I/O)* mais inteligentes e pode cobrir maiores distâncias. Os equipamentos conectados à rede possuem inteligência para exercer funções especiais de controle, tais como, *loops* PID, controle de fluxo de informações e processos. Os tempos de transferência podem ser longos, mas a rede deve ser capaz de comunicar-se por vários tipos de dados (discreto, analógico, parâmetros, programas e informações do usuário). Exemplos de redes *Fieldbus* incluem *Fieldbus Foundation*, *Profibus PA* e *HART* (BORGES, 2009).

As redes industriais não só são responsáveis pela transferência das informações entre as estações de processamento, como também suportam a coordenação, monitoração, controle e gestão de todo o sistema de automação, podendo interagir com níveis hierárquicos vistos na figura 2 (CASSIOLATO, 2011).

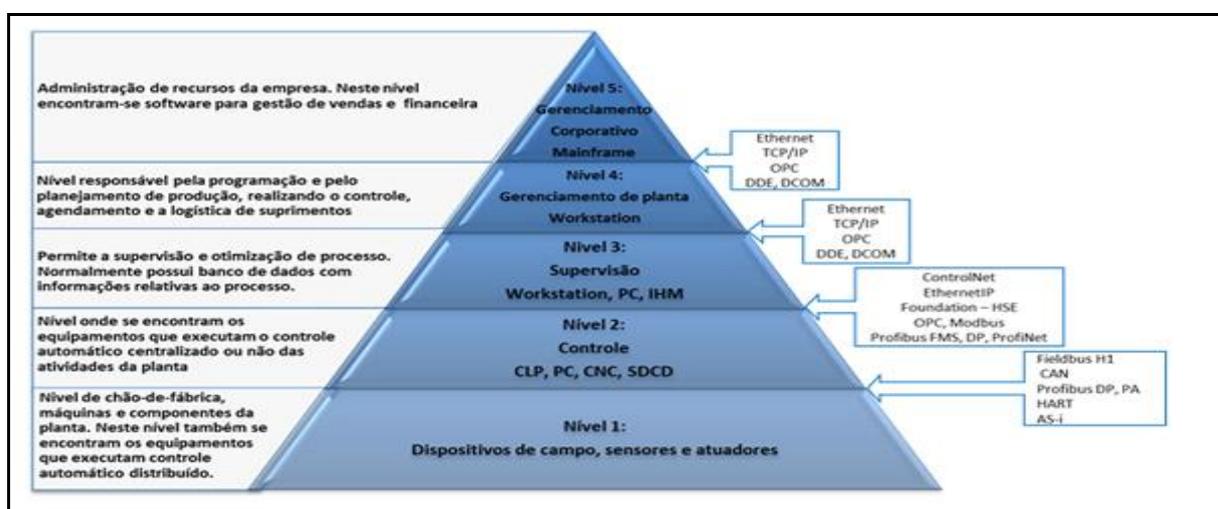


Figura 2: Níveis hierárquicos de sistemas de automação.
Fonte: Cassiolato (2011).

2.1.2 Transmissão de Dados

Uma rede é constituída por um conjunto de módulos que por sua vez tem a capacidade de trocar informações e compartilhar recursos, interligados por um sistema de comunicação formado por enlaces físicos (meios de transmissão) e de um conjunto de regras com o objetivo de organizar a comunicação, denominados protocolos (TANEMBAUM, 1979 *apud* CARRIJO, 2011).

Para Tanenbaum (1997) *apud* Carrijo (2011) podem-se elencar alguns conceitos importantes quando se pretende comparar sistemas diferentes:

- Retardo de Acesso: É o intervalo de tempo transcorrido desde o momento em que uma mensagem a ser transmitida é gerada por um nó da rede até o momento em que ela consegue acessar o meio para transmissão, sem que ocorra colisão no meio.
- Retardo de Transmissão: É o intervalo de tempo transcorrido desde o início da transmissão de uma mensagem por um nó de origem até o instante em que ela chega ao nó de destino.
- Retardo de Transferência: é a soma entre o retardo de transmissão e o retardo de acesso.
- Desempenho: É a capacidade efetiva de transmissão da rede. Tem como base medidas como: retardo de transferência, fluxo de dados, entre outros. O desempenho é influenciado por fatores como: escolha adequada da estrutura de conexão, protocolo de comunicação e meio de transmissão.
- Compatibilidade ou Interoperabilidade: É a capacidade que um sistema possui de se interligar aos dispositivos de diferentes fornecedores ou fabricantes.

2.1.3 Troca de Informação em Redes Industriais

Na implementação dos diversos tipos de redes industriais, dois modelos de troca de informações se destacam, o modelo denominado Mestre/Escravo e o modelo Produtor/Consumidor (LIMA, 2004).

Um sistema que utiliza um modelo Mestre/Escravo trabalha com requisição e respostas de dados. Esse modelo possui um dispositivo ativo chamado mestre que pode agir como detentor do direito de transmissão, capaz de enviar mensagens independentemente de solicitações externas. Quando houver a presença de mais de um mestre no mesmo barramento, utiliza-se um mecanismo de passagem de *token*, ou seja, mecanismo de controle de acesso ao meio. Os escravos não possuem direito de acesso deliberado ao barramento e podem apenas confirmar o recebimento da mensagem ou responder ao mestre quando solicitados (LOPEZ, 2000).

No modelo Produtor/Consumidor, as mensagens que trafegam pelo barramento possuem um identificador único, origem ou destino. Todos os nós podem ser sincronizados. Com o uso desse modelo, múltiplos nós (produtores) podem transmitir dados para outros nós (consumidores). Além de que alguns nós podem assumir na rede as funções de produtor e consumidor. Essa particularidade operacional traz os seguintes benefícios: 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 (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

2.1.4 Topologia de Rede

Chamam-se topologias de redes os arranjos físicos para a conexão de diversos instrumentos que compõem um sistema. A topologia pode ser definida como a forma pela qual os instrumentos são dispostos, como se conectam entre si e pela forma com que os enlaces físicos e os nós de comutação estão organizados, determinando os caminhos físicos utilizáveis entre quaisquer estações conectadas nessa rede. Assim, a topologia de uma rede é derivada de vários fatores, desde as restrições nas capacidades dos equipamentos utilizados até as características das topologias utilizadas (PINHEIRO, 2006).

Para Moraes e Castrucci (2007), as topologias de redes podem ser descritas da seguinte forma:

Na topologia ponto a ponto tem-se a comunicação entre dois ou mais processadores, não necessariamente ligados diretamente e podendo usar outros

nós como roteadores. É pouco utilizada devido ao fato que o acréscimo de novos dispositivos ou a falha de algum deles causa interrupções na comunicação. A figura 3 mostra a topologia ponto a ponto.

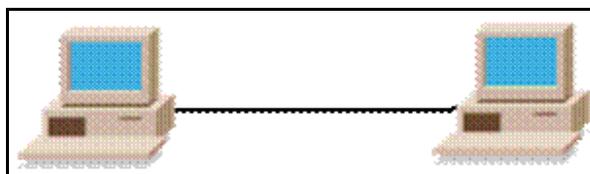


Figura 3: Topologia ponto a ponto.
Fonte: Pinheiro (2006).

Na topologia de barramento, conforme figura 4, é quando o meio físico de comunicação é compartilhado entre todos os dispositivos da rede, sendo que o controle pode ser centralizado ou distribuído. É muito utilizado, possui alto poder e expansão, e um nó com falha geralmente não prejudica o os demais, dependendo da falha.

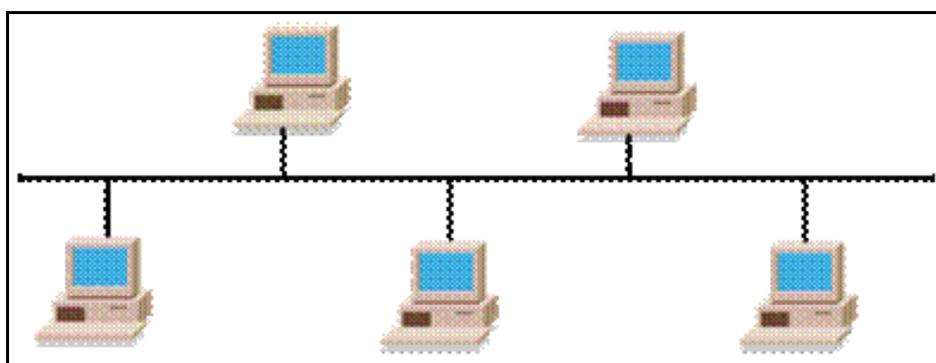


Figura 4: Topologia em barramento.
Fonte: Fonte: Pinheiro (2006).

A topologia do tipo anel trata-se de uma arquitetura ponto a ponto em que cada dispositivo é conectado a outro, ligando o último ao primeiro, como pode ser verificado na figura 5. A mensagem circula no anel em um único sentido até que seja encontrado o destinatário. 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 dispositivo em falha.

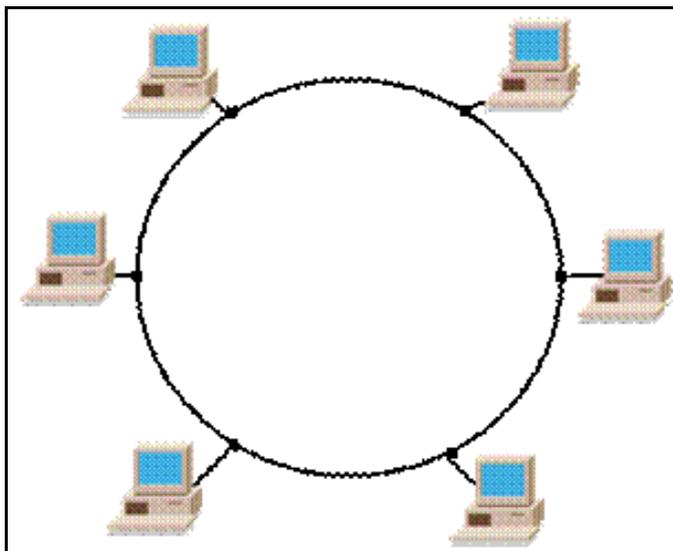


Figura 5: Topologia em anel.
Fonte: Pinheiro (2006).

A topologia do tipo estrela utiliza um nó central para gerenciar a comunicação entre os dispositivos, conforme figura 6. Os nós em falhas não prejudicam os outros, exceto o nó central, que em caso de falha, provocará falha em toda a rede. Por esse motivo, nessa posição geralmente são utilizados processadores em redundância, para que se tenha confiabilidade no sistema.

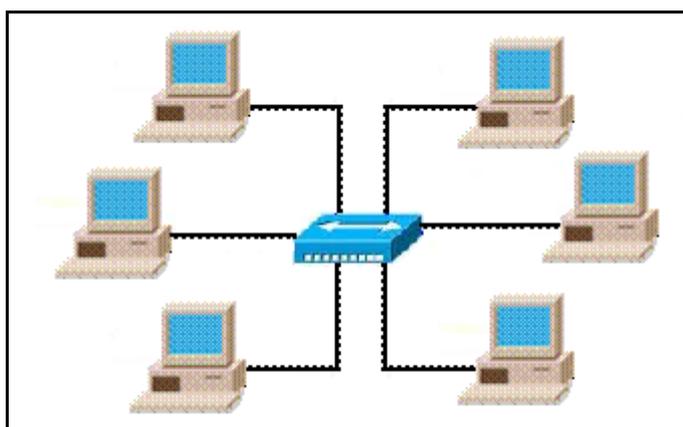


Figura 6: Topologia em estrela.
Fonte: Adaptado de Pinheiro (2006).

A topologia em árvore é disposta em hierarquias, como os ramos de uma árvore, conforme figura 7. Existe apenas um caminho para se chegar a um nó, sendo assim não existem problemas de distribuição, porém se qualquer conexão for aberta, interrompe-se a comunicação porque não há rotas alternativas.

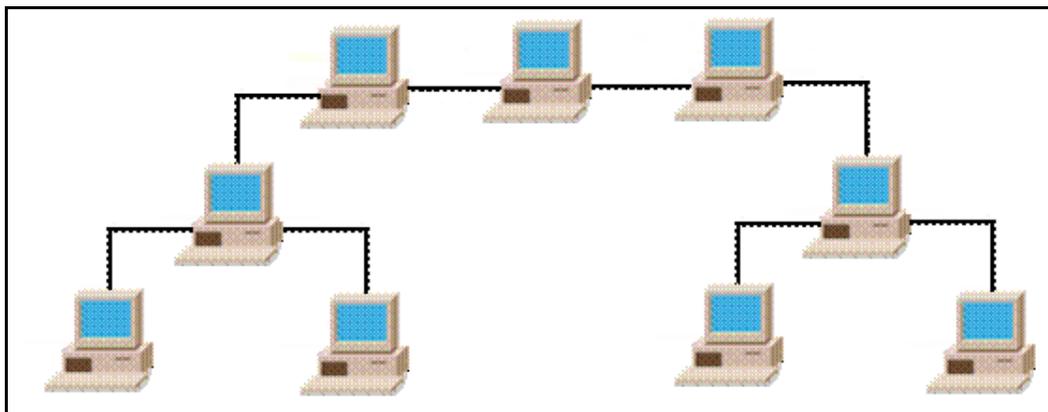


Figura 7: Topologia em árvore.
Fonte: Autoria própria (2012).

2.1.5 Meio Físico de Transmissão

O caminho físico pelo qual os sinais elétricos e as ondas eletromagnéticas se propagam é denominado meio de transmissão (LOPEZ, 2000). O meio de comunicação das redes é o meio pelo qual cada dispositivo está conectado. Existem dois aspectos básicos nos meios de comunicação: o meio propriamente dito e os sinais elétricos usados no meio (REGAZZI *et al.*, 2005).

Segundo Regazzi *et al.*(2005) os meios de transmissão mais comum são:

- cabos metálicos (par trançado, coaxial, e outros);
- fibra óptica;
- rádio frequência.

2.1.5.1 Cabos Metálicos

Os cabos metálicos são os mais populares e mais baratos meios de transmissão, sendo o cabo coaxial e o par trançado os mais utilizados meios de transmissão (REGAZZI *et al.*, 2005).

O cabo par trançado é formado de dois cabos isolados e trançados um ao redor do outro com a finalidade de aumentar a rejeição a ruídos e interferências eletromagnéticas (REGAZZI *et al.*, 2005). Esse tipo de cabeamento possui dois tipos

de construção: com capa metálica protetora (*shielded*) e sem capa metálica protetora (*unshielded*) (MORAES e CASTRUCCI, 2007).

Existem vários tipos de cabos par trançado sem blindagem (UTP – *Unshielded Twisted Pair*) que podem ser aplicados desde telefonia até cabeamentos de alta velocidade, como *Ethernet*. Em geral, possui quatro pares de cabos, visto na figura 8, enrolados com um passo diferente com a finalidade de eliminar a interferência do par adjacente ou de outros equipamentos elétricos (MORAES e CASTRUCCI, 2007).

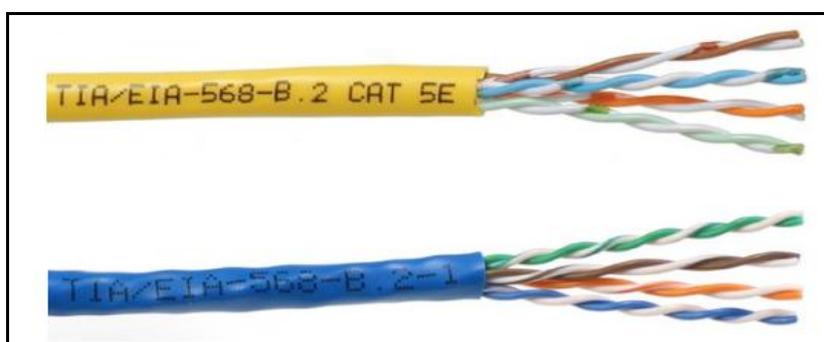


Figura 8: Cabos UTP.
Fonte: Morimoto (2008).

O cabo par trançado blindado (STP - *Shielded Twisted Pair*) utiliza uma blindagem individual para cada par de cabos ou combina a blindagem individual para cada par de cabos com uma segunda blindagem externa, envolvendo todos os pares. O cabo STP, visto na figura 9, foi desenvolvido para aplicações em ambientes com interferências elétricas, como, por exemplo, ambientes industriais visto que o cabo UTP pode ser suscetível a interferências por radio frequência e elétricas (MORIMOTO, 2008).

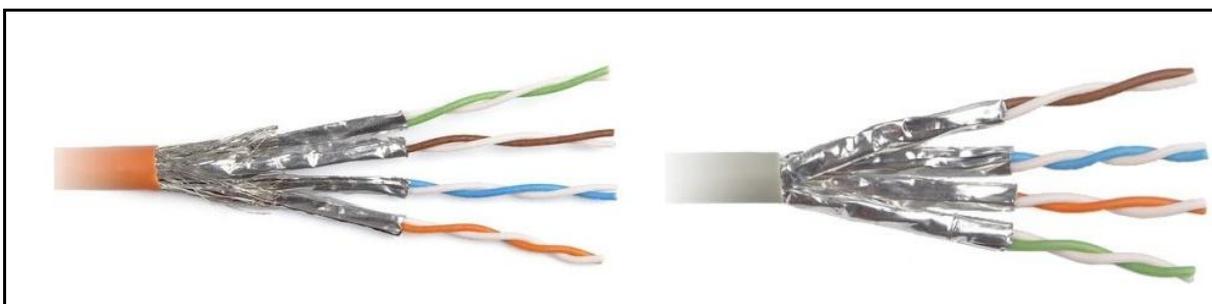


Figura 9: Cabos STP.
Fonte: Morimoto (2008).

O cabo coaxial possui um fio condutor de cobre em seu centro recoberto por uma camada de um polímero responsável pela isolação entre o condutor e a malha de proteção (*shielded*) e envolvido por capa protetora e isolante, como mostrado na figura 10. Embora seja um pouco mais difícil a instalação, ele é altamente resistente às interferências de sinais e pode suportar maiores distâncias comparado ao par trançado.

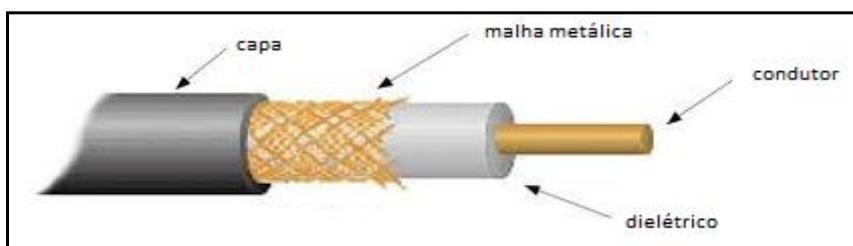


Figura 10: Cabo coaxial.
Fonte: Adaptado de Regazzi (2005).

Meios de transmissão que utilizam fios de cobre são os mais utilizados nos sistemas de redes industriais, pois oferecem soluções de custos reduzidos para muitas aplicações, facilidade nos sistemas de conexões além da capacidade de transmitir alimentação elétrica para os dispositivos de campo (REGAZZI *et al.*, 2005).

2.1.5.2 Fibra Óptica

O cabo de fibra óptica, como pode ser visto na figura 11, consiste em um núcleo de fibra de vidro no centro, envolvido por várias camadas de material isolante, aumentando assim sua robustez (MORAES e CASTRUCCI, 2007).

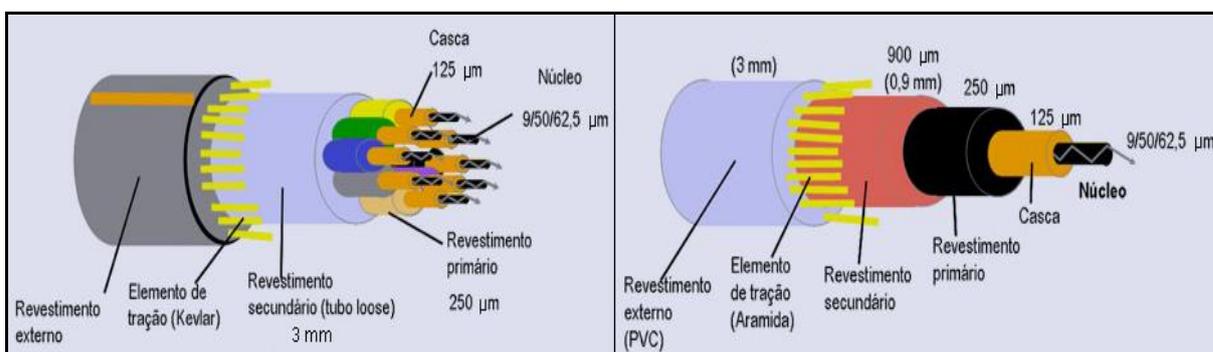


Figura 11: Cabos de fibras ópticas.
Fonte: Adaptado de Diamond (2012).

A fibra transmite informações em forma de luz, na qual as interferências eletromagnéticas têm efeito insignificante. Podem transmitir os sinais através de distâncias bem superiores, porém a principal desvantagem é o preço de instalação da fibra, comparado com os cabos coaxiais e par trançado. As fibras ópticas são classificadas como fibras monomodo e multimodo (REGAZZI *et al.*, 2005).

2.1.5.3 Radio Frequência

Embora menos comum em aplicações industriais, comunicação por radio frequência (RF) é suportada por alguns protocolos. Esse meio é reservado para longas distancias onde vários quilômetros podem separar dois dispositivos ou para aplicações móveis onde é inviável a utilização de cabos metálicos ou fibra óptica (REGAZZI *et al.*, 2005).

Nas redes sem fio (*wireless networks*), as informações são transmitidas através do ar em canais de alta frequência de radio, normalmente 915 MHz, 2,4 GHz, 5,8 GHz, entre outras (REGAZZI *et al.*, 2005).

As redes sem fio são de fácil instalação, mas possuem algumas desvantagens, como por exemplo: velocidade de transmissão eventualmente mais baixa, problemas gerados por reflexão das ondas eletromagnéticas em contato com objetos sólidos, possíveis interferências provocadas por fontes que geram sinais na mesma banda de frequência da rede além de maior vulnerabilidade de segurança das informações (REGAZZI *et al.*, 2005).

2.1.6 Métodos de Acesso ao Meio

Todas as características técnicas necessárias para o bom funcionamento de uma rede passam pela definição de sua topologia, responsável por definir, entre outros itens, o grau de complexidade com que os nós de comunicação acessam o meio físico de transmissão (SILVEIRA e SANTOS, 2007). As topologias usam regras específicas que controlam o momento em que os dispositivos da rede podem transmitir os dados. Esse processo de controle é chamado de acesso ao meio (LOPEZ, 2000).

A seguir são apresentados alguns dos principais algoritmos de controle e acesso ao meio de transmissão.

No algoritmo CSMA/CD (*Carrier Sense Multiple Access/Colision Detection*) 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 é abortada e depois de um período aleatório a estação tentara retransmitir (MORAES e CASTRUCCI, 2007).

A técnica *Token Passing* é utilizada em topologia anel, onde um *frame* de dados (*token* ou portador do direito de transmissão) é transmitido de modo ordenado de um dispositivo para outro. A passagem do *token* distribui o controle de acesso periodicamente entre os dispositivos da rede que, com a posse do *token* por um tempo determinado pelo protocolo, realizam suas tarefas e retransmitem o *token* para que o dispositivo seguinte o utilize (LOPEZ, 2000).

O método *Polling* é geralmente usado em topologia de barramento. Os dispositivos conectados a rede só transmitem quando interrogados pelo controlador, o mestre da rede. O mestre consulta cada um dos outros dispositivos, chamados de secundários ou escravos, numa determinada ordem preestabelecida, para saber se eles possuem informação a transmitir. Caso não tenham quadros a transmitir, o dispositivo interrogado envia ao mestre uma mensagem de *status*, avisando estar em operação (LOPEZ, 2000).

No método Mudança de Estado (CoS – *Change of State*) os dispositivos produzem dados apenas quando tem seu estado alterado. Logo, ao invés de ter-se um mestre realizando a leitura cíclica de cada dado, os dispositivos enviam os dados ao mestre quando houver variação de um valor em uma variável. Conseqüentemente, o tráfego de informação na rede é significativamente reduzido, aumentando seu desempenho. É possível configurar uma mensagem a ser transmitida ciclicamente para confirmar que o dispositivo está operando normalmente, mesmo que seu estado não tenha variado (ARAÚJO FILHO, 2005).

O algoritmo CTDMA (*Concurrent Time Domain Multiple Acces*) possui dois tipos de serviço, o programado e o não programado. O serviço programado permite que cada dispositivo configurado tenha o seu momento para transmitir em cada intervalo de tempo. O serviço não programado tem início com um dispositivo diferente em cada intervalo. Durante o intervalo, cada dispositivo pode realizar diferentes acessos a rede, dependendo da carga da rede (ARAÚJO FILHO, 2005).

2.2 MODELO DE REFERÊNCIA OSI

Segundo Regazzi *et al.* (2005) no início das redes de computadores, os muitos fabricantes trabalharam separadamente no desenvolvimento de suas tecnologias, muitas delas incompatíveis umas com as outras.

Em 1977, com a preocupação de estabelecer um padrão internacional para um protocolo de comunicação de um barramento de campo, a ISO (*Internatinoal Standard Organization* – Organização de Padrão Internacional) por meio de sua norma ISO 7498, criou um comitê para estudar a necessidade de padronização na área de sistemas de computação. Visando à interconectividade, estabeleceu regras, descrevendo funções envolvidas na comunicação entre dois ou mais computadores, por meio de um modelo conhecido como OSI (*Open System Interconnection* – Interconexão de Sistema Abertos). O modelo OSI, conhecido como modelo de referência, define sete camadas que vão especificar e definir todos os termos e funções requeridas por um protocolo de comunicação em todos os níveis de uma rede de dados (SILVEIRA e SANTOS, 2007).

O modelo OSI é estruturado em sete camadas hierárquicas, como mostra a figura 12. Cada camada desempenha um conjunto de funções diferentes e independente das outras, prestando um serviço, ou seja, uma série de funcionalidades, à camada superior. A complexidade é diminuída por meio de abstrações, isto é, não importa a determinada camada como os serviços da camada inferior foram implementada, só interessa que os serviços funcionem perfeitamente (SHIRASUNA, 2011).

Camada 7	Aplicação
Camada 6	Apresentação
Camada 5	Seção
Camada 4	Transporte
Camada 3	Rede
Camada 2	Enlace
Camada 1	Física

Figura 12: Modelo OSI em sete camadas hierárquicas.
Fonte: Shirasuna (2012).

Segundo Regazzi *et al.* (2005), as camadas de protocolo facilitam o projeto e a implementação das redes. O desafio de construir uma rede fica decomposto em diversos módulos que podem ser implementados separadamente sem afetar os demais.

Ainda de acordo com Regazzi *et al.* (2005) as principais características das camadas do modelo OSI podem ser resumidas como:

- *Camada física: Compreende as especificações de hardware* que é utilizado na rede, responsável efetivamente pela codificação e transporte das mensagens.
- *Camada de enlace: A camada de enlace de dados* faz com que o transmissor divida os dados de entrada em quadros de dados e transmita os quadros sequencialmente. A detecção e correção de erro é realizada ao nível de *bit*.
- *Camada de rede: Responsável por determinar a maneira como os pacotes* são roteados da origem até o destino.
- *Camada de transporte: Divisão dos dados em mensagens a serem* transportados. A detecção e correção de erro é realizada em nível de mensagens.
- *Camada sessão: Permite que dois elementos de uma rede estabeleçam* sessões entre eles.
- *Camada de apresentação: A camada de apresentação está relacionada à* sintaxe e à semântica das informações transmitidas, convertendo o formato dos dados de rede para representação da aplicação.
- *Camada de aplicação: Provê acesso aos serviços da rede para as* aplicações.

2.3 PROTOCOLOS

Protocolo de comunicação é a metodologia empregada para inicializar, manter ou terminar uma mensagem digital de um dispositivo sobre a via de dados. Este procedimento realiza as seguintes funções principais (BORGES, 2009):

- Garantir que as mensagens são recebidas livres de erros tais como

mudança de *bits*;

- Assegurar que a mensagem é transmitida para o dispositivo desejado.

Os 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).

Cada um dos protocolos de redes industriais é normalizado e promovido por uma organização formada de vários fabricantes e usuários. No mercado existem vários protocolos, por exemplo: *AS-I*, *Profibus*, *HART*, *Modbus*, *DeviceNet*, *CAN*, *LonWorks*, *Interbus*, *Foundation Fieldbus*, entre outras (REGAZZI *et al.*, 2005).

2.3.1 AS-I

O sistema AS-I (*Actuator Sensor Interface*) foi desenvolvida no início da década de 1990 por uma associação de fabricantes, como uma das mais inovadoras soluções de rede para sensores e atuadores (ARAÚJO FILHO, 2005).

Essen sistema é classificado como *Sensorbus* e oferece muitos benefícios das redes industriais com baixo custo e facilidade de instalação. É baseada em tecnologia digital e otimizada para dispositivos binários. Sensores e atuadores convencionais podem ser integrados facilmente ao sistema, resultando em uma solução de rede com grande flexibilidade e funcionalidade (REGAZZI *et al.*, 2005).

2.3.1.1 Componentes Principais

O mestre executa automaticamente todas as funções que são necessárias para o funcionamento correto da rede AS-I, possibilitando o diagnóstico do sistema, reconhecimento das falhas em qualquer ponto da rede, indicando o tipo de falha e em qual escravo ocorreu, endereçamento automático e manual dos escravos além da monitoração contínua dos escravos da rede (ARAÚJO FILHO, 2005). O mestre AS-I pode ser uma placa para computador, um cartão para CLP ou Mini-CLP (LUGLI; SANTOS 2010).

Os escravos são os dispositivos de entrada e saída, como por exemplo, módulos de entradas e saídas analógicos, digitais, pneumático e sensores

inteligentes (MORAES; CASTRUCCI, 2007). O escravo transfere suas informações de entrada para o mestre e por si só não tem autonomia para alterar os estados de saída, tornando-se dependente da rede para acioná-las (LUGLI; SANTOS 2010).

Um microcontrolador (chip AS-I) permite que sensores, atuadores ou módulos de entradas/saídas possam ser ligados ao barramento AS-I como um dispositivo escravo, reconhecendo os comandos de saída do mestre e enviando dados de resposta (SMAR, 2012).

2.3.1.2 Cabeamento

Na rede AS-I é utilizado um cabo *flat* com dois fios sem blindagem, com uma seção geometricamente específica, com a finalidade de proteção contra inversão de polaridade. São transmitidos ao mesmo tempo sinais de dados e alimentação. O cabo *flat* da rede AS-I é auto cicatrizante e estão disponíveis nas versões amarelo (dados e energia 30 Vcc) e preto (alimentação auxiliar 24 Vcc) (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

Este cabo flexível de duas vias é considerado o padrão para a rede AS-I, visto na figura 13. Existe ainda outro cabo com formato circular que deve ser usado somente se for explicitamente especificado pelo fabricante (SMAR, 2012).

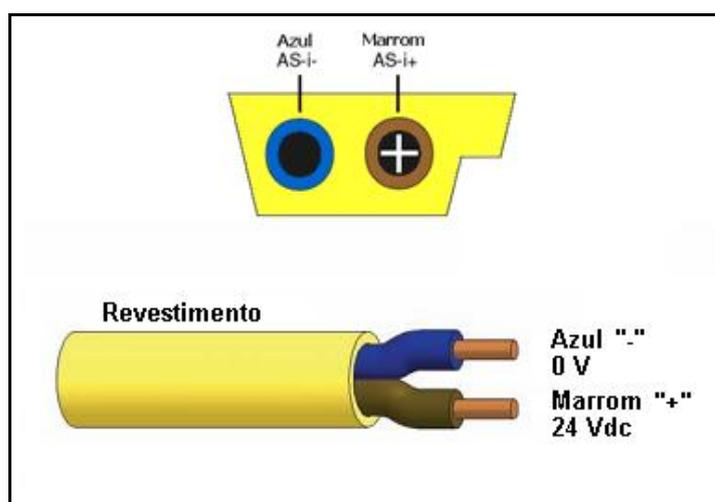


Figura 13: Cabo padrão para rede AS-I.
Fonte: SMAR (2012).

2.3.1.3 Conectividade

A rede AS-I pode se conectar ao nível de controle principal de duas formas (SMAR, 2012).

A primeira forma é a conexão direta (figura 14, à esquerda), onde o mestre pode ser conectado em computadores, que permitem a programação da lógica de controle através de um *software*, comunicando com o mestre via RS-485. Pode-se também integrar o chip mestre pode ser integrado diretamente em um cartão de CLP o que reduz drasticamente o número de módulos de I/O (BORGES, 2009).

Na segunda maneira de se conectar (figura 14, ao centro), o mestre da rede AS-I forma uma conexão com redes superiores, como por exemplo, *Profibus*, *Interbus*, *DeviceNet*, *CAN*, *Modbus*, entre outros, através de um acoplador (*gateway*) (SMAR, 2012).

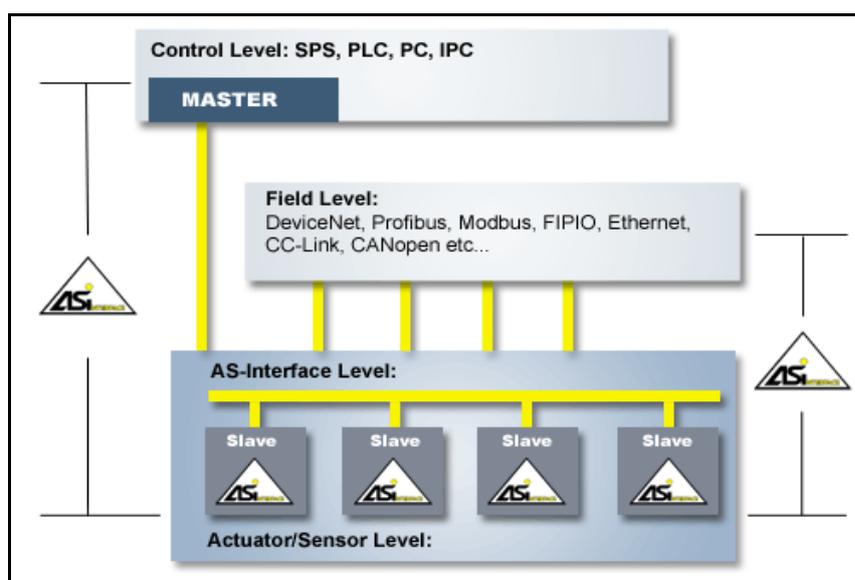


Figura 14: Interligação da rede AS-I com outras redes digitais.
Fonte: SMAR (2012).

2.3.1.4 Versões da Rede AS-I

Existem três versões da rede AS-I: versão 2.0, versão 2.1 e a versão 3.0, cujas principais especificações são apresentadas no quadro 1.

Versões	2.0	2.1	3.0
Número de escravos	31	62	62
Número de I/O	124 entradas 124 saídas	248 entradas 186 saídas	248 entradas 248 saídas
Sinal	Informação e alimentação (até 4A)	Informação e alimentação (até 4A)	Informação e alimentação (até 4A)
Meio físico	Cabo 2x1,5 mm ²	Cabo 2x1,5 mm ²	Cabo 2x1,5 mm ²
Ciclo máximo	5 ms	10 ms	20 ms
Comunicação	Mestre-Escravo	Mestre-Escravo	Mestre-Escravo
Comprimento do cabo	300 metros com repetidor 600 metros com terminador e repetidor		

Quadro 1: Comparação entre as versões 2.0, 2.1 e 3.0.
Fonte: Lugli e Santos (2010).

2.3.1.5 Técnica Modular

A técnica modular, representada pela figura 15, utiliza dispositivos que são formados de uma base para conexão dos cabos e uma parte superior, o módulo propriamente dito. Os cabos são encaixados na base e são conectados entre o módulo e a base por uma técnica que perfura a isolação do cabo, fazendo o contato elétrico quando se montam as partes dos módulos. Os módulos contêm a eletrônica da rede AS-I, além das suas funcionalidades e possibilidades de conexão para sensores e atuadores (BORGES, 2009).

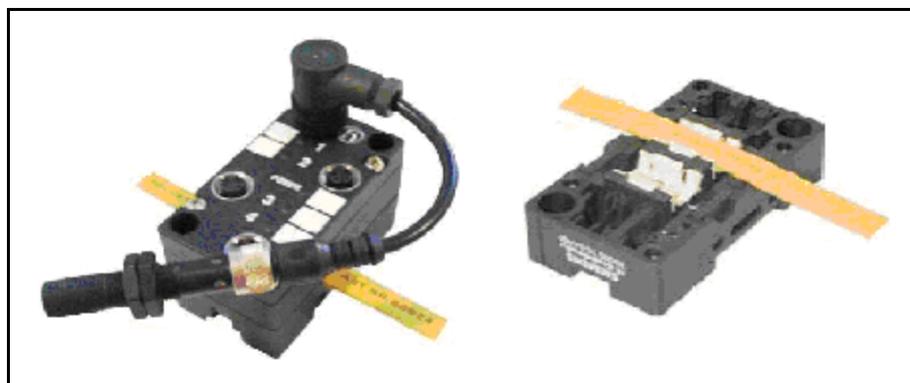


Figura 15: Técnica modular de conexão.
Fonte: Borges (2009).

2.3.2 HART

O protocolo HART (*Highway Addressable Remote Transducer*) foi desenvolvido em meados da década de 1980 pela Rosemount Inc., com o objetivo de ser utilizado com uma série de instrumentos de medição inteligentes. Inicialmente proprietário, o protocolo foi disponibilizado para uso gratuito e, em 1990, foi formado o HART *Users Group*. Em 1993, a marca comercial e todos os direitos autorais do protocolo foram transferidos para a HART *Communication Foundation* (HART COMMUNICATION FOUNDATION, 2012a).

HART é um protocolo de comunicação bidirecional que permite o acesso a dados entre instrumentos inteligentes de campo e sistemas de monitoramento e controle. O controlador do sistema pode ser desde um dispositivo portátil *handheld* ou um *laptop* utilizado pelo técnico até mesmo um sistema de gerenciamento e controle de processos industriais, ou outro sistema que utilize qualquer plataforma de controle (HART COMMUNICATION FOUNDATION, 2012b).

2.3.2.1 A Tecnologia HART

O protocolo HART usa o padrão Bell 202, no qual o sinal digital é modulado em FSK (*Frequency Shift Key*) e sobreposto ao sinal analógico de 4 a 20 mA. Por se tratar de um sinal digital simétrico em relação ao zero (1 mA pico a pico), não existe nível DC associado ao sinal FSK, logo, não há interferência no valor do sinal de 4 a 20 mA. Convencionalmente, o nível lógico "1" é representado por uma frequência de 1.200 Hz enquanto o nível lógico "0" é representado por uma frequência de 2.200 Hz, como mostrado na figura 16.



Figura 16: Sobreposição do sinal digital FSK ao sinal analógico de 4 a 20 mA. Fonte: Borges (2009).

O protocolo de comunicação HART amplia o padrão 4 a 20 mA ao permitir, também, a medição de processos de forma mais inteligente que a instrumentação de controle analógica, contribuindo para um salto na evolução do controle de processos. Possibilitando a comunicação digital em duas vias, é possível a transmissão e recepção de informações adicionais tais como *status*, diagnósticos, valores adicionais medidos ou calculados, além da variável de processo dos instrumentos de campo inteligentes (BORGES, 2009).

O HART é um protocolo do tipo mestre/escravo, o que significa que um instrumento de campo (escravo) somente “responde” quando “perguntado” por um mestre. Dois mestres (primário e secundário) podem se comunicar com um instrumento escravo em uma rede HART. Os mestres secundários, como os terminais portáteis de configuração, podem ser conectados normalmente em qualquer ponto da rede e se comunicar com os instrumentos de campo sem provocar distúrbios na comunicação com o mestre primário. O mestre primário é tipicamente um SDCC (Sistema Digital de Controle Distribuído), um CLP (Controlador Lógico Programável), um controle central baseado em computador ou um sistema de monitoração (BORGES, 2009).

2.3.2.2 Topologia

O protocolo HART permite todo tipo de comunicação digital com dispositivos de campo, em configurações de rede ponto a ponto (um único dispositivo de campo na rede) ou multiponto (múltiplos instrumentos de campo usando o mesmo par de fios). Uma modalidade opcional de comunicação denominada *brust* ou *broadcast mode*, permite que um único instrumento escravo transmita continuamente uma mensagem de resposta padrão HART, liberando, assim, o mestre de ficar repetindo um comando de solicitação para atualização da informação da variável de processo (HART COMMUNICATION FOUNDATION, 2012b).

Utilizando uma topologia do tipo multiponto, a rede HART pode suportar, no máximo, 15 instrumentos de campo, podendo ser empregado apenas o modo mestre/escravo. Quando houver a necessidade de implementação de um sistema com uma quantidade superior a 15 dispositivos de campo, pode-se utilizar multiplexadores para acessar os equipamentos, possibilitando a utilização de grandes quantidades de instrumentos de campo, onde o usuário seleciona o *loop* de corrente para comunicar via sistema de controle (CASSIOLATO, 2009).

2.3.2.3 Cabos

Os comprimentos dos cabos usados na rede HART podem variar de acordo com o tipo de cabo, sua capacitância e o número de instrumentos conectados à rede. Em geral o comprimento pode chegar a 3000 metros para um único par trançado blindado e 1500 metros para múltiplos cabos de par trançado com blindagem comum. Para uso em áreas classificadas são disponíveis barreiras de segurança intrínseca e isoladores que permitem a passagem de sinais HART (BORGES, 2009).

2.3.2.4 Comandos HART

A comunicação HART é baseada em comandos, por exemplo, o mestre emite um comando e o escravo responde. Existem três tipos de comando HART que permitem leitura/escrita de informações em instrumentos de campo, conforme figura 17. Estes comandos estão divididos em classes (CASSIOLATO, 2009):

- Universais: Usados e compreendidos por todos os equipamentos HART;
- Práticos e Comuns: Suportados pela maioria dos equipamentos HART e de acordo com a função do equipamento;
- Específicos de cada equipamento conforme o fabricante: São dependentes das características particulares de cada equipamento/fabricante.

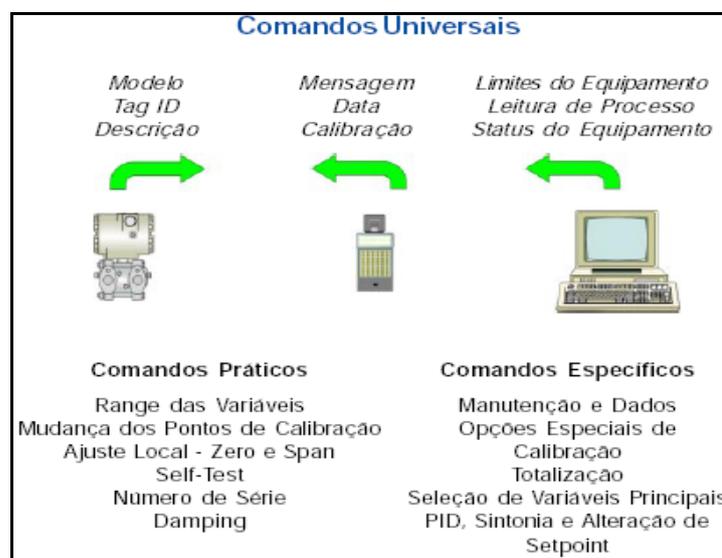


Figura 17: Comandos HART.
Fonte: Borges (2009).

2.3.3 Profibus

O *Profibus* (*PROcess FieldBUS*) é um protocolo aberto de rede de comunicação industrial, utilizado em uma grande variedade de aplicações em automação da manufatura e de processos. Com o *Profibus* dispositivos de diversos fabricantes podem estabelecer comunicação sem qualquer ajuste especial na interface. A padronização do protocolo e a independência de fabricantes são garantidas pelas normas EN 50170 e EM 50254 (LUGLI; SANTOS, 2010).

O *Profibus* pode ser utilizado tanto em aplicações com transmissão de informações em alta velocidade como em tarefas complexas e extensas de comunicação. Possui dois protocolos distintos, sendo *Profibus-DP* (*Decentralized Periphery*) e o *Profibus-PA* (*Process Automation*) (LUGLI; SANTOS, 2010). Uma integração eficiente aos sistemas de comunicação corporativos existentes, tais como: *Intranet*, *Internet* e *Ethernet*, é um requisito extremamente importante em sistemas de automação industrial, o que o *Profibus-FMS* (*Fieldbus Message Specification*) e o *Profinet* podem suprir (CASSIOLATO *et al.* 2012).

No nível de sensores e atuadores, o protocolo *Profibus*, permite a interoperabilidade com outros protocolos ou padrões, como RS-485, fibra óptica, IEC 61158-2 ou protocolo AS-I. No nível de campo os protocolos *Profibus-DP* ou *Profibus-PA*, [...] permitem a transmissão de dados a partir de módulos de E/S, transdutores, acionamentos (*drivers*), válvulas em tempo real com nível superior correspondente ao nível de célula. Dados do processo são transmitidos ciclicamente, enquanto que alarmes e parâmetros são transmitidos aciclicamente. No nível de célula estão presentes controladores (CLP) e computadores (PC), assim como interfaces homem-máquina que se comunicam entre si e entre os níveis abaixo e acima, havendo assim, um maior fluxo de dados. Neste nível o *Profibus-FMS* ou o *Profinet* são utilizados com eficiência. O nível de célula troca informações com o sistema de informação de fábrica através de rede gerencial, ou seja, com o nível de fábrica. Neste nível, o *Profibus* permite a interoperabilidade com protocolos como *Ethernet/TCP-IP* (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2007).

Afigura 18 mostra o atendimento da rede PROFIBUS aos vários níveis dos sistemas de automação.

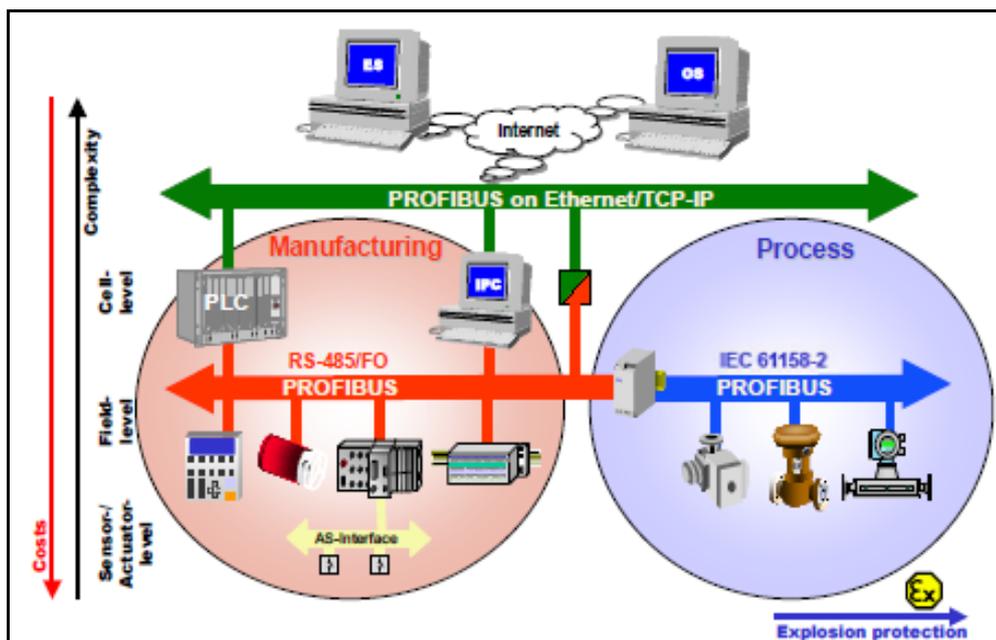


Figura 18: Conexão da rede *Profibus* com diversos níveis de automação. Fonte: Cassiolato *et al.* (2012).

2.3.3.1 Características Básicas

O *Profibus* especifica as características de funcionamento e técnicas de um sistema de comunicação industrial, por meio das quais dispositivos digitais podem conectar-se, do nível de campo até o nível de células. Pode ser configurado como um sistema multimestre e permite a operação conjunta de vários sistemas de automação, engenharia ou visualização, com seus respectivos dispositivos periféricos (LUGLI; SANTOS, 2010).

Esse protocolo é do tipo mestre/escravo, em que os dispositivos mestres, também chamados de estações ativas, são descentralizados e determinam a transmissão no barramento, enviando mensagens sem uma requisição externa sempre que possuírem o direito de acesso ao barramento (*token*) (LUGLI; SANTOS, 2010).

Os dispositivos escravos são elementos periféricos, denominados de estações passivas, incluem dispositivos de I/O, válvulas, sensores e transmissores. Podem somente reconhecer mensagens recebidas ou responder ao mestre quando solicitados, não tendo direito de acessar o barramento (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2007).

2.3.3.2 Tecnologias *Profibus*

O *Profibus-DP* teve seu desenvolvimento otimizado especialmente para comunicações entre os sistemas de automação e equipamentos descentralizados, voltado para sistemas de controle, onde se destaca o acesso aos dispositivos de I/O distribuídos. É uma solução de alta velocidade de conexão (*high-speed*) e baixo custo, podendo ser usado para substituir a transmissão de sinal em 24 Vcc em sistemas de automação de manufatura assim como para a transmissão de sinais de 4 a 20 mA em sistemas de automação de processo (LUGLI; SANTOS, 2010).

O *Profibus-PA* é a solução que atende aos requisitos da automação de processos, onde se tem a conexão com equipamentos de campo, tais como, transmissores de pressão, temperatura, conversores, posicionadores e outros. Foi desenvolvido apenas para utilização em sistemas de transmissão de sinal de 4 a 20 mA para automação de processos analógicos (LUGLI; SANTOS, 2010). O uso deste protocolo permite a economia de custos nos planos de cabeamento, comunicação e manutenção, além de aumentar a funcionalidade e a segurança (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2007).

O perfil de comunicação *Profibus-FMS* é a solução de padrão de comunicação universal que pode ser usada para resolver tarefas complexas de comunicação entre CLPs e DCSs (*Distributed Control System*), suporta a comunicação entre sistemas de automação, assim como a troca de dados entre equipamentos inteligentes e é, geralmente, utilizado em nível de controle. O FMS define uma ampla seleção de serviços de comunicação mestre-mestre ou mestre-escravo, porém vem sendo substituído por aplicações em *Ethernet* (CASSIOLATO *et al.* 2012).

2.3.3.3 Arquitetura do Protocolo

O *Profibus* é fundamentado em padrões reconhecidos internacionalmente, sendo sua arquitetura de protocolo norteada ao modelo de referência OSI conforme o padrão internacional ISO 7498. De acordo com o modelo OSI, na camada 1 (física) são definidas as características físicas de transmissão, na camada 2 (enlace) define-se o protocolo de acesso ao meio e na camada 7 (aplicação) são definidas as

funções de aplicação. A arquitetura do protocolo *Profibus* é mostrado na figura 19 (CASSIOLATO *et al.*, 2012).

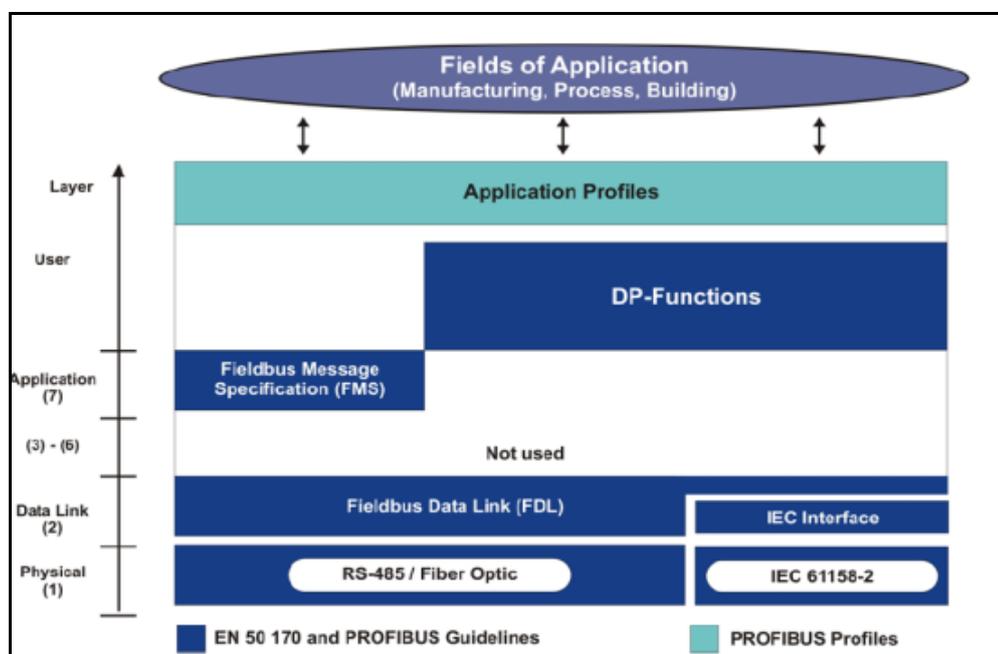


Figura 19: Arquitetura do protocolo de comunicação *Profibus*.

Fonte: Cassiolato *et al.* (2012).

O *Profibus-DP* é focado na automação de chão de fábrica e utiliza somente as camadas 1 e 2, além da interface do usuário. As camadas 3 a 7 não são utilizadas. Esta arquitetura garante uma transmissão de dados eficiente e rápida. O *Direct Data Link Mapper* (DDLM) oferece à interface do usuário acesso a camada 2. As funções de aplicação disponíveis ao usuário, além do comportamento dos dispositivos e do sistema dos vários tipos de dispositivos DP, são especificados na Interface do Usuário (CASSIOLATO *et al.*, 2012).

No *Profibus-FMS* as camadas 1, 2 e 7 são de peculiar importância. A camada de aplicação é formada pelo FMS (*Fieldbus Message Specification*) e pelo LLI (*Lower Layer Interface*). O FMS define uma grande seleção de serviços de comunicação mestre-mestre ou mestre-escravo. A representação destes serviços FMS no protocolo de transmissão de dados são definidos pelo LLI (CASSIOLATO *et al.*, 2012).

O *Profibus-PA* é aplicado na automação de processos e usa uma extensão do protocolo de transmissão do *Profibus-DP*. Além disso, o PA usa um perfil (*profile*) que define o comportamento dos dispositivos de campo. A tecnologia de

transmissão permite uma segurança intrínseca e permite também que dispositivos de campo possuam poder sobre o barramento. Os dispositivos do *Profibus-PA* podem ser facilmente integrados em redes de *Profibus-DP* usando um *gateway* (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2007).

2.3.3.4 Tecnologia de Transmissão

A aplicação de um sistema de comunicação industrial é amplamente influenciada pela escolha do meio de transmissão disponível. Assim sendo, os requisitos de uso genérico, tais como alta confiabilidade de transmissão, grandes distâncias a serem cobertas e alta velocidade de transmissão, somam-se as exigências específicas da área de automação de processos, tais como operação em áreas classificadas, transmissão de informação e alimentação no mesmo meio físico, entre outros. Partindo-se do princípio de que não é possível atender a todos esses requisitos com um único meio de transmissão, existem atualmente três tipos físicos de comunicação no *Profibus* (LUGLI e SANTOS 2010).

Os três tipos de meios físicos de comunicação utilizados no *Profibus* são:

- RS485: para uso universal, especialmente em sistemas de automação da manufatura, principalmente na versão DP;
- IEC 61158-2 (*Manchester*): para aplicações em sistemas de automação em controle de processo, utilizado na versão PA;
- Fibra Ótica para aplicações em sistemas que demandam grande imunidade a interferências e grandes distâncias.

Segundo Cassiolato *et al.* (2012), atualmente estão sendo feitos desenvolvimentos e produtos com tecnologia em infravermelho e *wireless*, já disponíveis no mercado. Além disso, *links* e *couplers* são disponíveis para acoplamento entre os vários meios de transmissão.

2.3.3.5 *Profinet*

Profinet provê uma comunicação baseada na *Ethernet* capaz de mesclar os benefícios da comunicação corporativa (TCP/IP, HTTP, SMTP entre outros) com as particularidades da comunicação industrial. Fornece acesso direto do nível corporativo para o nível de automação e vice-versa (NASCIMENTO, 2008).

O protocolo *Profinet* tem a capacidade de operar como um “*backbone*” para interligar os protocolos *Profibus* DP e PA. A integração de segmentos *Profibus* no *Profinet* é alcançada utilizando dispositivos *gateways*. O conceito de *proxy* também é utilizado no serviço de conversão entre os dois sistemas de comunicação integrando a tecnologia de transmissão *Profibus*, especialmente desenvolvida para automação, sem a necessidade de sacrificar os benefícios da tecnologia *Profinet*, conforme figura 20 (NASCIMENTO, 2008).

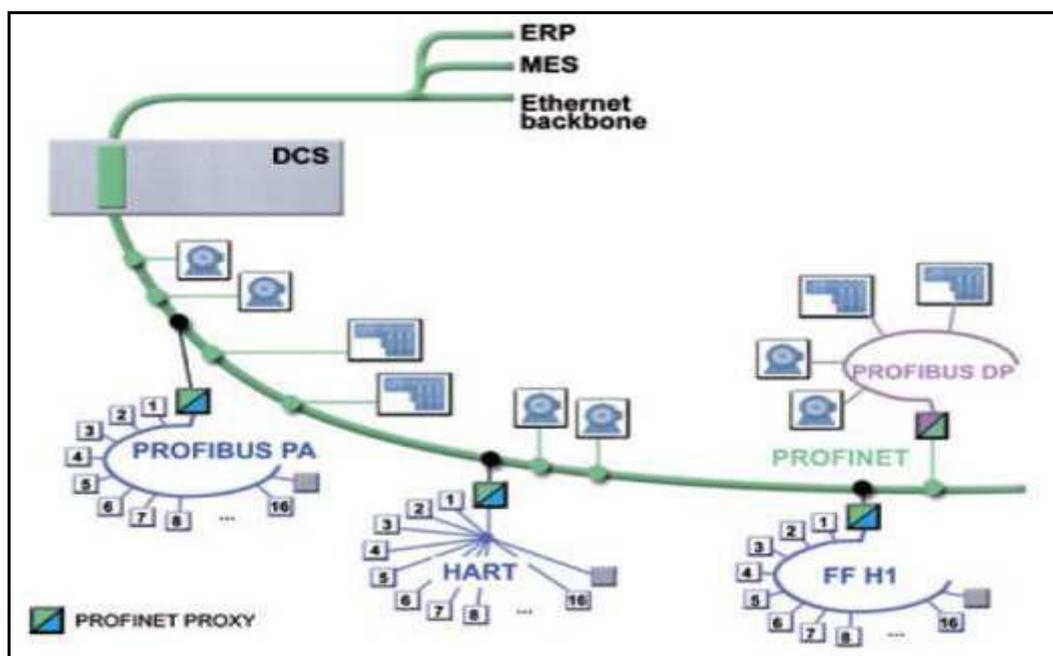


Figura 20: Exemplo do uso de *Profinet* numa planta industrial.
Fonte: Cassiolato et al. (2012).

2.3.4 *Foundation Fieldbus*

O protocolo *Foundation Fieldbus* é um sistema de comunicação digital bidirecional, que possibilita a interligação em rede de vários instrumentos diretamente no campo, realizando funções de controle e monitoração de processo por meio de sistemas de controle e *softwares* supervisórios (BORGES, 2009).

Foundation Fieldbus é a evolução técnica para comunicação digital em instrumentação e controle de processos. Diferentemente de qualquer outro protocolo de comunicação que depende de um controlador central, essa tecnologia pode ser

implantada para executar aplicações de controle de processos ao invés de somente transferir dados no modo digital (SMAR, 2010).

Esse protocolo mantém muitas das características operacionais do sistema 4 a 20 mA, tais como, uma interface física padronizada da fiação, dispositivos alimentados por um único par de fios e as opções de segurança intrínseca. Além disso, oferece muitos benefícios adicionais aos usuários, tais como processamento distribuído, diagnóstico avançado e redundância. É um sistema heterogêneo e distribuído, composto por equipamentos de campo, *softwares* de configuração e supervisão, interfaces de comunicação, fontes de alimentação e pela própria rede física que os interconecta (SMAR, 2008).

Em comparação a outros sistemas, o protocolo *Foundation Fieldbus* possibilita o acesso a diversas variáveis, não apenas relativas ao processo, mas também do diagnóstico dos sensores e atuadores, dos componentes eletrônicos, degradação de desempenho, entre outras (SMAR, 2008).

Deve-se tomar cuidado para não confundir o nome da rede *Foundation Fieldbus*, com o da fundação que a criou e a mantém, esta sim denominada *Fieldbus Foundation*.

2.3.4.1 Características de Desempenho

A rede *Foundation Fieldbus* fornece uma vasta gama de serviços e funções, dentre elas (SMAR, 2008):

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

- Modelagem de aplicações usando linguagem de blocos funcionais.

2.3.4.2 Níveis do Protocolo

O protocolo *Foundation Fieldbus* foi desenvolvido baseado no modelo OSI, ainda que não contenha todas suas camadas, pois são usados os níveis 1, 2 e 7, além de um oitavo nível, chamado de nível do usuário que é baseada em processos de aplicação de blocos funcionais, conforme figura 21 (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2007).

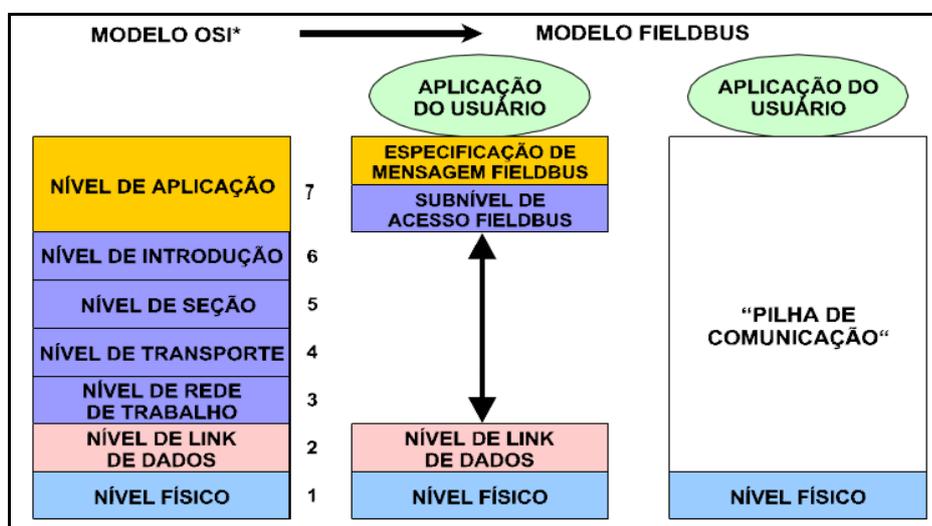


Figura 21: Modelo OSI em comparação com *Foundation Fieldbus*.
Fonte: SMAR (2011).

2.3.4.3 Especificações do Protocolo

As especificações *Foundation Fieldbus*, que segue o padrão IEC 61158, apresentam duas diferentes configurações: H1 e HSE. A configuração H1 interconecta equipamentos de campo como sensores e atuadores. A configuração HSE (*High Speed Ethernet*) provê integração dos controladores de alta velocidade (como sistemas de controle distribuídos e CLPs), aos subsistemas H1, com servidores de dados e estações de trabalho (MORAES; CASTRUCCI, 2007).

Uma rede *Foundation Fieldbus* é composta por diversos barramentos H1, conectados entre si através de *bridges* ou *Linking Devices* Foundation Fieldbus, que por sua vez conectam as redes H1 ao *backbone* HSE (SMAR, 2008).

Cada barramento H1 suporta, teoricamente, até 32 dispositivos não alimentados pelo barramento. Na prática, pode-se ter até 12 dispositivos de campo alimentados pelo próprio barramento e outros 20 dispositivos não alimentados pelo barramento, cada um com endereço lógico exclusivo na rede (SMAR, 2008).

O protocolo H1 é destinado ao uso nos instrumentos de campo. A camada física fornece uma taxa de transmissão de 31,25 kbps, *half-duplex*, que utiliza como meio físico par trançado blindado sendo que a alimentação e a comunicação se dão pelo mesmo par e possui codificação binária do tipo *Manchester*. Os instrumentos de campo são alimentados pelo barramento e adequados para utilização em áreas classificadas (PANTONI, 2006).

A modulação do sinal é feita pela variação de uma corrente de 10 mA em uma carga equivalente de 50 Ω , resultando em uma tensão modulada de 0,75 a 1 Vpp, sobreposta à tensão do barramento (9 a 32 Vcc) (SMAR, 2008).

O comprimento da fiação, dependendo do tipo de cabo e do número de componentes, pode chegar a 1.900 m sem o uso de repetidores, sendo que até 4 repetidores podem ser usados, atingindo 9.600 m (SMAR, 2008).

A rede HSE baseia-se na mesma camada física *Ethernet* com taxa de transmissão de 100 Mbps. Vários fabricantes disponibilizam equipamentos específicos para aplicações industriais, seja com faixa de temperatura adequada (-40 a 85°C), seja com funções específicas para transmissão de dados em tempo real (SMAR, 2008).

Segundo Pantoni (2006) nas redes HSE, utilizam-se quatro tipos de dispositivos:

- *Linking Device*: é um tipo de dispositivo que estabelece a comunicação entre a rede HSE e um ou mais canais H1.
- *Ethernet Field Device*: dispositivo com camada de aplicação de blocos funcionais que se conecta diretamente à rede HSE;
- *I/O Gateway*: dispositivo que disponibiliza acesso a equipamentos baseados em outras tecnologias de campo não *Foundation Fieldbus*
- *Host*: é o dispositivo por onde o operador acessa uma estação de trabalho com sistema de IHM.

No protocolo *Foundation Fieldbus* há o conceito de nó LAS (*Link Active Schedule*), que é o elemento mestre da rede. Esse mestre não é fixo, sendo que qualquer equipamento configurado para ser um LAS é capaz de assumir esse papel quando o dispositivo LAS corrente sair da rede. O LAS é responsável pelo agendamento dos serviços cíclicos e acíclicos na rede. Os serviços cíclicos são aqueles responsáveis pelo controle propriamente dito, colocando em prática o escalonamento proposto pela ferramenta configuradora como, por exemplo, ordem de execução dos blocos e links e período de ciclo total. Entre os serviços acíclicos têm-se as escritas e leituras nos parâmetros dos blocos funcionais dos dispositivos *Foundation Fieldbus* (PANTONI, 2006).

2.3.4.4 Blocos de Função

A norma *Fieldbus* definiu uma Aplicação de Usuário padrão baseada em "Blocos". Blocos são representações de tipos diferentes de funções, através dos quais é possível controlar, conservar e customizar as suas aplicações (SMAR, 2010). Os dispositivos *Foundation Fieldbus* contêm três classes de blocos: Bloco de Recursos (*Resource*), Bloco de Função e Bloco Transdutor (*Transducer*) (BORGES, 2009).

Os blocos de recurso descrevem características de *hardware* do dispositivo *Foundation Fieldbus* como a Descrição do Dispositivo (DD), nome do dispositivo, fabricante, e número de série. Há apenas um bloco de recurso em cada dispositivo (SMAR, 2010).

Os blocos funcionais são elementos de *software* para controle de comportamento do sistema. A execução de cada bloco funcional é precisamente agendada. Pode haver muitos blocos de função em uma única aplicação de usuário, capazes de prover uma estrutura universal que define as interfaces externas entre dispositivos para que seja realizado o controle distribuído. O quadro 2 apresenta alguns blocos de funções padrões para controle, definidas pelo protocolo (SMAR, 2010).

Bloco Função	Símbolo
Entrada analógica	AI
Saída analógica	AO
Bias	B
Seletor de Controle	CS
Entrada Discreta	DI
Saída Discreta	FAZ
Carregador Manual	ML
Proporcional Derivativo	PD
Proporcional Integral Derivativo	PID
Relação	RA

Quadro 2: Blocos de funções *Foundation Fieldbus*.
Fonte: Smar (2010).

Os blocos transdutores são blocos que ficam entre os blocos de I/O e o hardware de I/O. Encarregados, portanto, de transformar sinais físicos em variáveis e vice versa. Eles isolam os blocos funcionais dos dispositivos de *hardware* específicos de I/O como sensores, atuadores e chaves de cada dispositivo. Seus algoritmos internos controlam dispositivos de I/O e apresentam uma interface padronizada para os blocos funcionais (BRANDÃO, 2005 *apud* PANTONI, 2006).

A figura 22 mostra um exemplo de configuração prática entre as redes H1 e HSE do sistema *Foundation Fieldbus*.

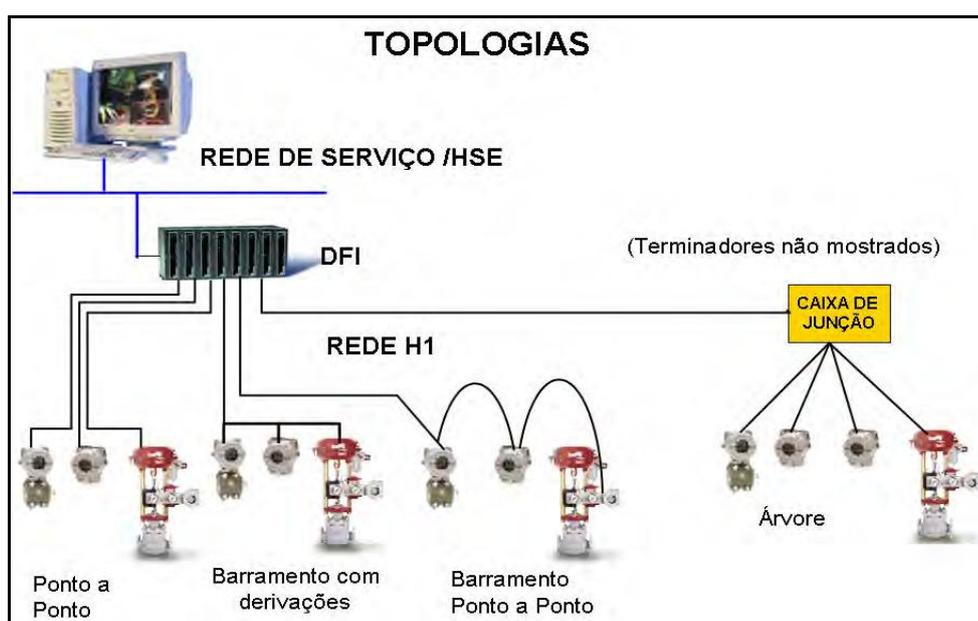


Figura 22: Exemplo de topologias *Foundation Fieldbus*.
Fonte: SMAR (2008).

2.3.5 *Ethernet Industrial*

A *Ethernet* é a tecnologia de rede local (LAN) mais conhecida e com maior utilização no mundo em sistemas de rede de comunicação comercial. A rede *Ethernet* sofreu uma longa evolução nos últimos anos, chegando a atender uma ampla gama de aplicações. Está presente nos mais variados segmentos, dos quais se destacam automação bancária, controle de processos industriais, aplicações científicas, entre outras. Na versão industrial é largamente aplicada no gerenciamento de processos de fábrica. Nos últimos anos vem crescendo o interesse da indústria pela rede *Ethernet* como uma real alternativa no chão de fábrica e no controle de processos (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2007).

Existem várias redes de campo utilizadas no ambiente industrial, tais como, *DeviceNet*, *Profibus*, *Interbus*, *Foundation Fieldbus*, entre outras, podendo ser usadas de acordo com a preferência e, também, com as características da aplicação. O que era necessário era que estes protocolos, de fabricantes diferentes, pudessem ser adaptados à tecnologia *Ethernet* e, desta forma, pudessem interagir uns com os outros (CARVALHO, 2007)

De acordo com Borges (2009) algumas associações desenvolveram a partir dos seus protocolos níveis de aplicação para *Ethernet*, entre eles, 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*).

Com a grande quantidade de opções para *Ethernet* Industrial, acabou-se por não ter a interoperabilidade desejada. Devido ao fato de que cada fabricante ou grupo desenvolveu suas soluções incompatíveis com os demais (por exemplo, o *Profinet* da associação *Profibus* não se comunica com o *Ethernet/IP* da ODVA), de qualquer forma, e apesar de alguns problemas que surgiram na fase inicial de implantação, a *Ethernet* conseguiu sua penetração no ambiente industrial (CARVALHO, 2007).

2.3.5.1 Características

A *Ethernet* Industrial tem a característica de conexão com a Web, desta forma, todo o sistema de gerenciamento pode ser ligado à *Internet*. Vale ressaltar que isso também adiciona o risco de ataque da rede por usuários mal intencionados, sendo a segurança um dos fatores relevantes na escolha desse protocolo (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2007).

Um fator muito importante para qualquer rede é o determinismo. O determinismo permite a previsão, com exatidão, da velocidade de transmissão de dados e garante que a chegada desses se efetue sempre no mesmo instante previsto (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2007). A utilização de *switches*, equipamentos compostos de várias portas com *buffer* capaz de manter o controle de colisão especificada no método CSMA/CD, e a comunicação *full-duplex*, possibilitaram o determinismo na transmissão de dados para redes *Ethernet* tornando o sistema viável em aplicações industriais (LOPEZ, 2000).

As redes *Ethernet* Industrial podem utilizar quaisquer dos meios físicos descritos no IEEE 802.3, visto no quadro 3 (POPP; WEBBER, 2004 *apud* LUGLI, 2007).

Tipo de cabo	Velocidade da rede (Mbps)	Distância máxima sem repetidor (m)	Número máximo de elementos
Par trançado blindado 10BASE-T	10	100	1024
Par trançado blindado 100BASE-T	100	100	1024
Par trançado blindado 1000BASE-T	1000	100	1024
Fibra óptica 10BASE-FL	10	2000	1024
Fibra óptica 100BASE-FL	100	2000	1024

Quadro 3: Características dos meios físicos das redes *Ethernet*.
Fonte: Popp e Webber (2004) apud Lugli (2007).

Um grande atrativo da *Ethernet* Industrial é ser uma rede já consolidada e de grande aplicação em todo o mundo. Deve-se tomar especial atenção à agressividade do ambiente industrial, em comparação com ambientes comerciais. A

utilização dos conceitos e equipamentos (cabos, conectores, *switches*, placas e outros) torna-se um fator positivo aos envolvidos na manipulação dessa tecnologia, não sendo necessária a criação de novos equipamentos, apenas a adaptação daqueles já utilizados nos escritórios, visando garantir proteção à umidade, vibrações mecânicas, poeira, interferências eletromagnéticas e outras situações comum no ambiente industrial (CARVALHO, 2007). O quadro 4 compara os níveis de exigência de produtos *Ethernet* comercial e industrial.

Itens	Produtos para <i>Ethernet</i> Comercial	Produtos para <i>Ethernet</i> Industrial
Temperatura de operação	5°C a 40°C	0°C a 60°C
Placa <i>Multi Layer</i> para imunidade a ruído	Não	Sim
Conectores	RJ-45	Parafuso, DB9, RJ-45, e Fibra Óptica
Redundância	Não	Sim
Encapsulamento industrial	Não	Sim
Alimentação	110Vac	24 Vcc
Compatibilidade até 10 anos	Não	Sim

Quadro 4: Comparação entre *Ethernet* comercial e industrial.
Fonte: Albuquerque e Alexandria (2007).

O potencial da *Ethernet* Industrial ultrapassa seu uso como rede de comunicação. Além de simplesmente empregar 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, DHCP, OPC, SNMP, entre outros) fato que causou uma drástica mudança na maneira como se lida com as informações no nível de chão de fábrica (SHIRASUNA, 2005 *apud* NOGUEIRA, 2009).

2.3.6 *Wireless*

Segundo Albuquerque e Alexandria (2007), quando existem dificuldades de se instalar cabos em uma edificação, devido a acidentes geográficos (montanhas, florestas, pântanos, entre outros) ou mesmo quando se precisa atravessar uma rua,

deve-se recorrer à tecnologia da transmissão sem fio. Os sistemas que trabalham com redes sem fio são chamados de WLAN (*Wireless Local Area Network*).

De acordo com Zucato (2009), o cenário das comunicações sem fio é bastante vasto, abrangendo tanto redes domésticas como redes metropolitanas, como pode ser observado na figura 23.

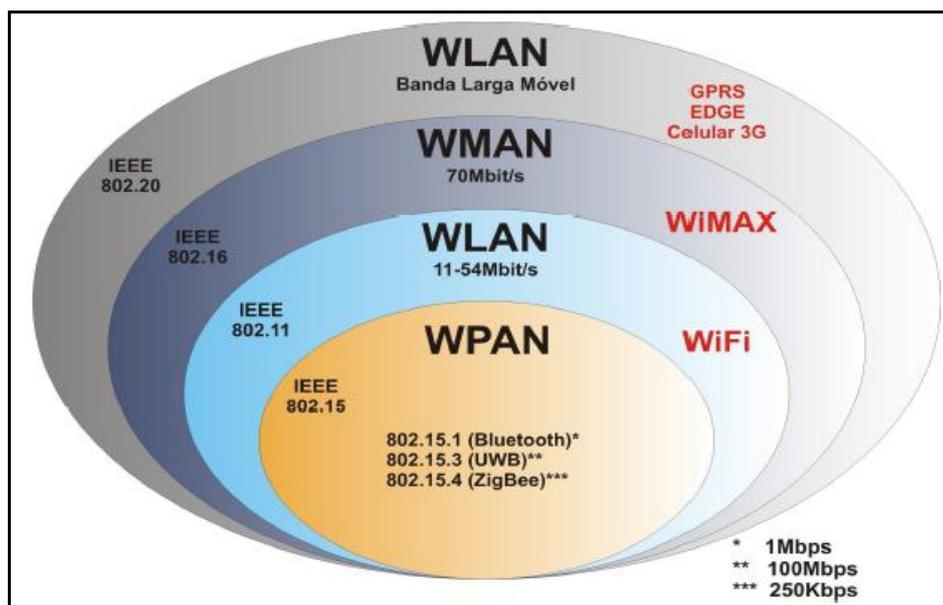


Figura 23: Padrões wireless.
Fonte: Intel (2004) apud Zucato (2009).

As redes locais sem fio são baseadas no padrão 802.11, especificado pelo IEEE (*Institute of Electrical and Electronics Engineers*), e formadas de um conjunto de estações que trocam informações, utilizando a propagação das ondas eletromagnéticas. No entanto, equipamentos de comunicação de dados *wireless* utilizam-se também de luz infravermelha ou laser, apesar das ondas eletromagnéticas serem o meio mais difundido (NOGUEIRA, 2009).

Distintas tecnologias de transmissão vêm sendo desenvolvidas para eliminar as deficiências das redes sem fio e para aumentar a confiabilidade da transmissão de dados. Vários tipos de WLAN utilizam técnicas de espalhamento espectral, onde um sinal de informação em banda estreita é espalhado em um sinal de banda larga no transmissor e reagrupado no receptor. As duas principais técnicas de espalhamento espectral são: espalhamento espectral de sequência direta (DSSS – *Direct Sequence Spread Spectrum*) e espalhamento espectral por saltos na frequência (FHSS – *Frequency Hopping Spread Spectrum*) (NASCIMENTO, 2008).

Há ainda um terceiro método de transmissão sem fio que usa a técnica de modulação baseada na ideia de multiplexação por divisão de frequência (OFDM - *Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) (GHAYUM, 2010, tradução própria).

2.3.6.1 Tecnologias de Redes Industriais Sem Fio

Existem diferentes protocolos disponíveis de redes sem fio para automação industrial e os principais padrões são: Wi-Fi, *Bluetooth*, *ZigBee*, *WirelessHART* e ISA SP100.11a (GHAYUM, 2010, tradução própria).

O padrão Wi-Fi é baseado no padrão IEEE 802.11. A tecnologia Wi-Fi utiliza a faixa de frequência de 2,4 GHz ou 5 GHz com alcance de 30 a 300 m. Possui aplicações com taxas de transferência a partir de 11 Mbps até 400 Mbps e, para reduzir a interferência e ruído, utiliza de técnicas de transmissão de DSSS e OFDM (MALLICK, 2003 *apud* GHAYUM, 2010, tradução própria). A impossibilidade de detecção de colisão levou à implementação de um sistema de *collision avoidance* (CSMA/CA), o qual consiste em esperar durante um intervalo antes da transmissão de cada quadro invés de depois da colisão (CASTRO *et. al.*, 2010).

O *Bluetooth* é padronizado através da norma IEEE 802.15.1 e opera na banda industrial, científica e médica (ISM) entre 2,4 a 2,458 GHz, usando *spread spectrum* através de um sinal *full-duplex*. Utiliza modulação OFDM e as interferências são evitadas através de *adaptive frequency hopping* (AFH) em que se detecta a presença de outros dispositivos e a frequência de transmissão que utilizam. Desta forma, procura-se evitar as frequências já utilizadas. A distância que as comunicações podem atingir depende da faixa de utilização, sendo que se classificam em: faixa 1 até 1 m, faixa 2 até 10 m e faixa 3 até 100 m. As taxas de transmissão podem chegar a 1 Mbps para versão 1.2, 3 Mbps na versão 2.0 e 24 Mbps na versão 3.0 (ALBUQUERQUE; ALEXANDRIA, 2007).

O *ZigBee* é definido pela norma IEEE 802.15.4 operando na faixa de frequência de 2,4 GHz em todo o mundo, mas também tem a opção de 915 MHz e 868 MHz em diferentes regiões. *ZigBee* usa *Advanced Encryption Standard* (AES-128) para criptografia de dados de segurança e tem taxas de dados que variam entre 20 kbps a 250 kbps. A vantagem da tecnologia *ZigBee* é seu baixo consumo de energia, o que aumenta a autonomia das baterias para até 5 anos. *ZigBee* utiliza

a técnica de transmissão DSSS oferecido pelo padrão, objetivando a redução de interferência e ruído (GHAYUM, 2010, tradução própria).

O *WirelessHart* é o primeiro padrão aberto de comunicação sem fio desenvolvido especificamente para atender as necessidades da indústria de processo. Compatível com o padrão IEEE 802.15.4, opera na faixa de 2,4 GHz a uma taxa de transferência de 250 kbps, adotando uma arquitetura estruturada em malhas, visto na figura 24, onde cada sensor funciona como um “*router*” ou como um repetidor. Os rádios utilizam o método de DSSS ou FHSS e comunicação sincronizada entre os dispositivos da rede utilizando TDMA (*Time Division Multiple Access*). Assim como o *ZigBee*, tem um baixo consumo de energia e toda a comunicação é realizada dentro de um *slot* de tempo de 10ms formando um *superframe* (CASSIOLATO, 2012).

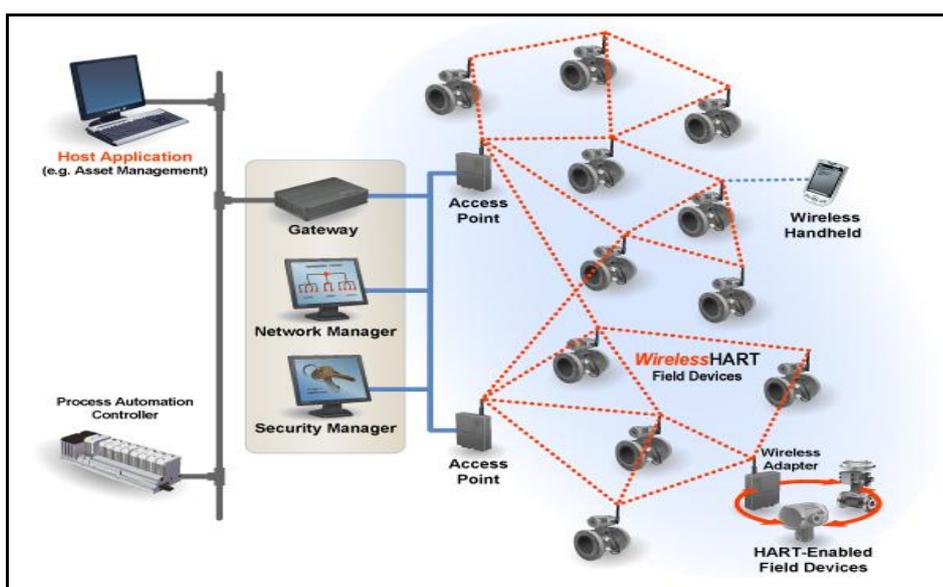


Figura 24: Exemplo de arquitetura da rede *WirelessHART*.
Fonte: HART COMMUNICATION FOUNDATION (2012c).

O ISA SP100.11a foi desenvolvido pela *International Society of Automation* (ISA), como parte do padrão ISA SP100 para comunicação de redes sem fio utilizadas em ambientes industriais (GHAYUM, 2010, tradução própria). Utiliza as premissas IEEE 802.15.4 e, basicamente, possui as mesmas funções e características do protocolo *WirelessHART*, porém tem o intuito de estabelecer um protocolo de referência e permitir a integração com os demais protocolos existentes no mercado, tais como, *Fieldbus*, *HART*, *Profibus*, *DeviceNet*, entre outras (RIEGO, 2009).

3 DESENVOLVIMENTO DO PROJETO

Entre as muitas tecnologias de sistemas de controle de campo, as redes *Foundation Fieldbus* exercem um papel singular, por proporcionarem duas características particulares e determinantes. A primeira é a padronização da camada de aplicação, sendo dividida em blocos contendo funcionalidades características. A outra, como consequência da primeira adicionada à possibilidade de processamento distribuído (dispositivos equipados de memória e processador tendo a capacidade de realizar seus próprios algoritmos de controle), é a flexibilidade da arquitetura, permitindo ao profissional especialista em automação implementar sua estratégia de controle (SILVA, 2005).

Devido, principalmente as características citadas anteriormente, será escolhido o protocolo *Foundation Fieldbus* para o desenvolvimento do projeto da bancada didática para estudo de redes industriais. Todos os instrumentos e componentes do sistema especificados nesse projeto serão da marca Smar, o maior fabricante nacional de instrumentos para controle de processos.

3.1 INSTRUMENTOS DE CAMPO

Para simulação processos industriais, como temperatura, pressão, vazão, entre outros, serão necessários alguns dispositivos de campo como sensores, transmissores e atuadores. Os dispositivos selecionados para o projeto são os seguintes:

- Transmissor de Pressão Diferencial modelo LD302, é o transmissor da Smar para o protocolo *Foundation Fieldbus*. Deverá ser especificado para faixa de aplicação de -500 a 500 mbar com indicador digital local. A medição da pressão diferencial é obtida através da aplicação de pressão aos lados de alta e de baixa do transmissor, podendo atuar em sistemas de controle de pressão, vazão, nível, peso, entra outras. A figura 25 mostra o transmissor mencionado.



Figura 25: Transmissor de pressão diferencial LD 302.
Fonte: Smar (2011).

- Transmissor de Temperatura modelo TT302, visto na figura 26, é o transmissor da Smar para o protocolo *Foundation Fieldbus*. Basicamente deverá ser especificado para trabalhar com sensor tipo Pt 100 a dois fios e possuir indicado digital local.



Figura 26: Transmissor de temperatura TT302
Fonte: Smar (2011)

- Posicionador de Válvulas modelo FY302 da Smar para protocolo *Foundation Fieldbus*. Deverá possuir indicador digital local, com três manômetros, montagem integral, para atuador linear de dupla ação com curso até 50 mm. A figura 27 mostra o posicionador descrito.



Figura 27: Posicionador de válvulas PY 302
Fonte: Smar (2011)

- Terminador de Barramento modelo BT 302 da Smar, visto na figura 28. Possui tensão máxima de operação de 35 Vcc, impedância de entrada $100\Omega \pm 2\%$ e faixa de frequência de 7,8 kHz – 39 kHz.



Figura 28: Terminador de barramento BT 302.
Fonte: Smar (2011).

3.2 ELEMENTOS DE ALIMENTAÇÃO E CONTROLE DO SISTEMA

Para alimentação e controle do sistema será proposto a utilização da interface de campo distribuída DFI302 (*Fieldbus Universal Bridge*), elemento crucial de interface em um sistema de controle de campo desenvolvido pela Smar. Ele combina importantes recursos de comunicação, com acesso direto a entradas e saídas e controle avançado para aplicações contínuas e discretas. É um

equipamento modular multifunção, podendo ser montado em um *rack*, conectado a um trilho DIN, onde todos os módulos são instalados, incluindo as Fontes Principal e *Fieldbus*, Controladores e Impedância de Linha. A figura 29 apresenta a DFI302 descrita (SMAR, 2011).

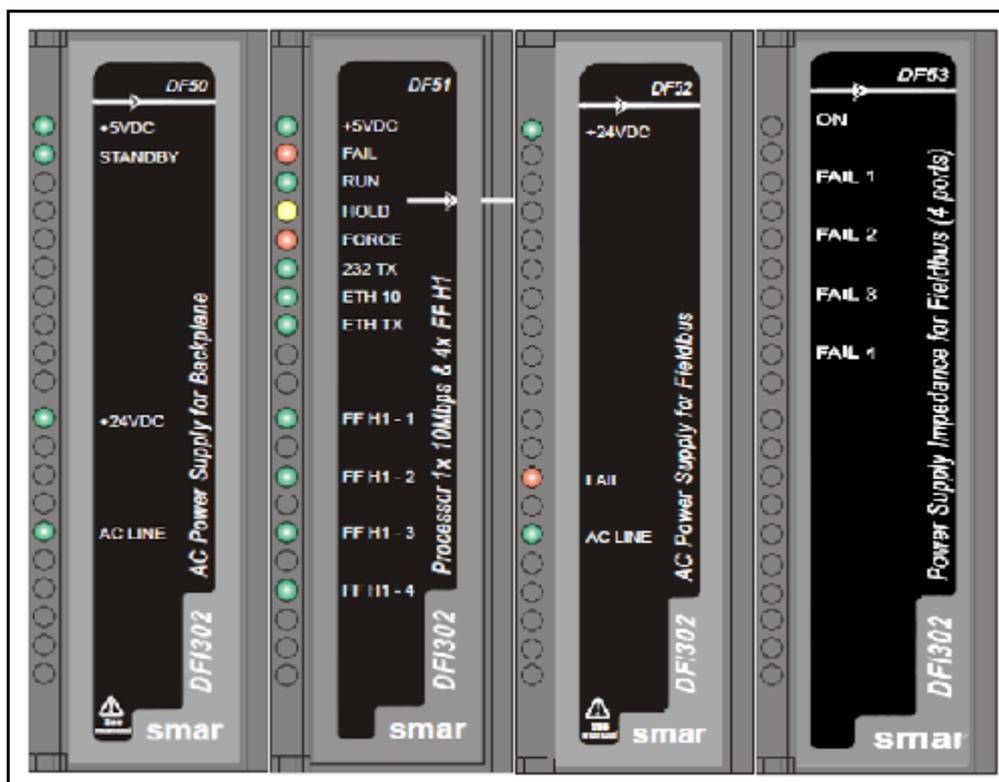


Figura 29: Configuração da DFI302 com os módulos DF50, DF51, DF52 e DF53. Fonte: Adaptado de Smar (2011).

A configuração da DFI302 deverá ser realizada utilizando os dispositivos na sequência descritos:

- Rack com 04 Slots modelo DF1A – O rack é, basicamente, um suporte que contém barramento onde os módulos são conectados. Os conectores são chamados *slots*.
- Módulo Fonte Principal modelo DF50 – Alimentação de entrada de 90 a 264 Vca e saídas 5 Vcc/3 A distribuídos através do rack para alimentação dos módulos e 24 Vcc/300 mA para uso externo através dos terminais 1B e 2B.
- Módulo Controlador modelo DF51 - Controlador com uma porta 10 Mbps *Ethernet* e 4 canais H1. Conecta equipamentos *Fieldbus* no barramento H1, executando a função de LAS da rede.

- Módulo Fonte de Alimentação *Fieldbus* modelo DF52 - Um equipamento de segurança não intrínseco com uma entrada AC universal, e uma saída de 24 Vcc isolada, com proteção contra sobrecorrente e curto-circuito além de indicação de falha, apropriada para alimentar os elementos do *Fieldbus*.
- Módulo de Impedância para o *Fieldbus* modelo DF 53 – Projetado para fornecer uma impedância ideal para as redes *Fieldbus*. Possui oito terminais (3A a 10A) implementando quatro portas *Fieldbus* independentes, quatro *DIP switches* para o acionamento da terminação do barramento, um *LED* verde para *status* de energia e quatro *LEDs* vermelhos para sobrecorrente no barramento.

3.3 CONFIGURAÇÃO E TOPOLOGIA DA REDE

Primeiramente deverão ser instalados fisicamente os equipamentos em uma bancada para fazer a montagem da rede *Foundation Fieldbus*, de acordo com a figura 30.

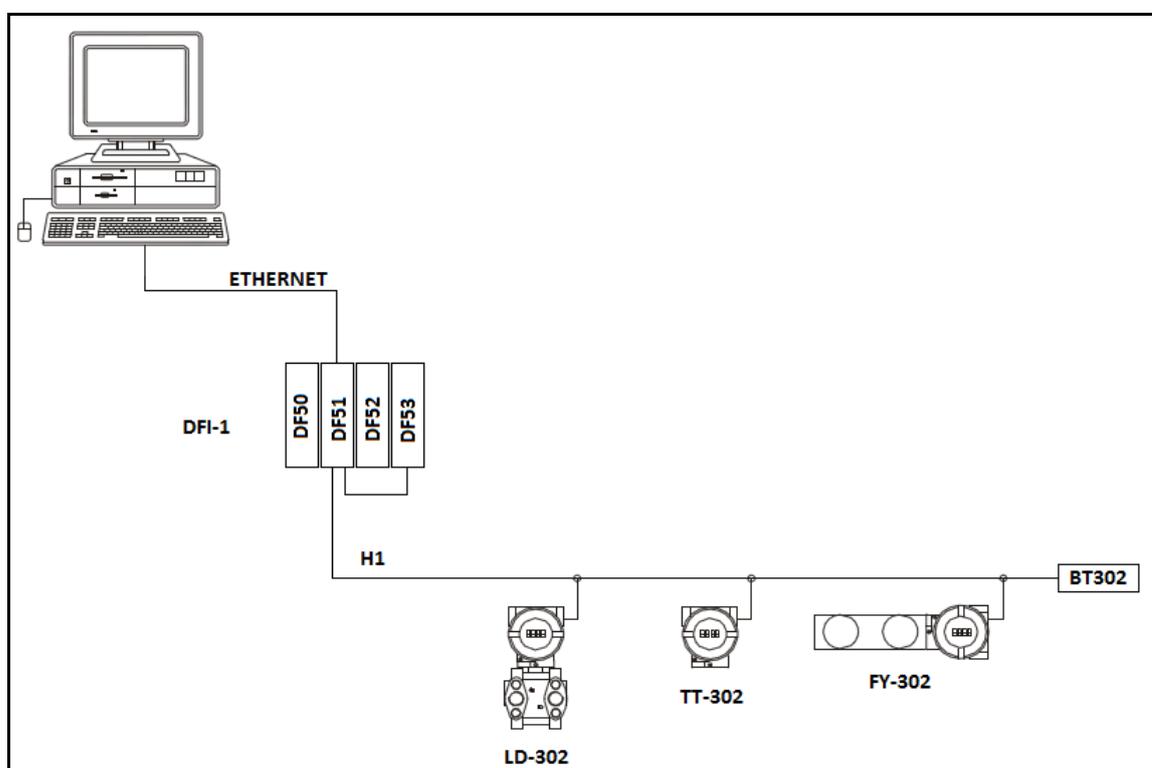


Figura 30: Disposição física dos dispositivos *Foundation Fieldbus*.
 Fonte: Adaptado de Smar (2011)

Para configurar o projeto da rede *Foundation Fieldbus*, deverá ser utilizado a plataforma de controle e automação de processos *System302* da Smar, que deverá ser instalada em um microcomputador conectado à interface DFI302. Ao iniciar o *software System302*, aparecerá uma janela conforme a figura 31, onde deverá ser selecionado o ícone do software *Syscon*.

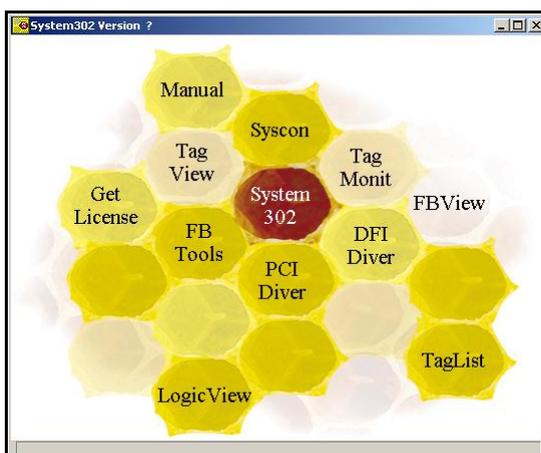


Figura 31: Tela inicial System302.
Fonte: Autoria própria (2012).

Aparecerá a janela mostrada na figura 32 iniciando o programa *Syscon*, onde será realizada a configuração da rede (física, lógica, estratégias de controle).

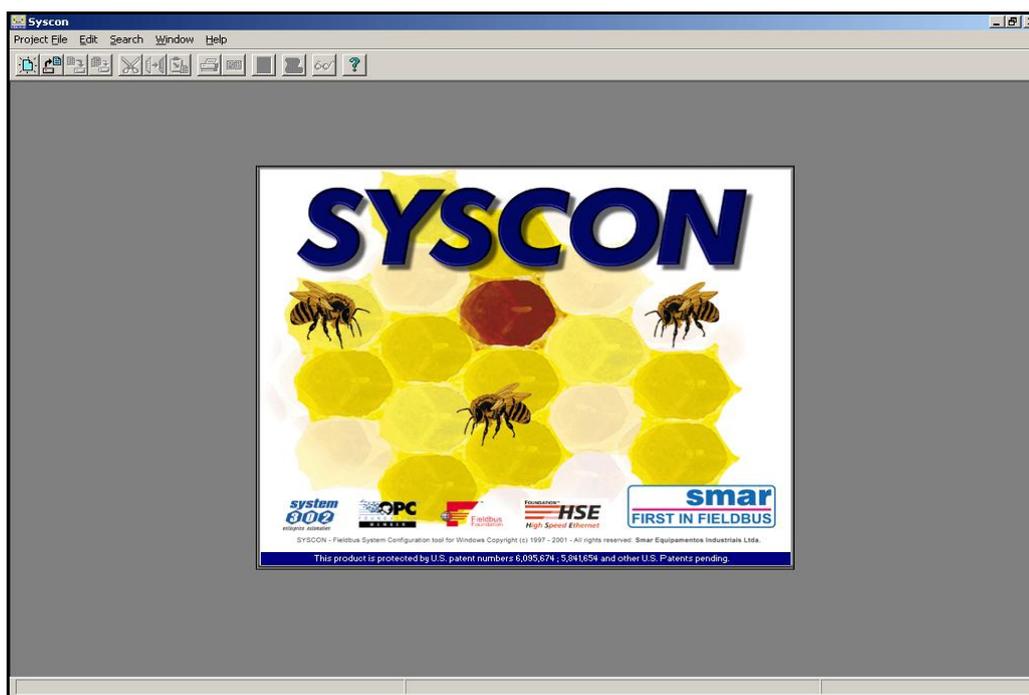


Figura 32: Tela inicial Syscon.
Fonte: Autoria própria (2012).

Em seguida, para criar um novo projeto, deverá ser selecionando e clicando no ícone “New”, conforme mostra a figura 33 (a). Aparecerá uma nova janela, conforme mostra a figura 33 (b), onde a opção “Project” será selecionada, para dar nome ao projeto.

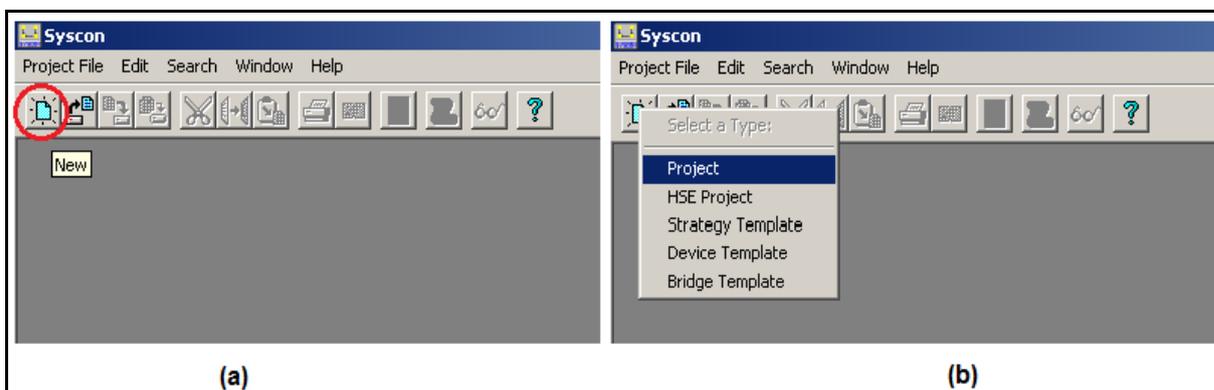


Figura 33: Criando novo projeto.
Fonte: Autoria própria (2012).

Aparecerá a janela “Setup New Project Workspace”, vista na figura 34. Deverá ser localizada a pasta “Syscon” no computador, sendo que normalmente está no caminho: “C:\Arquivos de Programas\Smar\Syscon”. Em seguida, levando o cursor até o campo “Nome do arquivo”, será nomeado o projeto e, neste caso, o nome escolhido foi “tcc_rede”. Por fim clicar em “Salvar”.

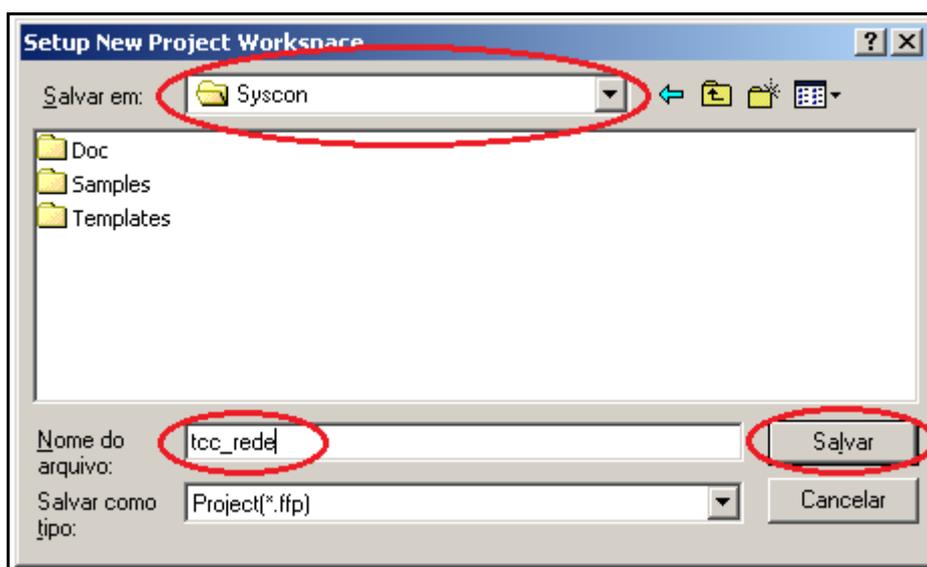


Figura 34: Nomeando projeto.
Fonte: Autoria própria (2012).

Em seguida aparecerá a janela “tcc_rede” e dentro dela, os ícones para a “Área 1”, “Fieldbus Networks” e “Recycle Bin”, visualizados na figura 35 (a). Selecionando a opção “Fieldbus Networks”, Surgirá uma nova aba, onde deverá ser escolhido a opção “New Fieldbus”, conforme a figura 35 (b).

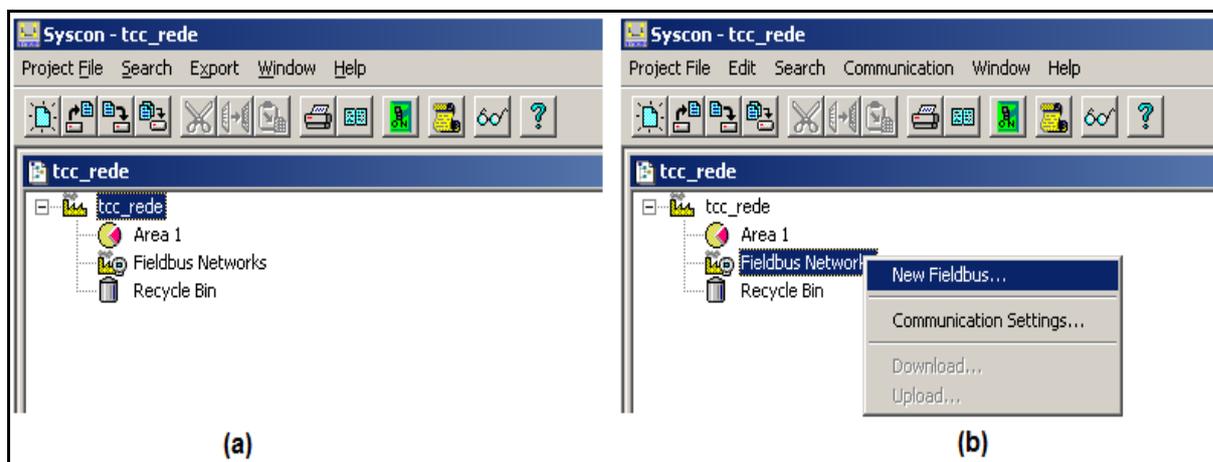


Figura 35: Criando a planta física.
 Fonte: Autoria própria (2012).

Na sequência, surgirá a janela “New Fieldbus”, vista na figura 36 (a). Levando o cursor até o campo “Tag” deverá ser digitado o nome que será dado para a rede física, neste caso “Planta Didatica”, e clicar no botão “OK”, conforme mostra a figura 36 (b).

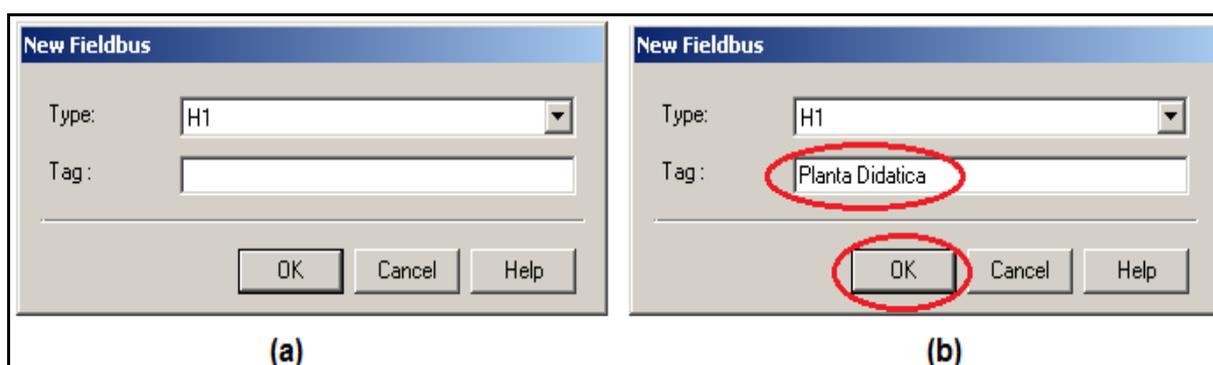


Figura 36: Nomeando a planta física.
 Fonte: Autoria própria (2012).

Dentro da janela “tcc_rede”, aparecerá o ícone “Planta Didatica”, conforme mostra a figura 37 (a). Selecionando o ícone “Planta Didatica” aparecerá uma nova aba, vista na figura 37 (b). Em seguida, deverá ser escolhida a opção “Expand”.

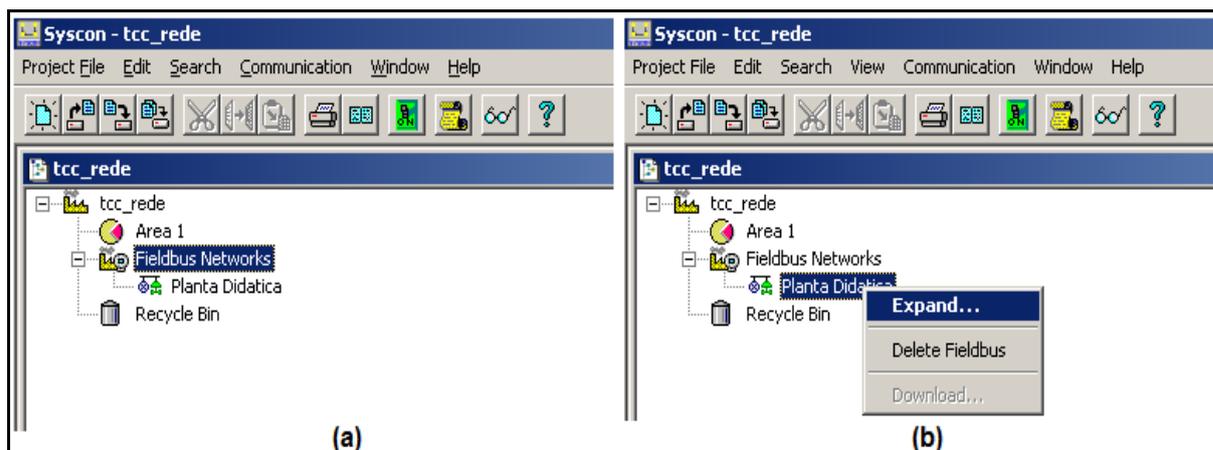


Figura 37: Abrindo a janela planta física.
Fonte: Autoria própria (2012).

Surgirá então a janela “Planta Didatica” conforme mostra a figura 38 (a). Para organizar as telas, deverá ser selecionado o ícone “*Window*” da janela “*Syscon - tcc_rede*”. Abrirá então, uma nova aba na qual deverá escolhida a opção “*Tile*”, de acordo com a figura 38 (b).

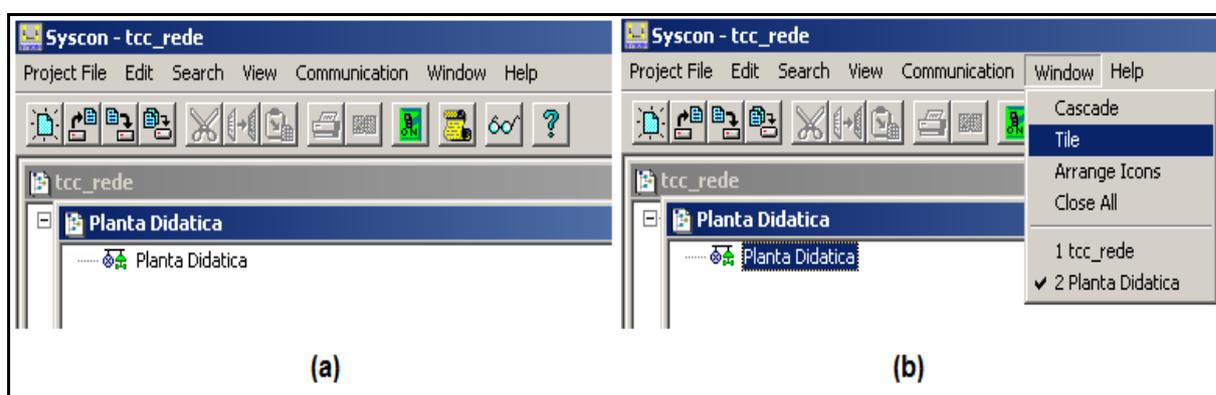


Figura 38: Organizando telas.
Fonte: Autoria própria (2012)

As janelas “*tcc_rede*” e “*Planta Didatica*”, então, ficarão organizadas lado a lado. Na janela “*Planta Didatica*” deverá ser selecionado o ícone “*Planta Didatica*”. Em seguida, aparecerá uma nova aba, na qual, a opção “*New*” deverá ser escolhida, então, será aberta uma segunda aba, onde, deverá ser clicado na opção “*Bridge*”, conforme a figura 39.

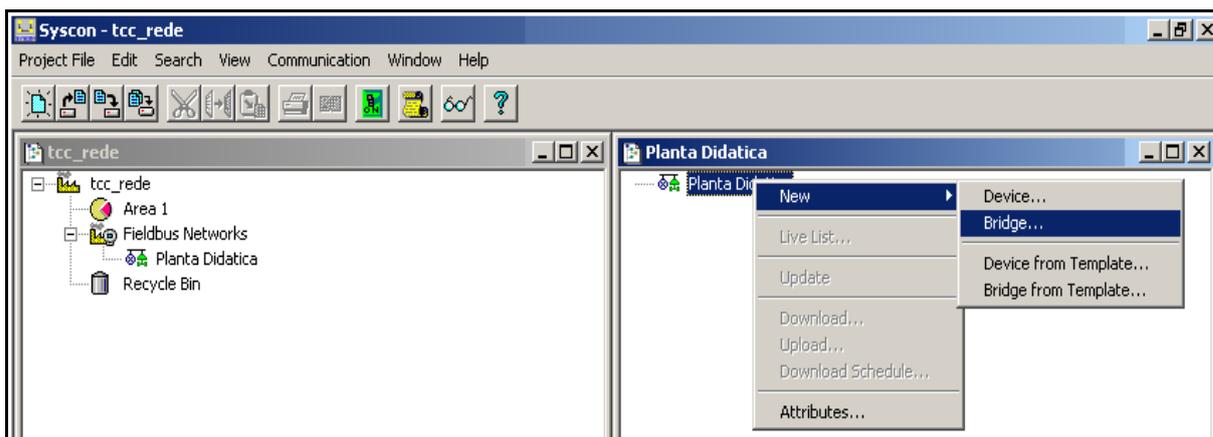


Figura 39: Inserindo *Bridge*
Fonte: Autoria própria (2012).

Aparecerá a janela “*New Bridge*”, conforme mostra a figura 40 (a). Abrindo campo “*Manufacturer*”, aparecerá a relação de fabricantes das *Bridges* disponíveis, onde, deverá ser selecionada a opção “*Smar*”. Da mesma forma no campo “*Device Type*”, deverá se selecionado a opção “*DF 51*”, modelo da *Bridge* utilizado nesse projeto. No campo “*Device Tag*” deverá se digitado o nome da *Bridge*, neste caso “*DFI 1*”. Finalmente clicar em “*OK*”, conforme a figura 40 (b).

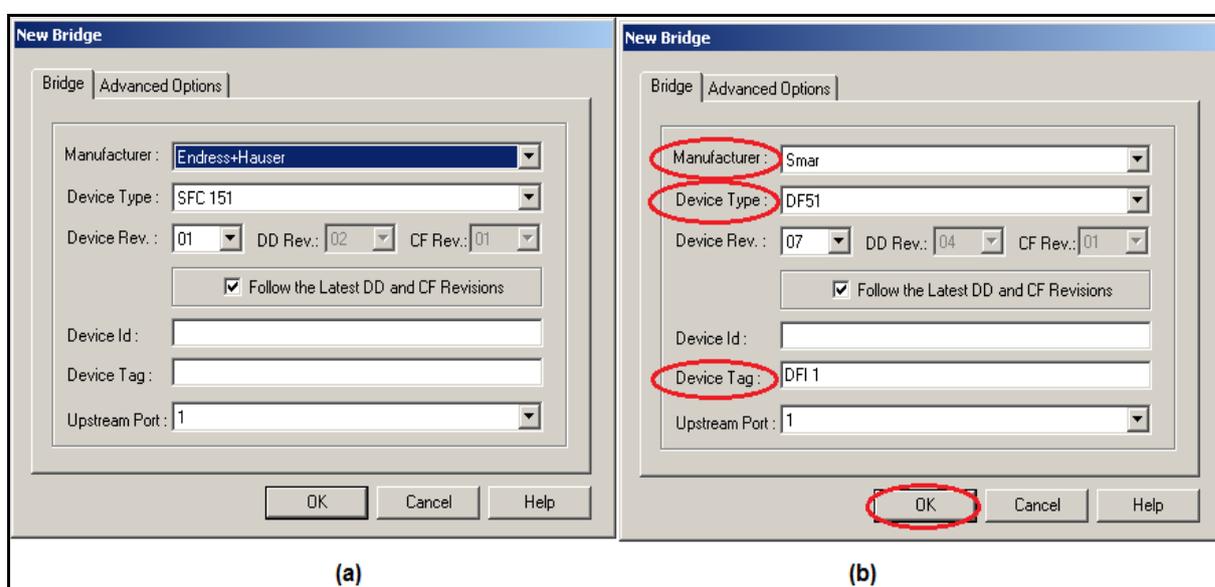


Figura 40: Configurando a *Bridge*.
Fonte: Autoria própria (2012).

Logo após, aparecerá na janela “*Plantas Didaticas*” o ícone “*DFI 1*”, Ainda na janela “*Plantas Didaticas*” novamente deverá ser selecionado o ícone “*Plantas Didaticas*”. Aparecerá novamente uma nova aba, na qual a opção “*New*” deverá ser escolhida,

abrindo assim uma segunda aba onde, agora, deverá ser selecionada a opção “*Device*”, conforme a figura 41.

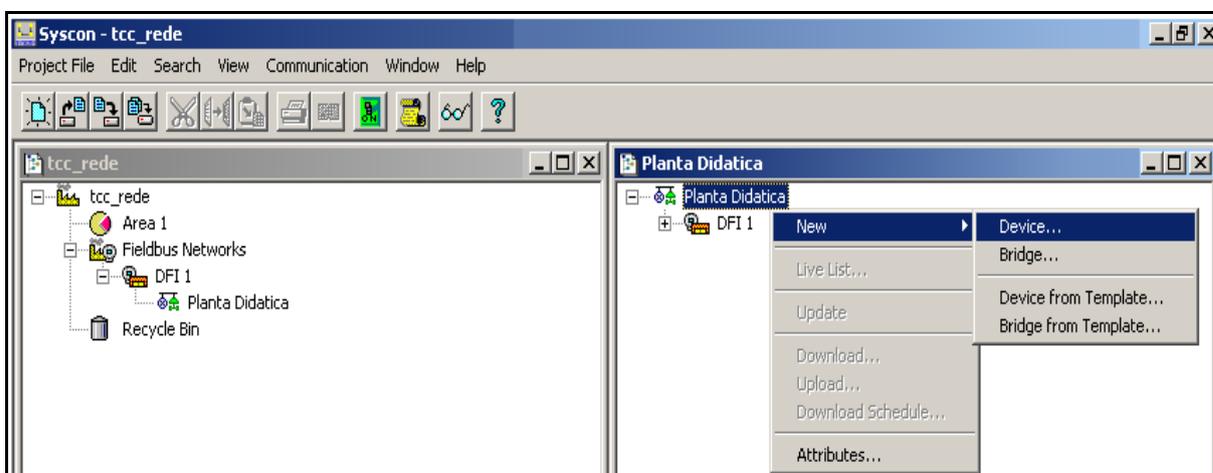


Figura 41: Inserindo *Device*.
 Fonte: Autoria própria (2012).

Surgirá, então, a janela “*New Device*”, vista na figura 42 (a). Abrindo campo “*Manufacturer*”, aparecerá a relação de fabricantes dos *Devices* disponíveis, onde, deverá ser selecionada a opção “*Smar*”. Da mesma forma no campo “*Device Type*”, deverá se selecionado a opção “*LD 302*”, modelo de transmissor de pressão diferencial utilizado nesse projeto. No campo “*Device Tag*” deverá se digitado o nome do dispositivo, neste caso “*PT 100*”. Finalmente clicar em “*OK*”, conforme figura 42 (b).

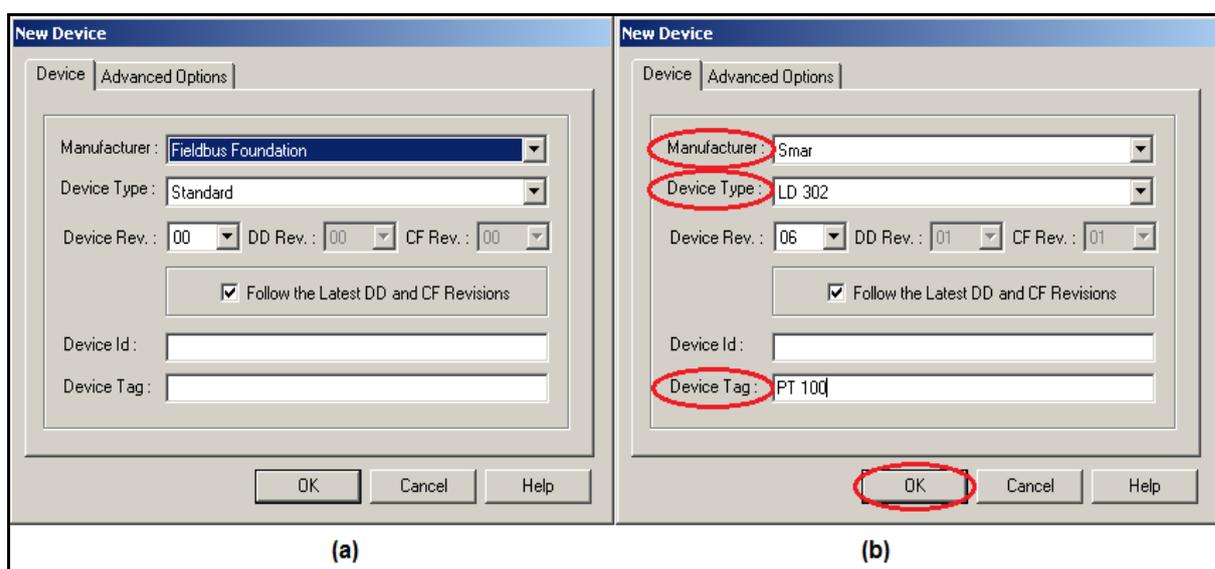


Figura 42: Configurando *Devices*.
 Fonte: Autoria própria (2012)

Deverão ser repetidas as operações anteriores outras duas vezes para inserção de novos dispositivos. Selecionando “Smar”, “FY 302” para o posicionador de válvulas especificado no projeto, digitando o nome “FY 100” e clicando “OK” e, ainda, selecionando “Smar”, “TT 302” para o transmissor de temperatura especificado no projeto, digitando o nome “TT 100” e clicando “OK”. Após estas operações, aparecerão na janela “Planta Didatica” os ícones “PT 100”, “TT 100” e “FY 100”, vistos na figura 43.

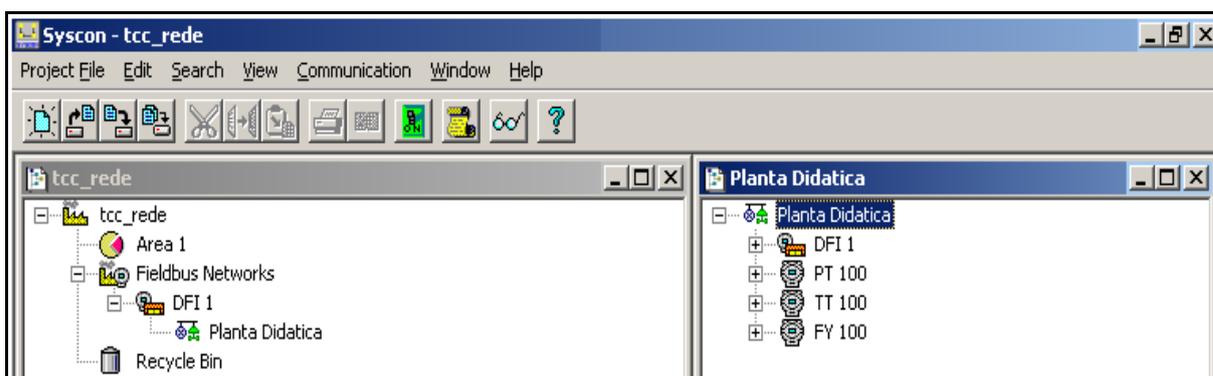


Figura 43: Visualização das telas após configuração física.

Fonte: Autoria própria (2012)

Após a configuração física deverão ser renomeados os blocos dos transmissores e do posicionador que foram importados juntos com os dispositivos durante a configuração física.

Primeiramente, na janela “Planta Didatica”, deverá ser selecionado o ícone “+” localizado à frente do “PT 100”, visto na figura 44 (a). Aparecerá, então, o ícone “FB VFB”, visto na figura 44 (b). Em seguida, deverá ser selecionando o ícone “+” situado à frente do “FB VFD”. Surgirão vários blocos, conforme figura 44 (c).



Figura 44: Configuração dos blocos funcionais.

Fonte: Autoria própria (2012).

Na sequência, selecionando o primeiro ícone “Block 5” aparecerá uma janela com várias opções. Então, deverá ser escolhida a opção “Attributes...”, conforme pode ser visualizado na figura 45.

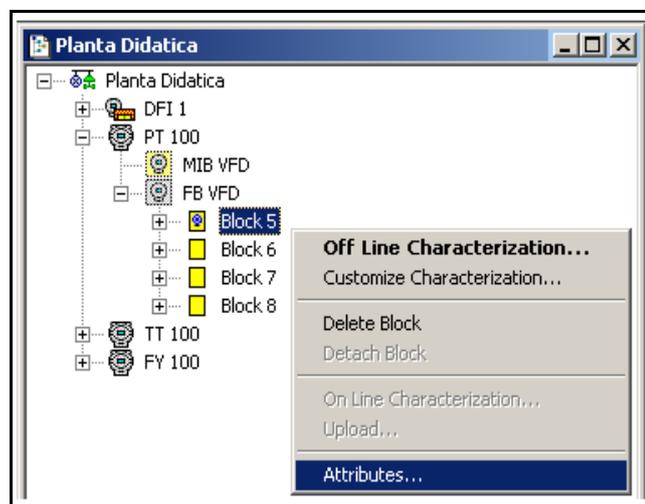


Figura 45: Configuração dos blocos funcionais (continuação).
Fonte: Autoria própria (2012).

Em seguida, aparecerá a janela “Block Attributes”, conforme mostra a figura 46. No campo “Block Tag” deverá ser modificado o nome bloco, neste caso, para “PT 100-RES” (como referência ao bloco tipo *resource*), finalmente deverá ser clicado na opção “OK”.

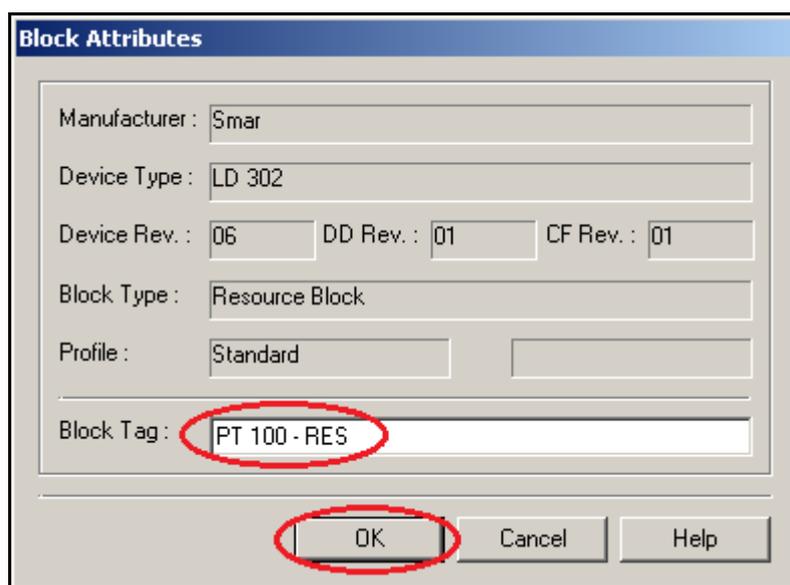


Figura 46: Renomeando blocos funcionais
Fonte: Própria (2012)

Deverão ser repetidas as operações anteriores para o segundo e terceiro ícones, ou seja, “Block 6” e “Block 7” renomeados respectivamente para “PT 100-TRD” (como referência ao bloco tipo *transducer*), e “PT 100-DSP” (como referência ao bloco tipo *display*).

Posteriormente, selecionando o quarto ícone, neste caso, “Block 8”, abrirá novamente a janela de opções. Então, deverá ser escolhida a opção “Delete Block”, para excluir esse bloco, pois esse não será utilizado, conforme mostra a figura 47.

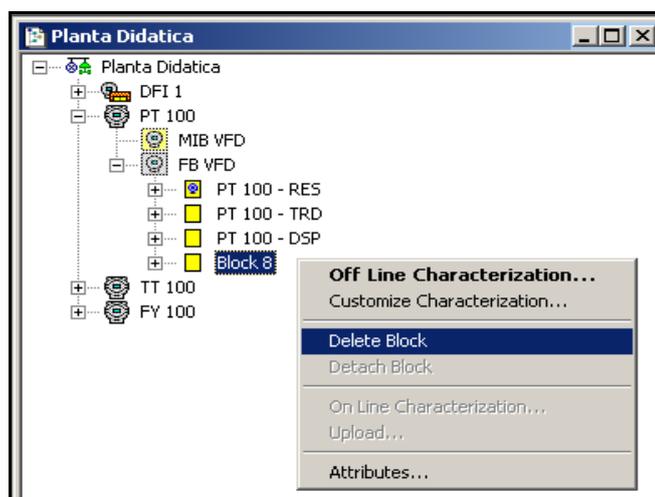


Figura 47: Apagando blocos funcionais.
Fonte: Autoria própria (2012).

Em seguida aparecerá a janela visualizada na figura 48, perguntando se você deseja apagar o bloco. Selecionado a opção “Sim” o bloco será definitivamente excluído.

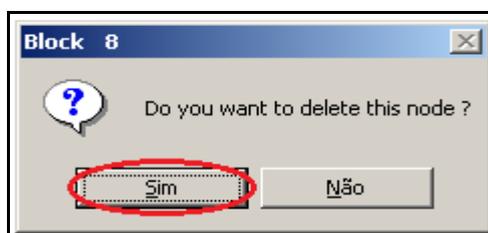


Figura 48: Solicitação de confirmação para apagar blocos.
Fonte: Autoria própria (2012).

Deverão ser repetidos os passos para renomear e apagar os blocos necessários, para o restante dos dispositivos da rede, ou seja, para o transmissor “TT 100” e para o posicionador de válvula “FY 100”. Na figura 49 é mostrada como ficará a janela “Planta Didatica” após a realização desses passos.

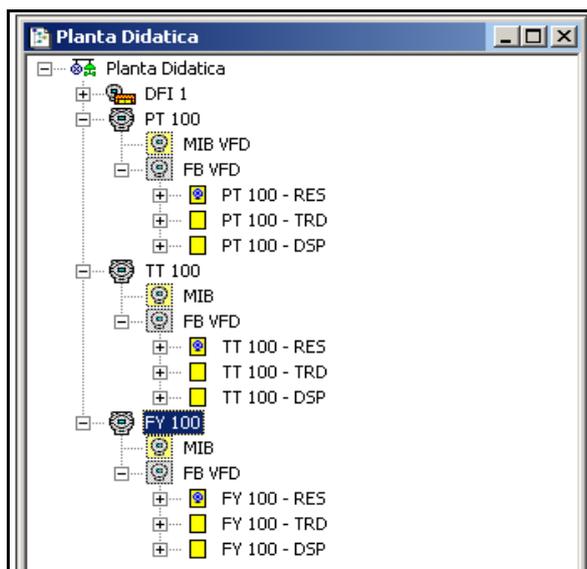


Figura 49: Visualização final da janela “Planta Didatica”.
Fonte: Autoria própria (2012).

Finalmente, o projeto deverá ser salvo clicando em um dos dois ícones mostrados na figura 50. A rede está configurada fisicamente podendo, agora, ser realizada as configurações das lógicas de funcionamento e definidas e implementadas as estratégias de controle.

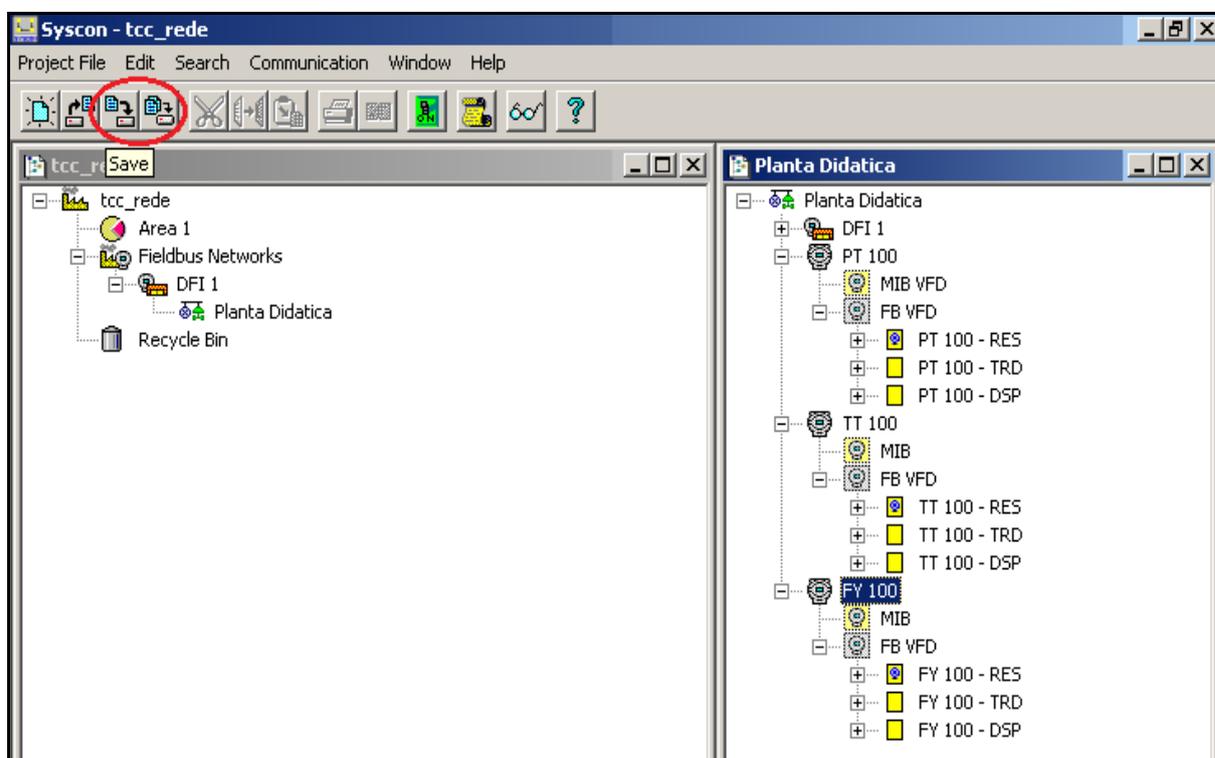


Figura 50: Salvando o projeto.
Fonte: Autoria própria (2012).

4 CONCLUSÕES

Um dos maiores desafios na elaboração desse trabalho foi a escassez de materiais como livros, teses, dissertações, entre outros, para formação da base de referencial teórico. Uma vez superada essa etapa, todo material colhido e contido nesse trabalho servirá como material de apoio e consulta para os alunos e professores de cursos técnicos, aos quais esse trabalho é direcionado. Esse material trata de diversas tecnologias de sistemas de controle de campo, trazendo suas principais características técnicas de funcionamento, tipos de dispositivos, topologias e temas necessários para formação de profissionais que pretendem atuar na área de redes industriais.

As características que fizeram com que o protocolo escolhido para elaboração dessa proposta, dentre os diversos protocolos existentes no mercado, fosse o *Foundation Fieldbus* são inúmeras, mas pode-se destacar como uma das principais o fato da estratégia de controle ser distribuída ao longo dos dispositivos de campo. Devido à padronização da camada de aplicação, os dispositivos *Foundation Fieldbus* possuem blocos de funções específicas em seus microprocessadores, incluindo, por exemplo, o controle PID, necessários para atender o controle básico e regulatório nos dispositivos de campo sem a necessidade de passarem por sistema de controle centralizado. Isso significa que, com um transmissor e uma válvula, poderá ser automatizada e controlada uma malha. Além disso, os dispositivos podem ser ligados à rede e configurados de acordo com a necessidade do usuário, tendo desempenho satisfatório desde sistemas pequenos, como é o caso dessa proposta, até sistemas maiores como plantas completas encontradas nas indústrias.

Os dispositivos que compõem essa proposta, assim como o *software* de configuração, foram selecionados da marca Smar, um fabricante nacional de produtos para automação. Os transmissores e o atuador, além da *bridge* e fontes, proporcionarão ao estudante uma boa referência de funcionamento e configuração daquilo que ele, quando formado, encontrará nas plantas industriais.

Em um primeiro momento, não foi possível a implantação física da proposta, pois isso requer um planejamento de um montante considerável de recursos financeiros por parte da instituição de ensino e, como neste caso trata-se de instituição pública estadual, é necessário ainda a aprovação da proposta pela direção e coordenação da instituição e setores responsáveis na Secretaria de

Educação para posteriormente, passar por um processo licitatório para a compra dos dispositivos necessários para a implantação da proposta.

Visto isso, percebe-se que há espaço para práticas futuras, as quais fornecerão ainda mais eficácia a essa proposta, principalmente no que se refere à implantação física da bancada didática e podendo, ainda, ser desenvolvido um manual de configuração da lógica e malhas de controle.

Conclui-se, portanto, que o objetivo geral proposto foi alcançado com sucesso. Teoricamente, a implantação de uma bancada didática para estudo de redes industriais tem como principais benefícios a formação de profissionais qualificados capazes de resolver problemas encontrados na indústria e a oferta de soluções inovadoras na área da automação industrial.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, Pedro Urbano B. de; ALEXANDRIA, Auzuir Ripardo de. **Redes industriais: aplicações em sistemas digitais de controle distribuído**. Fortaleza. Edições Livros Técnicos, 2007.

ARAÚJO FILHO, Clideonor Ferreira de. **Redes industriais**. 2005. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABTHQAL/redes-industriais-parte2>>. Acesso em: 19 jul. 2012.

BORGES, Johny de Freitas. **Redes industriais de comunicação**. Apostila do curso de Fundamentos de redes Industriais e Aplicações. Rev. 03. 2009. International Society of Automation - ISA Vitória – ES

CARRIJO, Renato Santos. **Gerenciamento de ativos aplicado a instrumentos de campo de protocolos abertos: uma abordagem a partir de dispositivos móveis**. 2011. 120 p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – EESC/USP, São Carlos – SP. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18153/tde-12032012-160009/publico/Renato.pdf>>. Acesso em: 02 ago. 2012.

CARVALHO, Humberto Figueiredo. **Escalonamento em redes ethernet industrial**: 2007. 100 p Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá – MG. Disponível em: <<http://adm-net-a.unifei.edu.br/phl/pdf/0031629.pdf> >. Acesso em: 19 jun. 2012.

CASSIOLATO, César; TORRES, Leandro H. B; PADOVAN Marco A. **Profibus – descrição técnica**. 2012. Disponível em: <http://http://www.profibus.org.br/files/DescricaoTecnica/PROFIBUS_DESC_TEC_2012.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2012.

CASSIOLATO, César. **Redes industriais**. 2011. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/artigostecnicos/artigo.asp?id=48>>. Acesso em: 12 jul. 2012.

_____. **O protocolo digital HART**. 2009. Disponível em: <http://www.smar.com/PDFs/ApplicationNotes/AppNotes_HART.pdf>. Acesso em: 24 jul. 2012.

_____. **Wireless HART**. 2012. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/artigostecnicos/artigo.asp?id=86>> Acesso em 06 ago. 2012.

CASTRO, André M. de; DIAS, Luiz F. V.; BOTELHO, Pedro C.; FARIA, Rafael de O. **Redes de Sensores Sem Fio (RSSF)**. 2010. Trabalho Acadêmico. Disponível em: <http://www.gta.ufrj.br/grad/10_1/rssf/index.html> Acesso em: 09 ago. 2012.

DIAMOND. Disponível em:<<http://www.diamond-brasil.com.br/transmissao-optica/a-midia-optica>>. Acesso em: 18 jul. 2012.

FRANCO, L. R. H. R.; VERMAAS, L. L. G. **O Fieldbus**. In: Apostila do curso de Automação e Controle Industrial – Uma Visão Gerencial – Módulo 5. 2008. Fundação de Pesquisa e Assessoramento à Indústria – FUPAI, Itajubá – MG.

GHAYUM, Mohamed S. A. **Comparative Study of Wireless Protocols - Wi-Fi, Bluetooth, ZigBee, WirelessHART and ISA SP100, and their Effectiveness in Industrial Automation**. 2010 82 p. Thesis - University of Texas at Austin – 2010. Disponível em: <<http://repositories.lib.utexas.edu/bitstream/handle/2152/ETD-UT-2010-12-2237/ABDUL-GHAYUM-THESIS.pdf?sequence=1>>. Acesso em 04 ago. 2012.

HART COMMUNICATION FOUNDATION. **Sobre o Protocolo HART**. 2012a. Disponível em: <<http://www.hartcomm.org/LG/PG/protocol/about/aboutprotocol.html>>. Acesso em: 24 jul. 2012.

_____. **Como o HART Funciona**. 2012b. Disponível em: <http://www.hartcomm.org/LG/PG/protocol/about/aboutprotocol_how.html>. Acesso em: 24 jul. 2012.

_____. **Como Funciona a Tecnologia WirelessHART**. 2012c: Disponível em: <http://www.hartcomm.org/LG/PG/protocol/wihart/wireless_how_it_works.html>. Acesso em: 06 ago. 2012

LIMA, Fábio Soares de. **Estratégia de Escalonamento de Controladores PID Baseado em Regras Fuzzy para Redes Industriais Foundation Fieldbus Usando Blocos Padrões**. 2004. 68p. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN – Natal – RN, 2004 Disponível em: <<ftp://ftp.ufrn.br/pub/biblioteca/ext/bdtd/FabioSL.pdf>>. Acesso em: 14 abr. 2012.

LOPEZ, Ricardo Aldabó. **Sistemas de redes para controle e automação**: Rio de Janeiro. Book Express, 2000.

LUGLI, Alexandre Baratella; **Uma Ferramenta Computacional para Análise de Topologia e Tráfego para Redes Ethernet Industriais**. 2007. 94 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal de Itajubá – UNIFEI, Itajubá – MG. Disponível em: <<http://adm-net-a.unifei.edu.br/phl/pdf/0032093.pdf>>. Acesso em: 17 jul. 2012.

LUGLI, Alexandre Baratella; SANTOS, Mas Mauro Dias. **Redes industriais para automação industrial. AS-I, Profibus e Profinet**. 2. ed. São Paulo. Érica, 2010.

MORAES, Cícero C. de; CASTRUCCI, Plínio L. **Engenharia de automação industrial**: 2. ed. Rio de Janeiro. LTC, 2007.

MORIMOTO, Carlos E. **Categoria de cabos**. 2008. Disponível em: <<http://www.hardware.com.br/livros/redes/categorias-cabos.html>>. Acesso em: 18 jul. 2012.

MOSSIN, Eduardo André. **Laboratório remoto para ensino a distância de sistemas de controle distribuído**. 2007. 168 p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo – EESC/USP, São Carlos – SP. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18149/tde-08052007-160917/publico/TeseFinalMossin.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2012.

NASCIMENTO, Leonardo T. do. **Avaliação da utilização de tecnologia de comunicação sem fio em redes Profibus e Foundation Fieldbus™**. 2008. 61 p. Monografia de Especialização – Universidade Federal de Pernambuco – UFPE, Recife – PE, 2008. Disponível em:

<http://www2.ee.ufpe.br/instrumentacao/monografias/Leonardo_Monografia_ROMINP_I.pdf>. Acesso em: 30 jul. 2012.

NOGUEIRA, Thiago A. **Redes de Comunicação para Sistemas de Automação Industrial**. 2009. 83 p. Monografia de Conclusão de Curso (Graduação) – Engenharia de Controle e Automação - Universidade Federal de Ouro Preto - UFOP – Ouro Preto – MG, 2009. Disponível em:

<<http://www.em.ufop.br/cecau/monografias/2009/THIAGO%20AUGUSTO.pdf>>. Acesso em 14 abr. 2012.

PANTONI, Rodrigo P. **Desenvolvimento e Implementação de uma Descrição de Dispositivos Aberta e Não-Proprietária para Equipamentos Foundation Fieldbus™ Baseada em XML**. 2006. 164 p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP – São Carlos – SP,

2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18149/tde-07122006-084142/publico/Dissertacao-Pantoni.pdf>>. Acesso em: 19 jun. 2012.

PINHEIRO, José Mauricio Santos. **Topologias de Redes de Comunicação**. 2006. Disponível em:

<http://www.projotoderedes.com.br/artigos/artigo_topologias_de_rede.php>. Acesso em: 16 jul. 2012.

REGAZZI, Rogério D.; PEREIRA, Paulo S.; SILVA JR, Manoel F. **Soluções Práticas de Instrumentação e Automação – Utilizando a Programação gráfica LabVIEW**: Rio de Janeiro: KWG, 2005.

RIEGO, Henrique B. **Redes Sem Fio na Indústria de Processos: Oportunidades e Desafios**. 2009. 101 p. Dissertação de Mestrado – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo – USP – São Paulo – SP 2009. Disponível em:

<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3139/tde-18122009-142400/publico/dissHenrique.pdf>>. Acesso em 04 ago. 2012.

SCHNEIDER. **Redes de comunicação industrial - documento técnico nº 2**. 2007. Disponível em: <www.schneiderelectric.pt/.../doctecnico_redes.pdf>. Acesso em 12 jul. 2012.

SHIRASUNA, Mauro. **Ethernet Industrial Parte 4: Protocolos industriais**. 2011. Disponível em: <<http://www.mecatronicaatual.com.br/secoes/leitura/788>>. Acesso em: 19 jul. 2012.

SILVA, Diego R. C. **Redes Neurais Artificiais no Ambiente de Redes Industriais *Foundation Fieldbus* usando Blocos Funcionais Padrões**. 2005. 78 p. Dissertação de Mestrado – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN – Natal – RN, 2005. Disponível em: <<ftp://200.17.143.31/pub/biblioteca/ext/bdtd/DiegoRCS.pdf>> Acesso em 14 abr. 2012.

SILVEIRA, Paulo R.; SANTOS, Winderson E. **Automação e Controle Discreto**: 9. ed. São Paulo. Editora Érica, 2007.

SMAR. **Tutorial sobre a Tecnologia AS-i**. 2012. Disponível em: <<http://www.smar.com/brasil/asi.asp#11>>. Acesso em: 23 jul. 2012.

_____. **Tutorial *Foundation Fieldbus***. 2010. Disponível em: <<http://www.smar.com/PDFs/catalogues/FBTUTTCP.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2012.

_____. **Manual dos Procedimentos de Instalação, Operação e Manutenção – *Foundation Fieldbus***. 2008. Disponível em: <<http://www.smar.com/PDFs/manuals/GERAL-FFMP.pdf>>. Acesso em: 31 jul. 2012.

_____. **DFI302 – Manual do Usuário**. 2011. Disponível em: <<http://www.smar.com/PDFs/Manuals/DFI302MP.PDF>>. Acesso em 10 ago. 2012.

ZUCATO, Fábio L. **Rede *ZigBee* Gerenciada por Sistemas de Monitoramento Remoto Utilizando TCP/IP e GPRS**. 2009. 138 p. Dissertação de Mestrado – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo – USP – São Carlos – SP, 2009. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18155/tde-03022010-095135/publico/Fabio.pdf>>. Acesso em 04 ago. 2012.

APÊNDICE A – Lista Orientativa de Materiais

Lista Orientativa de Materiais			
Item	Quant.	Unid.	Descrição
01	01	pç	Transmissor de Pressão Diferencial modelo LD302, marca Smar, especificado de acordo com o código: LD302-D211-BU10-00/A1D0H0J0I6P0.
02	01	pç	Transmissor de Temperatura modelo TT302, marca Smar, especificado de acordo com o código: TT302-120H011J0L2P8T7.
03	01	pç	Posicionador de Válvulas modelo FY302, marca Smar, especificado de acordo com o código: FY302-10-040H0/11P8J0R1K0.
04	01	pç	Terminador de Barramento modelo BT 302, marca Smar.
05	01	pç	Módulo Fonte Principal modelo DF50, marca Smar.
06	01	pç	Módulo Controlador modelo DF 51, marca Smar
07	01	pç	Módulo Fonte de Alimentação <i>Fieldbus</i> modelo DF52, marca Smar.
08	01	pç	Módulo de Impedância para o <i>Fieldbus</i> modelo DF 53, marca Smar.
09	01	pç	<i>Rack</i> com 04 <i>slots</i> modelo DF1A, marca Smar.
10	01	-	Licença <i>software</i> SYSTEM 302, marca Smar
11	10	m	Cabo <i>Fondation Fieldbus</i> 1 par trançado com <i>Shield</i> 90%, 0.8 mm ² (AWG 18), 44 Ω/km, 3dB/km, 2nF/km.
12	01	pç	Chapa de acrílico dimensões 1000 mm x 1000 mm espessura 5 mm.

Quadro 5: Relação básica de materiais para a bancada de rede industrial.
Fonte: Autoria própria (2012).